

# TOPRAK KAYNAKLI (JEOTERMAL) ISI POMPALARININ TASARIMI, TESTİ VE FİZİBİLİTESİ

Arif HEPBAŞLI  
Ebru HANCIOĞLU

## ÖZET

Jeotermal ısı pompaları (JIP) olarak da bilinen toprak kaynaklı ısı pompaları (TKIP'ları), daha yüksek enerji kullanım verimleri nedeniyle, geleneksel ısıtma ve soğutma sistemlerine karşın çekici bir seçenek oluşturmaktadır. TKIP'larının kullanımı, Amerika'da ve Avrupa'da artmış, dünya'da toplam olarak yaklaşık 500 000 adet uygulamaya ulaşmıştır. Bununla beraber, kullanılan cihazların sayısı bu rakamı aşmaktadır. Ülkemizde ise, yaklaşık olarak son 3 yıl içerisinde, özellikle konutların ve kısmen de ticari yapıların ısıtılması/soğutulmasında kullanılmaya başlanmıştır. Ülkemizde, TKIP'ları henüz imalat aşamasına gelmemiştir.

Bu çalışmada; TKIP'larının tasarımına ilişkin teknik değerler (Amerika'da, bu sistemlerin kurulduğu yerlerde toprak ısı değiştiricisi içine konulan antifrizin bölgesel olarak kullanılıp-kullanılmayacağına tartışıldığı ve ülkemizde, yerli kaynaklarda tasarımına ilişkin henüz ana kriterlerin yayınlanmadığı bir süreçte) geniş kapsamlı olarak verilerle (uygulamadan ve yazarların kendisinin yaptığı deneylerden elde edilen deneyimler doğrultusunda), bir örnek uygulama üzerinde hesaplar sunulacaktır. Daha sonra; Amerika'da, bunların testi ile ilgili kullanılan standartlar (ülkemizde henüz olmadığı için) önemli noktalarıyla belirtilecektir. Son olarak, çeşitli ekonomik analiz yöntemleri (net bugünkü değer, basit geri ödeme süresi gibi) kullanılarak, örnek bir fizibilite (hava kaynaklı ısı pompaları ve sıvı yakıtlı kazanlar ile kıyaslamalı olarak) çalışması verilecektir. Bir bakıma; iki amaca hizmet etmeye çalışılacaktır: (a) HVAC tasarımcısına bu konuda yardımcı olunacaktır. (b) Enerji verimliliği yüksek olan böyle bir sistemin teknik yönleriyle tanıtılmasıyla ve yaygınlaşmasına katkı sağlayarak, "onlar (çocuklarımız) için temiz bir çevre bırakılmasına" önemli katkılar sağlanacaktır.

## 1.GİRİŞ

Ülkemiz, jeotermal enerji potansiyeli bakımından dünya'nın yedinci en zengin ülkesi konumundadır. Bu gelişmenin çoğu, direkt ısıtma, ısı tesisler ve sera ısıtması olmak üzere, 51 600 konut eşdeğer jeotermal ısıtma (493 MW<sub>t</sub>) olarak, jeotermal enerjinin direkt uygulamalarında gerçekleştirilmiştir [1]. Jeotermal ısı pompaları (JIP'ları) olarak da adlandırılan (bilinen) toprak kaynaklı ısı pompaları (TKIP'ları); daha yüksek enerji kullanım verimleri nedeniyle, geleneksel ısıtma ve soğutma sistemlerine karşın çekici bir seçenek oluşturmaktadır.

TKIP'ları; 1995 yılından beri, Amerika'da ve Avrupa'da % 59 veya yıllık % 9.7 olarak en fazla gelişme göstermiştir. Tablo 1'de TKIP'larının kapsite ve adetlerine göre Dünya'daki kullanımı verilmiştir. Tablodan da görüleceği üzere, dünya'daki 26 ülkede kurulu kapasitesi; 6 875 MW<sub>t</sub> ve yıllık enerji kullanımı ise, 23 287 TJ/yıl'dır. Kurulu olan cihazların gerçek sayısı, 512 678 dolayında olup, bu rakamla ilgili veri tam değildir [2,3,4]. Bunun yanı sıra, JIP'ları, son iki-üç yıldır, ülkemizde gündeme gelmiş ve birçok konutta ısıtma/soğutma amaçlı olarak uygulamaya sokulmuştur [5,6,7,8].

Bunun yanı sıra, ülkemizde, TKIP' ları henüz imalat aşamasına gelmemiştir. Isı pompasının kendisi ve toprağa döşenen borular yurt dışından ithal edilerek (bazı ekipmanları da), montajı gerçekleştirilmektedir. Ülkemizde bu konuda çalışan firma sayısı da çok azdır. Bu firmaların verisine göre, geri ödeme süresi 3-4 yıl arasında değişmektedir [8,9].

**Tablo 1.** Toprak kaynaklı ısı pompalarının (TKIP'ların) dünya çapında kullanımı [4,7].

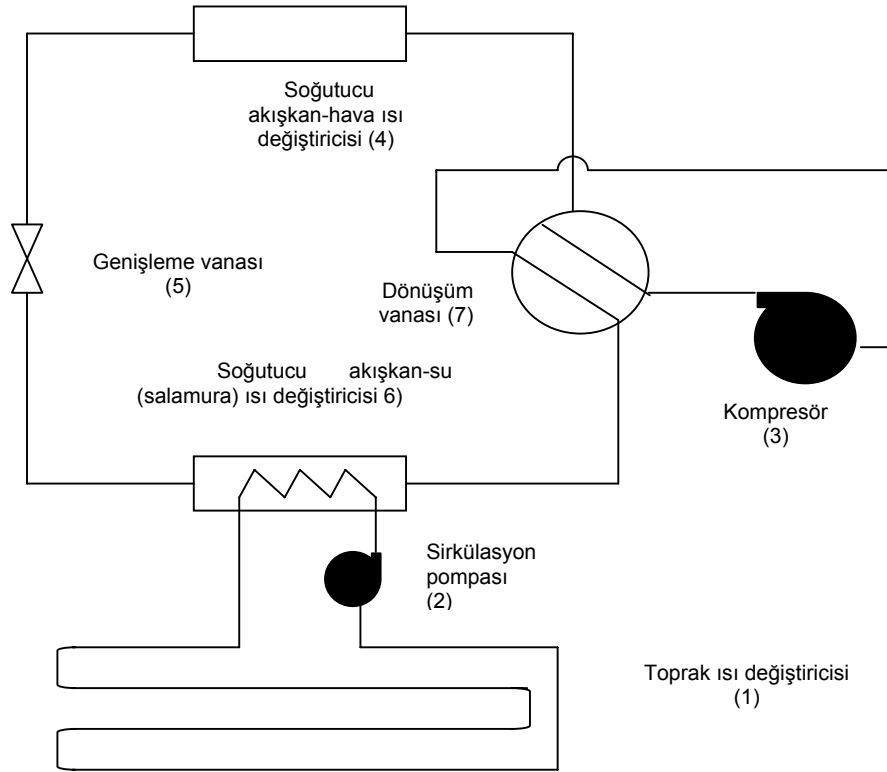
Ülke	Kurulu Kapasite			Adetler	
	MW <sub>t</sub>	TJ/yıl	GWH/yıl	Gerçek (Kullanım adedi)	12 kW Eşdeğeri
Almanya	344	1149	319.2	18000	28667
Amerika	4800	12000	3333.6	350000	400000
Avustralya	24	57.6	16.0	2000	2000
Avusturya	228	1094	303.9	19000	19000
Bulgaristan	13.3	162	45.0	16	1108
Çek Cumhuriyeti	8	38.2	10.6	390	663
Danimarka	3	20.8	5.8	250	250
Finlandiya	80.5	484	134.5	10000	6708
Fransa	48	255	70.8	120	4000
Hollanda	10.8	57.4	15.9	900	900
İngiltere	0.6	2.7	0.8	49	53
İsveç	377	4128	1146.8	55000	31417
İsviçre	500	1980	550.0	21000	41667
İtalya	1.2	6.4	1.8	100	100
İzlanda	4	20	5.6	3	333
Japonya	3.9	64	17.8	323	323
Kanada	360	891	247.5	30000	30000
Litvanya	21	598.8	166.3	13	1750
Macaristan	3.8	20.2	5.6	317	317
Norveç	6	31.9	8.9	500	500
Polonya	26.2	108.3	30.1	4000	2183
Rusya	1.2	11.5	3.2	100	100
Sırbistan	6	40	11.1	500	500
Slovak Cumhuriyeti	1.4	12.1	3.4	8	117
Slovenya	2.6	46.8	13.0	63	217
Türkiye	0.5	4.0	1.1	23	43
Yunanistan	0.4	3.1	0.9	3	33
<b>TOPLAM</b>	<b>6 875.4</b>	<b>23 286.9</b>	<b>6 453.1</b>	<b>512 678</b>	<b>572 949</b>

Şimdi farklı bir bakış açısından JIP'larını irdeleyelim. Bir bakıma, bu konuda "Biz nereye koşuyoruz ? Oysa dünya nereye koşuyor ?" sorularının cevaplarını bulmaya çalışalım: Hava sıcaklığının düşük seyrettiği bölgelerde sıkça rastlanılan yoğun kar yağışı, kış trafiğini ve emniyetli sürüş imkanını kısıtlayarak hem yöre halkının günlük hayatını hem de endüstriyi olumsuz yönde etkilemektedir. Bu bağlamda, örneğin; Sapporu (nüfusu 1.7 milyon ve yıllık kar miktarı 5 m)/Japonya'da kış trafik koşullarının iyileştirilmesi için her yıl 91 milyon US\$'dan daha fazla harcanmaktadır. Arjantin, İzlanda, Japonya, İsviçre ve Amerika'da yollardaki karı eritmek için de kullanılmaktadır. Ana uygulaması İzlanda olmak üzere, dünya'da 500 000 m<sup>2</sup>'lik yollar ısıtılmaktadır. Bu bağlamda, tekrar JIP' ları gündeme gelmektedir [10].

IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi'nde sunulan; "Geleceğin Teknolojisi: Yer Kaynaklı Isı Pompaları", isimli bildiriyle, bu sistemler, gerek tüketici gerekse konuya ilgi duyan teknik elemanlar bakış açılarıyla tanıtılmış ve aşağıdakiler ele alınmış idi [6]:

- Bu sistemlerin kısaca tanıtılması: terminoloji, uygulama şekilleri ve benzerleri,
- Bu sistemler ile ilgili sıkça sorulan sorular,
- Ülkemizde ve dünya'da bu konuda çalışanlar (dernek, imalatçı gibi)

Artık yukarıda sözü geçen aşama kısmen de olsa tamamlanmış (her ne kadar çoğu tarafından bilinmese de, bir hoşgörülü kabul ile), bundan sonraki aşamalara, başka bir deyişle; tasarım, test ve fizibiliteye gelinmiştir. Şekil 1' de [11] şematik olarak gösterilen bir JIP'nin performansı; toprak ısı değiştiricisi (ısı değiştiricisinin ve sirkülasyon pompalarının uygun tasarımı, hatta boruların etrafına konulan dolgu malzemesinin özelliklerinin doğru seçimi), ısı pompası cihazı ve ısıtma/soğutma sistemi (fan-coil ile ısıtma ve soğutma gibi)ne önemli ölçüde bağlıdır [12]. Bu çalışmada, önemli bazı kısımlar ele alınacaktır.



Şekil 1. Bir JIP'nin şematik görünüşü [11].

## 2. TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPALARININ UYGULAMA ALANLARI

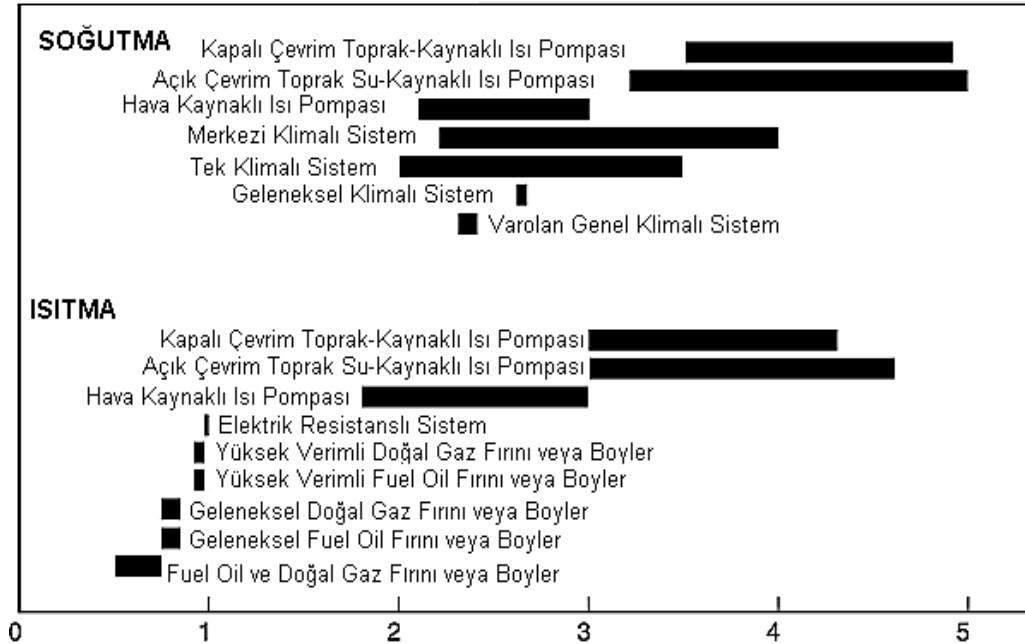
TKIP'ları, genellikle, klima ve ısıtma sistemlerine uygulanır. Bununla beraber, herhangi bir soğutucu akışkan uygulamalarında da kullanılır. TKIP'larını kullanma kararı, öncelikle ekonomisi ile alınır. Hemen hemen, herhangi bir HVAC sistemi, TKIP'sı kullanılarak tasarlanmaktadır. İlk teknik sınırlama, toprak serpantin sistemi için uygun bir yerdir. TKIP'larının en iyi uygulamaları ana başlıklar ile aşağıda verilmektedir [13]:

- TKIP'ları yeni yapılarda gider bakımından etkindir. Yararlı ömrün sonunda mevcut bir sistemin yerine kullanmak için gider bakımından etkin olabilir.
- Ya soğuk kış yada sıcak yaz iklimlerde, TKIP'ları, hava kaynaklı ısı pompaları veya diğer klima sistemlerinden çok daha etkili bir şekilde çalışabilir. TKIP'ları, diğer elektrikli ısıtma sistemlerinden dikkat çekici bir şekilde de daha etkilidir. Isıtma yakıt maliyetine bağımlı olarak, diğer ısıtma sistemlerinden işletme giderleri bakımından daha az pahalıdır.

- Günlük yüksek sıcaklık dalgalanması ile karakterize olmuş iklimlerde, TKIP'ları yüksek etkinlik gösterir. Ek olarak, geniş günlük sıcaklık dalgalanması ile karakterize olmuş iklimlerde, toprak serpantin sistemi, (işletimsel) etki katsayısına yarar sağlayabilen ısı depolama yeteneğini de elde edilir.
- Doğal gazın olmadığı veya doğal gaz maliyetinin veya diğer yakıtın elektrik ile paylaşımının yüksek olduğu alanlarda, TKIP'ları, ekonomiktir. Isıtma etkinliği % 80-90 arasında olan geleneksel sistemlerle karşılaştırıldığında, ısıtma etki katsayısı 3-4.5 arasında çalışır. Böylece, elektrik maliyeti, geleneksel ısıtma yakıtından 3.5 kez daha az olduğu zaman, TKIP'ları, daha düşük elektrik maliyetine sahiptir.
- Yüksek doğal gaz (veya fuel oil) maliyetleri, geleneksel gaz (veya fuel oil) ısıtma sistemi yerine TKIP'larını tercih edilmesine neden olur. Elektrik maliyetlerinin yüksek olması, hava-kaynaklı ısı pompası yerine TKIP'larını tercih edilmesine yol açar.
- Çoklu sıcaklık kontrol zonlarının veya tek yük kontrolünün yararlı olduğu tesislerde, TKIP'ları, tek bölge sıcaklık kontrolü için büyük yarar sağlar. Çünkü; özellikle, çoklu birimsel sistemler kullanarak tasarlanırlar.
- Sondaj maliyetlerinin düşük olduğu alanlarda, düşey toprak ısı değiştiricili sistemler, özellikle çekici olabilir.
- Nem içeriği yüksek olan topraklarla veya yeraltı suyu yüksek seviyeli alanlarda, toprak serpantin sisteminin boyutu, toplam tüm ekonomiyi iyileştirerek azaltmaktadır.

TKIP'ları yukarıda sözü geçen uygulama alanlarında tercih edilirken, aşağıda belirtilen yararları sağlarlar:

- **Etki katsayısının yüksek ve kapasitesinin kararlı olması:** TKIP'ları uygun bir şekilde tasarlandığı zaman, çevrimdeki sıvı sıcaklığı, ekipmanın, alışagelmış hava kaynaklı ısı pompası ve fosil yakıtlı düzeneklerden daha fazla yüksek bir etki katsayısıyla ve ekonomik olarak işletilmesini sağlar. Soğuk su, sıcak hava yerine ekipmanın kondenserine beslenir, böylece kompresörde daha düşük güç ihtiyacı gerekerek, düşük soğutucu akışkan basınç farklarında işletilir. Isıtma modunda ise, dış havadan daha fazla sıcak olan sıvılar, evaporatördeki (buharlaştırıcıdaki) soğutucu akışkana ısı verirler. Bu ise; daha yüksek kapasite ve hava sıcaklığı sağlar. Çevrim sıcaklıkları, dış hava sıcaklıklarıyla çok az değişir. Bu yüzden kapasitesi kararlıdır. TKIP'ları, aynı zamanda, daha büyük yapılarda yaygın olarak kullanılan merkezi ve değişken-hava debili sistemlere kıyasla, çok daha küçük fan ve pompa enerjisini gerekli kılar.



Şekil 2. Nominal performans katsayısı [13].

- **Bakım giderinin az olması:** TKIP'ları, dış ünite olmadan kurulabilirler. Böylece, korozyon ve hava etkisiyle oluşan değişiklikler olağan sorunlar değildir. Tüm ısı pompası ekipmanı, iç ünite şeklindedir. Ekipman, geleneksel ekipmanla ortaya çıkan yüksek veya düşük soğutucu akışkan basınçlarıyla asla karşı karşıya kalınmaz. Çoğu sistemde, yüksek bakımlı soğutma kulelerinden kaçınılabilir [5].
- **Çevre dostu olması:** EPA (Amerikan Çevre Koruma Acentası) raporuna göre, TKIP'ları; "*analiz edilen tüm teknolojilerin en düşük CO<sub>2</sub> emisyonları ve en düşük toplam çevre giderleri*" olan sistemler olarak tanıtılmaktadır. İyi tasarlanan ve kurulan TKIP'larının etkinliğinin artması, gerekli olan enerji miktarını azaltır. Böylece, bundan kaynaklanan kirleticiler ve diğer emisyonlar azaltılır [5].

### 3. TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASI TEKNOLJİSİ UYGULANIRKEN GÖZ ÖNÜNE ALINACAK ÖNEMLİ HUSUSLAR

TKIP'sı teknolojisinin uygulanması düşünüldüğü zaman, aşağıda belirtilen önlemler göz önünde bulundurulmalıdır:

- Toprak çevriminde dişli plastik boru bağlantılarından sakının. Özel ısı kaynak kullanın. Su çevrim sıcaklığı 60°F-90°F (15.6°C-32.2°C) aralığında olan geleneksel su kaynaklı ısı pompası sistemlerinden farklı olarak, toprak kaynaklı sistemler; daha geniş sıcaklık aralıklarında, örneğin; 20°F-110°F (-6.7°C-43.3°C) kullanılır. Bu yüzden, genişleme ve büzülme sonucu, dişli bağlantılar çatlamaya ve sızıntıya neden olur. Özel borulama ve onaylanmış birleştirme yöntemleri de genellikle Uluslararası Toprak-Kaynaklı Isı Pompaları Birliği (International Ground-Source Heat Pump Association; IGSHPA) tarafından önerilir.
- Yerel su ve kuyu yönetmeliklerini kontrol edin. Açık çevrim sistemlerini etkileyen yönetmelikler yaygın olup, yerel yönetmelikler önemli bir şekilde değişebilir. Bazı yerel yönetmeliklere göre, yüzey drenajından çok kuyuya tekrar dönüşüm (reenjeksiyon) gerekebilir.
- TKIP'sı sisteminin bileşenlerini eksiksiz olarak monte edin. Her birinin uygun bir şekilde tasarlanmış, ölçülendirilmiş ve yerleştirilmiş olması gerekmektedir. Tek bir ekibin sorumluluğu altında yerleştirilmiş olması da gerekmektedir. Tüm sistem üç profesyonel grup tarafından yerleştirilirse, anlaşılamayacak veya sistemin diğer iki grubu değerlendiremeyecek, sonra, sistem başarılı bir şekilde oluşturulamayacaktır. Bu problemler sistemin hatası değil, fakat tasarımcıların ve yerleştiricilerin hatası olacaktır.
- Örnek gösterilen sık problemlerden biri, ısı pompası ve toprak serpantin sisteminin uygunsuz ölçülendirilmesidir. Onaylanmış hesaplama prosedürü, teknoloji ne olursa olsun klima sistemi ölçülendirme prosesi içinde kullanılmalıdır. ASHRAE'de, ısıtma ve soğutma yüklerinin tasarımının belirlenmesi için çok yaygın şekilde bilinen ve kabul edilen standartlar mevcuttur. Toprak serpantin sisteminin ölçülendirilmesi halen tartışma konusudur. Toprak koşullarının belirsizliği yüzünden, toprağın ısı iletim katsayısını ve diğer ısı transfer özelliklerini belirlemek için, alan analizi gerekli olabilir. Bu, tasarımcının sorumluluğu olmalıdır. Çünkü, son tasarımı önemli bir şekilde etkilemektedir.
- Deneyimsiz tasarımcı ve yerleştirme elemanlarından sakının. Tasarımcının ve montaj elemanlarının önceki denemelerini kontrol edin. Sertifikalı montajcılar, IGSHPA (Amerikan Uluslararası Toprak Kaynaklı Isı Pompası Derneği) tarafından önerilir [13].

#### 4. TÜRKİYE'DEKİ MEVCUT DURUM

Ülkemizde yeni teknolojilerin gelişimi sürecinde, zaman zaman ilginç durumlar yaşanmaktadır. Örneğin; rüzgar enerjisiyle elektrik üretimi gündeme gelme sürecinde, bazı kişiler buna gülmüşler ve ancak son birkaç yıldır, kabul görür hale gelmiştir. TKIP'lerinde de benzer durumlar yaşanmıştır. Oysa bu sistemler 40 yılı aşkın süredir yurt dışında yaygın olarak kullanılmış ve iyi bir şekilde denenmiştir. Üç yıl önce bu sistemler, öncelikle konutlarda uygulanmaya başlamış ve yavaş yavaş yaygınlaşmaya başlamıştır. Ancak bu süreç oldukça yavaş geçmektedir. Tablo 2 ve 3'de, Ocak 2001 tarihi itibarıyla ülkemizde kurulan TKIP'lerin dağılımı verilmiştir [7,8,9].

**Tablo 2.** Ocak 2001 itibarıyla ülkemizde kurulan düşey toprak ısı değiştiricili toprak kaynaklı ısı pompalarının dağılımı [7,8,9].

Uygulama Durumu	Şehir	Bina tipi/ Bina Adeti	Toplam Döşeme Alanı (m <sup>2</sup> )	Döşeme Alanı Aralığı (m <sup>2</sup> )	IP (Isı Pompası) Cihazı Adedi (Tip <sup>1</sup> )	Toplam Delme Derinliği (Sondaj Kuyusu Sayısı) (m)	Sondaj Kuyusu Aralığı (m)	Topl. IP Chaz Kapasitesi (kW)	IP Cihazı Kapasite Aralığı (kW)	12 kW Eşdeğer IP Cihaz Sayısı	
T A M A M L A N A N	K <sup>4</sup>	İstanbul	Villa / 13	4828	276-535	13 (5 IS 8 I)	2466 (21)	100-180	226.2	10.2-38	19
		İzmit	Villa / 1	230	230	1 (I)	90 (2)	45	9.0	9	
	Ara Toplam 1		Villa/ 14	5058	230-535	14 (5 IS 9 I)	2556 (23)	45-180	235.2	9-38	19
	T <sup>5</sup>	Diyarbakır	Show room / 1	1200	1,200	3 (IS)	1600 (10)	160	122.4	38-46	10
		İzmir	Ofis Binası/ 1	49 Ofis		1 (IS) <sup>5</sup>	625 (5)	125	46.0	46	4
	Ara Toplam 2		2	1200 +49 Ofis		4 (IS)	2225 (15)	125-160	169.0	38-46	14
Ana Toplam 1		16	6258 +49 Ofis		18 (9 IS 9 I)	4781 (38)	45-180	404.2	9-46	33	
S Ü R E G E L E N	İstanbul	Villa / 40	13200	330	40 (I) <sup>2</sup>	6400 (40)	160	624.0	15.6	52	
		Villa/ 36	7416	206	36 (IS)	13500 (108)	125	561.6	15.6	47	
		Villa/ 28	6328	226	28 (IS)	10500 (84)		436.8		36	
		Villa/ 20	5640	282	20 (IS)	7500 (60)		312.0		26	
		Villa/ 16	4944	309	16 (IS)	4800 (32)		150		163.2	14
		Villa/ 10	3160	316	10 (IS)	3000 (20)	150	102.0	8		
		Villa/ 21	3948	188	21 (IS)	6300 (42)	150	214.2	18		
		Villa/ 88	11968	136	88 (IS)	11880 (88)	135	642.4	7.3	54	
	Ara Toplam 3		259	56604	136-330	259 (219 IS 40 I)	63880 (474)	125-160	3056	7.3-15.6	255
ANA TOPLAM		275	62862 + 49 Ofis	136-1200	277 (228 IS 49 I)	68661 (512)	45-180	3460	7.3-46	85	

<sup>1</sup>Sadece ısıtma: I

<sup>2</sup>Isıtma ve Soğutma Birlikte: IS

<sup>3</sup>Aktif Soğutma

<sup>4</sup>K: Konut

<sup>5</sup>T: Ticari

<sup>6</sup>Aslında iki cihaz gereklidir. Bundan ötürü, ikinci cihaz daha sonra kurulacaktır.

<sup>7</sup>Cihazın markası aynı, ama tasarımcı farklıdır.

Şu sıralar, ülkemizde, 60'ın üzerinde TKIP'sının çeşitli firmalarca montajının gerçekleştirildiği tahmin edilmektedir. Ancak, bu çalışmalarda, yurt dışından ithal edilen TKIP'sı cihazları kullanılmıştır. Bunun yanı sıra paket programlardan yararlanılmıştır. Başka bir deyişle, TKIP'ları halen ülkemizde imal edilmemektedir. Bunun yanı sıra, ülkemizdeki üniversitelerde yapılan deneysel çalışmalar, başka yerde geniş kapsamlı olarak verilmiştir [14].

Bu bağlamda, ülkemiz ölçeğinde aşağıda belirtilen ana sonuçlar çıkarılabilir [6,7,8,9].

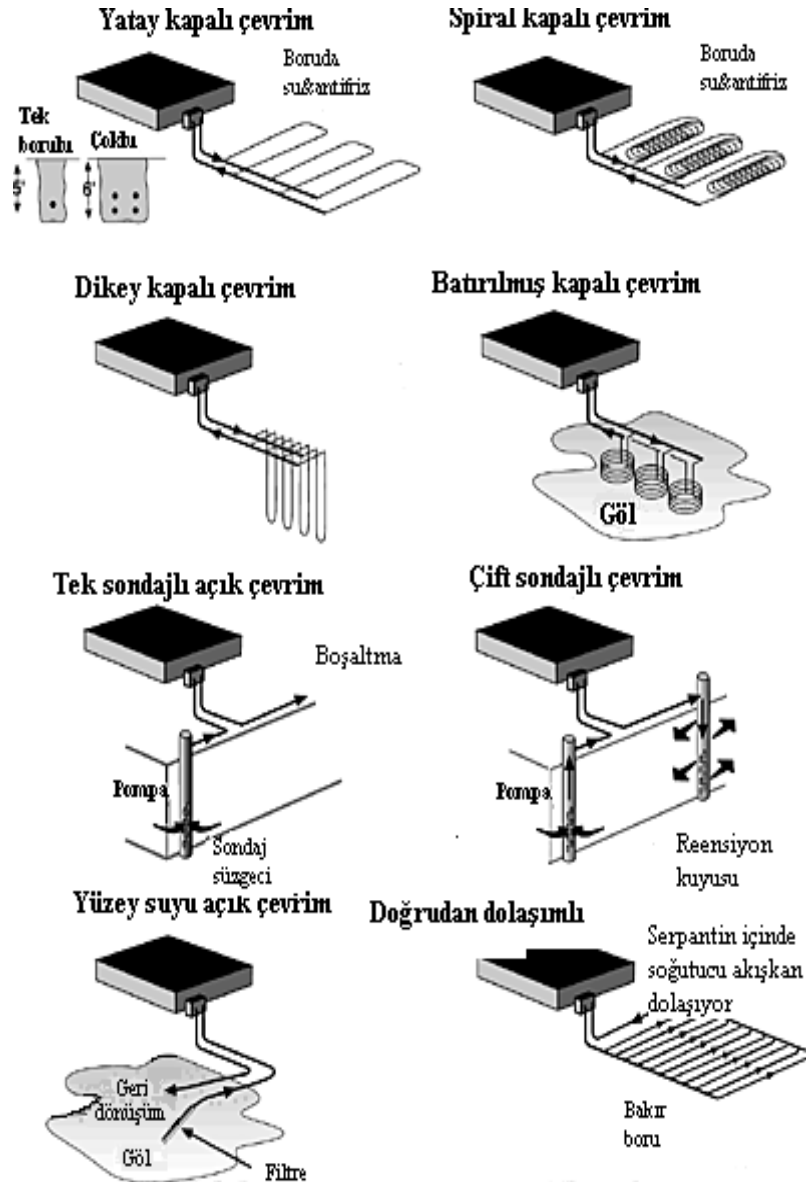
- Ülkemizde kurulan TKIP 'ları ile ilgili bilgilerin toplanmasında önemli sıkıntılar yaşanmaktadır. Bu cihazların satıcıları, net bilgileri vermekten çekinmektedir. Ayrıca, ülkemizde kurulan tesislerden elde edilen deneyimlerin açıklandığı çalışmalar gereklidir.
- Ülkemizde, TKIP' sını satan birkaç firma vardır. Bununla beraber, TKIP' sı yurt dışından ithal edilmekte ve imalatı henüz gerçekleştirilmemektedir.
- Bu sistemler, daha çok yüksek gelirli kişiler tarafından tercih edilmekte, iş yerlerinde kullanımı oldukça sınırlıdır.
- Bu sistemlerin ülkemizde yaygınlaşmasındaki en önemli etkenlerden biri, ilk yatırımın maliyetinin yüksek olmasıdır. Bu bağlamda, gerekli teşvikler sağlanmalıdır.
- TKIP' sının yararlarını gösteren, iyi denenmiş ve sonuçları test edilmiş gösteri yerlerine gerek vardır.
- Bu konuda etkin kampanyalar yürütülmelidir.
- Amerika'da olduğu gibi, bu konuda "Türkiye Toprak Kaynaklı Isı Pompası Birliği (veya Isı Pompası Birliği)" kurulmalı, yada ülkemizdeki mevcut derneklere/birliklere bir birim altında entegre edilmeli ve etkinliği artırılmalıdır.

**Tablo 3.** Ocak 2001 itibariyle ülkemizde kurulan yatay toprak ısı değiştiricili toprak kaynaklı ısı pompalarının dağılımı [7,8,9].

Uygulama Durumu	Şehir	Bina Tipi/Bina Adedi	Toplam Döşeme Alanı (m <sup>2</sup> )	Isı Pompası (IP) Cihazı Adedi (Tip <sup>1</sup> )	Toplam Boru Uzunluğu (m)	IP Kapasitesi (kW)	Toplam IP Kapasitesi (kW)	12 kW Eşdeğer IP Cihaz Sayısı
T A M M L A N A N	İstanbul	Villa / 2	1400 +400 = 1800/	2 / (IS)	1690 + 600 = 2290	38 ve 15	53.0	10
	Ankara	Villa/ 1	525	1 / (I)	850	46.2	4 6.2	
	Bolu	Ağaçtan Ev / 1	240	1 / (I)	420	9.0	9.0	
	Mersin	Villa/ 1	435	1/ (I)	600	15.0	15.0	
<b>TOPLAM</b>		5	3000	5/ (2 IS 3 I)	4160		123.2	

## 5. UYGULAMA ŞEKİLLERİ

TKIP'ları, toprağın kullanıldığı sistemlerin, yer sularının ve bir ısı kaynağı olarak yüzey sularının türleri için tümü dahil bir terim olarak kullanılmaktadır. Pazar veya kuruluş ihtiyaçlarının çeşitliliğini, karşılaştırmak için kullanılan birçok paralel terimler, örneğin; jeotermal ısı pompaları (JIP), yer enerji sistemleri ve toprak kaynaklı sistemler söz konusudur. Bununla birlikte, ASHRAE tarafından standart bir adlandırma şekli oluşturulmuştur. Şekil 3'de [14,15], kapalı devre serpantinli TKIP'ları (TSIP), yer altı suyu ısı pompaları (YASIP) ve yüzey suları ısı pompaları (YSIP)'na ayrılmış olan TKIP'larının değişik birkaç örneği gösterilmiştir.



Şekil 3. Jeotermal (toprak kaynaklı) ısı pompası tipleri [14, 15].



## 5.1. Toprak Kaynaklı Isı Pompaları Tipleri

### 5.1.1. Toprak Serpantinli (Isı Değiştiricili) Isı Pompaları (TSIP )

TSIP; TKIP'nin bir alt takımını oluşturur ve sıklıkla kapalı çevrimli serpantin TKIP'ları olarak söz edilir. TSIP, toprak içine gömülmüş kapalı bir yer ısı değiştiricisine bağlanmış, tersine çevrilebilir bir buhar sıkıştırmalı çevrimden oluşan bir sistemdir. Çok yaygın bir şekilde kullanılan ünite, bir sıvı-soğutucu serpantin ve gömülmüş boru şebekesinde bir su veya su-antifriz karışımının dolaştırıldığı, su-hava ısı pompasıdır. Isıtılmış veya soğutulmuş olan hava geleneksel hava-soğutucu serpantin ve kanal sistemleri vasıtasıyla dolaştırılır. Su-su ısı pompaları da, hidronik (sulu sistem) serpantin ile desteklenmiş hava sistemlerine yerleştirmek suretiyle kullanılmaktadır. TSIP'nin üçüncü tipi, soğutucunun doğrudan toprağın içine konulmuş bakır boru serpantininde dolaştığı TSIP'nin direkt genişmeli sistemdir (DG). Bu sistemler, normal olarak, hidronik sistemin kullanılıyor olmasına rağmen, zorlanmış hava dağıtım sistemini içerirler. Su-hava ve su-su ısı pompalarının kullanıldığı sistemleri, sıklıkla direkt genişmeli TSIP'ından ayırt etmek için, içinde ikincil akışkanın dolaştığı serpantinli TSIP olarak gösterilmektedir. Bu sistemlerde, normal olarak, zorlanmış hava dağıtım sistemleri kullanılmasına rağmen, hidronik sistemlerde de uygulanabilir. Bu çalışmada, ikincil akışkanlı sistemlerin tasarımı üzerine yoğunlaştırılmış ve direkt genişmeli sistemler ele alınmayacaktır.

TSIP; toprak ısı değiştirici tasarımına göre de sınıflandırılmıştır. Dikey TSIP, genellikle dikey bir sondaj deliği içinde, iki küçük çaplı, yüksek yoğunluklu polietilen (PE) boruların yerleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Borular, en altta U şeklinde bir dirsek ile ısıl olarak kaynatılmıştır. Düşey boru ebatları, ¾ -1½" nominal çap aralığında değişmektedir. Sondaj deliği derinliği yerel delme koşulları ve mevcut ekipmana bağlı olarak, 15– 180 m arasındadır.

Dikey TSIP'nin yararları; sıcaklık ve ısıl özellikler içinde çok küçük değişiklik gösteren toprak ile temasta olan yerin göreceli olarak küçük bir alanını gerektirmesi, boru ve pompalama enerjisinin en küçük olması ve en etkin TSIP sistem performansını vermesidir. Sakıncaları ise; uygun ekipman ve kurma personelinin sınırlı bulunuşundan dolayı, maliyetin yüksek olmasıdır.

Çoğu mühendis, çok devirli veya değişik devire sahip olan merkezi pompalar ile merkezi bir çevrimi birleştirmeyi tercih eder. Bu uygulamanın, geleneksel soğutulmuş su sistemlerine göre birkaç ekonomik yararı varken, TSIP sistemlerinde, ekonomi ölçeğinde aynı derecede yararlı değildir. Mühendisler, Şekil 2'de gösterilen diğer seçenekleri, çok özenli bir şekilde analiz etmek zorundadır. Toplam yer çevrimi, hafif bir şekilde merkezi bir çevrimden daha geniştir. Fakat, koruma, azaltılmış iç borulama ve birkaç kontrol vasıtasıyla gerçekleştirilebilir.

Yatay toprak ısı pompaları üç gruba ayrılmıştır: Tek borulu, çoklu borulu ve serpantinli. Tek borulu yatay TSIP, ilk olarak en azından 1.2 m derinlikte dar hendekler halinde yerleştirilmektedir. Bu tasarım, büyük bir yer alanını gerekli kılmaktadır. Çoklu borular (genellikle 2 veya 4), istenen yer alanının miktarını azaltarak tek hendek içine yerleştirilir. Müteahhit tarafından, hem derin dar hendekler hem de geniş hendekler 0.3 m'den 0.6 m'ye kadar ayrılmış borular ile kullanılırlar. Hendek uzunluğunun azaltılması mümkün olmasına rağmen, toplam boru uzunluğunun, bitişik borular ile ısı etkileşimini yenmek için çoklu borulu TSIP'nin ile artırılması zorunludur. Slinky tipi serpantin, istenen yer alanını azaltmak için kullanılabilir. Bu yatay toprak ısı değiştiricileri, geniş hendeğin altında, dar hendek veya yayılmış kat içine dikey olarak yerleştirilen serpantin içine sıkı serpantinden küçük çaplı PE boruyu uzatarak döşenebilir. İstenen hendek uzunluğu, sadece tek borulu yatay TSIP'nin % 20-30'dur. Fakat boru uzunluğu, önemli bir şekilde, eşdeğer ısı performansı için artırılabilir.

Yatay TSIP'nin yararları; düşey TSIP'dan tipik bir şekilde daha az pahalı olmasıdır. Çünkü; uygun yerleştirme elemanları yaygın şekilde mevcuttur. Çoğu yerel uygulamalar, yer alanına uygun olup, daha fazla yetişmiş teknik eleman söz konusudur. Daha fazla toprak alanı gerektirmesine ek olarak, sakıncaları; mevsim, yağmur ve kazılmış derinlikle ilgili olarak yatay yer sıcaklıkları ve ısıl özellikleri düzensizce değiştiğinden dolayı, performansında daha büyük zıt değişimler ve daha yüksek pompalama enerjisi ihtiyacı olmasıdır.

### 5.1.2. Yeraltı Suyu Isı Pompaları (YASIP)

TKIP'lerinin ikinci alt grubu; yeraltı suyu ısı pompalarıdır. TSIP'nin son gelişmelerine kadar, YASIP, TKIP'nin en çok kullanılan bir tipi olmuştur. Ev sahiplerini, TSIP'nin düşük bakımı çekmiştir, böylece çoğu potansiyel müşteri YASIP'tan sakınmıştır. Ticari sektörde, YASIP, geniş su miktarı, çok küçük yer alanı gerektiren nispeten ucuz kuyudan çekilmesi yüzünden çekici bir alternatif olabilir. Ton başına toprak ısı değiştiricisinin maliyeti, nispeten TSIP için sabit iken, kuyu suyu sistemlerinin maliyeti (ton başına temel üzerine) geniş bir sistem için çok daha düşüktür. Tek yüksek-hacimli kuyu, tüm bir bina için kullanılır. İyi-geliştirilmiş su kuyusu ile uygun bir şekilde tasarlanmış yer altı suyu çevrimi, geleneksel hava ve su merkezi HVAC sistemleri daha çok bakım istemez.

Çeşitli sistemler söz konusudur. Bununla beraber, yaygın olarak kullanılan sistemler; binaya yerleştirilmiş olan su-hava ısı pompalarına bağlanan yeraltı suyu ve kapalı su çevrimi arasındaki merkezi su-su ısı değiştiricileri olan sistemlerdir. Daha küçük binalarda, her bir ısı pompası vasıtasıyla yer altı suyunu direkt bir şekilde dolaştırmak mümkündür. İyileştirilmemiş su; serpantin ve kontrol vanalarında korozyon ve kirlenme problemlerini minimize etmek için gereklidir. Üçüncü olasılık, yer altı suyunu merkezi bir soğutucu vasıtasıyla dolaştırmak ve boru dağıtım sistemi ile binayı ısıtmak ve soğutmaktır.

Amerika'nın çoğunda, sistemlerin bu üç tipi ve diğer çeşitler, direkt ön soğutma veya soğutma olasılığını verir. 60 °F(15.56 °C)'in altındaki yeraltı suyu, seri veya paralel ısı pompası ile hidronik serpantin vasıtasıyla dolaştırılabilir. Bu, soğutma için istenen enerjinin büyük bir miktarı yerinden çıkartılabilir.

TSIP ile karşılaştırıldığında, YASIP'nin yararları olarak, maliyetinin daha düşük olması, kuyu suyu birleştiricileri ve yaygın kullanımı sayılabilir. Sakıncaları ise, yerel çevresel düzenlemelerin kullanım ve yer altı suyu reenjeksiyonunu engellemesi, suyun sınırlı olması, eğer kuyu, uygun bir şekilde geliştirilmemişse veya su kalitesi zayıfsa, kirlenme ön uyarısı gereklidir.

### 5.1.3. Yüzey Suyu Isı Pompası (YSIP)

Yüzey suyu ısı pompaları, uygulamalardaki benzerlik ve yerleştirme metotları yüzünden, TKIP'nin bir alt grubu olarak söz konusu olmuştur. YSIP, hem kapalı-çevrim TKIP'si sistemlerine hem de açık-çevrim YSIP sistemlerine benzerdir. Bununla birlikte, yüzey suyunun ısıl karakteristikleri, toprağinkinden oldukça farklıdır. Bazı tek uygulamalar, mümkündür ve özel önlem alınabilir.

Kapalı-çevrim YSIP, binaya yerleştirilen, su-hava veya su-su ısı pompalarına ve göl, nehir veya diğer açık sulara yerleştirilen boru ağına bağlanmasıyla oluşmuştur. Bir pompa, ısı pompalarının su-soğutucu akışkan serpantinleri vasıtasıyla su-antifriz karışımını dolaştırır ve ısıyı, gölden transfer edilen batırılmış boru çevrimine pompalar. Önerilmiş borulama malzemeleri, ultraviyole radyasyon korumasının bazı tipi ile yüksek yoğunluklu polietilen (PE) boruyu ısıl fizyonla birleştirilmektedir. Bakır ve polibütlen de kullanılmaktadır. Fakat, polivinil klorid (PVC)ten sakınılmalıdır. Çoğu montajlarda, başlıca ısı değiştirici serpantinleri için ¾" veya 1" çapında PE boru kullanılır. Daha geniş çaplı (1 ¼" veya 1 ½"), daha kalın cidarlı boru, gemilerden zarar görebilen alanlar için önerilir. Serpantinler, basınç kayıplarını minimize etmek için çoklu paralel borulama örneklerinde düzgün bir şekilde düzenlenmektedir. Başlıca ısı değiştirici serpantinlerine bağlanan ana kolektörler, kayıpları minimize etmek için ölçülendirilmektedir ve normal olarak diğer serpantin borularından daha geniş çaplıdır.

Kapalı çevrim YSIP'nin yararları; nispeten daha düşük maliyet (TKIP ile karşılaştırıldığında), düşük pompalama enerji ihtiyaçları, yüksek güvenlik, düşük bakım ihtiyaçları ve düşük işletme maliyetleridir. Sakıncaları ise, halka açık göllerde ve göller küçük ve/veya sığ ise dış koşullarla geniş sıcaklık değişikliklerinde serpantin zararı olasılığıdır. Bu, yeterlilik ve kapasitedeki bazı arzu edilemeyen değişikliklerden kaynaklanabilir.

Açık çevrimli YSIP'lerinde, fan enerjisi ve sık bakım için ihtiyaç olmaksızın soğutma kulelerine benzer bir tarz içinde yüzey suyu kullanılabilir. Sıcak iklimde, göllerden, kışın ısıtma modu esnasında ısı

kaynağı olarak da yararlanılabilir. Bununla birlikte, kapalı-çevrim sistemleri, daha soğuk iklimlerde ısıtma için sadece uygulanabilir bir seçenektir.

## 6. TASARIM METODOLOJİSİ

Literatürde [13,15,16], TKIP'sı sisteminin tasarımı ile ilgili olarak değişik yöntemler verilmiştir. Aşağıda, aşama aşama bir yöntem verilmektedir.

- Yerel tasarım koşullarını, iklim ve toprak ısı karakteristiklerini belirleyin.
- Tasarım koşullarında bina ısıtma ve soğutma yüklerini belirleyin.
- İç hava dağıtım sistemi dahil, alternatif HVAC sistem bileşenlerini seçin. (b) şıkında hesaplanmış ihtiyaçları karşılayacak ekipmanları seçin (ısı pompası ısıtma ve soğutma kapasitesi ve etkinliğini belirlemek için giriş su sıcaklığının başlangıçta tahmin edin).
- Aylık ve yıllık bina ısıtma ve soğutma enerji ihtiyacını belirleyin.
- Toprak serpantini (ısı değiştiricisi) tipinin başlangıç seçimini yapın.
- Toprak serpantin sisteminin başlangıç tasarımını belirleyin.
- Toprak serpantin sisteminin ısıl direncini belirleyin.
- İstenen toprak serpantin sisteminin uzunluğunu belirleyin; sistem yükü ve toprak ısı değiştiricisi sistemi bazında, toprak ısı değiştiricisi giriş/çıkış su sıcaklıklarını tekrar hesaplayın., sistem yükünü ve toprak serpantin sistemine giren ve mevcut su sıcaklıklarını tekrar hesapla.
- Toprak serpantin sisteminin etkinliği ile sistem yükünün ihtiyaçlarını dengelemek için istenen toprak serpantin sistemini tekrar tasarlayın.
- Sistemin ( veya sistem tasarım alternatiflerinin) ekonomik analizini yapın.

Toprak ısı değiştiricisi sistemi için tasarım prosedürü iteratif ve bazen zor bir işlem olmasına rağmen, literatürde bu işi yapmak için bazı çalışmalar vardır. İlk olarak, tecrübeli tasarım müteahhitleri, ısı pompası ve toprak serpantin sisteminin tasarımının sorumlusu olarak görev yapmalıdırlar. TKIP'sı ekipmanının birkaç üreticisinin, ticari sistemlerin tasarımı ilgili olarak kendi paket programları vardır. Bu programlar, TKIP'ları HVAC sistemleri ve toprak serpantin sistemlerinin tasarımında kullanılır. Birkaç paket program (toprak çiftleri analizi ve toprak çevrim ısı değiştirici tasarım programı dahil) Amerika'daki IGSHPA' dan temin edilebilir. Ek olarak, birkaç teknik tasarım el kitabı, IGSHPA ve ekipman üreticileri tarafından hazırlanmıştır.

TKIP'larını HVAC tasarımıyla birleştirmek için birkaç farklı yöntem vardır. Çoğu HVAC teknolojilerinde olduğu gibi, TKIP'larında, daha büyük ünitelerin daha küçük ünitelere göre daha büyük etki katsayısını sağladığı genel kuralı söz konusudur. Daha büyük üniteler de, ton başına bazında, daha küçük ünitelerden genellikle daha az pahalıdır ve ekonomik göstergede toplam sistem maliyetini önemli ölçüde etkileyebilir. Bununla birlikte, ticari tip tesis için TKIP'larının çoğu uygulamaları, genel bir su çevrimi ve birleştirilmiş toprak serpantin sistemine bağlanmış çoklu ısı pompası ünitelerini içerir. Bazı acentaların, daha büyük boyuttaki ekipman ile deney yapıyor olmalarına rağmen, çoğu üreticiler, daha küçük sistemleri desteklemektedir (1/2 -15 ton veya 1.8- 52.8 kW) [13].

Tablo 2'de, TKIP'larında izlenecek tasarım aşamaları gösterilmiştir. Birinci adım, mevcut birçok bilgisayar programı ile veya el kitaplarında bulunan metotlarla yapılmaktadır [17]. İkinci adım, ekipman seçimidir ve bu her bölge için farklı tasarım koşullarında kapasite ve yeterliliğe göre bir seçim gerektirir. Üçüncü adımda ise, toprağın ısı iletim gibi bazı özellikleri, boru tipi, boyutu ve gereken boru uzunluğu hesaplamaları yer almaktadır [18].

### 6.1. Toprak Isı Değiştiricisinin Tasarımı

Toprak kaynaklı sistemler, kuyu sistemlerinden farklı bir şekilde çalışır. Kuyu sistemlerinde, aküferdeki su, bir ısı kaynağıdır. Toprak kaynaklı sistemlerde ise, toprak kitlesi kendi kendine, bir ısı kaynağıdır. Boru içindeki sıvı dolaşımını sağlamak ve istenilen ısı akımını almak için, toprak malzemesi arasındaki

farklı sıcaklıktan dolayı, ısı pompasında, sıcaklığı; en düşük 25 °F (-3.9 °C) ve en yüksek 100 °F (37.8 °C) olan sıvı dolaştırılmalıdır [16].

Bu toprak kaynaklı uygulamalar için ısı pompası seçildiğinde, ünitenin, bu minimum ve maksimum sıcaklık aralığında çalışması son derecede önemlidir. Piyasadaki bazı modellerde, su giriş sıcaklığı 45 °F (7.2 °C)'tan 85 °F (29.4 °C) veya 60 °F (15.5 °C)'tan 85 °F (29.4 °C) gibi çok daha küçük çalışma aralıkları söz konusudur. Bu cihazlar, toprak kaynaklı uygulamalarda memnuniyet verici şekilde çalışmazlar.

Isı; toprağa gömülmüş, içinden akışkanın geçtiği borular ile toprak arasında transfer edilir. Bir pompa, bu akışkanı dolaştırmak için kullanılmaktadır. Kazılmış yatay hendekler veya dikey deliklere yerleştirilmiş plastik borular, ısı transfer akışkanını taşımaya yararlar. Yatay borular, genellikle kuzey yarım kürede 3-6 ft (0.91-1.82 m)'in altındaki katmanlara döşenmektedir. Boruların derine gömülmesi, kışın güneşin etkisini azaltır.

**Tablo 2.** TKIP sisteminin tasarım aşamaları [18].

TASARIM AŞAMASI	AÇIKLAMA
A. Binanın Yüğü	Kat planını zonlara bölün. Her bir zon için ısı kaybı/kazancı hesaplamaları yapın. Bir merkezi veya çoklu toprak devresi için bina alanı grubunu ele alın.
B. Ekipman Seçimi	Tasarım koşullarında kapasite ve yeterliliğe bağlı olarak her zon için ısı pompası seçimini yapın. Isı kaybı, sıcaklık alanları, paket tipi, ses, servis incelenin. Eğer mümkünse su kaynağı su ısıtma ve soğutucu ekipmanı belirleyin. Havalandırma sistemi bileşenleri-kanal, ısıyı geri kazanım, boru vs.- seçimini yapın.
Ca- TKIP	<b>Toprak özelliklerini belirleyin.</b> <b>Tüp tipini, ölçüsünü, delik ayrılmasını, geri doldurmayı belirleyin.</b> <b>İstenen sonda hesabını yapın.</b> <b>İç başlığı tasarlayın.</b> <b>Tasfiye sistem tasarımını yapın.</b>
Cb-YASIP	<b>Yer altı su miktarını/kalitesini belirleyin.</b> <b>İstenen kuyu akışını belirleyin.</b> <b>Su boşaltım metodunu belirleyin.</b> Yer altı suyu ile ısı değiştiricisi çevrimini belirleyin.
Cc-YSIP	<b>Su deposu için akış, derinlik ve sıcaklık (yüksek/düşük) bulun.</b> Özel serpantin ölçüsünü ve tipini hesaplayın. <b>İstenen serpantin uzunluğunu hesaplayın.</b> Dış başlıkları tasarımını yapın. Tasfiye sistemi tasarımını yapın.
D. Binanın Borulamasının Tasarımı	Merkezi çevrim ile çoklu çevrimin yararlarını tartışın. Alçak basınç kaybı için yol ve ölçü borulama sistemini tasarlayın. Isı pompası ve izolasyon vanaları için kontrol sistemi sağlayın. Malzemeleri-giriş borusu, antifriz, inhibitör- belirleyin.
E. Pompa ve Kontrol Metodunu Belirleme	Merkezi pompalar veya uzak çoklu pompaların yararlarını tartışın. Pompa eğrisi üzerinde maksimum yeterliliğe yakın çalışan pompayı seçin. Pompa kontrol seçeneklerini inceleyin- kontrolsüz, çoklu hız, çeşitli hız. Toplam isteğin % 10'undan daha büyükse çevrim pompa gücünü hesaplayın ve sistemi tekrar tasarlayın.
F. Diğer Alternatifleri İnceleme	<b>İstenen toprak çevrim boyunu azaltmak için daha yüksek yeterlilikte ısı pompası kullanılamaz mı?</b> Boru boyunu azaltmak için soğutma kulesi veya soğutucu akışkan kullanılamaz mı? <b>Sonda ayrılması veya serpantin tüp ölçüsünü artırma veya azaltma yapılamaz mı?</b> Çoklu çevrim ve pompa vs. merkezi çevrime ve pompanın maliyetine bakın - kontrol maliyeti dahil.

Kullanılan sıg derinlik dolayısıyla, antifriz; sistemdeki suyun donmasını önlemek ve topraktaki suyun donması halinde, toprak malzemesinden alınan ısıyı kullanarak kapasite sağlamak amacıyla, sulu sistemlerde kullanılmaktadır. Kullanılan antifriz; genellikle propilen glikol veya kalsiyum klorittir.

Güney yarım kürede, borular; 4-12 ft (1.22- 3.65 m)'in altındaki katmanlara döşenmektedir. Bu, sistem performansı üzerindeki yaz güneşinden kaynaklanan yüksek toprak sıcaklığının etkisini azaltmak içindir. Kazılmış dikey delikler (sondaj), 300 ft (91.44 m) derinde olabilir. Bu, delme esnasında karşılaşılan malzemenin tipine bağlı olacaktır. Çoklu delikler, bir derin delikten daha çok arzu edilebilir.

Sistemlerin her ikisi içinde kullanılan boru uzunluğu, aşağıdakilere bağlı olarak, 12.000 BTUH (yaklaşık 3.5 kW) birim kapasite başına 150-1000 ft (45.72- 304.8 m) arasında değişir.

### a) Isı Pompasının Seçimi

Isı pompasının büyüklüğünü veya kapasitesini belirlemeden ve bir seçim yapmadan önce, iki önemli faktör incelenmelidir:

- a) Binanın tam bir ısı kazancı ve kaybı incelenmelidir. Bu hesaplamaların doğru bir şekilde yapılması büyük önem taşır.
- b) Boruların yerleştirildiği derinlikteki, maksimum ve minimum toprak sıcaklığı belirlenmelidir. Bu, cihazın çalışacağı su sıcaklık aralıklarını seçmek için gereklidir.

Eğer soğutma yükü, ısıtma yükünden daha az ise, aradaki farkı yenmek için ek bir ısı kullanılır. Eğer soğutma yükü, istenen ısıtma yükünü aşıyorsa, ek bir ısı ihtiyacı yoktur. Bununla birlikte, yararlı ihtiyaçlar, hava-hava üniteleri yanı sıra sıvı-hava ünitelerine uygulanır. Bu, binanın tasarım ısı kaybı çalışmalarına yeterli ilave ısı, yerleştirmeye dahil edilmek zorunda olduğu anlamına gelir.

Soğutma modunda cihazın (ünitenin) verdiği hissedilir kapasitesi, ne hesaplanmış toplam hissedilir yükten az olmalı ne de % 25'den çok hesaplanmış hissedilir yükten aşırı olmalıdır. Soğutma modunda cihazın son kapasitesi, hesaplanmış toplam son yükten daha az olmamalıdır. Hissedilir ve son kapasite eşitlikleri, üreticilerin teknik özelliklerinden bulunabilir. Bu kapasiteler, istenen tasarım koşulları yanı sıra, yerel yer altı suyu sıcaklıklarına bağlıdır.

### b) COP<sub>soğ</sub> (Soğutma Etki Katsayısı)

Bir cihazın etki katsayısı (COP); cihazın soğutma kapasitesinin (BTUH veya kW) kapasiteyi sağlamak için gerekli olan elektrik enerjisine bölünmesi olarak tanımlanmaktadır. Cihazın soğutma etki katsayısı (COP<sub>soğutma</sub>); cihazın soğutma kapasitesinin (BTUH veya kW), gerekli olan elektrik enerjisinin ısıl enerji eş değerine bölünmesiyle bulunur. ısı enerjisi ile bölünmüş birimin BTUH soğutma kapasitesidir.

$$COP_{soğutma} = [(Cihazın Kapasitesi (BTUH)) / [(Verilen Elektrik Enerjisi)(W) \times 3.413 (BTU/W)]] \quad (1a)$$

Üreticiler, EER (Enerji Verimlilik Oranı) ile cihazlarını karşılaştırabilirler. EER oranı, toplam soğutma kapasitesinin (BTUH), elektrik enerjisine (W) oranıdır. EER oranını COP oranına dönüştürmek için, EER oranı 3.413'e bölünür. Burada, EER'nun biriminin COP ile aynı olmadığına dikkat edilmelidir. COP' nin pay ve paydasında eşdeğer birimler kullanılırken, EER da farklı birimler söz konusudur. Bu bir bakıma, tüketiciler için geliştirilmiştir. Daha fazla bilgi için, [19,20] no'lu kaynaklara bakılabilir.

### c) COP<sub>ısı</sub> (Isıtma Etki Katsayısı)

Isıtma etki katsayısı (COP<sub>ısıtma</sub>); cihazın ısıtma verilen elektrik enerjisine bölünmesiyle bulunabilir. Burada, eşdeğer birimler kullanılır.

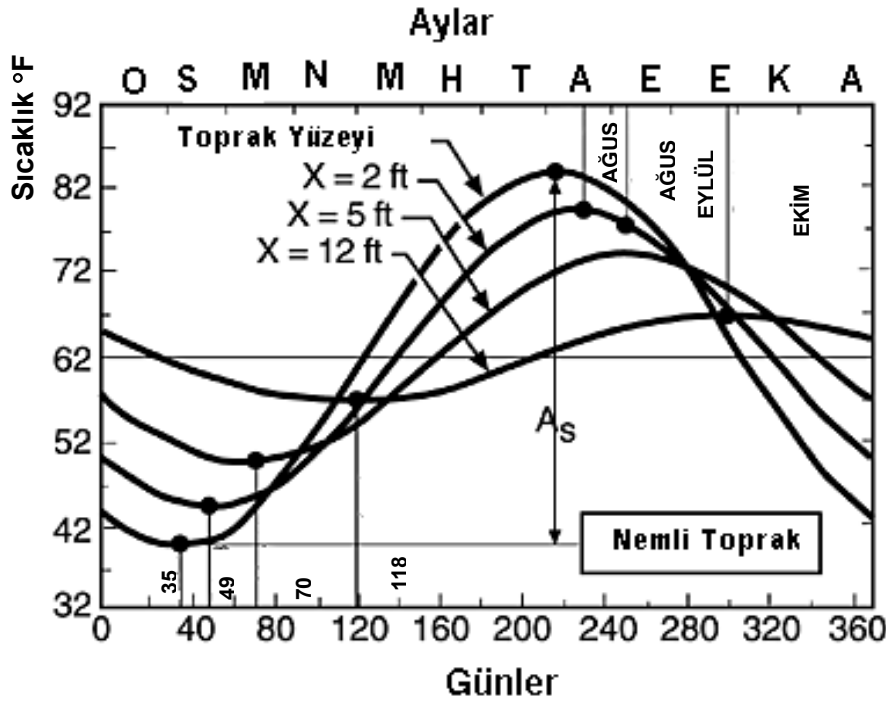
$$COP_{ısıtma} = [(Cihazın Isıtma Kapasitesi (BTUH)) / [(Verilen Elektrik Enerjisi)(W) \times 3.413 (BTU/W)]] \quad (1b)$$

#### d) $T_m$ ( Ortalama Yıllık Toprak Sıcaklığı )

Ortalama yıllık toprak sıcaklığının, 50 ft (15.24 m)'den 150 ft (45.72 m)'e kadar kuyu derinliğindeki kuyu suyu sıcaklığına eşit olduğu farz edilir. Bu, yaklaşık olarak, ortalama yıllık hava sıcaklığına 2 °F (1.1 °C) ekleyerek bulunabilir.

Ortalama yıllık toprak sıcaklığı ( $T_m$ ), tüm yıl boyunca değişen toprağın ortalama sıcaklığıdır. Yüzeysel sıcaklığı, toprak sıcaklığı üzerine etki yapar, fakat daha büyük etki güneş ışınlarından olur. Toprak, yüzeyden uzaklığının yanı sıra, toprak malzemesinin yayınımlı (difüzivitesi) olarak adlandırılan, toprak malzemesinin yoğunluğuna ve nem içeriğine bağlı olarak, ısıyı alabilmesi veya verebilmesi nedeniyle, sıcaklık değişimi üzerinde bir damperleme etkisi yapar. Derinliğin artmasıyla, yıllık salınımlar azalır.

Şekil 4' deki eğrilerde, örnek olarak, yüzeyden 12 ft (3.65 m) aşağı seviyede toprak üzerindeki hava ve güneş değişimlerinin etkileri gösterilmektedir. Eğriler, 2 ft (0.6 m), 5 ft (1.5 m) ve 12 ft (3.65 m) seviyeleri için verilmiştir. Bu eğriler, aynı zamanda, yılda ulaşılan minimum ( $T_{min}$ ) ve maksimum ( $T_{max}$ ) sıcaklıkları da göstermektedir. Örneğin, minimum yüzey sıcaklığının yaklaşık olarak yılın 35.gününe denk gelmesi beklenmektedir. Bazı hava koşulları değişimleri, bu zamanın  $\pm 3$  gün civarlarında değişiklik gösterir.



Şekil 4. Toprak sıcaklığı değişimleri [16,18]

Toprağın depolama etkisi, 2 ft (0.6 m) seviyede minimum sıcaklıklara ulaşılacak için 14 günlük, 5 ft (1.5 m) seviyede 35 günlük ve 12 ft (3.65 m) seviyede 83 günlük bir gecikmeye neden olacaktır. Toprağın depolama kapasitesi; yüzeydeki ortalama sıcaklığın 23 °F (-5 °C) altından, 12 ft (3.65 m) seviyedeki ortalama sıcaklığın 5 °F (-15 °C) altındaki aralıkta, minimum sıcaklık değişimleri ile gösterilmektedir.

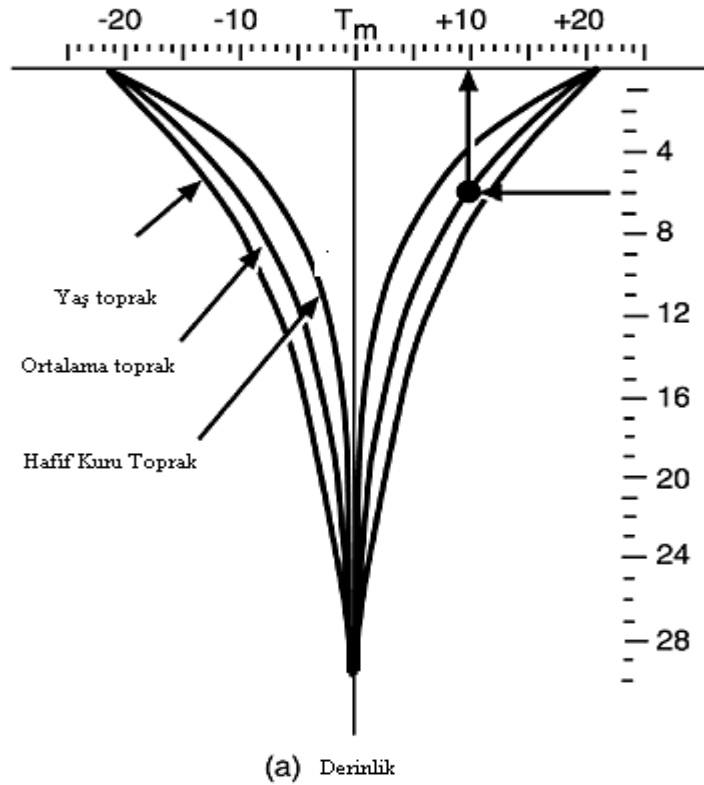
Soğutma mevsiminde, Ağustos'un 6.günü veya  $\pm 3$  gün civarlarında en yüksek yüzey sıcaklığı ile oluşarak sıcaklık dönüşümü tamamlanır. Tekrar, yüzeyden aşağı derinliklerde artar, maksimum sıcaklık ( $T_{max}$ ) gecikmenin yanı sıra azalır. 2 (0.6 m)'de  $T_m$  17 °F (-8.3 °C) azalır ve yaklaşık 14 günlük (Ağustos 20) gecikmeyle olur. 12 (3.65 m)'lik derinlikte, maksimum sıcaklık ( $T_{max}$ ) Ekim'in 29.günü civarlarında oluşur ve yıllık ortalama sıcaklığın ( $T_m$ ), 5 °F (-15 °C) üstüne ulaşır.

Şekil 5' de, farklı topraklar için değişik derinliklerdeki yıllık ortalama toprak sıcaklıkları kıyaslaması gösterilmiştir. Yukarıda verilen bilgiler kullanılarak, toprak çevriminin yerleştirilmesi gereken derinlikte, ısı pompasının su giriş sıcaklıkları (soğutma ve ısıtma modundaki,  $T_{GSS}$  ve  $T_{GSI}$ ) belirlenebilir. Böylece, her uygulama için boru uzunluğunu ve derinliğini belirlemek için yapılan işlemlerin bazı aşamaları ortaya çıkar.

#### e) $T_{GSS}$ (Su Giriş Sıcaklığı-Soğutma)

Cihaza giren su sıcaklığı (toprak ısı değiştiricisinden çıkan suyun sıcaklığı), toprağın normal sıcaklığından daha yüksek olacaktır. Bu, borular içinde dolaşan sudan toprağa ısının atılması nedeniyledir. Bilindiği gibi, ısı transferini gerçekleştirmek için, sıcaklık farkı gereklidir.

Bu sıcaklık farkının miktarı, ısıyı transfer etmek için gerekli olan boru yüzeyi yanı sıra, atılan ısıya (Btu veya kW) bağlıdır. Boru miktarını minimum bir değerde tutmanın yanı sıra, cihazın su sıcaklığı sınırlarını aşmadan, istenilen ısı transferini sağlamak için, bu iki faktörün bir denkleği yapılmalıdır.



Şekil 5. Farklı topraklar için çeşitli derinliklerde  $T_m$  'lerin kıyaslanması [16,18].

#### f) $T_{GSI}$ (Su Giriş Sıcaklığı-Isıtma)

Aynı etkiler ısıtmada da oluşur. Toprak, ısının alınması ile soğutulmaktadır. Bununla birlikte, değişiklik oldukça azdır. Çünkü, atılan ısı, cihazın net veya brüt kapasitesi olurken, çekilen ısı ise, cihazın net kapasitesidir.

#### g) Dağılmış Toprak Etkisi

"Dağılmış toprak" terimi, toprak sıcaklığını etkileyen ısı kapasite değişimini göstermek için kullanılmaktadır. Bu sıcaklık eğrileri, ortalama toprak yayılımına (difüzivitesine) bağlıdır. Burada örnek olarak şu verilebilir:  $T_m = 53$  °F (11.6 °C) olan bir yer göz önüne alalım. Isıtma modunda, dağılmış

toprak ile 6 °F (3.3 °C) düşüş ve toprak ile toprak ısı değiştiricisi akışkanı arasındaki  $\Delta T = 10^\circ F$  (5.5 °C) ise, cihaza giren su sıcaklığı ( $T_{GSI}$ ), 37 °F (2.8 °C) olacaktır. Soğutma modunda, dağılmış toprakta 15 °F (8.25 °C) lık bir artış ve toprak ile toprak ısı değiştiricisi akışkanı arasındaki  $\Delta T = 10^\circ F$  (5.5 °C) ise, cihaza giren su sıcaklığı, 78 °F (25.5 °C) olacaktır.

### h) $R_t$ (Toprak Direnci)

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  $\frac{3}{4}$ " 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, 3 ft (0.91 m)' da 1" boru çapında, toprak direnci, ağır nemli toprak için 0.97 ve ağır kuru toprak veya hafif (yumuşak) nemli toprak için 1.32 olacaktır. Bu tablo, belirli koşullar için hesaplama adımlarından çok, toprak koşulları için ortalamalar olarak kullanılır. Bu tabloda kullanılan hata oranı genellikle % 3'den daha azdır. Son hesaplamalarda, 100 ft (30.48 m) luk hatada 3 ft (0.91 m)'den daha az boru uzunluğuna neden olur. .

**Tablo 3.** Toprak direnci,  $R_t$  [16,18].

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

### i) $R_b$ (Boru Direnci)

Endüstriyel deneyimlerden, toprak kaynaklı sistemlerde kullanılan borular için önerilen malzeme tipleri üzerine bilgiler oluşturulmuştur. Plastik malzemeler, toprak malzemesinin korozif etkisinden az etkilenir ve boru ömrü en uzundur. Tablo 4'de, toprak kaynaklı sistemlerin borularının üretiminde kullanılan aşağıdaki dört farklı malzeme gösterilmektedir.

1. Polietilene-Schedule 40
2. Polietilene-Schedule 11
3. Polietilene-Schedule 17
4. Polietilene-Schedule 13.5



Tüm bu malzemelerin ısı transferi direnci ( $R_b$ : boru direnci faktörü) bu tabloda verilmiştir. Aşağıda iki farklı direncin verildiğine dikkat edilmelidir. Yatay pozisyonundaki boru  $R_b$  ve dikey pozisyonundaki boru  $R_{bd}$  ile verilmiştir. Bu faktörler, toprak/sıvı ısı değiştiricileri için gerekli boru uzunluğu hesaplarının yapılmasında kullanılmaktadır.

#### j) Toprak Isı Değiştiricisi (Serpantin) Tipi

Kullanılacak toprak serpantin tipi, boru uzunluluğunu etkileyecektir. Bir hendekte sadece tek bir boru kullanılıyorsa, boru birim uzunluğu başına en yüksek ısı akımı oluşur. Hendek (kanal) miktarı ne kadar büyükse, boru yerleşimi için gerekli olan alan da o kadar büyük olacaktır.

**Tablo 4.** Boru direnç değerleri [16,18].

		$\frac{R_b}{R_{bd}}$			
		PE SCH 40	PE SDR-11	PB SDR-17	PB SDR-13.5
BORU ÇAP (inch)	3/4	$\frac{0.17}{.116}$			
	1	$\frac{.159}{.109}$			
	1-1/4	$\frac{.130}{.089}$	$\frac{.144}{.096}$	$\frac{0.16}{0.11}$	$\frac{0.20}{0.14}$
	1-1/2	$\frac{.117}{.080}$			
	2	$\frac{.098}{.068}$			

Tek bir çevrimli sistemde önerilen maksimum ısı pompası kapasitesi, 2 500 ft (762 m)'luk maksimum bir boru uzunluğuna karşı gelen, 6 000 Btuh (1.758 kW)' tır. Hendekte (kanalda) sadece tek boru bulunması durumunda, kazılan derinlik, kuzey iklimde 3.5 ft (1.06 m) ve güney iklimde 6 ft (1.83 m) olacaktır. Hendekte iki boru ile çift bir geri sarım kullanılarak tipik bir yatay serili sistemde, iki borunun aynı hendekte bulunması toprak direncini artırır ve istenilen ısı akımını elde etmek için, daha uzun boru gerekecektir. Bu şartlar altında, pratik bir şekilde boru uzunluğu, 12 000 BTUH (3.515 kW) başına 350 ila 500 ft (106.5 m ila 152.4 m)'den 12 000 BTUH (3.515 kW) başına 420 ila 600 ft (128 m ila 182.8 m)'e kadar artar. Hendek uzunluğu, tek borulu hendekte 12 000 BTUH (3.515 kW) başına 350 ft ila 500 ft (106.5 m ila 152.4 m)'den 12 000 BTUH (3.515 kW) başına 210 ila 300 ft (64 m ila 91.4 m)'e azaltılmaktadır. Bu ikisi, boru derinlikleri ve kuzey bölgede 3 ft (0.91 m) - 5 ft (1.5 m) ve güney bölgede 4 ft (1.2 m) - 6 ft (1.82 m) önerilmektedir.

Yatay sistemin üçüncü tipi, çoklu-seviyeli (tek bir hendekte birden fazla üst üste boru çevrimi oluşturulması) veya paralel sistemdir. Burada, dar hendekte, dört-boru yığını örnek olarak verilmiştir. Tablo 3'deki toprak dirençleri, aynı zamanda geniş hendeğin her bir yanındaki çift yığındaki dört boruyu göstermektedir. Yığın halindeki dar hendekte, boru derinliği kuzey bölgelerde 6, 5, 4 ve 3 ft (1.82 m, 1.5 m, 1.2 m ve 0.91 m) ve güney bölgelerde ise, 7, 6, 5 ve 4 ft (2.1m, 1.82 m, 1.5 m ve 1.2 m)'tür. Çift-yığın daha geniş hendekte, boru derinliği, tek çevrimli geri dönüşümlü sistemlerle aynı olacaktır; kuzey bölgelerde 3 ft (0.91 m) - 5 ft (1.5 m) ve güney bölgelerde ise, 4 (1.2 m) - 6 (1.82 m)'dir.

Boru demetleri arasındaki yatay mesafe 1 ft (0.3 m) ve 2 ft (0.6 m)'den daha az olmamalıdır. Tablo 3'de, 1 ft (0.3 m) ve 2 ft (0.6 m) mesafelerinde kullanılan boru direncindeki ( $R_b$ ) farklılıkları göstermektedir.

Sondajlı uygulamalarda, toplam sondaj derinliği, 12 000 BTUH (3.515 kW) başına 100 ft (30.48 m) ila 175 ft (53.34 m)'tir. Bu da, 200 ft (60.9 m) ila 350 ft (106.6 m) boru uzunluğuna karşı gelmektedir. 12 000 BTUH (3.515 kW) başına yaklaşık olarak 140 ft (42.67 m) boru kullanarak, tek sondaj deliği derinliği 300 ft (91.44 m)'den daha fazla yapılmamalıdır.

Sondaj delikleri arasındaki minimum açıklık, ağır ıslak toprak için 10 ft (3 m) ve ağır kuru toprak veya hafif ıslak toprak için 15 ft (4.57 m)'dir. Sondaj delikleri arasındaki açıklık, minimum değer iki katını aşmamalıdır. Çünkü, bu, boru uzunluğu kaybı anlamına gelmekte olup, daha uzun borular arasından gereksiz bir akış direnci yaratılır.

Birden fazla düşey boruları olan paralel akışlı sistemde, sondaj ve boru derinliği yaklaşık olarak aynıdır. Bununla birlikte, paralel sistemin yararı, her bir çevrim içinden daha düşük debinin geçmesidir. Böylelikle, ısı transfer direnci ( $R_b$ ) daha az olan, daha ince cidarlı ve küçük çaptaki borular kullanılabilir. Sistemin işletme veriminin en fazla olabilmesi için, her bir çevrimden eşit miktarda debinin geçmesini sağlayacak, mühendisliğe yakışır tasarımlar gerekmektedir.

### k) Toprak Isı Değiştiricisinin (Serpantin) Derinliği

Çeşitli toprak ısı değiştiricisi tipleri için, ortalama toprak derinliği verilmektedir. Bununla birlikte, bazı durumlarda, üniteye (cihaza) giren su sıcaklığının, üretici önerilerini aşmadığını farz etmek gerekli olacaktır. Su sıcaklıkları, sistemin işletilmesinde, özellikle kuzey bölgelerdeki ısıtma modunda kritiktir. Uygulamada, tüm ısı pompası üreticileri, cihazlarının, soğutma modunda 45°F (7.2°C) ila 90°F (32.2°C)  $T_{max}$  ve ısıtma modunda 45°F (7.2°C) ila 80°F (16°C)  $T_{min}$ 'ta kapasitelendirir. Bazı üreticiler, aynı cihazların kapasitelerini buna göre verirler veya cihazlarını 25°F (-3.9°C)  $T_{min}$ 'de çalışacak düşük sıcaklıklı üniteleri imal ederler. 25°F (-3.9°C)'lik  $T_{min}$ 'da cihazı yüksek sıcaklıkta çalıştırmak için, aşağıdaki iki sınırlama yerine getirilmelidir:

1. Eğer düşük basınçlı sabit bir kontrol düğmesi cihazda kullanılıyorsa, bu kaldırılmalı ve uygun bir ayarlama anahtarı, daha ayarlarda sistemi devre dışı bırakmak için, bunun yerine konulmalıdır.
2. Su ve antifriz karışımı, ısı pompasını donmadan korumak için kullanılmalıdır. Eğer sıcaklığın 35°F (1.7°C)'in altına düşmesi söz konusu ise, antifriz karışımı göz önüne alınmalıdır.

Çevrim için istenen boru derinliğini belirlemek için, toprak sıcaklığı eğrisi elde edilmelidir. Cihaza giren minimum ve maksimum su sıcaklığına ( $T_{GSS}$  ve  $T_{GSI}$ ) ve alanın ortalama yıllık toprak sıcaklığına  $T_m$  bağlı olarak, Şekil 5'deki sıcaklık değişim eğrisi ve ilgili dağılmış toprak etkisini gösteren eğri, istenilen boru derinliğini belirlemek için kullanılmaktadır. Örneğin, ortalama yıllık toprak sıcaklığı  $T_m$ , 73 °F (22.7 °C) olan bir cihazı ele alalım. Dağılmış olan toprak sıcaklığındaki beklenen 15 °F (-9.4 °C) artış ile, cihaza 80 °F (26.7 °C) maksimum  $T_{GSS}$  değerinde su sağlamak için,  $T_m$  sıcaklığından su için maksimum sapma, 7 °F (3.85 °C) olacaktır. Şekil 5'deki eğri kullanılarak, borunun, toprak içinde 8 ft(2.4 m)'te olacağı hesaplanacaktır.

Eğer cihaz  $T_m$ 'nin 42 °F (5.5°C) olduğu yerde kullanılacaksa, soğutma modunda,  $T_m$ 'ye 15°F (8.25 °C)'lik dağılmış toprak farkı eklenecek veya 52 °F (11.1°C) toprak sıcaklığı söz konusu olacaktır. Cihazın  $T_{GSS}$  değerinin 72°F (22.2°C) olması için, soğutma modunda, cihazda, toprak sıcaklığı ile  $T_{GSS}$  arasında 20 °F (11 °C)'lık bir fark söz konusu olacaktır. Böylece, 72 °F (22.2 °C)'lik  $T_{GSS}$  den kaynaklanan 15 °F (8.25 °C)  $\Delta T$  değeri önerilebilir. Bunun anlamı, ıslak toprak için 4ft (1.2 m)'dan kuru toprak için 2 ft (0.61 m)' a kadar boru derinliği kullanılacaktır. Ortalama toprak derinliği ise, 4 ft (1.2 m) olacaktır.

Aynı işlem, ısıtma modunda gerekli olan boru derinliğini belirlemede kullanılmaktadır. Isıtma için dağılmış toprak faktörü, soğutmadan daha az olur (yaklaşık olarak 6 °F (3.3 °C)). Örnek olarak, bir yerde, ısıtma boru derinliği;  $T_m = 73$  °F (22.7 °C)' den dağılmış toprak faktörü olan 6 °F (3.3 °C) nın çıkarılmasıyla bulunan 67 °F (19.4 °C)'dan, toprak ile su arasındaki sıcaklık farkı olan 10°F (5.5 °C) 'ın düşürülmesiyle,  $T_{GSI}$  değeri 57 °F (13.8 °C) olarak bulunur. Bu değer, cihazın tasarım aralığı içinde olup, toprak ısı değiştiricisinde antifriz kullanmaya gerek yoktur.

Isıtma modunda, ıslak toprakta 8 ft (2.4 m) derinlik, kuru toprakta 4 ft (1.2 m) ve ortalama bir toprakta 6 ft (1.82 m) derinlik gereklidir. Soğutma yükü ana yük olduğu için, soğutma modunda gerekli olan toprak derinliği kullanılmalıdır.

Başka bir uygulama örneği olarak, şu verilebilir:  $T_m = 42\text{ °F}$  ( $5.5\text{ °C}$ )' dan  $6\text{ °F}$  ( $3.3\text{ °C}$ )'lık dağılmış toprak faktörünü çıkarılması,  $36\text{ °F}$  ( $2.2\text{ °C}$ )'lık bir toprak sıcaklığı anlamına gelir. Toprak ve su arasındaki  $10\text{ °F}$  ( $5.5\text{ °C}$ )  $\Delta T$  değerini kullanarak,  $26\text{ °F}$  ( $-3.3\text{ °C}$ ) sıvı sıcaklığı elde edilir. Çalışma sıcaklığını  $32\text{ °F}$  ( $0\text{ °C}$ )'ın üstünde tutmak için,  $5\text{ °F}$  ( $2.75\text{ °C}$ )  $\Delta T$ 'lik bir sıcaklık kullanılacaktır. Bu, ıslak toprakta; 15 ft (4.5 m), hafif kuru toprakta 8 ft (2.4 m) ve ortalama toprakta 12 ft (3.65 m) boru derinliği anlamına gelmektedir. Antifriz karışımı, sistemin  $32\text{ °F}$  ( $0\text{ °C}$ ) sıvı sıcaklığı altında çalışmasını sağlamak için kullanılmaktadır.  $10\text{ °F}$  ( $-12.2\text{ °C}$ )  $\Delta T$ 'lik bir sıcaklık; ıslak toprakta 8 ft (2.4 m), hafif kuru toprakta 4 ft (1.2 m) ve ortalama toprakta 6 ft (1.82 m) boru derinliğini gerektirecektir. Antifriz kullanılması, boru akış direnci faktöründe bir düzeltme gerektirecektir.

### I) Çalışma Faktörü

Çalışma faktörü, en soğuk ay (Ocak) ve en sıcak ay (Ağustos) süresince ısıtma yükünün kontrol altında tutulması için, cihazın işletilebileceği zamanın yüzdesidir.

Her iki faktör, çalışma modlarının her birinde istenen boru uzunluğunu belirlemek için hesaplanmalıdır. Daha uzun boru ihtiyacı, sistem tasarımında kullanılır. Çalışma faktörünü saptamak için, saatteki ısı kazancı ortalaması hesaplanarak, cihazın kapasitesiyle kıyaslanır.

$$\text{Çalışma Faktörü} = \frac{\text{Ortalama Isı Kazancı veya Kaybı/Saat}}{\text{BTUH Olarak Cihazın Kapasitesi}} \quad (2)$$

Saatteki ortalama ısı kazancı veya kaybı hesaplamalarında, sıcaklık aralığı yöntemi önerilir. Tablo 5'de, Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde yapılan ölçümler baz alınarak belirlenen, İzmir için sıcaklık aralığı verisi bulunmaktadır (Bornova, İzmir).

**Tablo 5.** İzmir için sıcaklık aralığı verisi [18].

Sıcaklık Aralığı (°C)	Hava Verisi ( h/yıl )
- 5 - 0	54
0 - 5	1320
5-10	3965
10-15	5649
15 - 20	4842
20 - 25	4679
25 - 30	3518
30 - 35	1847
35 - 40	285
40 - 45	14

Bu zaman/sıcaklık bilgisi, yıllık ısıtma veya soğutma enerjisi ihtiyaçlarını belirlemek amacıyla, her sıcaklık kategorisinde saatlik ısı kaybı veya kazancını oluşturmada kullanılır. Yıllık enerji ihtiyacı belirlendikten sonra, ortalama saatlik ihtiyaç belirlenerek, cihazın ısıtma ve soğutma kapasitesi ile kıyaslanır. Bu, ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarını istenildiği şekilde sağlamak için, cihazın işletilmesi gerektiği olası zaman yüzdesini verir. Bu yüzdeler, ısıtma ve çalışma faktörü diye adlandırılmaktadır.

Çalışma faktörlerin hesaplamasında kullanılan sıcaklık aralığı yönteminin kullanılmasında, aşağıdaki adımlar izlenmelidir.

### 11) $F_1$ ( Isıtma Çalışma Faktörü )

**Adım 1.** Montaj yerinin denge noktasını belirlemek için binanın ısı kaybı eğrisi çizilir (Şekil 6). Balans noktasındaki (65 °F veya 18.3 °C) sıcaklıktaki 0 W'lık ısı kaybından kışın dış hava tasarım sıcaklığındaki hesaplanan ısı kaybı, tasarım noktasından farklı diğer sıcaklıklardaki ısı kaybını gösteren bir doğru verecektir.

**Adım 2.** Bu noktalar, Tablo 5'deki sıcaklık aralığı hava verisine karşı gelen sıcaklık aralıklarında orta sıcaklık noktalarında ısı kaybı eğrisi (Şekil 6) üzerine yerleştirilir. Örneğin, 10 °C – 15 °C arasında orta nokta 12.5 °C olacaktır. Orta nokta kullanılarak, yeterli doğruluk sağlanır ve hesaplama sayılarını minimuma çekilir.

**Adım 3.** Tablo 6'daki çalışma sayfası kullanılarak, İzmir'e uygulanan sıcaklık aralığı verisi için, sütun A'daki yıl başına saatlik hava verisi elde edilmiştir. En düşük sıcaklığın -5 ila 0 °C arasındaki sıcaklık aralığında olduğu görülebilir. Dış sıcaklık, yılda 54 saat ortalama ile -5 – 0 °C alanlarında yer almıştır. Bu -5-0 °C sırası üzerinde sütun A'ya işlenmiştir. Bu noktadan, yıllık ortalama saatler, her bir sıcaklık aralığı verisi için, 0 – 5 °C'ta 1320 h, 5 – 10 °C'ta 3965 h ve 10 – 15 °C 5649 h'tir.

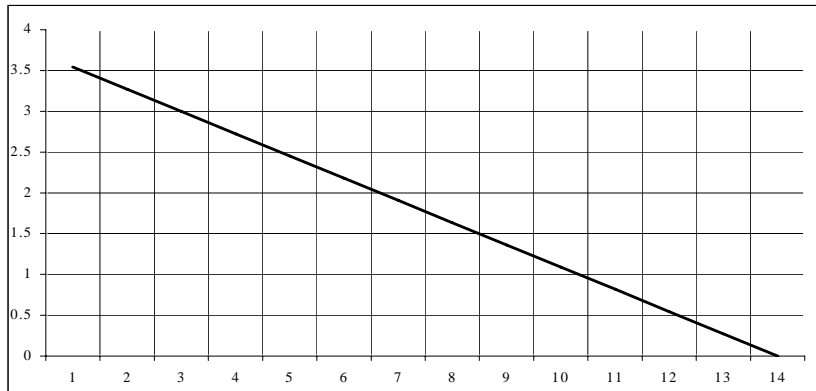
**Adım 4.** Şekil 3'deki ısı kaybı çizgisinden, kW olarak bina ısı kaybı grafiğinin solundan belirlenir ve sıcaklık aralığına karşı gelen uygun çizgi üzerine kaydedilir. Örneğin, ısı kaybı, -5 – 0 °C arasında 3.6 kW'tır.

**Adım 5.** Sütun B'deki değerler ile sütun A'daki saatler çarılarak, her bin sıcaklığı için yıl başına kW olarak toplam ısı enerjisi kaybı bulunur ve sütun C'ye kaydedilir. Örneğin, sütun A'daki 54 h/yıl ile sütun B'deki 3.6 kW/h çarpılırsa, bu sıcaklık aralığında, C sütununda 194.4 kW'a elde edilir. Bu hesaplamalar, tüm sıcaklık aralığında yapılır.

**Adım 6.** Tüm sıcaklık aralığındaki ısı kayıpları toplanarak (sütun C), D'deki ilgili yere yazılır.

**Adım 7.** Sıcaklık aralığındaki (sütun A) hava veri saatlerinin sayısı toplanarak, E kutusu içindeki yerine yazılır.

**Adım 8.** D'deki toplam kW, E'deki toplam saatlere bölünerek, sonuçları F kutusuna yerleştirilir. Bu, saat başına kW ortalaması olacaktır. Bazen buradaki değer mega cinsinden olabilir ve bu durumda 9. adımdaki işlem, başka birime dönüştürmek için kullanılır. Aynı birim durumunda, 8. ve 9. adımdaki işlemler benzer olur.



Şekil 6. Binanın ısı kaybı grafiği [18].

**Adım 9.** F kutusundaki kW'tı, gerektiğinde başka birime dönüştürecek şekilde, ilgili katsayı ile çarpılır ve G kutusuna yazılır.

**Adım 10.** Cihazın, üreticilerin teknik değerlerinden (seçilen cihazı karşılayan), ısıtma kapasitesi bulunarak, H kutusuna yazılır.

**Adım 11.** kW (G kutusundaki) saat başına ortalama ısı kaybı, cihazın ısıtma kapasitesi (H kutusundaki)'ne bölünerek, ısıtma çalışma faktörü belirlenir. Sonuç, cihazın, ısıtma ihtiyaçlarını karşılamak için çalıştırılması gereken zamanın yüzdesidir. Bu yüzde I kutusuna yazılır.

## I2) $F_s$ ( Soğutma Çalışma Faktörü )

$F_s$  (soğutma çalışma faktörü) hesaplamalarını içeren adımlar,  $F_1$  (ısıtma çalışma faktörü) hesaplamalarına benzer şekilde yapılmaktadır.

**Adım 1.** Uygulamalar için binanın ısı kazancı eğrisi çizilir. 32.7 °C soğutma dış tasarım sıcaklığında, ısı kazancı eğrisinden 5.6 kW olduğu görülür. Tablo 6'de İzmir için sıcaklık aralığına göre dış sıcaklık, 35-40°C'a ulaşmaktadır. Böylelikle ısı kazancı eğrisi 40°C sıcaklık aralığına ulaşmak zorundadır.

**Tablo 6.** İşletme faktörünün hesaplanması [18].

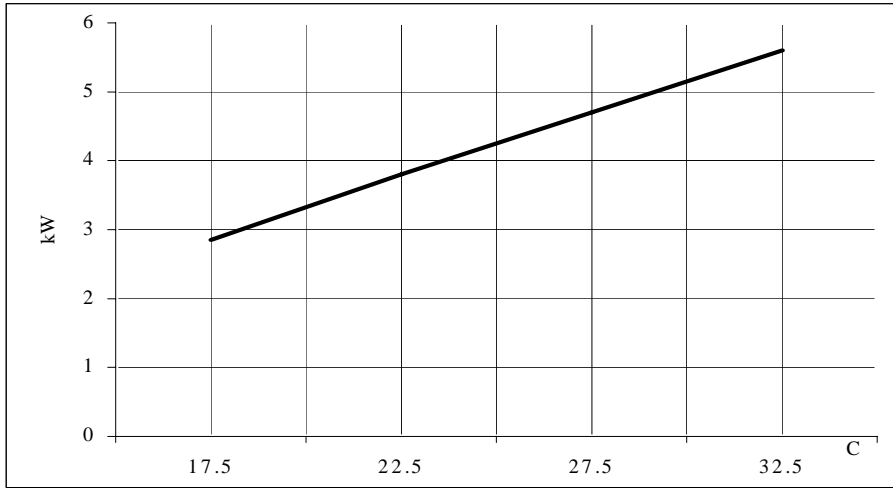
İŞLETME FAKTÖRÜNÜN HESAPLANMASI				
İsim: Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nün Bir Dersliği				
Yer: Bornova / İZMİR				
Sıcaklık Aralığı (C)	(A) Hava Datası ( h/yıl )	(B) Kayıp/Kazanç (kW/h)	(C) Toplam Isı Kaybı/ Kazancı AxB (kW)	(D) Hesaplamalar
-5 - 0	54	3.6	194.4	(D) Isıtma:
0 - 5	1320	2.85	3762	Toplam Isı Kaybı
5 - 10	3965	1.47	5828.55	10632.3 kW/3 yıl
10 - 15	5649	0.15	847.35	(E) Mevsim Başına
15 - 20	4842	2.8	13557.6	Toplam Saatler
20 - 25	4679	3.8	17780.2	10988 h/3 yıl
25 - 30	3518	4.7	16534.6	(F) Ortalar kW/h
30 - 35	1847	5.6	10343.2	0.967628 kW/h
35 - 40	285	6.2	1767	(G) Ortalama (kW/h)
40 - 45	14			0.967628 kW/h
				(H) Cihazın Isıtma
				Kapasitesi (kW)
				5.7 kW
				(I) $F_1 = 0.1697594$
				(J) Soğutma:
				Toplam Isı Kazancı
				44658 kW/3 yıl
				(K) Mevsim Başına
				Toplam Saatler
				10343 h/3 yıl
				(L) Ortalama (kW/h)
				4.317703 kW/h
				(M) Ortalama (kW/h)
				4.317703 kW/h
				(N) Cihazın Soğutma
				Kapasitesi (kW)
				6.2 kW
				(O) $F_s = 0.6964037$

**Adım 2.** Bu noktalar, Tablo 5'deki sıcaklık aralığı hava verisine karşı gelen sıcaklık aralıklarında orta sıcaklık noktalarında ısı kazancı eğrisi (Şekil 7) üzerine yerleştirilir. Orta nokta kullanılarak, yeterli doğruluk sağlanır ve hesaplama sayılarını minimuma çekilir.

**Adım 3.** Tablo 6'deki çalışma sayfasının daha alt kısmı kullanılarak, İzmir'e uygulanan sıcaklık aralıklarında, sütun A'daki yıl başına saatlik hava verisi yazılır. En yüksek sıcaklığın 40 - 45°C sıcaklık aralığında olduğu görülebilir.

**Adım 4.** Şekil 7'deki ısı kazancı doğrusundan, kW olarak binanın ısı kazancı, grafiğin solundan belirlenir ve uygun sıcaklık aralığında çalışma sayfasının (Tablo 6) B sütunu üzerine yazılır. Örneğin, ısı kazancı, 30 – 35°C arasında (okunan değer; 32.5°C) 5.6 kW'tır. Bu, ele alınacak toplam sayıların boyutunu azaltmak için, 5.6 kW olarak yazılır. 25 – 30°C'teki ısı kazancı; 4.7 kW, 20 – 25°C'teki 3.8 kW olup, bunlar B sütununa yazılmıştır.

**Adım 5.** Sütun B'deki kW'lar ile sütun A'daki saatleri çarpılarak, her sıcaklık aralığı için yıl başına kW olarak toplam ısı enerjisi kazancı bulunarak, sütun C'ye kaydedilir. Bu hesaplamalar, tüm sıcaklık aralığında yapılır.



Şekil 7. Bina ısı kazancı grafiği [18,21]

**Adım 6.** Tüm sıcaklık aralıklarındaki ısı kazancı toplanarak (sütun C), J'deki toplama yazılır.

**Adım 7.** Sıcaklık aralığındaki (sütun A) hava veri saatlerinin sayısı toplanarak, K kutusu içindeki toplamı yazılır.

**Adım 8.** J'deki toplam kW, K'deki toplam saatlere bölünerek, sonuçları L kutusuna konur. Bu saat başına kW ortalaması olacaktır. Bazen buradaki değer mega cinsinden olabilir ve bu durumda 9. adımdaki işlem, başka birime dönüştürmek için kullanılır. Aynı birim durumunda, 8. ve 9. adımdaki işlemler benzer olur.

**Adım 9.** K kutusundaki kW, gerektiğinde ilgili katsayı ile çarpılarak, saat başına ortalama kW ısı kazancı bulunur. Bu ortalama, M kutusuna kaydedilir.

**Adım 10.** Cihazın, üreticilerin teknik değerlerinden (seçilen cihazı karşılayan), soğutma kapasitesi bulunarak, N kutusuna yazılır.

**Adım 11.** kW (M kutusundaki) saat başına ortalama ısı kaybı, cihazın ısıtma kapasitesi (N kutusundaki)'ne bölünerek, ısıtma çalışma faktörü belirlenir. Sonuç, cihazın, soğutma ihtiyaçlarını karşılamak için çalıştırılması gereken zamanın yüzdesidir. Bu yüzde O kutusuna yazılır.

## 6.2. Toprak Isı Değiştiricisinin Uzunluğunun Hesaplanması

### Boru Uzunluğu Tasarımına Genel Bir Bakış

Hesaplarda kullanılacak bağıntıları vermeden önce, şunları açıklamak yararlı olacaktır [19,20]:

Bir ton soğutma, bir cihazın soğutma kapasitesinin belirlenmesi için kullanılan bir ölçüdür. 24 saatte bir ton buz eritmeye eşit soğutma etkisidir. Başka bir deyişle, 0 °C sıcaklıkta 1 ton (2000 libre, lbm) suyu 24 saatte 0 °C sıcaklıkta bir ton buza dönüştürmek için çekilmesi gereken ısı enerjisi eşittir. Bir ton soğutma, 211 kJ/dakika veya 200 Btu/dakika = 12000 Btu/h' a eşdeğerdir.

Etkinlik katsayısı ile kW/ton arasındaki ilişki,

$$EK = \frac{12000}{3412} \left( \frac{\frac{Btu}{h}}{\frac{kW}{ton}} \right) \quad (3)$$

şeklinde yazılabilir.

Daha önce belirlenen faktörler kullanılarak, toprak ısı değiştiricinin ısı transfer yüzeyi aşağıdaki bağıntılardan hesaplanabilir. Orijinal formülde verilen değerler BTUH (Btu/h) cinsinden verilmiştir. Burada, ayrıca SI birimlere dönüştürülmüş şekli de verilecektir.

Isıtma modundaki gerekli toplam boru uzunluğu (İngiliz birim sistemiyle);

$$L_{\text{ısıtma}} = \frac{12000(BTUH) \frac{COP_i - 1}{COP_i} [Rb + (Rt * Fi)]}{(TI - T \text{ min})(^{\circ}F)} \quad \text{ft/12000 BTUH} \quad (4a)$$

veya

$$L_{\text{ısıtma}} = \frac{\frac{COP_i - 1}{COP_i} [Rb + (Rt * Fi)]}{(TI - T \text{ min})(^{\circ}F)} \quad \text{ft/BTUH} \quad (4b)$$

ve SI birimlerle;

$$L_{\text{ısıtma}} = \frac{572 \frac{COP_i - 1}{COP_i} [Rb + (Rt * Fi)]}{(TI - T \text{ min})(^{\circ}C)} \quad \text{m/kW} \quad (4c)$$

Soğutma modundaki gerekli toplam boru uzunluğu (İngiliz birim sistemiyle);

$$L_{\text{soğ}} = \frac{12000(BTUH) \frac{COP_i + 1}{COP_i} [Rb + (Rt * Fi)]}{(T \text{ max} - Th)(^{\circ}F)} \quad \text{ft/12000 BTUH} \quad (5a)$$

veya

$$L_{\text{soğ}} = \frac{\frac{COP_i + 1}{COP_i} [Rb + (Rt * Fi)]}{(T \text{ max} - Th)(^{\circ}F)} \quad \text{ft/BTUH} \quad (5b)$$

ve SI birimlerle;

$$L_{soğ} = \frac{572 \frac{COP_i + 1}{COP_i} [Rb + (Rt * Ft)]}{(T_{max} - T_h)(^{\circ}C)} \quad \text{m/kW} \quad (5c)$$

olur.

Burada:

$L_{ısıtma}$  : 12.000 BTUH ısıtma kapasitesi için gerekli olan boru uzunluğu; Eş. (4a)

$L_{soğutma}$  : 12.000 BTUH soğutma kapasitesi için gerekli olan boru uzunluğu; Eş. (4b)

$COP_i$  : Seçilen cihazın ısıtma etki katsayısı

$COP_s$  : Seçilen cihazın soğutma etki katsayısı

$Rt$  : Toprak direnci

$Rb$  : Boru direnci

$T_l$  : Yılın düşük nokta gününde düşük toprak sıcaklığı;  $T_m$

$T_h$  : Yılın pik gününde yüksek toprak sıcaklığı;  $T_m + 180$  gün

$T_{min}$  : Cihaza giren minimum su tasarım sıcaklığı ( $T_{GSS l}$ )

$T_{max}$  : Cihaza giren maksimum su tasarım sıcaklığı ( $T_{GSS s}$ )

$F_h$  : Isıtma çalışma faktörü

$F_s$  : Soğutma çalışma faktörü'dür.

Kuzey bölgelerde, istenen toprak çevrimi boru uzunluğu, ısıtma modunda, genellikle soğutma için olandan daha uzun olacaktır. Güney bölgelerde ise, dönüşüm genellikle, bunun tersi olmaktadır. Bununla birlikte, bu her zaman doğru değildir. Bu yüzden, her iki işletme şekli için boru uzunluğunun hesaplanması gereklidir.

Hesaplamalar Tablo 9'deki hesaplama föyüne yerleştirilir. Örnek hesaplama, Bölüm 7.2'de bulunmaktadır.

## 7. TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPALARININ TEST YÖNTEMLERİ

TKIP'lerinin ticari uygulamaları, bina ve tesis enerji kodları ve standartlara tabidir. Ek olarak, malzeme kullanımı, ticari ekipman enerji kodları ve standartlara tabidir. Amerika'daki uygulamalarda çoğu enerji hesaplamaları, ASHRAE standartlarından alınır. Özellikle ASHRAE Standardı 90.1. Amerikada, belirli bir ömre dayalı çevrim (life-cycle) maliyeti ile alternatif enerji teknolojilerinin seçimini halen yönlendiren kodlardır. Minimum ekipman yeterlilik standardı, ASHRAE Standardı 90.1-1989 içinde tanımlanmış olup, TKIP'leriyle ilgili ticari ekipman için Tablo 7'de gösterilmiştir.

**Tablo 7.** ASHRAE 90.1-1989' a göre minimum ticari ekipman kapasitelendirme standardı [13].

Teknoloji Uygulamaları	Referans Standart	Kapasite Grubu	Kapasitelendirme Koşulu (Giren su sıcaklığı)	Minimum Etkinlik Katsayısı	
				Soğutma	Isıtma
Su-kaynaklı ısı pompası	ARI 320-86	<65 kBtuh	Standart 85° F-29.4° C	9.3 EER	---
			Standart 70° F-21.1° C	---	3.8 COP
		>65 kBtuh	Düşük Sıc.75° F-23.8° C	10.2 EER	---
			Standart 85° F-29.4° C	10.5 EER	---
Yer altı suyu-kaynaklı ısı pompası	ARI 325-85	<135 kBtuh	Standart 70° F-21.1° C	11.0 EER	3.4 COP
			Düşük Sıc. 50° F-10° C	11.5 EER	3.0 COP
Toprak kaynaklı kapalı çevrim ısı pompası	ARI 330-90	herhangi	Standart 77° F-25° C	yok	---
			Standart 32° F-0° C	---	yok



Kod ve standartlar, yukarıda tanımlanmış olduğu gibi, minimum etki katsayılarıyla belirlenmiş olmalarına rağmen, elde edilebilen enerji etkinliği tam bir şekilde bildirilmez. Ticari olarak mevcut ekipman üzerinde üreticiler için, 12.0 ila 16.8 Btu/w-h soğutma etkinliği ve 3.0 ila 4.3 Btu/w-h ısıtma etkinliği söz konusudur.

Çeşitli ekipmanlarla etkinliği karşılaştırırken, uygun bir karşılaştırma yapmak önemlidir. Herhangi bir ısıtma ve soğutma ekipmanının etkinliği uygulamalarla, yüklerle ve ısı-kaynağı ve sıcaklığı ile ilgili olarak değişir. TKIP'lerinin çoğu, su-kaynaklı ısı pompalarının spesifik bir uygulamasıdır.

Isı pompası etkinliği testleri için üç kabul edilebilir standart vardır; bunlar aşağıda kısaca açıklanmıştır.

Bu standartlar arasındaki farklara uygulamalarda dikkat edilmelidir. Ayrıca, standart kapasite değerleri, belirli sıcaklık ve çalışma koşulları içindir. Standart değerler, mutlaka, gerçek mevsimsel çalışma koşulları altında sistemlerin etkinliğini yansıtmaz. Enerji tüketiminin ve olası enerji tasarrufunun bulunması amacıyla, ısıtma ve soğutma ekipmanının etki katsayısının belirlenmesinde, etkinlik, uygun çalışma koşulları için düzeltilmelidir.

**ARI Standart 320: Su-Kaynaklı Isı Pompası.** Bu standart, elektrik gücüyle çalışan mekanik-kompresör evsel, ticari ve endüstriyel su-kaynaklı ısı pompalarına uygulanır. Isı pompaları, aşağıda standart sıcaklık değerleri altında ölçülmüş bu standartlarla değerlendirilir.

- *Soğutmada:* İçeriye giren hava koşulları;  $80^{\circ} F_{kt}$  ( $29.7^{\circ} C$ ) ve  $67^{\circ} F$  ( $19.4^{\circ} C_{yt}$ ). Giren su sıcaklığı  $85^{\circ} F$  ( $29.4^{\circ} C$ ). Çıkan su sıcaklığı;  $95^{\circ} F$  ( $36.0^{\circ} C$ ).
- *Isıtmada:* İçeriye giren hava koşulları;  $70^{\circ} F$  ( $21.1^{\circ} C_{kt}$ ) ve  $60^{\circ} F_{yt,max}$  ( $15.6^{\circ} C_{yt,max}$ ). Giren su sıcaklığı;  $70^{\circ} F$  ( $21.1^{\circ} C$ ). Su standart soğutma testi değerleri ile aynı olan bir değerde akar.

**ARI Standart 325: Yeraltı Suyu-Kaynaklı Isı Pompası.** Bu standart, elektrik gücüyle çalışan mekanik-kompresör evsel, ticari ve endüstriyel su-kaynaklı ısı pompalarına uygulanır. Isı pompaları, aşağıda standart sıcaklık değerleri altında ölçülmüş bu standartlarla değerlendirilir.

- *Soğutmada* (yüksek sıcaklık): İçeriye giren hava koşulları;  $80^{\circ} F_{kt}$  ( $29.7^{\circ} C$ ) ve  $67^{\circ} F$  ( $19.4^{\circ} C_{yt}$ ). Giren su sıcaklığı  $70^{\circ} F$  ( $21.1^{\circ} C$ ). Su debisi, üreticiler tarafından belirlenmiştir.
- *Soğutmada* (düşük sıcaklık): İçeriye giren hava koşulları;  $80^{\circ} F_{kt}$  ( $29.7^{\circ} C$ ) ve  $67^{\circ} F$  ( $19.4^{\circ} C_{yt}$ ). Giren su sıcaklığı  $50^{\circ} F$  ( $10^{\circ} C$ ). Su debisi, üreticiler tarafından belirlenmiştir.
- *Isıtmada* (yüksek sıcaklık): İçeriye giren hava koşulları;  $70^{\circ} F$  ( $21.1^{\circ} C_{kt}$ ) ve  $60^{\circ} F_{yt,max}$  ( $15.6^{\circ} C_{yt,max}$ ). Giren su sıcaklığı;  $70^{\circ} F$  ( $21.1^{\circ} C$ ). Su debisi, üreticiler tarafından belirlenmiştir.
- *Isıtmada* (düşük sıcaklık): İçeriye giren hava koşulları;  $70^{\circ} F$  ( $21.1^{\circ} C_{kt}$ ) ve  $60^{\circ} F_{yt,max}$  ( $15.6^{\circ} C_{yt,max}$ ). Giren su sıcaklığı;  $70^{\circ} F$  ( $21.1^{\circ} C$ ). Su debisi, üreticiler tarafından belirlenmiştir.

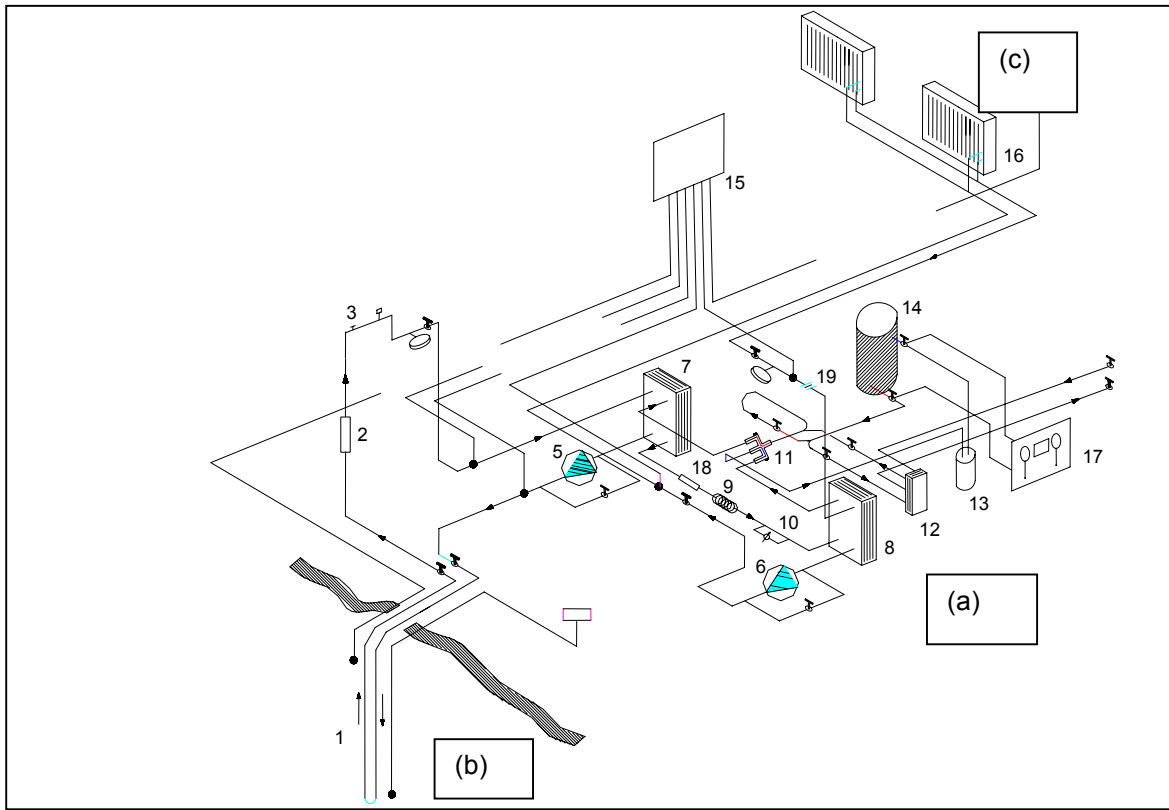
**ARI Standart 330: Toprak-Kaynaklı Kapalı Çevrim Isı Pompaları.** Bu standart, elektrik gücüyle çalışan mekanik-kompresör evsel, ticari ve endüstriyel su-kaynaklı ısı pompalarına uygulanır. Isı pompaları, aşağıda standart sıcaklık değerleri altında ölçülmüş bu standartlarla değerlendirilir (test için akışkan, ağırlıkça %15 sodyum klorid ve suya dayanır).

- *Soğutmada:* İçeriye giren hava koşulları;  $80^{\circ} F_{kt}$  ( $29.7^{\circ} C$ ) ve  $67^{\circ} F$  ( $19.4^{\circ} C_{yt}$ ). Giren su sıcaklığı  $77^{\circ} F$  ( $25^{\circ} C$ ). Akışkan debisi, üreticiler tarafından belirlenmiştir.
- *Isıtmada:* İçeriye giren hava koşulları;  $70^{\circ} F$  ( $21.1^{\circ} C_{kt}$ ) ve  $60^{\circ} F_{yt,max}$  ( $15.6^{\circ} C_{yt,max}$ ). Giren su sıcaklığı  $32^{\circ} F$  ( $0^{\circ} C$ ). Akışkan standart soğutma testi değerleri ile aynı olan bir değerde akar.

## 8. EGE ÜNİVERSİTESİ UYGULAMASI

### 8.1 Sistemin Tanıtımı

Ülkemizde bu konuda yapılan çalışmalar, (i) üniversite çalışmaları, (ii) ısı pompası endüstrisi ve (iii) standartlaştırma çalışmaları olarak ele alınabilir. Üniversitelerde, bugüne kadar (1986 ve 2000 yıllarında) iki deneysel çalışma yapılmıştır. Bunun yanı sıra, teorik çalışmaların sayısı göreceli olarak daha fazladır. Konutlarda ise, 70 'in üzerinde uygulaması olduğu tahmin edilmektedir. Su-su kaynaklı ısı pompaları ile ilgili olarak da, iki Türk Standardı yayınlanmıştır. Mevcut çalışma, toprağa konulan 50 m derinliğinde düşey tipi ile, üniversite bazında ülkemizde ilk deneysel çalışmayı (uygulamayı) oluşturmaktadır (Şekil 8). Sistemde bulunan dört yollu vananın konumu değiştirilerek, yaz koşullarında soğutma (serinletme) ve kış koşullarında ısıtma sağlanabilir. Burada, yaz koşullarındaki performans sonuçları sunulmaktadır.



**Şekil 8.** E.Ü. Güneş Enerjisi Enstitüsü'nün Bir Dersliğinde Kurulan Toprak Kaynaklı Isı Pompası Tesisi Şematik Görünüşü [21,22].

Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde bulunan; taban alanı  $65 \text{ m}^2$ , ısıtma kapasitesi  $3.8 \text{ kW}$  ve soğutma kapasitesi  $4.2 \text{ kW}$  olan lik bir dersliğin, TKİPSı ile ısıtılması/soğutulması amacıyla bir deney düzeneği tasarlanarak kurulmuştur. Isı pompası tesisi, (a) ısı pompası devresi, (b) toprak ısı değiştiricisi devresi ve (c) fan-coil devresi olmak üzere, üç kısımdan oluşmaktadır.

*Isı pompası devresi;* iki adet plakalı ısı değiştiricisi, dört yollu vana, selonoid vana ve kılcal borudan oluşmaktadır. Soğutucu akışkan olarak R22'nin kullanıldığı sistemde, ölçüm yapmak amacıyla, kompresörün emme ve basma hattına birer manometre konulmuştur.

**Toprak ısı değiştirici devresi;** toprak altına dūřey olarak yerleştirilen 50 m derinliğinde, U-şeklinde 1 1/4" polietilen borudan oluşmaktadır. Antifiriz-su karışımı (salamura)nın sirkulasyonu için bir pompa, genleşme tankı, hava alma ve emniyet ventilinden oluşmaktadır. Olum amacıyla; bir adet rotametre, ısı değiştiricisine giren ve çıkan suyun sıcaklıklarını olmek için, 2 adet termometre bulunmaktadır.

**Fan-coil devresi;** iki adet fan-coil ve bir adet sirkulasyon pompasından meydana gelmiştir. Devrede dolaşan suyun sıcaklığının belirlenmesi için, pompanın giriş ve çıkışına birer adet termometre konulmuştur.

## Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada ele alınan TKIP, bir metodoloji izlenerek tasarlanmıştır. Bir bakıma, TKIP'nin kurulacağı yerdeki havanın (ve toprağın) ısıl özelliklerinden başlayarak, toprak ısı değiştiricisi (TID)nin tasarımına kadar olan aşamalar içerilmiştir. Isı pompası sistemlerinde yaygın olarak kullanılan "sıcaklık aralığı" yöntemine göre, sözü geçen ısı pompasının (cihazın) ısıtma ve soğutma kapasiteleri belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, özellikle, TID'nin tasarımı büyük önem taşımaktadır. Yapılan hesaplar sonucunda, 1 1/4" apındaki polietilen borudan, yaz koşulunda 470 m ve kiř koşulunda 108 m gerekmektedir. Eldeki olanaklar olsnde, deney düzeneği için 50 m sondaj yapılarak, 100 m'lik TID'si dūřey olarak döşenmiştir. Isıtma mevsimi için bu uzunluk yeterli olup, sisteme herhangi bir ek yapılmadan ısıtma yapılabilir. Soęutma mevsiminde, kondenser basıncını dūřrmek, başka bir deyişle; toprak ısı değiştiricisinin yükünü dūřrmek için sisteme bir kızgın buhar soğutucusu konmuştur.

Bu bağlamda, TKIP'nin enerji performansı; ısı pompası cihazı, sirkulasyon pompası ve toprak ısı değiştiricisinden oluşmaktadır. Isı pompası sistemin (ısı pompası cihazı ve ek düzenekler dahil) soğutma etkinlik katsayıları, kızgın buhar soğutucusu ve soğutucusuz durumda, sırasıyla, 3.1 ve 2.1 olarak bulunmuştur. Sirkulasyon pompasının gücü, literatürde verilen değerlerin biraz üstündedir. Olmlerden, bunun biraz dūřrlebileceęi, böylelikle ısı pompası sisteminin etkinliğinin arttırılabileceği ortaya çıkmıştır. TID'si ile 1800 l/s hacimsel debide, 2 C' lik sıcaklık farkı elde edilmiştir. Bu; her bir metre sondaj derinliği başına, 84.4 W 'lık bir enerjinin toprağa verildiği (yaz koşulu) anlamına gelmektedir. Bu değer, literatürde verilen değerlere yakın çıkmaktadır. Dolayısıyla, İzmir koşullarında TID'si ile iyi sonuçlar elde edilmiştir. Bunun yanı sıra, TID'nin etrafına konulan dolgu malzemelerin iyileştirilmesiyle de, bu ısı değiştiricinin ısı geçiş yüzeyi, % 30' a kadar dūřrlebilmektedir.

## 8.2 rnek Hesaplama

### Boru Uzunluğu Hesaplamaları

Hesaplamaların sonunda verilen boru uzunluğu hesaplama föyü kullanılarak, E.. Güneş Enerjisi Enstitüsünde kurulan ısı pompası tesisinin ısı değiştirici boru uzunluğunu hesaplayacağız.

#### a) Boru bilgisi

**Adım 1.** *Boru malzemesi* olarak PE 40 (polietilen 40) kullanacağız. Bu bilgi birinci sırada yer almaktadır.

**Adım 2.** *İstenen boru uzunluğu* hesaplamaları için temel oluşturacak *boru çapını* tahmin edeceğiz. Pompa boyutunun belirlenmesi için boru uzunluğu ve akış direnci hesaplandıktan sonra, ayarlar yapılabilir. Son akış direncine bağlı olarak, son sonuç, daha geniş veya daha küçük boru çapı olabilir.

Başlangıç boru çapı, toprak çevrim sistemi tipine de bağlı olacaktır. Tek borulu sürekli çevrim veya tek sıralı çift geri çevrim için 1 1/4" ten 2"e kadar boru kullanılmaktadır. Daha küçük cihazlar ve daha dūřk debiler için, 1 1/4" ten 1 1/2" e kadar boru kullanılmaktadır. Daha büyük cihazlar için, 1 3/4" ten 2" e kadar boru kullanılmaktadır.

Daha küçük cihazlarda hesaplama başlamak için iyi bir tahmini çap, 1 1/2"tir. Daha büyük cihazlar için, 2" ile başlanır. Bu bilgi ikinci sıraya yazılır.

**Adım 3. Boru direnci.** Tablo 3'deki değerlerden, yatay pozisyon boru direncini, iç ve dış yüzeyler arasındaki her °F, saat ve feet başına 0.117 BTU olarak okuruz. Bu değere, 3. sıraya kaydedilir.

### b) Toprak bilgisi

**Adım 4. Cihazın yerleştirileceği alandaki toprak tipi** kaydedilir. Bizim örnek için, iyi bir su içeriğine (nemli) sahip hafif toprağı bulacağız.

**Adım 5. Hendekteki boru sayısı.** Tablo 4'te değişik boru yerleşimlerinin yanı sıra hendekteki boru sayısı nedeniyle toprak direnci üzerine etkisi, çeşitli boru çapları için sütunlarda gösterilmiştir. Örneğin, 1 ½" boru için, hafif toprak-nemli toprak direnci, tabaka seviyesinden aşağı boru derinliğine bağlı olarak, 0.89'dan 0.98'e kadardır. Eğer hendekte iki boru bulunuyorsa, toprak direnci, 1.19'dan 1.25'e kadar olacaktır.

**Adım 6. Dikey şekil içindeki dört boru direnci** 1.92'den 2.02'e artırır. Her bir tipten ayrı iki borunun iki tabaka dört boru, toprak direnci 1.99'dur. Eğer yatay tabaka içindeki borular 2 ft' den farklı ise, toprak direnci 1.78'e düşer.

Toprak direncindeki bu değişimler, her bir borudan ısı enerjisinin diğer borular üzerine olan etkisini gösterir. Boruların kapalı yakınlığı, verilen ısı enerjisini transfer etmek için daha yüksek boru sıcaklığı gerektirir. Bu, toprak direnç faktörüne yansır.

**Adım 7.** 4.,5. ve 6. adımlarda belirlenmiş olan bilgilerden, *toprak direnci faktörü*, Tablo 4' den belirlenir. Uygun değer 7 no'lu sıraya yazılır.

### c) Yer bilgisi

*Isıtma ve soğutma çalışma modları esnasında beklenen toprak sıcaklığını* belirlemek için, yerleştirme alanındaki toprak koşulları hakkında bilgi, 8 ila 12 no'lu şıklara kaydedilir.

**Adım 8.** Ortalama toprak sıcaklığı (Tm). Ortalama yıllık toprak sıcaklığı 50 ft ila 150 ft derinliğindeki bir kuyunun, kuyu suyu sıcaklığına eşit olarak kabul edilebilir. Bu, İzmir için 66 °F (18.8 °C)'tır (Meteoroloji Müdürlüğü, İzmir). Bu değer 8. sıraya yerleştirilir.

**Adım 9. Toprak yüzeyi sıcaklığı (As).** Bu, yıl boyunca toprak yüzeyinde oluşan sıcaklık değişimleridir. Örneğin, Şekil 4'deki eğriler, yaz süresince ortalama sıcaklığın 44°F-22°F (6.6 °C-5.5 °C) üstünde ve kış süresince ise, ortalama sıcaklığın 22 °F (-5.5 °C) altında bir yüzey sıcaklık değişimi söz konusudur. Yöresel deney sıcaklık derinliği artarken, toprak malzemesinin kapasitör etkisi ısı değişimi geciktirir ve sıcaklık dalgalanmasını azaltır.

Toprak sıcaklığı değişimi (TSD). Bu, izin verilen toprak sıcaklığı ile yerleştirme maliyetlerini etkileyen boru montaj derinliği arasında bir denge olarak kabul edilen bir değerdir. Küçük bir boru derinliği, cihazın performansını etkileyen daha geniş bir yüzey sıcaklığı dalgası (TSD) anlamına gelir. Sonuç olarak, kışın daha düşük bir su sıcaklığı ve yazın daha yüksek su sıcaklığı olacaktır. Daha büyük bir boru uzunluğu, daha yakın sıcaklık değişimi anlamına gelir, fakat daha yüksek maliyet gerektirir.

Deneyimlere göre, 10°F (5.5 °C) tercih edilen bir değer olmak üzere, maximum 15 °F (8.25 °C) toprak sıcaklığı değişimiyle (TSD) sınırlama söz konusudur. Bu, çevre sıcaklığının soğutma modunda borunun ortalama yıllık toprak sıcaklığının (Tm) 10 °F (5.5 °C) üstünde artırmasını sağlar ve ısıtma modunda, boru, ortalama yıllık toprak sıcaklığının (Tm) 10 °F (5.5 °C) altına düşer.

Islak toprak, ortalama toprak ve kuru toprak için, Şekil 5' den, arzu edilen toprak sıcaklığı değişimini (TSD) elde etmek için istenen boru derinliği belirlenir. Örneğin, ağır, nemli toprak (yaş toprak) için 10°F (5.5 °C) TSD ile sınırlı ise, boru derinliği en fazla 8 ft (2.43 m) olmalıdır.

Hafif toprakta daha çok boru gereklidir. Fakat, boru azaltılmış bir derinlikte kazılacaktır. Amaç, karşılaşılan toprak ve hava koşulları için boru miktarını, boru derinliğini (yerleştirme maliyeti) ve cihazın verimini dengelemektir.

**Adım 10. Yatay toprak serpantin derinliği.** Şekil 5' den, borunun 8 ft (2.43 m)'e kazılacağını belirledik. Eğer boruları yerleştirirken, aynı hendekte iki boru gerektiriyorsa, ortalama derinlik 8 ft (2.43 m) olacaktır. Böylece, aralarında minimum 2 ft (0.6 m) olmak üzere, biri 7 ft (2.13 m)'te ve diğeri 9 ft (2.74 m)'da konacaktır.

Dört-boru katlı sistem, tepe borunun 2 ft (0.6 m) aralıkta (7 ft (2.13 m), 8 ft (2.43 m) ve 9 ft (2.74 m)) konan diğerleriyle yüzeyden 5 ft (1.5 m) olacağı için, önerilmeyecektir. Daha derin hendekler, yerleştirme maliyetini yükseltecektir. Bununla birlikte, küçük boru alanlarında, bu belki de gerekli olabilir. Böylece, ortalama boru derinliği, 10.sıraya yazılır.

**Adım 11. Yüksek toprak sıcaklığı ( $T_m+STD$ ).** Yüksek toprak sıcaklığı, ortalama yıllık toprak sıcaklığına, tasarım toprak sıcaklığı değişiminin (TSD) eklenmesi ile bulunur. Bizim örneğimizde, 66 °F (18.8 °C) olan  $T_m$ 'ye 10 °F (5.5 °C) TSD'nin eklenmesiyle, 76 °F (24.4 °C) ( $T_h$ ) bulunur. Bu değer, 11.sıraya yazılır.

**Adım 12. Düşük toprak sıcaklığı ( $T_L$ ).** Düşük toprak sıcaklığı, ortalama yıllık toprak sıcaklığından ( $T_m$ ) tasarım toprak sıcaklığı değişiminin (TSD) çıkarılması ile bulunur. Bizim örneğimizde, 66 °F (18.8 °C) olan  $T_m$ 'ye 10 °F (5.5 °C) TSD'nin çıkarılması 56 °F (13.3 °C) ( $T_h$ ) bulunur. Bu değer, 12.sıraya yazılır.

#### d) Isı pompası bilgisi

Adım 13'ten 22'e kadar verilen değerler, uygulamada kullanılacak cihaz için üreticinin teknik özelliklerini göstermektedir. Antifriz kullanımının gerekli olması veya olmamasına bağlı olarak, cihazın, su debi yanı sıra, tatmin edici bir şekilde karşıt çalışacağı maksimum ve minimum su sıcaklıkları ve cihazın verim karakteristikleri kaydedilir.

**Adım 13. En yüksek soğutma suyu giriş sıcaklığı ( $T_{GSS}$ ).** Cihaza giren en yüksek su sıcaklığı,  $T_{max}$  olarak sınıflandırılır ve 13. sırada gösterilir. Örneğin, Tablo 8'deki WPH28-1H cihazını ele alalım ve limit 85 °F (29.4 °C) olsun.

**Adım 14. Antifriz kullanılmaksızın, en düşük su giriş sıcaklığı ( $T_{GSI}$ ).** Sulu sistemlerinde antifrizsiz olarak, ünitenin en düşük su sıcaklığı, 45 °F (7.2 °C) olarak alınmaktadır (Tablo 8'e bakınız).  $T_{min}$ , bu durumda, 45 °F (7.2 °C)'tir. 14.sıraya kaydedilir.

**Adım 15. % 20 antifriz solüsyonlu durumda, en düşük su giriş sıcaklığı ( $T_{GSI}$ ).** Toprak çevrim sistemlerinde % 20 antifriz karışımı kullanılarak, cihazda  $T_{GSI}$ 'nin 25 °F (-3.8 °C)'lik bir  $T_{min}$  da çalışmasına izin verilir. Bu, 15.sıraya kaydedilir.

**Adım 16. Cihazın soğutma kapasitesi (ÜK).** Adım 14'te seçilen  $T_{max}$  sıcaklığı ve Tablo 8'deki cihaz kapasite tablosu kullanılarak, 4 GPM (galon/dakika) 'de 21200 BTUH (6 211.5 W), 6 GPM (galon/dakika)'de 28 600 BTUH (6 328.7 W) ve 8 GPM (galon/dakika)'de 28 800 BTUH (6 358 W) olduğunu buluruz. Tahmin edilen soğutma yükü 19112 BTUH (5599.7 W)'dir.

% 10 tolerans kullanılarak, 21.024 BTUH (6 159.7 W)'lık bir kapasiteye ihtiyacımız vardır. Aşırı seçim olmasın diye, buna yakın bir kapasiteyi elde etmek için, 4 GPM değerini kullanacağız. ÜK= 21 200 BTUH (6 211.5 W) değeri, 16.sıraya yazılır.

**Adım 17. Isıtma cihazı kapasitesi (antifriz yok) (İK).** 45°F (7.2 °C)  $T_{min}$ 'de soğutma için seçilmiş 6 GPM kullanılarak, Tablo 8'den cihazın İK'nin 19 700 BTUH (5 772 W) verildiğini belirleriz. Bu, 17.sıraya yerleştirilir.

**Adım 18. Isıtma cihazı kapasitesi (% 20 antifriz) (IK).** % 20 antifriz solüsyonu kullanılarak, cihazda, 25°F (-3.8 °C)'lık bir  $T_{GSS}$  değeri kabul edilir. 6 GPM debi ile, cihaz 13 500 BTUH (3 955.5 W) verecektir. Bu değer, 18.sıraya kaydedilir.

**Adım 19.  $T_{max}$ 'ta cihaz soğutma etki katsayısı (COP<sub>s</sub>).** Tablo 8' den seçilen cihazın COPs (etkinlik katsayısı), 6 GPM su debisi ile 80 °F (26.6 °C)  $T_{max}$ 'da 3.0' tür.

Tablo'da verilen etkinlik katsayısı, su dolaşım pompası olmaksızın, EER (enerji yeterlilik oranı) cinsinden 10.5 olarak verilmiştir. EER oranını, COP dönüştürmek için, EER oranı 3.413'e bölünür. Böylelikle, EER = 10.5 'un 3.413' e bölünmesiyle, COP değeri olarak 3.0 elde edilir. Bu 19.sıraya kaydedilir.

**Adım 20. Isıtma cihazı COPı değeri (antifriz yok).** Antifriz kullanılmadan, cihazda, 45 °F (7.2 °C)'lık bir  $T_{min}$  değeri gereklidir. 6 GPM su debisi ile, sirkülasyon pompası olmaksızın, cihazın COPı değeri 3.2 olur (Tablo 8). Bu değer, 20.sıraya yazılır.

**Tablo 8.** WPH28-1H kodlu cihaz özellikleri [16].

WPH28-1H (S O Ğ U T M A)								(I S I T M A)						
TGSS	GPM	TOPLAM W	HİSSEDİLİR W	W	EER POMPASIZ	EER POMPALI	ATILAN ISI BTUH	TGSS	GPM	TOPLAM W	W	COP POMPASIZ	COP POMPALI	ÇEKİLEN ISI BTUH
45	2	9258.7	6475.2	2300	13.7	13.1	11280	45	4	6709.64	2140	3.1	2.8	4834
	3	9698.2	6563.1	2180	15.2	14	11573		7	7149.14	2200	3.2	2.7	4922
	4	9903.3	6651.0	2130	15.9	14.3	11749		10	6709.64	2240	3.0	2.6	5098
50	2	9053.6	6416.6	2350	13.1	12.5	11105	50	4	7266.33	2220	3.3	3	5040
	3	9493.1	6504.5	2240	14.5	13.4	11427		7	7764.43	2300	3.4	2.9	5743
	4	9698.2	6563.1	2180	15.2	13.7	11573		10	7998.83	2340	3.4	2.7	5655
55	3	9258.7	6416.6	2300	13.7	12.7	11280	55	4	7852.33	2310	3.4	3.1	5538
	4	9493.1	6504.5	2240	14.5	13.1	11456		7	8379.72	2400	3.5	3	5977
	5	9639.6	6563.1	2220	14.8	13.2	11573		10	8614.12	2440	3.5	2.8	6153
60	3	9082.9	6299.4	2350	13.2	12.3	11134	60	3	8028.13	2340	3.4	3.2	5684
	4	9258.7	6387.3	2300	13.7	12.4	11280		5	8702.02	2450	3.6	3.2	6241
	5	9405.2	6445.9	2260	14.2	12.5	11368		8	9112.22	2520	3.6	3	6563
65	4	9024.3	6328.7	2360	13.1	11.8	11105	65	3	8467.62	2410	3.5	3.3	6036
	6	9229.4	6416.6	2300	13.7	12.1	11251		5	9200.12	2520	3.7	3.3	6651
	8	9346.6	6475.2	2280	14.0	11.6	11339		8	9668.91	2600	3.7	3.1	7061
70	4	8819.2	6240.8	2420	12.4	11.3	10958	70	3	8995.02	2500	3.6	3.4	6475
	6	9024.3	6328.7	2370	13.0	11.3	11105		5	9786.11	2620	3.7	3.4	7149
	8	9112.2	6387.3	2340	13.3	11	11163		8	10284.2	2700	3.8	3.2	7559
75	5	8702.0	6152.9	2450	12.1	10.8	10870	75	2	8702.02	2440	3.6	3.4	6241
	7	8819.2	6211.5	2420	12.4	10.6	10958		4	10049.8	2660	3.8	3.5	7384
	9	8907.1	6270.1	2400	12.7	10.3	11017		6	10606.5	2750	3.9	3.6	7852
80	5	8467.6	6065.0	2520	11.5	10.3	10694	80	2	9229.42	2520	3.7	3.5	6680
	7	8584.8	6123.6	2490	11.8	10.1	10782		4	10665.1	2760	3.9	3.6	7882
	9	8643.4	6182.2	2470	11.9	9.8	10812		6	11280.4	2860	3.9	3.6	8204
85	5	8233.2	5977.1	2590	10.8	9.7	10519	85	5	8233.2	2590	10.8	9.7	10519
	7	8379.7	6035.7	2550	11.2	9.6	10636		7	8379.7	2550	11.2	9.6	10636
	9	8438.3	6094.3	2540	11.3	9.4	10694		9	8438.3	2540	11.3	9.4	10694
90	6	8057.4	5889.2	2640	10.4	9.2	10401	90	6	8057.4	2640	10.4	9.2	10401
	8	8174.6	5947.8	2600	10.7	9.1	10489		8	8174.6	2600	10.7	9.1	10489
	10	8233.2	5977.1	2580	10.9	8.8	10519		10	8233.2	2580	10.9	8.8	10519

**Adım 21. Isıtma cihazı COPı değeri (% 20 antifriz).** % 20 antifriz kullanılarak, T<sub>min</sub> (minimum giren su sıcaklığı), 25 °F (-3.89 °C)'tır. 6 GPM su debisiyle, sirkülasyon pompası olmaksızın, cihazın 2.7'lik bir COPı değeri olur. Bu değer, 21.sıraya kaydedilir.

#### e) Cihazın çalışma faktörü

*Çalışma faktörü*, cihazın ısıtma ve soğutma modunda çalışması beklenen zamanın yüzdesidir. İlgili yöntem, Tablo 6'da kullanılmıştır.

Çalışma faktörü hesap metodunu kullanmak için bilgi, tasarım sıcaklıkları ve ısı kazancı ve kaybı şekilleri 22, 21, 22, 23, 24, 25, 26 ve 27.sıralara kaydedilmiştir.

**Adım 22. Soğutmada tasarım dış hava sıcaklığı.** Bu İzmir şartlarında, 93 °F (33.8 °C). Bu 22.sıraya kaydedilir.

**Adım 23. Soğutmada tasarım ısı kazancı.** Soğutma tasarım ısı kazancının ilgili hesaplama normlarına göre, 14335 BTUH (4200 W) olduğu belirlenmiştir. Bu 23.sıraya yazılır.

**Adım 24. Isıtmada tasarım dış hava sıcaklığı.** Bu, İzmir şartlarında, 32 °F (0 °C). Bu, 24.sıraya yazılır.

**Adım 25. Isıtmada tasarım ısı kaybı.** Isıtma tasarım ısı kaybının ilgili hesaplama normlarına göre, 12970 BTUH (3800 W) olduğu belirlenmiştir. Bu 25.sıraya kaydedilir.

**Adım 26. Soğutmada çalışma faktörü.** Tablo 6 kullanılarak, İzmir için soğutma çalışma faktörü, 0.696 olarak belirlenmiştir. Bu, 26.sıraya yazılır.

**Adım 27. Isıtmada çalışma faktörü.** Tablo 6 kullanılarak, İzmir için soğutma çalışma faktörü, 0.169 olarak belirlenmiştir. Bu, 27.sıraya yazılır.

#### f) Toprak ısı değiştiricisi uzunluğu

*Soğutma ve ısıtma çalıştırma modunda*, geri kalan adımlar, istenilen ısı transferini sağlamak için, gerekli olan kazılmış borunun miktarını belirlemek üzere yapılan matematiksel hesaplamalardır. Antifriz solüsyonunun gerekli olup olmadığını belirlemek için, ısıtıcı boru uzunluğu her koşulda hesaplanmalıdır. İlgili yerden kazanılan deneyimler, bu hesaplama adımlarını azaltmaya yöneliktir. Bununla birlikte, her adım dikkate alınmalıdır.

Hesaplama yöntemiyle, 12,000 BTUH (3515.9 W) bazında, ısıtma ve soğutma modunda gerekli olan boru miktarı belirlenir. Boru uzunluğu hesaplandıktan sonra, toplam boru uzunluğu, cihazın kendi ısıtma ve soğutma kapasitesine uyulanır.

#### g) Soğutma modunda boru uzunluğunun hesaplanması

**Adım 28. Hesaplama formülü.** Adım 1'den 28'e kadar bu değerler, İzmir'deki uygulamaya bağlıdır. Adım 28, cihazın soğutma kapasitesinin her 12.000 BTUH (3515.9 W) için soğutma boru uzunluğunu hesaplamak için kullanılan bağıntıyı verir. Hesaplamalar, ya 12 000 BTUH bazında Eş. (5a) veya SI birimlerle Eş. (5c) kullanılarak hesaplanır. Bu çerçevede, değerler yerine konulursa, 12 000 BTUH başına soğutma modunda boru uzunluğu 502.44 ft 8153.14 m) bulunur.

**Adım 29.** Toplam soğutma boru uzunluğu, cihazımızın soğutma kapasitesi ile çarpımının 12 000 BTUH'a bölünmesiyle bulunur. Soğutma kapasitesi 16. sırada 21200 BTUH (6211.5 W) olarak verilmiştir. Tablo'da bu değer, 0.3048 ile çarpılıp metreye çevrilmiştir. Sonuç, 270.55 m bulunmuş olup, bu değer, 29.sıraya yerleştirilmiştir.

**Tablo 9.** WPH22-1H kodlu cihaz özellikleri [16].

H (S O Ğ U T M A)								(I S I T M A)						
TGSS	GPM	TOPLAM W	HİSSEDİLİR W	W	EER POMPASIZ	EER POMPALI	ATILAN ISI BTUH	TGSS	GPM	TOPLAM kW	W	COP POMPASIZ	COP POMPALI	ÇEKİLEN ISI BTUH
7.2	2	7266.3	4893.1	1730	14.3	13.4	8731.3	7.2	4	5772.0	1780	3.2	2.7	4248.5
	3	7530.0	5010.3	1660	15.5	14.0	8936.4		7	5918.5	1800	3.3	2.6	4395.0
	4	7647.2	5068.9	1630	16.0	14.0	9024.3		10	5977.1	1820	3.3	2.5	4424.3
10.0	2	7090.5	4834.5	1770	13.7	12.8	8584.8	10.0	4	5918.5	1820	3.3	2.9	4365.7
	3	7354.2	4951.7	1710	14.7	13.3	8789.9		7	6240.8	1860	3.4	2.8	4629.4
	4	7471.4	4981.0	1670	15.3	13.4	8877.8		10	6387.3	1890	3.4	2.7	4746.6
12.8	3	6944.0	4775.9	1820	13.0	12.2	8496.9	12.8	4	6475.2	1910	3.4	3.0	4834.5
	4	7178.4	4863.8	1750	14.0	12.7	8672.7		7	6768.2	1950	3.5	2.9	5068.9
	5	7295.6	4922.4	1720	14.5	12.7	8760.6		10	6914.7	1980	3.5	2.8	5186.1
15.6	3	7002.6	4805.2	1800	13.3	12.1	8526.2	15.6	3	6944.0	1980	3.5	3.1	5215.4
	4	7119.8	4834.5	1770	13.7	12.1	8614.1		5	7266.3	2040	3.6	3.0	5479.1
	5	7178.4	4863.8	1750	14.0	12.0	8672.7		8	7442.1	2070	3.6	2.9	5625.5
18.3	4	6826.8	4717.3	1850	12.6	11.5	8409.0	18.3	3	7295.6	2040	3.6	3.2	5508.4
	6	6944.0	4775.9	1820	13.0	11.5	8496.9		5	7705.8	2120	3.6	3.1	5830.6
	8	7002.6	4805.2	1790	13.4	11.4	8526.2		8	7823.0	2130	3.7	3.0	5947.8
21.1	4	6651.0	4658.7	1900	11.9	10.9	8291.8	21.1	3	7442.1	2060	3.6	3.3	5654.8
	6	6826.8	4717.3	1840	12.7	10.9	8409.0		5	8028.1	2180	3.7	3.2	6123.6
	8	6914.7	4775.9	1820	13.0	10.5	8467.6		8	8291.8	2220	3.7	3.1	6328.7
23.9	5	6475.2	4570.8	1950	11.3	10.4	8174.6	23.9	2	7910.9	2160	3.7	3.4	6006.4
	7	6651.0	4658.7	1900	11.9	10.3	8291.8		4	8262.5	2210	3.7	3.4	6328.7
	9	6709.6	4688.0	1880	12.2	10.0	8321.1		6	8496.9	2260	3.8	3.3	6504.5
26.7	5	6416.6	4541.5	1960	11.2	10.0	8116.0	26.7	2	7910.9	2160	3.7	3.5	6006.4
	7	6533.8	4570.8	1920	11.6	9.8	8203.9		4	8526.2	2270	3.8	3.5	6533.8
	9	6563.1	4600.1	1910	11.7	9.4	8233.2		6	8936.4	2340	3.8	3.5	6856.1
29.4	5	6211.5	4482.9	2020	10.5	9.4	7969.5	29.4	5	6211.5	2020	10.5	9.4	7969.5
	7	6328.7	4512.2	1990	10.9	9.2	8057.4		7	6328.7	1990	10.9	9.2	8057.4
	9	6358.0	4541.5	1970	11.0	8.9	8057.4		9	6358.0	1970	11.0	8.9	8057.4
32.2	6	6094.3	4424.3	2060	10.1	8.8	7881.6	32.2	6	6094.3	2060	10.1	8.8	7881.6
	8	6152.9	4453.6	2040	10.3	8.5	7940.2		8	6152.9	2040	10.3	8.5	7940.2
	10	6182.2	4482.9	2030	10.4	8.2	7940.2		10	6182.2	2030	10.4	8.2	7940.2

**h) Isıtma modunda boru uzunluğunun hesaplanması (antifriz yok)**

**Adım 30.** Isıtma modunda toprak ısı değiştirici boru uzunluğunu hesaplamak için, aynı basit formül (Eş. (4a)-(4c)) kullanılmakta ve adımlar sırayla izlenmektedir. Değişkenler, COP,  $F_1$ ,  $T_L$ , ve  $T_{min}$ 'dir. Bunlar, 20, 27, 12 ve 14. sıralarda verilmiştir. Buradan, ısıtma boru uzunluğu, 599.31ft (322.42 m) bulunur ve 30. sıraya yerleştirilir.

**Adım 31.** Toplam ısıtma boru uzunluğu (antifrizsiz) 30. adımda bulunan değer, 17. adımdaki IK ile çarpılıp 12.000 BTUH'a bölünmesiyle bulunur. Bulunan değer 0.3048 ile çarpılıp m'ye çevrilerek, sonuç 299.88 m bulunmuştur.

**i) Isıtma modunda boru uzunluğunun hesaplanması (% 20 antifrizli)**

45°F'ın altındaki su sıcaklığında ( $T_L$ ) kullanılan cihazda, farklı  $T_{min}$ , IK ve COP değerleri olacaktır. Bunlar 15, 18 ve 21. sıralarda gösterilmiştir.



**Adım 32. Temel formül.** Formülde her birinin yerine gerçek değerleri yerleştirilir Bizim örneğimizde, 25°F (T<sub>min</sub>) cihaza giren düşük su sıcaklığı ve 56°F (T<sub>L</sub>) cihaza giren su sıcaklığı ile bulacağız. Isı transferi için, toprak ile % 20 antifriz karışımı arasındaki sıcaklık farkı 31°F olarak bulacağız. Bu sayı, payda ile bölünerek, 12 000 BTUH (3 515.9 W) ısıtma kapasitesi başına boru uzunluğu 194.76 feet (59.37 m) bulunur.

**Adım 33. Isıtma için toplam boru uzunluğunu** bulmak için, 12 000 BTUH (3 515.9 W) başına uzunluk, T<sub>GSI</sub> ve GPM (galon/litre)'de cihazın ısıtma kapasitesine 12 000 BTUH (3 515.9 W)'in oranı ile ayarlanmaktadır.

Bu uygulamada, 12 000 BTUH (3 515.9 W) ile bölünen 12 000 BTUH (3 515.9 W) başına 194.76 ft kere 25°F'de cihazın ısıtma kapasitesidir. Isıtma modunda çalıştırma için, ısı değiştiricinin toplam boru uzunluğunun (TBU), 102.83 m olduğu belirlenir.

Bulunan sonuçlar Tablo 10' da özetlenmiştir:

**Tablo 10. Yatay boru uzunluğu hesaplama föyü [18].**

Isim: Ege Üni. Güneş Enerjisi Enst. Yer: Bornova /Izmir		Boru Uzunluğu Soğutma: Boru Uzunluğu Isıtma:		270.55 m 102.83 m		
GRUP	NO	SIRA AÇIKLAMA	TEKNİK DEĞERLER	BİRİM	GÖSTERİM	FORMÜL
TOPRAK BİLGİSİ	4 5 6 7	Tipi Çukurdaki boru sayısı Borular arası açıklık Direnci	Ortalama 1 0 0.98		Rt	
YER BİLGİSİ	8 9 10 11 12	Ortalama toprak sıcaklığı Dağıtılmış toprak sıcaklığı Yatay serpantin derinliği Yüksek toprak sıcaklığı Düşük toprak sıcaklığı	66 10 1.82 76 56	°F °F m °F °F	Tm TSV Th Tl	Tm+STV Tm-STV
ISI POMPASI BİLGİSİ	13 14 15 16 17 18 19 20 21	En yüksek GSSs En düşük GSSı En düşük GSSı Soğutma kapasitesi Isıtma kapasitesi (antifrizsiz) Isıtma kapasitesi (antifrizli) Soğutma etki katsayısı Isıtma etki katsayısı Isıtma etki katsayısı	85 45 25 21200 19700 13500 3 3.2 2.7	°F °F °F BTUH BTUH BTUH  COPs COPı antf.yok COPı %20 antf.	Tmax Tmin antf.yok Tmin %20 antifriz SK IK	
ÇALIŞMA FAKTÖRÜ	22 23 24 25 26 27	Soğutmada tasarım dış hava sıcaklığı Soğutma tasarım ısı kazancı Isıtma tasarım dış hava sıcaklığı Isıtma tasarım ısı kazancı Soğutmada çalışma faktörü Isıtma çalışma faktörü	93 14335 32 12970 0.169 0.696	°F BTUH °F BTUH		
TOPRAK ISI DEĞİŞTİRİ- CİSİ BORU UZUNLUĞU	28 29 30 31 32 33	Soğutmada boru uzunluğu Soğutma toplam boru Uzunluğu Isıtma boru uzunluğu Isıtma toplam boru uzunluğu Isıtma boru uzunluğu Isıtma toplam boru uzunluğu	502.44 270.55  599.31 299.88  194.76 102.83	ft m  ft m  ft m	Antifriz Yok % 20 Antifriz	BU <sub>s</sub> * TBU <sub>s</sub> = BU <sub>s</sub> *SK  BU <sub>i</sub> * TBU <sub>i</sub> = BU <sub>i</sub> *IK  BU <sub>i</sub> * TBU <sub>i</sub> = BU <sub>i</sub> *IK

## j) Düşey toprak ısı değiştiricili sistem

Düşey boru sondajı içindeki U-borulu ısı değiştirici boru kullanılan bir seri sistem kullanılacaktır. Bu sistem, tek U-borunun içinden, tüm sıvının dolaşmasından oluşur. Tablo 10'nu kullanarak, gerekli olan toplam ısı değiştirici boru uzunluğu hesaplanacaktır.

**Tablo 11.** Düşey toprak ısı değiştiricisi boru uzunluğu hesaplama föyü [18].

İsim: Ege Üni. Güneş Enerjisi Enst.		Boru Uzunluğu Soğutma: 702.89 m				
Yer: Bornova /İzmir		Boru Uzunluğu Isıtma: 43.45 m				
Sondaj sayısı: 4		Çapı: 4 3/4 "		Derinlik: 88 m		
GRUP	NO	SIRA	TEKNİK DEğERLER	BİRİM	GÖSTERİM	FORMÜL
		AÇIKLAMA				
BORU BİLGİSİ	1	Malzemesi	PE 40			
	2	Çapı	1 1/2 "			
	3	Direnci	0.08		Rb	
TOPRAK BİLGİSİ YER BİLGİSİ	4	Tipi	Ortalama			
	5	Direnci	0.94		Rt	
	6	Ortalama toprak sıcaklığı	66	°F	Tm	
	7	Dağıtılmış toprak sıcaklığı	10	°F	TSV	
	8	Yüksek toprak sıcaklığı	76	°F	Th	Tm+STV
	9	Düşük toprak sıcaklığı	56	°F	Tl	Tm-STV
ISI POMPASI BİLGİSİ	10	En yüksek GSSs	85	°F	Tmax	
	11	En düşük GSSı	45	°F	Tmin	
	12	En düşük GSSı	25	°F	Tmin%20an	
	13	Soğutma kapasitesi	21200		antf.yok	
	14	Isıtma apasitesi (antifirizsiz)	19700	BTUH	tf	
	15	Isıtma kapasitesi (% 20 antiifizli)	13500	BTUH		
	16	Soğutma etki katsayısı	3		COPs	
	17	Isıtma etki katsayısı (antifirizsiz)	3.2		COPI	
18	Isıtma etkinlik katsayısı (% 20 antiifizli)	2.7		antf.yok		
					COPI %20	
					antf.	
ÇALIşMA FAKTÖRÜ	19	Soğutmada dış hava tasarım sıcaklığı	93	°F		
	20	Soğutmada tasarım ısı kazancı	14335	BTUH		
	21	Isıtmada tasarım dış hava sıcaklığı	32	°F		
	22	Isıtmadatasarım ısı kazancı	12970	BTUH		
	23	Soğutma modunda çalışma faktörü	0.696		Fs	
	24	Isıtma modunda çalışma faktörü	0.169		Fı	
ISI DEğİşTİRİCİSİ BORU UZUNLUğU	25	Soğutmada boru uzunluğu	2306.06	ft		BUs *
	26	Toplam sondaj uzunluğu	1153.03	ft		TSUs = BUs/2
	27	Sondaj adeti	4			SAs = TSUs / 300
	28	Sondaj uzunluğu	87.86	m		SUs = TSUs / SA
	29	Isıtma modunda boru uzunluğu	561.46	ft	Antfriz Yok	BUI
	30	Toplam sondaj uzunluğu	281	ft		TSUI = BUI/2
	31	Sondaj adeti	1			SAI = TSUI / 300
	32	Sondaj uzunluğu	85.57	m		SUI = TSUI / SA
	33	Isıtma modunda boru uzunluğu	142.55	ft	Antfriz Var	BUI
	34	Toplam sondaj uzunluğu	71.27	ft		TSUI = BUI/2
	35	Sondaj adeti	0.24			SAI = TSUI / 300 *
	36	Sondaj uzunluğu	21.72	m		SUI = TSUI / SA

Montajda, ısı fizyon kaynağı ile birleştirilmiş 1 ½" lik polietilen 40 boru kullanılacaktır. ¾" den 2" e kadar plastik borular için tek U-bükme ve çift U-bükme (her delik için çift U-bükme) için istenen minimum çaplı boru sondajı değerleri, Tablo 12'de verilmektedir. Çift U-bükmenin kullanımı yüksek maliyet nedeniyle sınırlıdır. Çift U-bükme, yıllık ortalama yer sıcaklığının (Tm), 60 °F (15.56 °C) veya daha aşağısında olan bölgelerde sınırlı olarak kullanılır.

**Tablo 12.** Sondaj çapları [16].

SONDAJ İÇİN MİNİMUM ÇAP		
Boru çapı	Tek U-bükme	Çift U-bükme
¾"	3 ¼"	4 ½"
1"	3 ½"	5 ½"
1 ¼"	4"	5 ¾"
1 ½"	4 ¾"	6"
2"	6"	7"

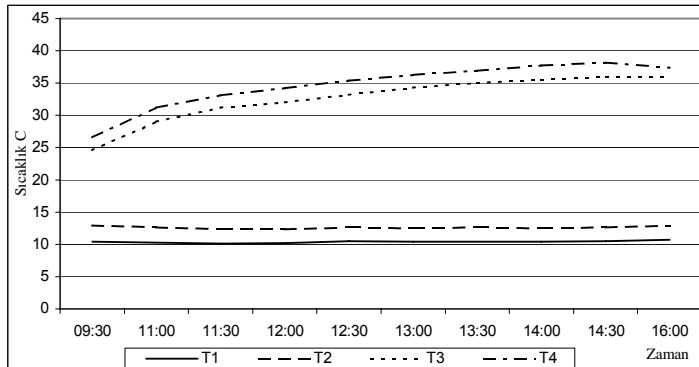
66 °F (18.8 °C) Tm ile İzmir'de, 4 ¾" boru sondajı içinde 1 ½" lik boru ile tek U-bükme sistem kullanılacaktır. Burada, yatay boru değiştiricisinde kullanılan temel formül aynıdır. Değerlerden, boru direnci Rb (3.sıra) ile toprak direnci Rt (5.sıra) değişir. Boru direnci için, Tablo 3'deki Rbd değeri ve Rt için Tablo 4'deki U-bükme kısmı kullanılacaktır. Örneğimizde, Rb için; 0.080 ve Rt için; 0.94 kullanılmıştır.

Tablo 11'de, 25.sırada verilen soğutma ısı değiştirici uzunluğu 12 000 BTUH başına soğutma ısı değiştirici uzunluğu bulunduktan sonra, soğutma kapasitesi ile çarpılıp, 12 000 BTUH'a bölünmüş ve 2 306.06 ft (702.89 m) bulunmuştur.

Tek U-bükme çevriminde her sondajda iki boru kullanılır. Toplam boru derinliği, 2 306.06 ft (702.89 m)'in yarısı veya 1153.03 ft (351.44 m)'tir. Maksimum boru derinliği, 300 ft (91.44 m)'tir. Böylelikle, 288 ft (87.86 m) derinlikte 4 sonda, soğutma kapasitesini kullanmak için gerekmektedir. Bu, 26, 27 ve 28.sıralarda gösterilmiştir. Eğer sadece ısıtma yükünü dikkate alırsak, tablodan da görüleceğe üzere, 21.72 m uzunluğunda tek sondaj yeterli olacaktır.

### 8.3. Ölçülen Değerler

Bu çalışmada fikir vermek üzere, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nün bir dersliğinden kurulan, düşey toprak ısı değiştiricili sistemden elde edilen bazı deneysel değerler verilecektir. 25.07.2000 tarihinde yapılan deneysel ölçümlere göre, zamanla çeşitli yerdeki sıcaklıkların değişimi Şekil 9' da ve bazı ölçüm değerleri ise, Tablo 13' de gösterilmiştir.



T<sub>1</sub> : Odaya giriş sıcaklığı

T<sub>2</sub> : Odadan çıkış sıcaklığı

T<sub>3</sub> : Toprak ısı değiştirici dönüş sıcaklığı

T<sub>4</sub> : Toprak ısı değiştirici giriş sıcaklığı

**Şekil 9.** Zamanla sıcaklığın değişimi [18].

**Tablo 13.** Deneysel ölçüm sonuçları (25.07.200 tarihli) [18].

Zaman		09:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	16:00
T <sub>1</sub>	°C	10.4	10.3	10.1	10.2	10.5	10.4	10.4	10.4	10.5	10.7
T <sub>2</sub>	°C	12.9	12.6	12.3	12.3	12.6	12.5	12.6	12.5	12.6	12.9
T <sub>3</sub>	°C	24.6	29	31.2	32	33.2	34.3	35	35.5	36	36
T <sub>4</sub>	°C	26.6	31.2	33.1	34.2	35.4	36.3	36.9	37.7	38.2	37.4
T <sub>e</sub>	°C	0	-1.5	-1	-0.5	0	0	0	0.5	0.7	0.8
T <sub>k</sub>	°C	65.8	61.5	62	62.8	63.5	64	65	65.7	66	66
P <sub>e</sub>	bar	4	3.8	3.81	3.9	4	4	4	4.1	4.1	4.1
P <sub>k</sub>	bar	24.7	24	24.1	24.7	25	25.5	26	26.1	26.5	26.5
m <sub>t</sub>	l/h	1780	1800	1750	1780	1700	1750	1750	1700	1700	1700
P <sub>t</sub>	bar	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
I <sub>komp</sub>	A	3.1	3.1	3	3	3.1	3	3	3	3.1	3.1
I <sub>p1</sub>	A	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
I <sub>p2</sub>	A	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
V <sub>1</sub>	Volt	225	223	224	224	225	224	225	223	224	225
V <sub>3</sub>	Volt	392	386	388	390	389	387	391	387	392	389
T <sub>o</sub>	°C	26.2	25	25	25.3	25.5	25.8	25.9	25.9	25.8	26
T <sub>h</sub>	°C	30	32	33	33.5	34	36	36	36.5	36.5	36.5
T <sub>t1</sub>	°C	25	26.8	27	27.5	27.9	28.2	28.6	28.5	27.7	27.8
T <sub>t50</sub>	°C	24.4	28.8	30.8	32	32.8	33.7	34	34.6	35.2	34.8
T <sub>1</sub>	°C	Odaya giden su sıcaklığı									
T <sub>2</sub>	°C	Odadan dönen su sıcaklığı									
T <sub>3</sub>	°C	Toprak ısı değiştiricisinden gelen su sıcaklığı									
T <sub>4</sub>	°C	Toprak ısı değiştiricisine dönen su sıcaklığı									
T <sub>o</sub>	°C	Odanın sıcaklığı									
T <sub>h</sub>	°C	Dış hava sıcaklığı									
T <sub>e</sub>	°C	Evaporatör sıcaklığı									
T <sub>k</sub>	°C	Kondenser sıcaklığı									
P <sub>e</sub>	bar	Evaporatör basıncı									
P <sub>k</sub>	bar	Kondenser basıncı									
P <sub>t</sub>	bar	Toprak ısı değiştiricisi basıncı									
m <sub>t</sub>	l/h	Toprak ısı değiştiricisi debisi									
T <sub>t1</sub>	°C	1 m'deki toprak sıcaklığı									
T <sub>t50</sub>	°C	50 m'deki toprak sıcaklığı									
I <sub>komp</sub> / V <sub>3</sub>	A/Volt	Kompresörün çektiği akım/voltaj									
I <sub>p1</sub> / V <sub>1</sub>	A/Volt	Toprak ısı değiştiricisi (TID) sirkülasyon pompasının çektiği akım/voltaj									
I <sub>p2</sub> / V <sub>1</sub>	A/Volt	Kompresörün çektiği akım/voltaj									

## 9. EKONOMİK ANALİZ

Isı pompası sistemlerinin ekonomik analizinin yapılmasında çeşitli yöntemler kullanılmaktadır [22,23]. Burada, önce önerilerde bulunulacak, daha sonra bir ekonomik analiz yönetimi verilecektir.

### 9.1. Öneriler

1. Toprak çevrimini tasarlamadan önce, alanda, jeoteknik bir araştırma yapılmalı ve açıkça sonuçları ortaya çıkarılmalıdır. Sığ derinliklerdeki (10 ft'dan 40ft'a kadar; 3 m'den 12m'ye kadar) örnekleme, elek analizi ve nem içeriği dahil edilmelidir. Bu, toprak tipi (kum, kaya, kil, çakıl vs.), statik yer suyu seviyesi, delme zorluğu ve dikey bir U-tüp ısı değiştirici yerleştirme zorluğu belirlenmelidir.
2. Tüm toprak borulama için, ısı fizyonla birleştirilmiş yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) kullanılır. Bu boru, sağlam, güvenli ve nispeten ucuzdur. TKIP uygulamaları için tesisat uzmanlığı, artan bir şekilde mevcuttur. Bina içinde kullanımı için de önerilmektedir ve bazı kodlar özel bir şekilde kullanımına izin verir. İstenen boru makas köprücüğü sayısının artmasına rağmen, metal borudan daha az pahalı ve su çevriminde inhibitör ihtiyacı gerekmemektedir.
3. TKIP'da ısı iletim katsayısı düşük olan akışkan kullanımından sakınılmalıdır. Bu sıvalar sistemin maliyetini iki şekilde etkilerler: Pahalıdır ve çevrimin etkisini azaltır, dolayısıyla daha çok uzunluk gerektirir. Boru delik çapları, sıva maliyetini ve termal hatayı azaltmak için minimize edilmelidir.
4. Deneyimli toprak-çevrim uzmanlarına danışılmalıdır. İyi uzmanlar, U-tüp yerleştirme ve toprak başlıklarındaki borulama metotlarını yaparlar ve kolayca hava, kir ve enkazın temizleyebilirler. Acemi TKIP tasarımcıları, derin, çamurlu hendek içinde geniş bir alana geri dönüşümlü başlığı takmanın zorluğunu anlarken, başlığın değerinin farkında bile olmazlar.
5. Tam ve dikkatli bir ısı kazancı ve kaybı çalışması yapılmalıdır. TKIP sistemlerindeki çok daha fazla maliyet yüzünden müşteriler yüksek toprak çevrimine ek olarak gerekli malzeme içinde daha fazla öderler.
6. Daha uzun çevrim ile dengelenen uzun-dönem ısı depolama etkilerini minimize etmek için, sistem dikey boruları ayrılmalıdır. Tasarım programlarıyla boru ayırma uzaklıklarının etkileri mühendislerce incelenebilmesine rağmen, minimum öneri, tipik ticari binalar için 20 ft (6m)'tir.

### 9.2. Maliyete Etki Eden Faktörler

TKIP'larının maliyetini etkileyen bir çok faktör vardır. Bunlar; boru cinsi, boru çapı, salamura cinsi, toprak dolgu malzemelerinin kullanılıp kullanılmayacağı, yatay veya dikey olarak seçilmelerine göre gömme derinliği, delikler arası mesafe, ısı pompası, gerekli elektrik enerjisi maliyetleridir. Bu parametrelerden bazılarının maliyetlere etkileri şöyledir:

**Boru cinsi:** Isı iletkenliği yüksek borular, toprak ısı değiştiricilerinin performansını artırır. Ancak toprak direncinin yanında boru direncinin etkisi ufak olduğundan boru malzemesi seçilirken, korozif ve ısı mukavemet değerleri daha önemli rol oynar.

**Boru çapı:** Boru çapı arttıkça toprak direnci azalır. Aynı şekilde sürtünme kayıpları da azalacağından devri daim pompasının gücü de düşer. Böylece daha büyük boru çapının seçilmesiyle işletme maliyetleri düşerken, ilk yatırım maliyeti artmış olur.

**Salamura cinsi:** Salamuraların fiyatları faydaları ile orantılı bir şekilde artmaktadır. Ancak salamura seçiminde de ilk kriterimiz, maliyetten önce donma noktası, korozif özellikler, zehirlilik gibi sistemin ve çevrenin zarar görmesini önleyici faktörler olmalıdır.

**Toprak dolgu malzemesi:** Toprak dolgu malzemesinin cinsinden çok, kullanılıp kullanılmayacağına karar vermek daha önemlidir. Isıl özellikleri zaten iyi olan topraklarda, pahalı olan dolgu malzemelerinin kullanımı ekonomik değildir. Ancak kimi yerlerde toprak dolgu malzemelerini kullanmak şarttır.

**Borular arası mesafe:** Borular arası mesafeyi, dikey değiştiricilerde, delikler arası mesafe; yatay değiştiricilerde ise hendek genişliği, hendekler arası mesafe ve birkaç kat boru döşendiğinde kot farkı belirler. Bu faktörlerin hepsi maliyetleri direkt olarak etkilemekle beraber, ilk üçünün seçimi, ekonomik analizden önce, döşeme yapılacak alan miktarı tarafından sınırlanmıştır. Kot farkının belirlenmesi ise gömme derinliği ile birlikte düşünölmelidir.

**Gömme derinliği:** Gömme derinliği arttıkça toprak direnci azalır. Böylece, derine gömülen ısı değiştiriciler hafriyat masraflarını arttırmakla beraber, işletme maliyetlerini düşürürler. Tam tersi olarak, yüze yakın döşenen borular da, ilk yatırım maliyetini düşürecek; ancak düşük performans nedeniyle işletme maliyetlerini arttıracaklardır.

Maliyetleri etkileyen en önemli faktörler boru çapı, gömme derinliği ve yeteri kadar büyük döşeme alanının varlığında borular arası mesafelerdir. Dolayısıyla, ekonomik analiz yapılırken, boru ve hafriyat fiyatları ile işçilik ücretleri iyi araştırılmalıdır. Ayrıca, ısı değiştiricilerinin performansları ısı pompasının seçimini etkileyeceğinden, çeşitli firmaların değişik kapasitelerdeki ısı pompalarının fiyatlarını da bilmek gerekir. İşletme maliyetlerinin hesabı içinse, elektrik fiyatının yıllık artış oranı ve enflasyon oranı iyi tahmin edilmelidir.

Tüm bu kararlar neticesinde uygun toprak altı sistemi seçildikten sonra, ısı pompası sisteminin ısı konforu gerçekleştirecek diğer sistemlerle karşılaştırılması lazımdır.

Isıl konforun sağlanması için mevcut alternatifler şunlardır.

- Isı ihtiyacının tek başına ısı pompası tarafından karşılanması,
- Isı ihtiyacının ısı pompası ve ek bir ısı kaynağı tarafından karşılanması,
- Isı ihtiyacının ısı pompası kullanılmadan karşılanması.

Isı ihtiyacı ısı pompası ve ek bir ısı kaynağı tarafından karşılandığında, ısı pompası, ısı ihtiyacımızı belli bir oranda karşılar.

### 9.2.1. Toprak Kaynaklı Isı Değiştiricisi için Maliyet Bilgileri

Dikey toprak ısı değiştiricisi montaj maliyetleri, sürekli değişkendir. Delme koşulları ve uzmanların deneyim ve malzeme yeterliliği seviyesi, büyük bir belirsizlik ekler. Tablo 14' de, fikir vermek üzere yurt dışındaki bazı maliyetler verilmiştir.

Yatırım yapmayı düşünen herhangi bir kuruluş, yatırımın kendisine sağlayacağı faydaları ve yatırımın geri ödeme süresini araştıracaktır. Planlama aşamasında yaralanılacak bir çok teknik vardır. Temel olarak, her teknik yapısal olarak bir projenin diğeriyle kıyaslanmasını sağlar. Örneğin; iki yeni projenin düşünöldüğü durumu göz önüne alalım: (a) İşletme bakımından pahalı, ama yatırım gideri bakımından ucuz olabilir ve (b) Satın alınması pahalı, işletilmesi daha düşük olabilir .

Bu bağlamda, bir projenin yatırım açısından, yatırımın karlılığını ölçmek için, şu ana proje değerlendirme yöntemleri kullanılabilir: (a) Net bugünkü değer, (b) İç karlılık oranı, (c) Basit geri ödeme süresi, (d) Ortalama karlılık oranı, (e) Başa baş noktası ve (f) Maliyet/yarar oranı<sup>(1)</sup>

Aşağıda, geleneksel ve TKIP sisteminin ana maliyeti verilmektedir. Ayrıca, her iki sistem; net bugünkü değerlerine göre kıyaslanacaktır.

**Tablo 14.** Toprak ısı değiştiricisi yerleştirme maliyetleri [18].

(ft uzunlukta boru başına U.S.\$)

U-borusu apı	Kil, kum, çakıl, yumuşak kaya içinde çamur dönmesi. Yüzey kaplaması yok	Yumuşak orta kayada hava dönmesi. Yüzey kaplaması yok.	Kil, kum, çakıl, yumuşak kaya içinde çamur dönmesi. Yüzey kaplamalı	Yumuşak orta kayada hava dönmesi. Yüzey kaplamalı	Yumuşak orta kayada hava vurması. Yüzey kaplaması yok
3/4"	\$3.75 - \$5.00	\$4.00 - \$5.50	\$4.50 - \$6.00		\$5.00 - \$8.50
1"	\$4.00 - \$5.25	\$4.25 - \$5.75	\$4.75 - \$6.25		\$5.50 - \$9.00
1 1/4"	\$4.50 - \$5.75	\$4.75 - \$6.00	\$5.25 - \$6.50		\$5.75 - \$9.50
1 1/2"	\$3.75 - \$5.00	\$5.00 - \$6.25	\$5.50 - \$6.75		\$6.00 - \$10.00

**9.2.2. Ana Maliyet**

Bu kısımda, bir binanın ısıtılması ve soğutmasında kullanılan geleneksel sistem (sıvı yakıt+chiller) ve TKIP sistemi, birbiriyle kıyaslanarak, yararlı olup olmadığı belirlenecektir. Her bir sistemin yıllık masrafları; ilk yatırım maliyeti, yakıt giderleri ve bakım onarım ile işletme giderlerinden oluşmaktadır [24].

$$AM = SM + MM \quad (6)$$

Burada;

AM = Ana maliyet, TL

SM = Satın alma maliyeti, TL

MM = Montaj maliyeti, TL' dir.

**9.2.3. İşletme Giderleri**

Kompresörün bilinen tüketimi ile, ortalama yıllık işletim giderleri maliyeti, ortalama çalışma süresince tahmin edilebilir. Kıyaslanan rnek iki sistem için, Tablo 15a ve 15b' de hesaplama yöntemi verilmiştir.

$$İ = h \times K \times T \quad (7)$$

Burada;

İ = İşletim giderleri, TL

h = Yıllık ortalama çalışma süresi, h

K= Kompresörün gücü, kW

T = Elektriğin birim fiyatı, TL/kWh ' dir.

**Tablo 15a.** rnek iki sistemin ısıtmada enerji maliyetleri (Isıtma modunda) [25]

	ISITMADA	
	Toprak Kaynaklı Isı Pompası	Kalorifer Yakıtı ve Merkezi Klima Sistemi
Binanın ısıtma yükü	259 kW	
Yıllık ısıtma süresi	900 h	
Yıllık ısıtma enerjisi	259 x 900 = 233 100 kWh	
Isıtma Yakıtı (Enerjisi)	Elektrik	Kalorifer yakıtı
Isıl Değer	1 kWh/kWh	13.95 kWh/kg
COP	3.75	0.8
Birim Fiyat	67 445 TL/kWh	221 400 TL/kg
Gerçek Fiyat (TL/kWh)	17 985	19 839
Yakıt (Enerji)Tüketimi	62160 kWh	20 887 kg
A = Isıtma için enerji maliyeti	4 192 381 200 TL	4 624 381 800 TL

**Tablo 15b.** Kıyaslanan İki Sistemin Soğutmada ve Toplamda (Isıtma ve Soğutma) Enerji Maliyetleri [25].

SOĞUTMADA		
	Toprak Kaynaklı Isı Pompası	Kalorifer Yakıtı ve Merkezi Klima Sistemi
Binanın soğutma yükü	294 kW	
Yıllık soğutma süresi	1080 h	
Yıllık soğutma enerjisi	294 x 1080 = 317 520 kWh	
Soğutma yakıtı	Elektrik	Elektrik
Isıl Değer	1 kWh/kWh	1 kWh/kWh
COP	3.75	1
Birim Fiyat	67 445 TL/kWh	67 445 TL/kWh
Gerçek Fiyat (TL/kWh)	17 985	67 445 TL/kWh
Yakıt Tüketimi	84 672 kWh	162 000 kWh
B= Soğutma için enerji maliyeti	5 710 703 000 TL	10 926 090 000 TL
Toplam (C= A + B )	9 903 084 200 TL	15 550 471 800 TL

#### 9.2.4. Bakım Maliyetleri

“ASHRAE El Kitabı”nda [26], ticari boyutta HVAC (Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme) sistemleri için bakım giderlerinin hesaplama yöntemi verilmiştir. ASHRAE yönteminin kullanıldığı hesaplara dayanarak, JIP sisteminin bakım maliyeti, geleneksel HVAC sisteminin 0.035 (orta)-0.046 (ortalama) \$/m<sup>2</sup>-yıl değerine kıyasla (1996 yılı değerine göre), 0.010-0.020 \$/m<sup>2</sup>-yıl' dır [27]. Bununla beraber, Sulatisky ve van der Kamp [28] tarafından, JIP ve alternatif ısıtma/soğutma sistemlerinin bakım giderleri yaklaşık olarak eşit alınmış ve net bugünkü değer kıyaslamalarında içerilmemiştir. Burada, satıcılarından alınan ortalama değerler kullanılmıştır.

#### 9.2.5. Net Bugünkü Değer (NBD)

Ekonomik analizde, NBD yöntemi kullanıldı. Bu yöntem, ısıtma sisteminin ömrü boyunca yakıt giderlerinin ve montajın şimdiki değerine dayanır. Net bugünkü değer kullanılarak, 20 yıl boyunca yapılacak bütün masraflar bulunur [29].

$$NBD = \frac{AM(1+e)^n}{(1+i)^n} \quad (8)$$

Burada:

- NBD : Şimdiki değer  
E : Enflasyon oranı  
i : İndirim oranı veya banka faiz oranı  
n : Yıl  
AM : Şimdiki satın alma maliyetidir.

NBD yöntemine göre yapılan hesaplar, fikir vermek amacıyla, Tablo 16' da gösterilmiştir.



	Kalorifer Yakıtı ve Merkezi Klima Sistemi Ana Maliyeti	Isı Pompası Sisteminin Ana Maliyeti	Kalorifer Yakıtı ve Merkezi Klima Sistemi İşletme Maliyeti	Isı Pompası Sisteminin İşletme Maliyeti	Kalorifer Yakıtı ve Merkezi Klima Sistemi Bakım Maliyeti	Isı Pompası Sisteminin Bakım Maliyeti	Kalorifer Yakıtı ve Merkezi Klima Sistemi Kullanım Maliyeti	Isı Pompası Sisteminin Kullanım Maliyeti	Yapım Kullanım Tasarrufu	Kümülatif Yapım Kullanım Tasarrufu
YIL	AMG	AMI	IMG	IMI	BMG	BMI	YKMG	YKMI	YKT	Kümülatif YKT
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										

Tablo 16. İki sistemin ekonomik bakımdan kıyaslanması

## SONUÇ

Toprak kaynaklı (jeotermal) ısı pompaları (TKIP'ları), gelişmekte olan ülkelerde uzun yıllardır kullanılmasına rağmen, ülkemizde son üç yıldır uygulama alanı bulan bir teknolojidir. Enerji verimliliği ve çevrenin korumasına katkısı nedeniyle, geleneksel ısıtma ve soğutma sistemlerine önemli bir seçenek oluşturmaktadır.

TKIP'ları ile ilgili önemli tasarım, test ve ekonomik analiz kriterlerinin verildiği mevcut çalışmadan, aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

- a) Toprak kaynaklı ısı pompalarında, toprak ısı değiştiricisi (TID) maliyeti, uygulamadan uygulamaya farklılık göstermekle birlikte, ülkemizde, % 30-35 yer tutmaktadır [8]. Bu yüzden, TID' nin tasarımına özen gösterilmelidir.
- b) Toplam etki katsayısının iyileştirilmesinde, TID devresinde kullanılan pompanın uygun seçilmesi gerekmektedir. Bu çerçevede, söz konusu pompanın enerji tüketim verimliliği, kontrol edilmelidir [33].
- c) TID' nin maliyetinin azaltılmasında, özellikle düşey tipli uygulamalarda, toprağın etrafına konan "dolgu maddesi"nin seçimi büyük önem taşımaktadır [30,31,32]. Sistem tasarımında bunun göz önüne alınması gerekmektedir.
- d) Burada sunulan teorik ve deneysel çalışmadan, TKIP'sı sistemlerin ülkemizde başarılı olarak kullanılabileceği ortaya çıkmaktadır.
- e) Dolayısıyla, bu sistemlerin ülkemizde yaygınlaştırılmasıyla, enerji verimliliği sağlanacak, başka bir deyişle "çocuklarımıza temiz bir çevre" bırakılmasına önemli katkıda bulunulabilecektir.

## KAYNAKLAR

- [1] BATIK, H., KOCAK, A., AKKUS, I., SIMSEK, S., MERTOGLU, O., DOKUZ, I. and BAKIR, N., Geothermal Energy Utilization Development in Turkey-Present Geothermal Situation and Prejections, *Proceedings World Geothermal Congress 2000, Kyushu - Tohoku, Japan*, 85-91, May 28 - June 10, 2000.
- [2] LUND, J. W. and FREESTON, D. H., World-wide Direct Uses of Geothermal Energy 2000, *Proceedings World Geothermal Congress 2000, Kyushu - Tohoku, Japan*, 1-21, May 28 - June 10, 2000.
- [3] LUND, J. W. and FREESTON, D.H., World-wide direct uses of geothermal energy 2000. *Geothermics*, Vol. 30, pp. 29-68, 2001.
- [4] LUND, J. W., Geothermal Heat Pumps: An Overview, *Geo-Heat Center Quarterly Bulletin*, Vol. 22, No. 1, pp. 1-2, 2001.
- [5] HEPBASLI, A. and GUNERHAN, H., A Study on the Utilization of Geothermal Heat Pumps in Turkey, *Proceedings World Geothermal Congress 2000, Kyushu - Tohoku, Japan*, 3433-3438, May 28 - June 10, 2000.
- [6] HEPBAŞLI, A. ve ERTÖZ, Ö., Geleceğin Teknolojisi: Yer Kaynaklı Isı Pompaları, *TMMOB Makina Mühendisleri Odası IV. Tesisat Kongresi Bildiriler Kitabı*, Cilt I, Sayfa:445-492, İzmir, 1999.
- [7] HEPBASLI, A., ELTEZ, M. and DURAN, H., Current Status and Future Directions of Geothermal Heat Pumps in Turkey, Twenty-Sixth Annual Workshop Geothermal Reservoir Engineering, January 29-31, 2001, Stanford University, U.S.A, 2001.
- [8] HEPBASLI, A., YILMAZ, H. and EROGLU, S. Three Case Studies of Ground Source Heat Pump Systems Design and Economic Feasibility, IEA ECES IA ANNEX 14 "Cooling in All Climates with Thermal Energy Storage" *Fourth Workshop*, Istanbul, Turkey. April 19, 2001(baskıda).
- [9] HEPBASLI, A., Ground-source (Geothermal) Heat Pumps in Turkey: Past, Present and Future, *Clima 2000/Napoli 2001 World Congress*, 15-18 September 2001, Italy (Bildiri özeti kabul edildi).
- [10] HEPBAŞLI, A. ve ÖZALP, N., Jeotermal Kaynaklı Isı Pompalarının Kar Eritmede Kullanılması, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu (YEKSEM), 18-20 Ocak 2001, Sayfa: 45-52, 2001.

- [11] HEALY, P. F. and UGURSAL, V. I., Performance and economic feasibility of ground-source heat pumps in cold climate. *Int. J. Energy Research*, Vol. 21, pp. 857-870, 1997.
- [12] LIENAU, P. J., Geothermal Heat Pump Performance and Utility Programs in the United States, *Energy Sources*, Vol.19, pp. 1-8, 1997.
- [13] Federal Technology Alert- Ground-Source Heat Pumps Applied to Commercial Facilities-[http://www.pnl.gov/fta/2\\_ground.htm](http://www.pnl.gov/fta/2_ground.htm), 2001.
- [14] GÜNERHAN, H., HEPBAŞLI, A. and ÜLGEN, K., Experimental Studies on Geothermal Heat Pumps at Turkish Universities, 6<sup>th</sup> Turkish-German Energy Symposium, Izmir, Turkey, 21-23 June 2001 (sunuldu, baskıda), 2001.
- [15] KAVANAUGH S.P. and RAFFERTY K., "Ground Source Heat Pumps:Design of Geothermal Systems for Commercial and Institutional Buildings", 1997.
- [16] MILES, L., "Heat Pumps: Theory and Service", Delmar Publishers Inc., NY, 1994, 397 pages, 1994.
- [17] ASHRAE Handbook-Fundamentals, Non-Residential Air-Conditioning Cooling and Heating Load, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, pp.26.1-26.65., 1993.
- [18] HANCIOĞLU, E., "Güneş Enerjisi Destekli Toprak Kaynaklı Isı Pompası İle Bir Hacmin Isıtılması", Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Güneş Enerjisi Enstitüsü), *Yüksek Lisans Tezi* (Danışman: Arif Hepbaşlı), 227 sayfa, 2000.
- [19] HEPBAŞLI, A., HVAC Sistemlerinde Etkinlik ve Verim Tanımları, Bölüm I, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Tesisat Mühendisliği Dergisi, Sayı: 50, Sayfa: 33-53, İstanbul, 1999.
- [20] HEPBAŞLI, A., HVAC Sistemlerinde Etkinlik ve Verim Tanımları, Bölüm II, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Tesisat Mühendisliği Dergisi, Sayı: 51, Sayfa: 24-42, İstanbul, 1999.
- [21] ERSÖZ, İ., "Toprak Kaynaklı Isı Pompası İle Bir Hacmin Soğutulması", Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği ABD, *Yüksek Lisans Tezi* (Danışman: Arif Hepbaşlı), 333 sayfa, 2000.
- [22] HEPBAŞLI, A. ELTEZ, A. and HANCIOĞLU, E., A Feasibility Study on Geothermal Heat Pumps in Aegean Region of Turkey, 4<sup>th</sup> International Thermal Energy Congress (ITEC2001), 8-12 July 2001.
- [23] HEPBAŞLI, A., "Ekonomik Analiz Yöntemleri", Enerji Yönetimi Ders Notları, 25 Sayfa, 1999.
- [24] PETIT, P. J. and MEYER, J. P., Economic Potential of Vertical Ground-Source Heat Pumps Compared to Air-Source Air Conditioners in South Africa, *Energy*, Vol.23 (2), 137-143, 1998.
- [25] HANCIOĞLU, E., HEPBAŞLI, A. ve HOŞGÖR, R., Ülkemizde Jeotermal Isı Pompalarının Fizibilitesi, *YEKSEM'2001 Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Elektrik Mühendisleri Odası, 53-60, 18-21 Ocak 2001.
- [26] ASHRAE HANDBOOK, HVAC, American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA, 1995.
- [27] BLOOMQUIST, R., Geothermal Heat Pumps Five Plus Decades of Experience in the United States, *Proceedings World Geothermal Congress 2000*, Kyushu - Tohoku, Japan, pp. 3473-3378, May 28 - June 10, 2000.
- [28] SULATISKY, M. T. and VAN DER KAMP, G., Ground-Source Heat Pumps in the Canadian Prairies, *ASHRAE Transactions*, Vol. 97, 374-385, 1991.
- [29] DOĞAN, M., "İşletme Ekonomisi ve Yönetimi", Anadolu Matbaacılık, 525 Sayfa, 1995.
- [30] LEONG, W. H., TARNAWSK, V. R. and AITTO MAKI, A., Effect of Soil Type and Moisture Content on Ground Heat Pump Performance, *Int. J. Refrig.*, Vol. 21(8), pp. 595-606, 1998.
- [31] ALLAN, M. L., Materials Characterization of Superplasticized Cement-Sand Grout", *Cement and Concrete Research*, Vol. 30, pp. 937-942, 2000.
- [32] SPILKER, E. H., Ground-Coupled Heat Pumps Design Using Thermal Conductivity Testing and the Effect of Different backfill Materials on Vertical Bore Length, *ASHRAE Transactions*, Part 1B, Vol. 104, pp. 775-779, 1998.
- [33] LUND, J., W., "Course on Heating with Geothermal Energy: Conventional and New Schemes", Ground-Source (Geothermal) Heat Pumps, , Convenor : P. J. Lienau, World Geothermal Congress 2000, 8-10 June 2000, pp. 209-236, Japan, 2000.

## ÖZGEÇMİŞLER

### Arif HEPBAŞLI

1958 yılında İzmir'de doğan Hepbaşlı'nın yaşam felsefesi; üniversite, sanayi ve meslek kuruluşları (MMO, TTMD, ESSİAD gibi) na yönelik işlerin birlikte, dengeli olarak yürütülmesinden oluşmaktadır. İzmir Motor Teknik Lisesi'ni birincilikle bitirdikten sonra (1976), yüksek öğrenimini sırasıyla; Lisans: Selçuk Üniversitesi'nde (bölüm birincisi ve Fakülte ikincisi olarak,1980), Y.Lisans (ve Y.Dil Hazırlık Sınıfı): İTÜ (1985) ve Doktora (aynı zamanda DESA A.Ş.'de çalışarak): S.Ü (1990)'nde tamamladı. İş hayatında ise; S.Ü.'nde Araş. Gör.(1982-1996), DESA A.Ş.'de (Demir Kazan ve Makina Sanayii) Proje Başmühendisliği ile Planlama ve Kalite Sağlama Md.Yard.(1986-1992) ve AKZO-KEMİPOL A.Ş.'de (Boya Sanayii) Mühendislik ve Yatırımlar Md.Yard. (1992-1993) ve SİMPLOT ve BEŞİKÇİOĞLU A.Ş.'de (Dondurulmuş Parmak Patetes Fabrikası) Bakım-Onarım Müdürü (1993-1995) görevlerinde bulundu. Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nin Makine ve Gıda Mühendisliği Bölümlerinde dersler verdi (1995-1996). 1996-1999 yılları arasında, Ege Üniversitesi (E.Ü.) Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde öğretim üyesi (belirli bir süre Enstitü Md.Yard. olarak) çalıştı ve bu arada E.Ü. Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü (MFMMB)'nde ısı tekniği konularında dersler verdi. 1999 yılında, Termodinamik Anabilim Dalı'nda Doçent oldu ve aynı yıldan beri, E.Ü.-MFMMB'ünde öğretim üyesi olarak çalışmaktadır. Ayrıca, 2001 yılından beri de, E.Ü.'nin sanayiye açılan kapısı olan ve bu modelde ülkemizdeki ilk uygulamalardan bir olan, EBİLTEM (Ege Üniversitesi Bilim Teknoloji-Uygulama, Araştırma Merkezi)'de Md. Yardımcılığı görevini yürütmeye çalışmaktadır. Aynı merkez bünyesindeki birimlerden biri olan EVYAB (Enerji Verimliliği ve Yönetimi Ar-Ge Birimi)'in sorumlusudur. "Sertifikalı Enerji Yöneticisi" olan Dr. Hepbaşlı'nın ilgi alanları; enerji verimliliği ve yönetimi, alternatif enerji kaynaklarının potansiyeli ve istatistiksel değerlendirilmesi, jeotermal enerji (özellikle jeotermal ısı pompaları)nin kullanımı, boru mühendisliği, makina mühendisliği eğitimi, enerji ve ekserji analizleri ile HVAC uygulamalarıdır. Evli ve bir kız babası olup, Almanca, İngilizce ve Japonca (Basic II düzeyinde) bilmektedir.

### Ebru HANCIOĞLU

1970 yılında Balıkesir ilinin Bandırma ilçesinde doğumludur. İlk, orta ve lise öğrenimini Bandırma'da tamamladı. 1991 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 1992-2000 yılları arası özel sektörde çalışmıştır. 2000 yılında Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsünden Yüksek Mühendis ünvanını almıştır ve halen aynı yerde doktora öğrenimi görmektedir.