

GELECEĞİN TEKNOLOJİSİ : YER KAYNAKLI ISI POMPALARI

Arif HEPBAŞLI
A. Özden ERTÖZ

ÖZET

Yer Kaynaklı Isı Pompaları (YKIPları), ülkemizde göreceli olarak yeni uygulama bulmuş ve yurt dışından ithal edilen ısı pompaları, tüketicilerin kullanımına sunulmuştur. Bununla beraber, bu konudaki bilgi; gerek tüketici gerekse de bu tesisleri kuran firmalar bazında, istenilen düzeye henüz ulaşmamıştır. Bu çalışmayı yapmanın ana amacı; YKIPlarının, ülkemizde yaygınlaşmasına ivme kazandırmaktır. Bu çerçevede; yurt dışında ve ülkemizde bu konuda yapılan çalışmalar açıklanacak, alışlagelmiş ısıtma ve soğutma sistemlerine göre yarar ve sakıncaları belirtilecek, tasarımıyla ilgili metodoloji ile kısmen ekonomik analiz değerleri verilecek ve YKIPlarının ülkemizde gelişmesine yönelik önerilerde bulunulacaktır. Başka bir deyişle, bu konuda çalışma yapmak isteyenlere, geniş kapsamlı bir literatür listesi (YKIPları imalatçıları, tasarımıyla ilişkin el kitapları ve benzerleri) sunulacak, böylelikle YKIPlarının ülkemizde gelişmesine katkı sağlamaya çalışılacaktır.

1. GİRİŞ

Güneş, bizim en büyük enerji kaynağımızdır. Fuel oil, gaz, kömür, bio enerji ve rüzgarın hepsi, güneş enerjisinden türer. Güneş enerjisinin yayılma ve kararsız yapısı nedeniyle, doğrudan tutulması pahalı ve güçtür. Ama, bu yapının temiz, gider bakımından etkin bir çözüm sağladığı da göz ardı edilmemelidir. Yer, masif (iri) bir yapıya sahip olduğu için, yeryüzüne ulaşan güneş enerjisinin hemen hemen yarısı jeokütlede yutulur ve depolanır. Toprak; ısıtma sezonunda dış havadan daha yüksek sıcaklıkta bir kaynak ve yazın soğutma için, havadan daha düşük bir sıcaklık sağlayarak, tüm yıl göreceli olarak sabit sıcaklıkta kalır [1].

Isı pompaları için, Geo-Heat Center tarafından 1988 yılında yayınlanan bültenin kapağında, "Ortaya Çıkan Dev : Isı Pompaları (Emerging Giant : Heat Pumps)" benzetmesi yapılmış, bir bakıma bu konunun önemi vurgulanmaya çalışılmıştır [2]. Bu çerçevede; ısı pompaları, jeotermal su veya toprak sıcaklıklarının önemsizce normalin üstünde, genel olarak 10 - 32 °C, olduğu yerlerde kullanılır. alışlagelmiş jeotermal ısıtma (ve soğutma) sistemleri bu sıcaklıklarda verimli değildir. Bu sıcaklıklardaki ısı pompaları, hacim ısıtması ve soğutması ile evsel su ısıtması sağlayabilir. İki temel ısı pompası sistemi vardır [3] : (i) Hava kaynaklı ve (ii) su veya toprak kaynaklı. Jeotermal ısı pompaları olarak da söylenen, su ve toprak kaynaklı ısı pompalarının (bu çalışmada, yer kaynaklı ısı pompaları olarak adlandırılan), hava kaynaklı ısı pompalarına göre şu yararları vardır: (i) Yaklaşık yıllık % 33 daha az enerji tüketirler. (ii) Havadan daha fazla kararlı enerji kaynağıdır. (iii) Aşırı yüksek veya düşük dış hava sıcaklıkları süresince ilave ısı gerektirmezler. (iv) Daha az soğutucu akışkan kullanırlar. (v) Tasarımı ve böylece bakımı daha basittir. Ana sakıncası ise; ilk yatırımın daha yüksek olmasıdır (hava kaynaklı ünitelerden % 33 dolayında daha pahalı). Bu, toprak ısı değiştiricisinin gömülmesi veya enerji kaynağı için bir kuyunun sağlanması için gerekli olan ilave harcama nedeniyle. Bununla beraber, kurulur kurulmaz, net tasarruflar sağlayarak, yıllık gider sistemin ömrü boyunca daha az olur. Bu tasarruflar, etki katsayısının, hava kaynaklı ısı pompaları için 2 ile kıyaslandığı zaman, YKIPları için yuvarlak olarak 3 olmasından kaynaklanmaktadır [3].

Amerika'da, Enerji Departmanı (DOE; Amerika'da HVAC endüstrisi verimlilik standartlarını düzenleyen federal ajans) ve Çevre Koruma Ajansı (EPA), yenilenebilir enerji kaynakları ve enerji verimli teknolojilerin her ikisini kullanmak üzere çalışmalarda bulunmaktadır. Bunun yanı sıra, enerji üretimi ve kullanımının çevresel ve verimlilik bakış açıları, gelişmekte olan ülkelerde öncelikli olarak ele alınmaktadır. Bu bağlamda, YKIPlarının; elektrik şirketlerine daha iyi yük yönetimi, tüketicilere daha düşük elektrik faturaları ve topluma daha temiz çevre sağlamada önemli katkılar sağlayabileceği bildirilmektedir [4].

Literatürde, YKIPları üzerine yapılan sayısız çalışmalar mevcuttur. Aynı zamanda, İnternet'de tarama yapıldığı zaman, AltaVista'da "ground-source heat pumps (toprak kaynaklı ısı pompaları)" ile ilgili 3531 Web sayfası ve "geothermal heat pumps (jeotermal ısı pompaları)" ilgili 1099 Web sayfası ile karşı karşıya kalınır. Bu çerçevede, yapılan çalışmalar; tasarım, performans, ekonomik analiz, test, işletme deneyimleri ve diğerleri olmak üzere gruplandırılabilir.

YKIPlarının tasarımı üzerine, birçok el kitabı [5,6] mevcut olup, yapılan bazı çalışmalar şu şekilde özetlenebilir: Partin [7]; ısı pompaları için kapalı çevrimli toprak ısı değiştiricisinin boyutlandırılması üzerine bir çalışma yaptı ve belirli bir toprak kaynağı için toplam iletkenliğin ölçülmesiyle ilgili olarak bir yöntem verdi. Kavanaugh [8]; güney iklimlerde toprak ve su kaynaklı ısı pompalarının tasarımına yönelik esasları verdi. Bu sistemlerin uygun şekilde kurulduğu takdirde, verimli ve güvenilir olduğunu belirtti. Ayrıca, piyasadaki mevcut sistemler ile kıyaslandığı zaman, esneklik, performans ve ekonomik bakımından ilgi çekici olduğunu vurguladı. Direk genişlemeli toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin performansının simüle edilebilmesi için, Safemazandarani ve Diğ. [9]; matematiksel bir model geliştirdi. Ayrıca, toprak (veya su) ısı değiştiricisinin tasarımı üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çerçevede, Counvillion [10]; toprak ısı değiştiricisinin laboratuvarında simülasyonunu yaptı. Mei ve Baxter [11]; direk genişlemeli toprak ısı değiştiricisinin bazı yarar ve sakıncalarını deneysel olarak belirledi. Kavanaugh [12]; bilinen YKIPlarının bağlantı elemanları ve boru hatlarındaki basınç kaybı ile ilgili diyagramları vererek, boru hattı tasarımını inceledi.

YKIPlarının işletilmesi deneyimleri üzerine, birçok çalışma mevcuttur [13,14,15,16,17,18,19,20,21]. Hugnes ve Diğ. [13]; New York şehrinin dışında konutlara yönelik toprak kaynaklı ısı pompalarının teknik ve ekonomik potansiyelini değerlendirmek amacıyla, çok aşamalı bir demonstrasyon projesinden elde edilen sonuçları verdi. Bu çerçevede, ısıtma/soğutma performansı ve entegre edilen sıcak kullanma suyu, 1982-84 yılları süresince gözlemlendi. Franck ve Berntsson [14]; 10 - 40 m derinliğe kadar düşey borular kullanarak, toprakta mevsimsel depolama ile güneş destekli ısı pompaları alanında İsveç'te yürütülen büyük bir araştırma programı doğrultusunda, iki deneysel sistemin elde edilen bazı ana sonuçları sundu. Kavanaugh [15]; ısı kaynağı ve ısı kuyusu olarak nehir suyunun kullanıldığı su/hava ısı pompalarının işletilmesini inceledi. Ayrıca, ısı pompasının seçimi, pompalama sistemleri, boru hattı yerleşimi ve nehir boyut/derinlik karakteristikleri ile ilgili önerilerde bulundu. Sulatisky ve van der Kamp [16]; Kanada'da (Saskatchewan) konutlara yönelik olarak beş toprak kaynaklı ısı pompasını değerlendirdi. Beş - sekiz yıl arasında işletilen ısı pompası sistemleri, iki yılı aşkın bir periyot boyunca performans bakımından izlendi. Kavanaugh [17]; güney iklimlerinde düşey toprak kaynaklı ısı pompalarının kabul edilebilirliğini ve işletme karakteristiklerini belirlemek üzere çalışmalarda bulundu. Alabama'daki 150 m² lik bir konutta kurulan ısı pompasının soğutma ve ısıtma performansı ele alındı. Meloy [18]; Cowlitz İlçesi Adliye Sarayı'nın, indirek kuyu suyu soğutması olan kuyu kaynaklı ısı pompası sistemine dönüştürülmesi üzerine çalıştı ve dönüşüm esnasında karşılaşılan sorunları belirtti. Sistem kurulduğu ilk yıl, % 22 dolayında enerji tüketiminde azalma sağladı. Rafferty [19]; yeraltı suyu sıcaklığı 22 °C olan 360 ton (11266 kW)'luk ve yeraltı suyu sıcaklığı 13 °C olan 156 ton (549 kW)'luk, iki farklı yeraltı su kaynaklı ısı pompası sisteminden elde edilen deneyimleri açıkladı. Tasarımı, işletme akışı ve iyileştirilmelerini irdeledi. Ayrıca, yeraltı su kimyası, iyi kuyu tasarımı ile kontrol, ısı pompası kapasite kontrolü ve devreye almanın önemli hususlar olduğunu belirtti. Hatten [20]; Amerika'da yeraltı sulu ısı pompasının ilk ticari montajı olan Portland/Oregon'daki bir binadan (bugün the Commonwealth Building olarak bilinmektedir) elde edilen deneyimleri açıkladı. Sistemin geçmişinin değerlendirilmesiyle, önemli işletme ve bakım konularını belirtti. Fleming [21]; 1987'nin sonbaharında, Shanghai'deki (Çin) bir ticari ofis binası (net iklimlendirme yüzey alanı 3600 m², yapının ısıtma yükü 65.7 ton ve soğutma yükü 128.6 ton) için tasarlanan ve işletilen 130 ton'luk jeotermal ısı pompası sisteminin tasarımı ve işletilmesi üzerine çalıştı.

Catan ve Baxter [22]; kuzey iklim uygulamalarında toprak kaynaklı ısı pompalarının ekonomik açıdan optimum analizini inceledi. Pittsburgh’ da bulunan 167 m² lik bir ev için, yatay toprak ısı değiştiricisi olan su kaynaklı ısı pompasının yapım-kullanım maliyetini (life-cycle cost) 7 yıllık ekonomik ömür için minimize etti. Alışlagelmiş hava kaynaklı ısı pompasına göre, optimize edilen ısı pompasının geri ödeme süresi 3 yılın altında bulundu. Martin [23]; tek borulu, yatay toprak ısı değiştiricisi olan ısı pompası sisteminin tasarlanmasında kullanılan parametrelerdeki değişimin etkisini belirlemek üzere çalışma yaptı. Konutlar için 3 ton’ luk bir ısı pompasının performansını ve enerji tüketimini bulmak için bir bilgisayar programı geliştirdi ve sonuçları, Oklahoma’daki iki evde yapılan ölçümlerle kıyasladı. Ayrıca, ekonomik bakımdan optimum tasarımı belirlemek için, ekonomik analiz yaptı.

YKIPlarının performansı üzerine birçok çalışma mevcut olup, bunlardan ikisi [24,25] açıklanacaktır: Phetteplace ve Sullivan [24]; toprak ısı değiştiricisi ve soğutma kulesinin ikisinin kullanıldığı (böylece gerekli olan toprak ısı değiştiricisinin miktarının azaltıldığı) hibrit bir ısı pompasının performansını inceledi. İki ısıtma ve soğutma sezonu olmak üzere, yaklaşık 22 aylık bir süre boyunca performans ölçümleri yapıldı. Healy ve Uğursal [25]; bir bilgisayar modeli kullanarak, değişik sistem parametrelerinin, YKIPsının performansına olan etkisinin belirlenmesi üzerine çalıştı. Ayrıca, alışlagelmiş ısıtma/soğutma sistemleri ve hava kaynaklı ısı pompasının kullanıldığı yerde, bir YKIPsının kullanılmasının fizibilitesini değerlendirmek için ekonomik analiz yaptı.

Yukarıda açıklanan çalışmalara ilaveten, ısı pompalarında kullanılan standartların kıyaslanması [26], toprak kaynaklı ısı pompasının etkinliğinin diğerleriyle karşılaştırılması [27], büyük ölçekli jeotermal ısı pompaları projelerinde enerji tasarrufu belirlemede kalibre edilmiş mühendislik modeli [28] ve İşkel’in bir sempozyumda [29] yaptığı, “Bugün Amerika’daki birçok kitaplarda geçtiği gibi, anahtar deliğinden geçen enfiltrasyon kayıpları... “ konuşmaya benzer olarak, Den Braven [30]; Amerika’da YKIPlarının toprak ısı değiştiricisinde kullanılan antifrizlerin kullanılabilirliğini inceleyerek, liste halinde verdi. Amerika’daki eyaletlerin hemen hemen yarısında, YKIPları için antifriz malzemeleri içine alan herhangi bir kural veya öneri olmadığını belirtti. Ayrıca, Spikler [31]; düşey toprak ısı değiştiricilerinde (dört farklı delik çapı yerleşiminde) kullanılan farklı dolgu malzemesinin etkisi ve ısı iletkenlik testini kullanarak, düşey toprak ısı değiştiricisinin tasarımı üzerine çalıştı. Bu çerçevede, düşey toprak ısı değiştiricisinin delik çapının, boru tipinin, dolgu malzemesinin ve toprağın ısı özelliklerinin; ısı değiştiricisinin sıcaklığına ve tasarımına önemli etkisi olduğunu belirtti. 6 ½ “ (16.51 cm)’ lik delik çapında, kum yerine, standart harcın (grout) kullanılmasının, ısı değiştiricisinin uzunluğunu % 49 arttırdığını deneysel olarak buldu.

YKIPsı endüstrisi ülkemizde, göreceli olarak yenidir. Son birkaç yıldır, bazı şirketler, yurt dışından ithal ettikleri YKIPlarını ülkemiz piyasasına sokmak için yoğun çaba harcamaktadır. Bununla beraber, kurulan YKIPları sayısı, yurt dışında kurulanlarla kıyaslanmayacak ölçüde, oldukça düşüktür. Bu bağlamda; YKIPlarının geçmişine göz atmakta büyük yarar vardır:

Toprak kaynaklı ısı pompaları, yeni fikir değildir [32]. 1912 yılındaki İsviçre patenti ile YKIP’ların faydaları ilk olarak tanıtıldı. Daha sonra, termodinamik yararı, ısı kaynağı olarak toprağa gömülen metal serpantinler içinde salamura dolaştırılarak, 1940’lı yıllarda çarpıcı şekilde gösterildi. Serpantin korozyon sorunları, toprak serpantinlerini kullanışsız kıldı ve hava kaynaklı ısı pompalarının gelişimini zorladı. Daha sonraları, plastik borular kullanılarak, korozyon sorunlarının üstesinden gelindi ve YKIPları üzerine araştırmalar hızlandı [10]. Amerika’da, YKIPsı teknolojisine olan ilgi, 1940 -1950 yıllarında su yüzüne çıktı. O zamanlar, teknoloji; uygun olmayan boru malzemeleriyle sınırlı idi ve pahalı olmayan doğal gaz nedeniyle azaldı. Teknoloji, 1973 petrol ambargosu süresince, İsveç’te tekrar ivmelendi ve birkaç yıl sonra, Oklahoma State University’ de bir araştırma programı başlatıldı [13]. Bu gelişmeye paralel olarak, İsveç’te 1988 yılında 134 000 YKIPsının olduğu bildirilmektedir [16]. Amerika’da, 1990 yılında, tahminen 100 000 YKIPsı konut ve ticari uygulamalarda kullanıldı. 1985’ de, sadece 14 000 YKIPsının Amerika’da kurulduğu tahmin ediliyor. Tüm imalatçılar satış rakamlarını bildirmemelerine rağmen, 17 300 ünitenin yıllık satışları, 1993 yılında ARI’ ye bildirildi [33]. Ayrıca, 1997 yılı sonunda, 300 000’ den fazla YKIPsı, evler, okullar ve ticari yapılarda hacim ısıtması ve iklimlendirme amacıyla kullanıldı [34]. Başka bir referansa göre [35], 1997 yılı sonunda, yuvarlak olarak 400 000 YKIPsının işletildiği belirtilmektedir. Bunun yanı sıra, Amerika’da bazı elektrik şirketleri; ev sakinlerinin, hacim ısıtma/soğutma amaçları için YKIPlarını kullanımını artırmak ve böylece, elektrik sistemlerindeki pik yükleri düşürmek amacıyla, parasal teşvik programları yürütmektedir. “Jeotermal Isı Pompası Konsorsiyumu (The Geothermal Heat Pump Consortium)” tarafından, YKIPlarının satışını

yıllık olarak 40000' den 400000'e çıkarmak ve böylelikle, sera gazı emisyonlarını yılda 1.5 milyon ton karbon eşdeğeri azaltmak için, 100 milyon US\$ tutarında altı yıllık program oluşturdu [34].

Bu çalışmada; öncelikle YKIPları ile ilgili kullanılan farklı terimler, etkinlik ve verim kavramları, YKIPlarının yarar ve sakıncaları belirtilerek, çalışma şekli kısaca açıklanacaktır. Daha sonra, ülkemizde; üniversite, YKIPsı endüstrisi ve Türk Standartları bazında yapılan çalışmalar verilecektir. Son olarak, tasarım metodolojisi ve YKIPları ile sık sık karşılaşılan soru-cevap listesi sunulacak ve geleceğe yönelik önerilerde bulunulacaktır. Ayrıca, bu konuda çalışma yapmak isteyenler için geniş kapsamlı literatür listesi sunulacaktır.

2. TEMEL TANIM VE KAVRAMLAR

YKIP' larının tasarımına geçmeden önce, olası karmaşıklığı önlemek amacıyla, iki önemli konuyu ele almada büyük yarar vardır: (i) Farklı YKIPları terimleri, (ii) Etkinlik ve verim tanımları

2.1. FARKLI YER KAYNAKLI ISI POMPALARI TERİMLERİ

Toprak kaynaklı ısı pompası; toprak, yeraltı suyu ve yüzey suyunu, ısı kaynağı ve ısı kuyusu olarak kullanan değişik sistemlerin hepsini kapsamak üzere kullanılan bir terimdir [6]. Bunun yanı sıra sık sık jeotermal ısı pompası ifadesi de kullanılır.

Tablo 1. YKIPlarının Farklı İsimleri

SIRA NO	İNGİLİZCE	KAY. NO	TÜRKÇE
1	Earth energy heat pumping systems	[1]	Yer enerjili ısı pompalama sistemleri
2	Surface water heat pump systems	[6]	Yüzey sulu ısı pompası sistemleri
3	Earth energy systems	[6]	Yer enerjili sistemler
4	Ground-source systems	[6]	Toprak kaynaklı sistemler
5	Groundwater heat pumps (GWHPs)	[6]	Yeraltı sulu ısı pompaları
6	Earth-coupled heat pumps (ECHPs)	[10]	Yer bağlantılı ısı pompaları
7	Well-source heat pump system	[18]	Kuyu kaynaklı ısı pompası sistemi
8	Ground-source heat pumps (GSHPs)	[32,33]	Toprak kaynaklı ısı pompaları
9	Geothermal heat pumps (GHPs)	[32,33]	Jeotermal ısı pompaları
10	Ground-coupled heat pumps (GCHPs)	[32,33]	Toprak bağlantılı ısı pompaları
11	Ground-water source heat pumps	[32,33]	Toprak-su kaynaklı ısı pompaları
12	Well water heat pumps	[32,33]	Kuyu suyu ısı pompaları
13	Solar energy heat pumps	[32,33]	Güneş enerjili ısı pompaları
14	GeoExchange systems	[36]	Geo dönüşüm sistemleri
15	GeoSource heat pumps	[38]	Geo kaynaklı ısı pompaları

Tablo 1' de gösterildiği gibi, çok farklı isimlerle [1,6,10,15,18,32,33,36,37,38] bilinen bu ısı pompaları, mevcut çalışma boyunca "Yer Kaynaklı Isı Pompaları" olarak anılacaktır. Bununla beraber, bazı isimler, özel uygulamayı daha belirgin açıklamak için kullanılır.

2.2. ETKİNLİK VE VERİMLİLİK TANIMLARI

Enerji fiyatlarının günden güne artması, tüketicinin bilinçlenmesi ve çıkarılan yasal yönetmelikler, bizi, enerjiyi daha verimli ve etkin bir biçimde kullanmaya zorlamaktadır. Bu çerçevede, enerjinin ne denli verimli kullanıldığının belirlenmesinde, verimlilik (veya etkinlik) ile ilgili kavramların ve bunların standart değerlerinin bilinmesi büyük önem taşır. Isıtma, iklimlendirme ve soğutma endüstrisinde, sırasıyla, etki (tesir) katsayısı (COP) ve yanma verimi gibi, etkinlik ve verimi açıklayan birçok terim kullanılır.

Genelde, bu terimlerin birçoğu eş anlamlıdır. Değişik HVAC (Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme) Sistemleri kıyaslandığı zaman, bu terimlerin nasıl belirlendiğini ve ilişkisini anlamak çok önemlidir [39].

Genel anlamda verim, aynı periyot veya işletme çevrimi boyunca, dinamik bir sistemden (makina veya motor gibi) elde edilen faydalı enerjinin sisteme verilen enerjiye oranıdır. Bu oran, genellikle belirli test koşullarında belirlenir [40]. Konfor sağlayan ekipmanın verimi (veya etkinliği) arabalarda kullanılan litre başına km yakıt tüketimiyle benzerdir. Oran ne kadar yüksek ise, sistem o kadar fazla verimlidir ve böylece yakıt tüketimi daha az olacaktır [41]. Tablo 2' de gösterildiği gibi, sözü geçen tanımlarının çoğu, özet olarak açıklanacaktır [39,42].

Tablo 2. Isı Pompalarında Kullanılan Etkinlik ve Verim Tanımlarının Listesi [13,39,42]

Sıra No	Gösterim	Açıklama (İngilizce)	Açıklama (Türkçe)
1	EK (COP)	Coefficient of Performance	Etki Katsayısı
2	SEK	Coefficient of Performance for Heating	Soğutma Etki (Tesir) Katsayısı
3	IEK	Coefficient of Performance for Cooling	Isıtma Etki Katsayısı
4	EVO (EER)	Energy Efficiency Ratio	Enerji Verimlilik (Etkinlik) Oranı
5	IMPF (HSPF)	Heating Seasonal Performance Factor	Isıtma Mevsimsel Performans Faktörü
6	EKYD (IPLV)	Integrated Part Load Value	Entegre Edilmiş Kısmi Yük Değeri
7	KWT	kW/ton	kW/ton
8	MEVO (SEER)	Seasonal Energy Efficiency Ratio	Mevsimsel Enerji Verimlilik Oranı
9	MPF (SPF)	Seasonal Performance Factor	Mevsimsel Performans Faktörü
10	MEK (SCOP)	Seasonal Coefficient of Performance	Mevsimsel Etki Katsayısı
11	KMPF (CSPF)	Combined Seasonal Performance Factor	Kombine Mevsimsel Performans Faktörü

a) Etki Katsayısı (EK veya COP)

EK, soğutucu akışkan kullanılan sistemlerin verimini belirlemek için kullanılan temel bir parametredir [43,44]. Bu terim, ısı pompası gibi, ısıtma verimi veya soğutma veriminin her ikisini belirtmek için kullanılır. *Soğutma için, soğutma etki katsayısı (SEK) adını alır ve birbirine uygun birimlerde, çekilen ısı miktarının kompresöre verilen enerji miktarına oranı olarak tanımlanır.* Başka bir deyişle, cihazın kW soğutma başına ürettiği enerjinin, toplam çektiği enerjiye (kW) oranıdır [45,46].

$$SEK = \text{Soğutma Etkisi} / \text{İş Girişi} = Q_L / W_{\text{net,g}} \quad (1a)$$

Isıtma için ise, ısıtma etki katsayısı (IEK) adını alır ve uygun birimlerde, *elde edilen ısı miktarının, kompresöre verilen enerji miktarına oranı olarak açıklanır.*

$$IEK = \text{Isıtma Etkisi} / \text{İş Girişi} = Q_H / W_{\text{net,g}} \quad (1b)$$

(1a) ve (1b) denklemleri karşılaştırıldığı zaman, belirli Q_L ve Q_H değerleri için,

$$IEK = SEK + 1 \quad (1c)$$

olduğu görülür.

EK, aynı zamanda tek (standart veya standart dışı) değerde veya ağırlıklı ortalama (mevsimsel) koşulunda verimi belirlemek için kullanılabilir. Kullanımına bağlı olarak, bu terim; iç ve dış ünite fanları, soğutulmuş su pompaları veya soğutma kuleleri gibi yardımcı sistemlerin enerji tüketimlerini içerebilir yada içerebilir. Kıyaslama amaçları için kullanıldığı zaman, EK ne kadar büyükse, sistem o kadar daha fazla verimlidir. Elektrikli ısıtıcı için $EK = 1$ olduğundan, 1' den daha yüksek değerler, aynı miktarda elektrik enerjisi verilirken, daha fazla ısının elde edildiğini gösterir [47].

EK, dış hava sıcaklığıyla değişir; sıcaklık düştükçe, EK da düşer. Çünkü ısı pompası daha düşük sıcaklıklarda daha az verimlidir. EK, kompakt ısı pompalarında; ARI (Air-Conditioning and Refrigeration Institute, İklimlendirme ve Soğutma Enstitüsü) standartlarına göre; 17 °F (-8.3 °C) ve 47 °F (8.3 °C)'lık iki standart dış hava sıcaklıkları için tipik olarak belirtilir [41,43]. ARI; Amerika' da, ısıtma, iklimlendirme ve soğutma imalatçılarına içine alan, kar amacı gütmeyen, gönüllülerden oluşan bir organizasyondur. Bu kuruluş, kullanıcılara standart kıyaslama değerini sunmak amacıyla, ısı pompaları ve iklimlendirme cihazlarının testi ve kapasitelerinin belirlenmesi için standartlar yayınlamıştır [41].

Tersinir soğutma makinası ve ısı pompasının, SEK ve IEK şu bağıntılarla açıklanabilir:

$$SEK_{SM,tr} = 1 / [(T_H / T_L) - 1] \quad (2)$$

$$IEK_{IP,tr} = 1 / [1 - (T_L / T_H)] \quad (3)$$

Yukarıda verilen (2) ve (3) bağıntıları, T_L ve T_H sıcaklık sınırları arasında çalışan bir soğutma makinasının veya bir ısı pompasının sahip olabileceği en yüksek etkinlik katsayılarını gösterir [46].

b) Enerji Verimlilik Oranı (EVO veya EER)

EVO'nun hesaplanmasında kullanılan terimlerin ikisi, EK'da kullanılan iki verimle aynı olup, sadece farklı birimlerde belirtilir. EVO, tüketiciler tarafından daha kolay kullanılması ve anlaşılması amacıyla geliştirilmiştir. Cihazın belirli değerleri için EVO'yu etikete yazmak imalatçılar tarafından yasal bir gereklilik olmuştur. Bu EVO'lar, belirli bir dizi standart sıcaklıklarda, ARI tarafından belirlenen test koşullarında ölçülür [48,49,50].

EVO, ünite şeklinde klima cihazlarının ve ısı pompası sistemlerinin soğutma verimini belirlemek için genellikle kullanılan bir terimdir [51,52]. Bu terim, verimin, uygun ekipman standardıyla, belirli tek kapasite koşulunda belirlendiğini açıklar ve *net soğutma kapasitesinin*, Q_{ns} (*Btu/h olarak çekilen ısı*) verilen *toplam elektrik enerjisine*, W_{te} (*W*) oranı olarak tanımlanır.

$$EVO = Q_{ns}(\text{Btu/h}) / W_{te} \quad (\text{W}) \quad \text{Btu/h-W} \quad (4)$$

EVO'nun birimleri, Btu/W-h 'dir. Bu terimin, iç ve dış ünite fanları gibi yardımcı sistemlerin enerjilerini de içerdiği göz ardı edilmemelidir. Kıyaslama amaçları için, EVO ne kadar yüksek ise, sistem o kadar verimlidir. EVO ile EK arasındaki ilişki aşağıda verilmiştir:

$$EK = EVO / 3.412 \quad (5)$$

EVO; Amerika'da, federal standartlara göre minimum 9 olarak belirlenmiştir [52]. Bununla beraber, EVO değeri en azından 10.5 olan cihazların kullanılması önerilir [53].

c) Isıtma Mevsimsel Performans Faktörü (IMPF veya HSPF; SPFH)

IMPF terimi, ısı pompalarının mevsimsel ısıtma verimini açıklamak için kullanılması hariç olmak üzere, Mevsimsel Enerji Verimlilik Oranı (MEVO veya SEER) terimiyle benzerdir. *IMPF, tüm ısıtma sezonu boyunca, ısı pompasıyla verilen ısı enerjisinin (ek ısıtma dahil), elektrik enerjisi tüketimine oranıdır*. Bir başka deyişle, belirli standart test yöntemini izleyen dış hava koşullarının bir aralığı boyunca ağırlıklı ortalama verimdir [43]. IMPF, aşağıdaki şekilde hesaplanabilir [54]:

$$\text{IMPF} = \frac{\text{Isıtma Sezonu Boyunca (ISB) Hacme Verilen Toplam Isı Enerjisi Miktarı}}{\text{ISB Isıtma Sistemi İçin Gerekli Olan Toplam Elektrik Enerjisi}} \quad (6a)$$

$$\text{IMPF} = (Q_{IP} + Q_{IL}) / (W_{IP} + W_{IL}) \quad (6b)$$

Burada;

- Q_{IP} : Isıtma sezonu boyunca ısı pompasıyla verilen ısıtma enerjisi, Btu/h
- W_{IP} : Isıtma sezonu boyunca ısı pompasına verilen elektrik enerjisi, W
- Q_{IL} : Isıtma sezonu boyunca verilen ilave ısıtma enerjisi, Btu/h
- W_{IL} : Isıtma sezonu boyunca ilave ısıtma sistemine verilen elektrik enerjisi, W

EK ile IMPF eşit olarak kıyaslanamaz. Hava kaynaklı bir cihaz IMPF veya EK ve jeotermal bir cihaz; EK ile değerlendirilir. ARI standartlarına göre, hava kaynaklı bir cihaz, iki sıcaklıkta; 17 °F (-8.3 °C) ile 47 °F (8.3 °C) ve jeotermal bir ekipman ise, sadece 32 °F (0 °C) su giriş sıcaklığında kıyaslanır [55].

Bu faktör, günümüz ısı pompası teknolojisiyle, 2' den daha yüksektir [56]. Bu terim, genellikle, 60 000 Btu/h (yaklaşık 17.6 kW)' dan daha az olan ısı pompalarında kullanılır. IMPF' nin birimi, Amerikan Enerji Departmanı (U.S.D.O.E, U.S. Department of Energy; Amerika'da, endüstriyel verimlilik standartlarının ayarlanmasından ve enerji kaynaklarının tüketiminin izlenmesinden sorumlu olan federal bir acentedir.) tarafından belirtildiği gibi, Btu/W-h 'dır. Bu terimin, iç ve dış ünite fanları gibi yardımcı sistemlerin enerji miktarlarını içerdiğine dikkat edilmelidir. Kıyaslama amaçları için, IMPF ne kadar büyükse, sistem o kadar daha fazla verimlidir [43].

Isıtma modunda bir ısı pompasının "verimi" olan IMPF [57], yeni ısı pompaları için, 1992 yılında Amerika'da hükümet tarafından minimum 6.8 olarak belirlendi [41,58]. 1992 yılından önce imal edilen çoğu ısı pompalarının IMPF değerleri 5' in altında idi. Bugün, IMPF = 7.5 veya daha fazlası "yüksek verimli" olarak göz önüne alınıyor; maksimum mevcut IMPF = 10 'dur [58].

d) Entegre Edilmiş Kısmi Yük Değeri (EKYD veya IPLV)

EKYD terimi, tek bir kapasite koşulundan çok, tipik bir mevsimle ilgili soğutma verimini açıklamak için kullanılır. EKYD, kabul edilen tek bir standartla belirlenen kısmi-yük kapasitelerinde ağırlıklı ortalama verimin belirlenmesiyle hesaplanır. Aynı zamanda, EKYD'nin her kısmi-yük koşulu için aynı yoğuşma sıcaklığı kullanılarak hesaplandığına ve yüklü/yüksüz kayıpları içermediğine dikkat edilmelidir. EKYD' nin birimi literatürde yoktur. Ancak, bu terim kullanıldığı zaman kastedilen birimler birbirini doğrulamalıdır. ASHRAE Standard 90.1' de EKYD terimi, ekipman kapasite sınıflandırmasına bağlı olarak, Mevsimsel EK'lerinin (birimsiz) ve Mevsimsel Enerji Verimlilik Oranlarının (Btu/W-h) her ikisini açıklamak için kullanılıyor. Bunun yanı sıra, çoğu soğutma grubu imalatçıları büyük soğutma grupları için kW/ton birimleri kullanılarak EKYD olarak belirtiyor. Soğutma sisteminin nasıl yüklendiğine ve yüksüz olduğuna bağlı olarak, standart oran koşulunda EVO'nunkinden % 5 ile 50 arasında daha büyüktür [43].

e) kW/ton (KWT)

kW/ton terimi, genel olarak büyük ticari ve endüstriyel iklimlendirme cihazları, ısı pompası ve soğutucu sistemler için kullanılır. *Bu terim, bir yük koşulunda enerji tüketim miktarı(kW)nın çekilen ısı miktarı(ton)na oranı olarak tanımlanır.*

$$\text{KWT} = W_{et} / Q_c \quad (7)$$

Bu terimin birimi, kW/ton' dur. Bu kapasitedeki soğutma sistemleri, tipik olarak müşteriye yönelik tasarlanmış sistemler olduğu için, belirtilen kW/ton genel olarak sadece kompresörü açıklar ve yardımcı ekipmanları içermez. Bununla beraber, belirli referanslar için, yardımcı ekipmanlar bu terim kullanılarak toplam sistem verimini belirlemek için ilave edilebilir. Bu terimin diğer etkinlik ve verim terminolojisinin aksi olduğuna dikkat edilmelidir. Bu yüzden, kıyaslama amaçları için, kW/ton ne kadar küçükse, sistem o kadar verimlidir [43].

Bir ton soğutma, bir cihazın soğutma kapasitesinin belirlenmesi için kullanılan bir ölçüdür [59,60]. 24 saatte bir ton buz eritmeye eşit soğutma etkisidir [61]. 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 [46,60,62].

Etkinlik katsayısı ile kW/ton arasındaki ilişki,

$$EK = (12000 \text{ Btu/h}) / (3412 \text{ kW/ton}) \quad (8)$$

şeklinde yazılabilir.

f) Mevsimsel Enerji Verimlilik Oranı (MEVO veya SEER)

MEVO terimi, bir iklimlendirme cihazı veya ısı pompası sisteminin ortalama yıllık soğutma verimini belirlemek için kullanılır [43,55,63,64]. MEVO; EVO ile benzerdir. Ancak, tek kapasite koşulundan daha çok tipik bir mevsimle ilişkilidir. EVO ve MEVO, eşit olarak kıyaslanamaz. Hava kaynaklı bir cihaz MEVO ve jeotermal kaynaklı bir cihaz ise, EVO ile değerlendirilir [55].

MEVO, belirli bir standart test yöntemine göre dış hava koşullarının aralığı boyunca EVO'larının ağırlıklı ortalamasıdır. Başka bir deyişle, ARI' de açıklanan test yöntemi kullanılarak belirlendiği gibi, cihazın, soğutma için normal kullanım periyodu boyunca Btu birimlerinde toplam soğutma kapasitesinin, aynı periyot süresince W-h olarak verilen toplam elektrik gücüne oranını ifade eder [49]. Bu terim, sadece 65000 Btu/h (yaklaşık 19 kW)' dan daha düşük soğutma kapasiteli sistemler için kullanılır [48]. MEVO' nun birimi Btu/W-h' dır. Bu verim teriminin iç hava ve dış hava fanları gibi yardımcı sistemlerin enerji tüketimlerini içerdiği göz ardı edilmemelidir. Kıyaslama amaçları için, MEVO ne kadar büyükse, sistem o kadar verimlidir [43,64]. MEVO ve EVO'lar doğrudan kıyaslanmadığı için, MEVO, buna karşı gelen EVO' nunkinden genellikle 0.5 ile 1.0 aralığında daha fazladır.

Geçmişte, MEVO değeri 8 olan bir cihaz standart verim olarak göz önüne alınıyordu ve MEVO = 10 olan bir cihaz ise, yüksek verimli olarak kabul ediliyordu [41]. 1992'den önce imal edilen cihazların MEVO'su 6 idi. 1992 yılında, Amerikan hükümeti yeni evlere kurulan cihazlar için minimum soğutma verimini MEVO = 10 olarak belirledi. Yüksek verimli cihazlar için MEVO en azından 12 [58] ve MEVO = 15; yüksek verimli olarak kabul ediliyor (5). Bunun yanı sıra, maksimum elde edilen değer olarak yaklaşık MEVO = 17 söz konusudur [58,65]. Birçok eski modelde MEVO; 7 veya 8 kadar düşük iken, daha fazla verimli modellerde MEVO değerleri 13 ile 16 kadar yüksektir [52].

g) Mevsimsel Performans Faktörü (MPF veya SPF)

Bir ısı pompasının performansını, sıvı veya gaz yakıtlı ocakların performansıyla kıyaslamak için, aşağıdaki sorular göz önüne alınmalıdır [66].

- Cihaz, ülkenin hangi bölgesinde kullanılacaktır ?
- Elektriğin fiyatı, fosil yakıtların fiyatına kıyasla nasıldır ?
- İlave ısıtma (örneğin; elektrikli ısıtıcı) gerekli midir ? Gerekliyse, ne kadar ve hangi sıklıkta ?
- Hangi tip ısı pompası gereklidir ?

Isı pompalarının gerçek kıyaslamaları, EK yerine MPF ile yapılır. Bu faktör, ısıtma sezonu boyunca, ısıtıcı ekipmanın veriminin bir ölçüsüdür. Günümüz ısı pompası teknolojisiyle, MPF; 2' den biraz daha yüksektir [66].

MPF, Isıtma Mevsimsel Performans Faktörü (IMPF) ile benzerdir. Isı pompası ve ilave ısı kaynağının toplam kış verimidir. Aynı birimlerde (Btu/h veya kW-h), ısıtma sezonu boyunca toplam çıkan (elde edilen) enerjinin, toplam giren(verilen) enerjiye oranıdır [67]. Bu faktör, bir bakıma, sistemin yıllık elektrik tüketiminin bir göstergesidir. Örneğin; ısı pompasıyla ısıtılan bir konutta, MPF; yıllık gerekli elektrikli ısıtıcı ısıtısının, ısı pompası sisteminin yıllık elektrik enerjisi tüketimine bölünmesiyle bulunabilir. Bunların hesaplanması için hazır formlar mevcuttur [56].

h) Mevsimsel Etki Katsayısı (MEK ve Kombine Mevsimsel Performans Faktörü (KMPF))

Isı pompalarının kıyaslanmasında, son kullanımların kombinasyonu için kombine mevsimsel performans faktörü (KMPF) kullanılır. Mevsimsel etki katsayısı (MEK) boyutsuz (MEK = MEVO/3.413) olduğu için, soğutma performans faktörü olarak kullanılır. KMPF tanımı; enerji kullanımındaki önemine göre MPFlerinin ilgili bileşenini vermektedir. KMPF, aşağıdaki gibi tanımlanır [13].

Isıtma sezonu için (SKS:Sıcak Kullanma Suyu olmak üzere);

$$(\text{Isıtma Yüğü/Isıtma MPF}) + (\text{SKS Yüğü/SKS MPF}) = (\text{Isıtma} + \text{SKS Yüğü})/\text{KMPF} \quad (9)$$

Soğutma sezonu için;

$$(\text{Soğutma Yüğü/Soğutma MEK}) + (\text{SKS Yüğü/SKS MPF}) = (\text{Soğutma} + \text{SKS Yüğü})/\text{KMPF} \quad (10)$$

Ara sezon veya yıllık için;

$$(\text{Isıtma Yüğü/Isıtma MPF}) + (\text{Soğutma Yüğü/Soğutma MEK}) + (\text{SKS Yüğü/SKS MPF}) = (\text{Tüm Yüğüler} / \text{KMPF}) \quad (11)$$

Bu tanımlarda, “yük” ilgili son kullanıma verilmesi veya ilgili son kullanımdan alınması gereken ısı enerji eşdeğeri olarak tanımlanıyor. “Kullanım” sözcüğü; yükleri karşılamak için ekipmanın işletilmesinde satın alınması gereken elektrik enerji miktarını belirtmektedir.

ı) İkinci Yasa Verimi (η_{II})

Şu ana kadar yapılan verim ve etkinlik tanımları, sadece termodinamiğin birinci yasası göz önüne alınarak yapıldı. Bu yüzden, bunlara birinci yasa verimi denir. Birinci yasa verimi veya bazen adlandırıldığı gibi dönüşüm verimi [68], olabilecek en iyiyi ölçü olarak almaz. Bu yüzden bazen yanlış değerlendirmelere yol açabilir. Başka bir deyişle, birinci yasa verimi mühendislik sistemleri için tek başına bir başarı ölçüsü değildir. Bu yetersizliği gidermek için, ikinci yasa verimi (Tablo 3) kullanılır [46].

Tablo 3. Isı Pompaları İçin İkinci Yasa Verimi [46]

Sıra No	Gösterim	Açıklama
1	η_{II}	İkinci Yasa Verimi (İYV)
2	$\eta_{II,EK}$	Isı Pompaları ve Soğutma Makinaları İçin İYV
3	ξ_{IP}	Ekserjetik Verim
4	$\eta_{II,K}$	Kullanılabilirlik Tanımına Göre İYV

i) Isı Pompaları İçin İkinci Yasa Verimi

İkinci yasa verimi, gerçek ısı veriminin, aynı koşullarda olabilecek en yüksek (tersinir) ısı verime oranıdır [46]. Kompresör ve soğutma makinaları gibi, iş gerektiren makinalar için; gerekli en az (tersinir) işin, yapılan yararlı işe oranıdır.

$$\eta_{II,IG} = 100 \cdot W_{tr} / W_y \quad (12a)$$

Soğutma makinası ve ısı pompası için ikinci yasa verimi, etkinlik katsayılarıyla,

$$\eta_{II,EK} = 100 \cdot EK / EK_{tr} \quad (12b)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Isı pompaları için, Alman literatüründe [69], ekserjetik verim (ξ_{IP}) tanımı kullanılır. Enerji; kullanılabilirliği bakımından üçe ayrılır.

- Ekserji: Sınırsız dönüştürülebilen enerji, örneğin; mekanik ve elektrik enerji,
- Sıcaklığı, şayet çevre sıcaklığının üstünde ise, ısı gibi, sınırlı dönüştürülebilen enerji,
- Anerji: Dönüştürülemeyen enerji, örneğin; çevre sıcaklığındaki iç enerji

Bu çerçevede,

$$\text{Enerji} = \text{Ekserji} + \text{Anerji} \quad (13a)$$

şeklinde tanımlanır. Isı pompalarının tasarımında, belli bir ekserjetik verim (ξ_{IP}) kabulüne göre, T_y ve T_b , sırasıyla, yoğunlaştırıcı ve buharlaştırıcı sıcaklıkları olmak üzere, (12b) 'nin diğer bir şekli olan,

$$\xi_{IP} = 100 \cdot \frac{EK}{[T_y / (T_y - T_b)]} \quad (13b)$$

bağıntısı kullanılır. Bir bakıma, "ikinci yasa verimi" kavramı yerine, "ekserjetik verim" ifadesi kullanılır.

j) Kullanılabilirlik Tanımına Göre İkinci Yasa Verimi ($\eta_{II,K}$)

İkinci yasa verimi, literatürde [68] farklı şekillerde de tanımlanabilir. İkinci yasa veriminin tanımlanmasının amacı, tersinir hal değişimlerine ne denli yaklaşıldığının belirlenmesidir. Bu bakımdan, ikinci yasa veriminin değeri en kötü durumda sıfır (kullanılabilirliğin tümüyle yok edilmesi), en iyi durumda % 100 (kullanılabilirliğin tümüyle korunması) olacaktır. Bu yüzden ikinci yasa verimi [46], aşağıdaki şekilde de tanımlanabilir.

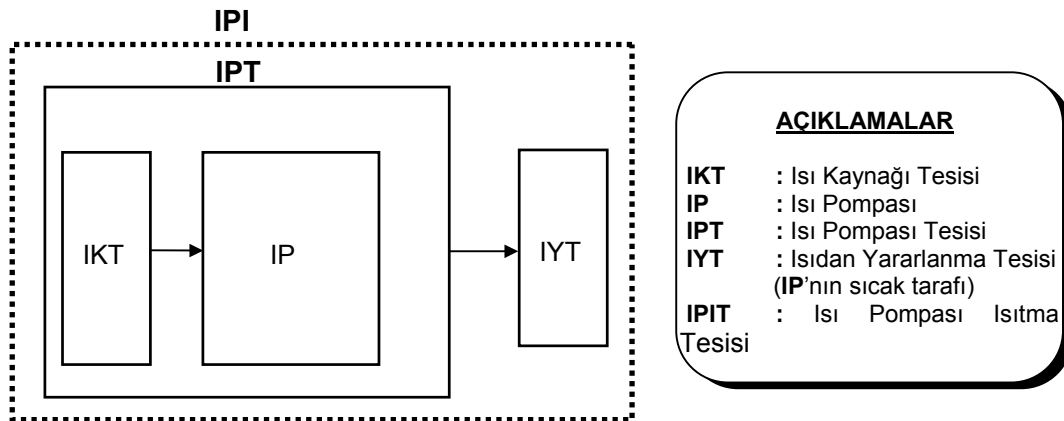
$$\eta_{II,K} = 100 \cdot \frac{\text{Sistemden Elde Edilen Kullanılabilirlik}}{\text{Sisteme Sağlanan Kullanılabilirlik}} \quad (14a)$$

$$\eta_{II,K} = 100 \cdot \frac{\text{Yok Edilen Kullanılabilirlik ("Tersinmezlik")}}{\text{Sisteme Sağlanan Kullanılabilirlik}} \quad (14b)$$

2.3. ISI POMPALARI VE ISI POMPASI TESİSLERİNİN ADLANDIRILMASI

Isı pompaları tesisleri, ısı kaynağının ve ısıdan yararlanma tesisinin türüne göre, DIN 8900' de sınıflandırılmıştır [70]. Şekil 1' de gösterilen ısı pompası (IP) veya ısı pompası tesisi (IPT)nin adlandırılmasında, ilk yerde soğuk taraftaki ısı taşıyıcısı ve ikinci yerde ise, sıcak taraftaki ısı taşıyıcısı kullanılır (Tablo 4).

Hava/Su-Isı Pompası: Isı kaynağı olarak havanın kullanıldığı ve ısı pompasının sıcak tarafında suyun dolaştırıldığı bir cihaz söz konusudur. Bu suyla, örneğin; döşemeden ısıtma sistemine ısı verilir.



Şekil 1. Isı Pompalarının ve Isı Pompası Tesislerinin Adlandırılması [70]

Toprak/Su-Isı Pompası Tesisi: Bu ısı pompası tesisinde, uygun ısı pompası, örneğin; Salamura/Su-Isı Pompası, ısı kaynağı olarak toprak ve ısı pompasının sıcak tarafındaki ısı taşıyıcı akışkan sudur. Bu, ısı pompasının soğuk tarafında salamura (antifriz) ve sıcak tarafında suyun dolaştığını göstermektedir.

Tablo 4. Isı Pompalarının ve Isı Pompası Tesislerinin Adlandırılması [70]

ISI TAŞIYICISI			ADLANDIRMA	
Isı Kaynağı	Soğuk Taraf	Sıcak Taraf	Isı Pompası (IP)	Isı Pompası Tesisi (IPT)
Toprak	Salamura	Hava	Salamura/Hava-IP	Toprak/Hava-IPT
Toprak	Salamura	Su	Salamura/Su-IP	Toprak/Hava-IPT
Güneş	Salamura	Hava	Salamura/Hava-IP	Güneş/Hava-IPT
Güneş	Salamura	Su	Salamura/Su-IP	Güneş/Su-IPT
Su	Su	Su	Su/Su-IP	Su/Su-IPT
Su	Su	Hava	Su/Hava-IP	Su/Hava-IPT
Hava	Hava	Su	Hava/Su-IP	Hava/Su-IPT
Hava	Hava	Hava	Hava/Hava-IP	Hava/Hava-IPT

3. YER KAYNAKLI ISI POMPALARININ YARARLARI VE SAKINCALARI

YKIPları; alışlagelmiş ısıtma ve soğutma yöntemlerine seçenek oluşturma, yerel hava kalitesine katkı sağlama, enerji temin sorunlarını çözmeye yardımcı olma, enerji giderlerini azaltma, tasarım esnekliği sağlama gibi bir dizi yararları vardır. Bunun yanı sıra; ilk yatırımının daha yüksek olması, performansının; toprak ısı değiştiricisine ve ekipmana bağlı olması gibi sakıncaları da vardır. Aşağıda, bunlar belirtilecektir [6,71,72].

3.1. YARARLARI

a) Yüksek Etkinlik ve Kararlı Kapasite:

YKIPları uygun şekilde tasarlandığı zaman, çevrimlerdeki sıvı sıcaklığı, ekipmanın; alışlagelmiş hava kaynaklı ısı pompaları ve fosil yakıtlı düzeneklerden daha fazla yüksek bir etki katsayısıyla ve ekonomik olarak işletilmesini sağlar. Soğuk su, sıcak hava yerine ekipmanın kondenserine beslenir, böylece kompresör daha düşük güç ihtiyacı gerektirerek, düşük soğutucu akışkan basınç farklarında işletilir. Isıtma modunda, 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 karardır. YKIPları, aynı zamanda, daha büyük yapılarda yaygın olarak kullanılan merkezi ve değişken-hava debili sistemlere kıyasla, çok daha küçük fan ve pompa enerjisi gerekli kılar.

b) Konfor ve Hava Kalitesi:

YKIPları, gizli soğutma kapasitesini içermeyen, yüksek etki katsayısı sağlarlar. “Yüksek etki katsayısının, kompresörün basma basıncının emme basıncına oranının azaltılmasıyla elde edildiğini”

tekrar hatırlatmakta büyük yarar vardır. Dış hava sıcaklığı, basma basıncının daha düşük limitini gösterdiği için, bazı imalatçılar etkinliği yükseltmek için emme basıncını artırırlar. Bu; konfor ve iç hava kalitesi sorunlarını bir bütün haline getiren, zayıf nem almaya yol açar. Bu sorunlar, özellikle, yüksek dış hava gerektiren halk ve ofis binalarında artış gösterir. YKIPlarında sık sık, birçok uygulamada belirgin olan ayrı nem alma veya gizli ısı geri kazanım ekipmanı olmadan, nemlendirme sorunlarıyla etkin bir şekilde uğraşılır. YKIPları ayrı zamanda, ısıtma modunda sıcak, konforlu hava verir.

c) Basit Kontroller ve Ekipman:

Karmaşık kontroller, konforu ve kısmi yükteki etkinliği sağlamak için gerekli değildir. YKIPsı sistemin giderini düşürmek için, pahalı ve özel cihazların kullanılmaması önerilir. Her zonda, optimum konforu sağlamak için yerel olarak kontrol edilebilen ayrı bir ısı pompası vardır. Hava debisi, sabit hacimde olup, merkezi kontrol sadece su pompasındaki isteğe bağlı değişken hızlı sürücüdür. Günümüzde, gider açısından en etkin ve verimli ekipman, yüksek verimli kompresörleri, alışıl gelmiş havalı serpantinleri, düşük sıcaklık yaklaşımı olan sulu serpantinleri, termostatik genişleme valfleri ve yüksek verimli fanları/motorları olan su/hava ısı pompalarıdır.

d) Düşük Bakım Gideri:

YKIPları, dış ünite olmadan kurulabilirler. Böylece, korozyon ve hava etkisiyle oluşan değişiklikler, olağan sorunlar değildir. Tüm ısı pompası ekipmanı, iç ünite şeklindedir. Ekipman, alışıl gelmiş ekipmanla ortaya çıkan yüksek veya düşük soğutucu akışkan basınçlarıyla asla karşı karşıya kalınmaz. Çoğu sistemde, yüksek bakımlı soğutma kulelerinden kaçınılabilir.

e) Hiçbir İlave Isıtma İhtiyacı Gerektirmemesi:

YKIPlarının kapasitesi her zaman, ticari ve kuruluşa ait yapılarda zon ısıtma ihtiyacını aşar. Isıtma modu, dönüşüm vanasıyla (termostatta) kolayca gerçekleştirilebilir. Isıtma etkinliği ve ekonomisi, alışıl gelmiş ekipmandan üstündür.

f) Düşük Giderli Su Isıtması:

Çoğu ticari yapılarda (hatta soğuk iklimlerde) soğutma sistemiyle yutulan iç yüklerden ortaya çıkan atık ısı söz konusudur. Bu atık ısı, su ısıtma ihtiyaçlarını karşılamak için, YKIPlarıyla kolayca pompalanabilir. Bu; seçilen ısı pompalarındaki ısı geri kazanım serpantinleriyle veya bu amaçla kullanılan su/su ısı pompalarıyla yapılabilir. Gideri çok düşük olan ısıtma yöntemine ilaveten, ısı geri kazanımıyla, toprak ısı değiştiricisi için gerekli olan boyut azaltılabilir. Çünkü; ısının çoğu, kritik soğutma modunda toprak ısı değiştiricisine girmeden önce çekilir.

g) Hiçbir Dış Ünite Ekipmanı Gerektirmemesi:

Çoğu YKIPlarında, göze hoş görünmeyen dış ünite gerekli değildir. Böylece, diğer kullanımlar için boş hacim sağlanır ve alışıl gelmiş dış üniteyle oluşabilecek emniyet sorunları ile olası zararlar ortadan kaldırılır. Bu özellikle, okul uygulamalarında büyük önem taşır. Çünkü; çocukların dış üniteye girişini kısıtlamak için özel önlemlerin alınması gereklidir. Servis bakımından iç üniteli ısı pompalarına, genellikle kolayca ulaşılabilir.

h) Paket Şeklinde Soğutucu Ekipman:

Su/hava ve su/su ısı pompalarının, kendi içinde bulunan soğutma sistemleri vardır. Bu; soğutucu akışkanın uygun olmayan saha doldurması veya bağlantıları nedeniyle, soğutucu akışkanın sızma ve

arıza yapma olasılığını azaltır. Bu paket üniteler, aynı zamanda, alışılmamış ekipmanın soğutucu akışkan ihtiyacının sadece % 20 - % 70' ini gerektirirler.

i) Çevre Dostu:

EPA raporuna göre, YKIPları; “analiz edilen tüm teknolojilerin en düşük CO₂ emisyonları ve en düşük toplam çevre giderleri” olarak tanıtılmaktadır. İyi tasarlanan ve kurulan YKIPlarının etkinliğinin artması, gerekli olan enerji miktarını azaltır. Böylece, bundan kaynaklanan kirleticiler ve diğer emisyonlar azaltılır.

j) Tasarım Esnekliği:

YKIPları önemli ölçüde esneklik sağlarlar. Çünkü; değişik boyut ve yerleşim şekillerinde tasarlanabilir. Isı pompaları, çatı arası boşluğa veya küçük mekanik odalara konulabilir. Yapıda oturanların veya zon yükleri değişince, ilave bir ekipman veya daha büyük ısı pompaları eklenebilir [71].

k) Düşük Talep Karakteristikleri:

Yurt dışında, soğutmada ticari yapılarda kullanılan ekipman türlerine göre, kW/ton olarak talep azaltmaları söz konusudur.

l) Mükemmel Ömür Gideri:

YKIPlarının ilk yatırımı yüksek olmasına rağmen, bir yapım-kullanım ömrü gider hesabı (life-cycle cost) yapıldığı zaman, YKIPlarını belirgin olarak öncü kılan üç karakteristik ortaya çıkar: (i) Enerji ve talep giderlerinin düşük olması, (ii) Bakım giderinin düşüklüğü ve (iii) Ekipman ömrünün uzatılması

m) İlerleme İçin Çarpıcı Potansiyel:

Tasarımcılar ve ekipman imalatçıları, daha çok YKIP'nın performansının yararı üzerinde odaklanmıştır. Oysa, standart ekipman etkinliği, imalat giderlerinde önemli artışlar olmadan çarpıcı bir şekilde iyileştirilebilir. Sıcak su üretimi, soğutma ekipmanı entegrasyonu ve ısı depolama kullanımı, tam olarak araştırılmayan konulardır.

3.2. SAKINCALARI

a) İlk Yatırım Giderinin Daha Yüksek Olması:

Konaklama: Yatırım gideri, daima standart merkezi ekipmanın giderinin iki katıdır.

Ticari : Çatı üstü tek zonlu, sabit hava hacimliden % 20 - % 40 daha yüksektir.

- Multizonlu veya merkezi iki borulu soğutulmuş sulu sistemden % 0 - % 20 daha yüksektir.
- Dört borulu olandan % 0 - % 20 daha düşüktür.

b) Performansın, Toprak Isı Değiştiricisine ve Ekipmana Bağlı Olması:

Birçok kişi, sistem “jeotermal” olduğu için, daha iyi olması gerektiğini farz ediyor. Deneyimi olmayan kişiler ise, gideri yüksek ekipman olarak tanımlıyor ve toprak ısı değiştiricisinin tasarımı ile montaj kalitesi nasıl olursa olsun, yüksek performansta işletilmesini bekliyor. Toprak ısı değiştiricisi giderleri aşırı görüldüğü zaman bilinen başka bir uygulamaya göre, düşük kaliteli ısı pompaları ve adi su dolaşımli sistemler olarak belirtiliyor.

Tablo 5. YKIPlarının Isı Değiştiricisi Tipine Göre Yararları ve Sakıncaları [73,74]

SİSTEMLER	YARARLARI	SAKINCALARI
Yatay Toprak Isı Değiştiricili Isı Pompası	<ul style="list-style-type: none"> Enerji tüketimi düşük İşletme giderleri orta Performansı hava/hava sistemlerden daha iyi 	<ul style="list-style-type: none"> Kuru toprak, sudan daha az ısı kaynağı/ısı kuyusu İlk yatırımı yüksek Kaçakları bulmak ve onarmak zor Pompalama giderleri Çok fazla açık alan gerektirmesi
Düşey Toprak Isı Değiştiricili Isı Pompası	<ul style="list-style-type: none"> Enerji tüketimi düşük İşletme giderleri orta Performansı, hava/hava sistemlerden daha iyi 	<ul style="list-style-type: none"> Kuru toprak, sudan daha az ısı kaynağı/ısı kuyusu İlk yatırımı yüksek Kaçakları bulmak ve onarmak zor Pompalama giderleri Derin kuyular çukur kazmaktan çok daha pahalı
Yüzey Suyuna Daldırılmış Isı Pompası	<ul style="list-style-type: none"> Enerji verimli İşletme giderleri orta İlave ısı gerekemeyebilir. Isı kaynağı/kuyu sıcaklıkları göreceli olarak sabit Hava kaynaklı ısı pompasında olduğu gibi, defrost çevrimi gerektirmez 	<ul style="list-style-type: none"> Uygun su yerleri (göl, havuz gibi) sınırlı Sistemin tıkanması, kirlenme, kabuklanma veya korozyon Akıntı veya dalga etkisi, cihaza zarar verebilir. İlk yatırımı yüksek Pompalama gideri

c) Nitelikli (Ehliyetli) Tasarımcıların Sayısının Sınırlı Olması:

HVAC tasarımcıları; daralan konstrüksiyon bütçeleri, artan standart istemleri ve giderek çoğalan yasal sorumluluk arasında sıkışmış durumdadır. Genellikle yapmak istedikleri son şey, “yeni” bir şeyi denemektir.

d) Nitelikli Müteahhitlerin Sayısının Sınırlı Olması:

Uzman toprak ısı değiştiricisi müteahhidi olmak için gerekli olan ekipman ve zamana yapılan yatırım önemlidir.

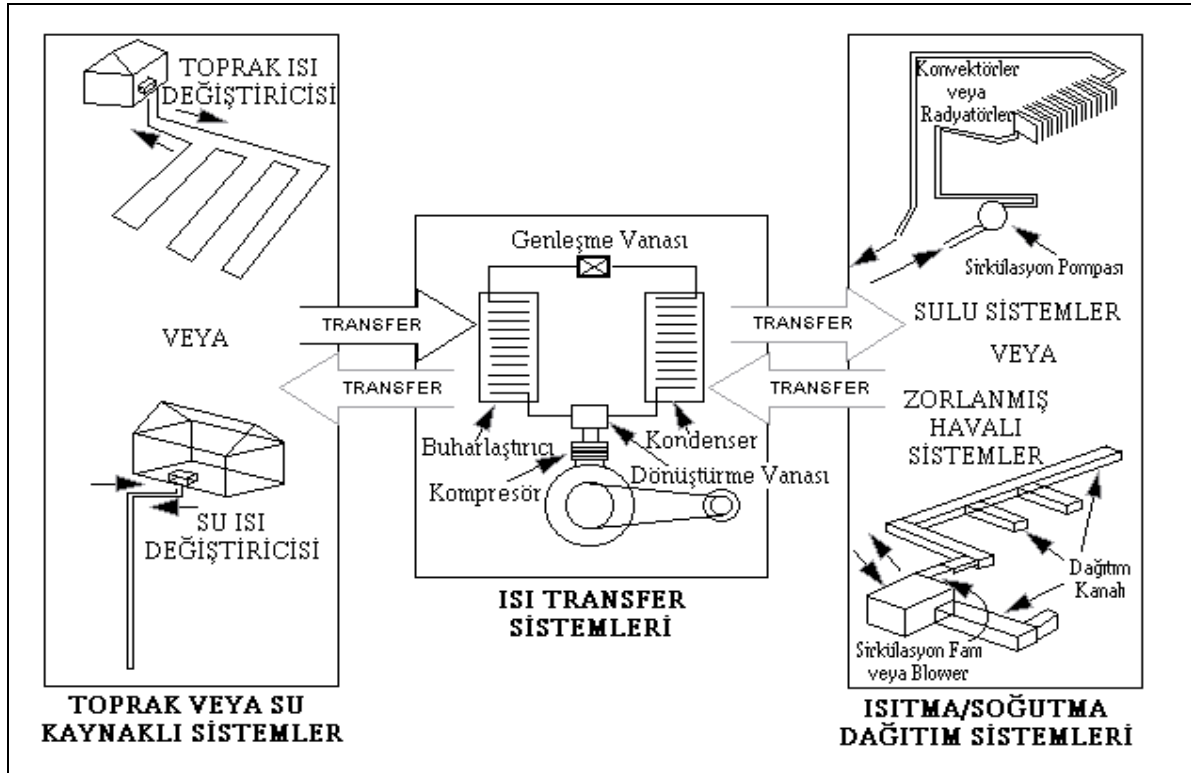
e) HVAC Ekipmanı Satıcı Karının Az Olması:

TKIPlarının satıcılar bakımından çekiciliği düşüktür. Bununla beraber, YKIPlarının basitliği, bu konuda çalışan mühendisi daha fazla bağımsız kılmaktadır. Böylece, ekipman satıcıları için iş başına toplam kar daha az olup, alışlagelmiş ekipmanı satmak genellikle daha fazla yararlıdır.

Ayrıca, Tablo 5’ de; toprak ısı değiştiricisinin tipine göre, YKIPlarının yararları ve sakıncaları verilmektedir [73,74].

4. YER KAYNAKLI ISI POMPASININ ÇALIŞMA ŞEKLİ

YKIPları, iklimlendirme; ısıtma, soğutma ve nem kontrolü sağlar. Bunun yanı sıra, ya ilave ısıtma vererek ya da alışıla gelmiş su ısıtıcılarının yerine geçerek, sıcak su üretilebilir. YKIPları, ocaklarda olduğu gibi, kimyasal enerjiyi ısı enerjisine çevirmeden öte, ısının taşınmasıyla işler.



Şekil 2. Yer Kaynaklı Isı Pompasının Şematik Gösterimi

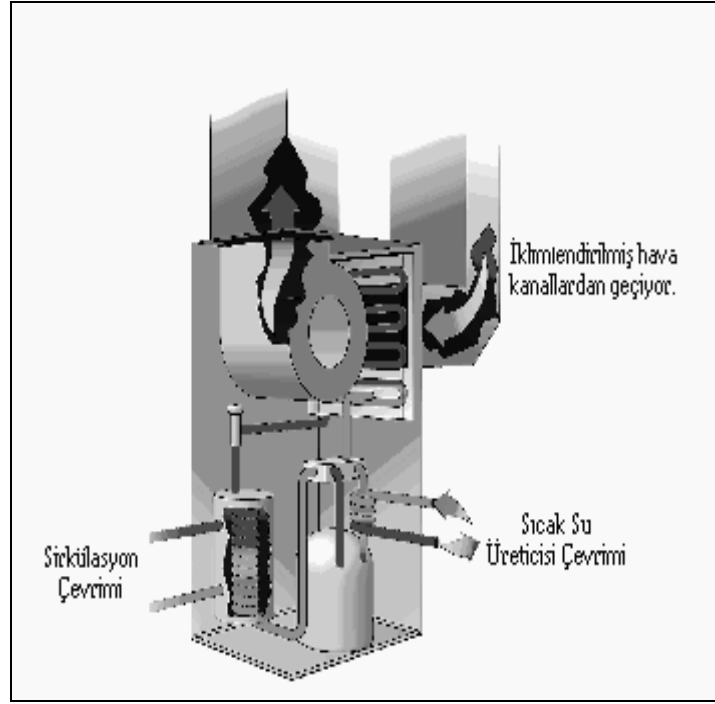
Bu sistemlerde (ısı pompası ısıtma/soğutma tesisi); Bölüm 2.3' de belirtildiği ve Şekil 1' de [73,75] şematik olarak gösterildiği gibi, üç ana alt sistem veya kısım vardır : (i) Bina ile yer bağlantısı içinde dolaşan akışkanı taşımak için bir ısı pompası, (ii) Akışkan ile yer arasındaki ısıyı transfer etmek için bir yer bağlantısı (toprak/su ısı değiştiricisi/ısı kaynağı tesisi) ve (iii) Binayı ısıtmak veya soğutmak için gerekli olan alt sistem (ısıdan yararlanma tesisi). Aynı zamanda, bu sistemlerde binanın sıcak su ısıtıcısını desteklemek için bir düzenek (desuperheater; kızgın buhar soğutucusu) veya binanın sıcak su ihtiyaçlarının hepsini karşılamak için bir sıcak su üreticisi kullanılır [72].

Isıtma modunda, ısı YKIPsıyla, toprak veya su ısı değiştiricisine (TSIDne) bağlanan devrede dolaşan akışkandan çekilir ve genellikle, hava kanalı sistemiyle, eve ya da binaya dağıtılır. Binadan çıkan daha soğuk hava, YKIPsına tekrar yollar. Burada, TSIDne giden akışkanı soğutur. Daha sonra, akışkan; TSID içinden geçerken, tekrar ısınır.

Soğutma modunda ise, proses ters olarak gerçekleştirilir. TSIDnden gelen göreceli olarak soğuk akışkan, binadan ısıyı yutar ve bu ısıyı, toprağa transfer eder.

a) Yer Kaynaklı Isı Pompası

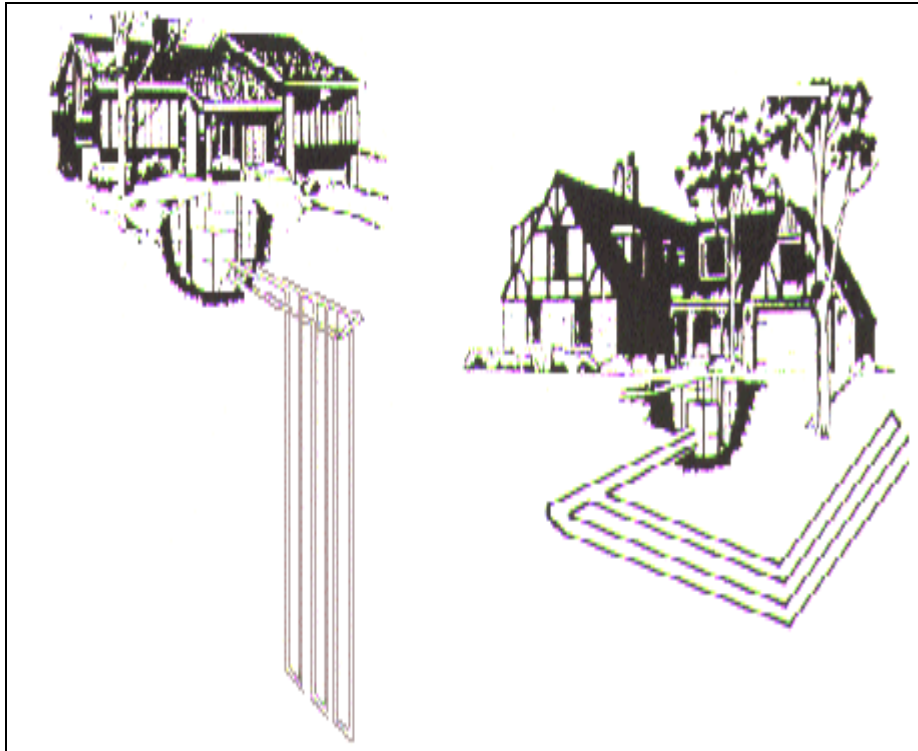
Şekil 2' de gösterildiği gibi, YKIPsı tek bir kabine içinde paketlenmiş olup, kompresör, soğutucu akışkan ısı değiştiricisini ve kontrol elemanlarını içerir. Aynı zamanda, hava kanalı kullanılarak ısıyı dağıtan sistemlerde; hava yönlendiricileri, fan, filtre, soğutucu akışkan/hava ısı değiştiricisi ve iklimlendirme sistemi için kondens boşaltma sistemi bulunur. Evlerdeki YKIPları, genellikle bodrum katına, tavan arasına veya küçük odalara konur. Ticari uygulamalarda, asma tavan üstüne asılabilir veya ayrı bir konsola da konulabilir [72].



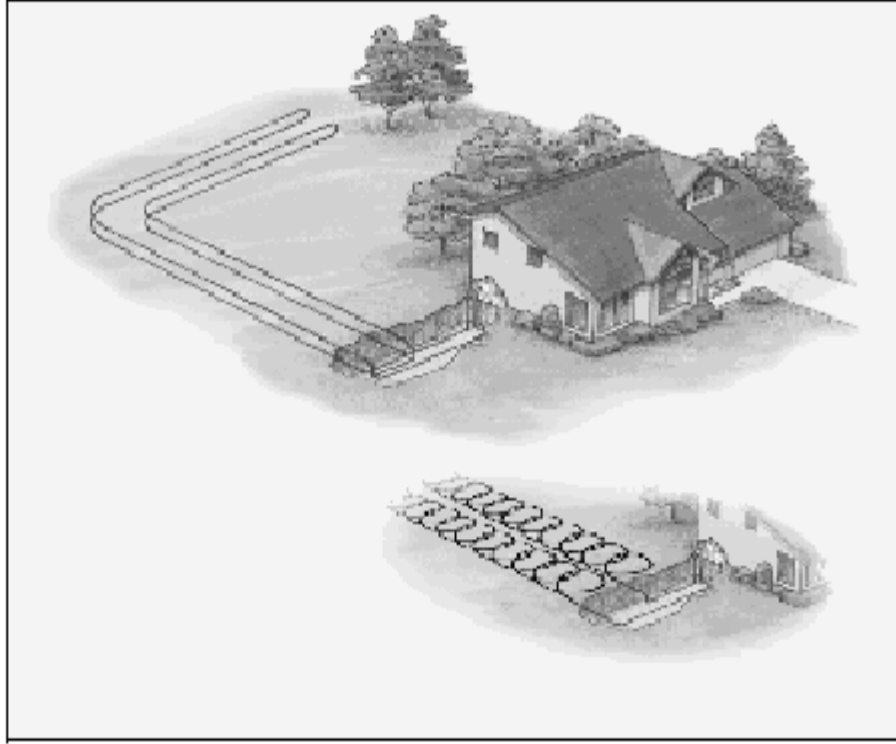
Şekil 3. Bir YKIPsı Kesit Görünüşü

b) Toprak veya Su Isı Değişiricisi (Isı Kaynağı Tesisi)

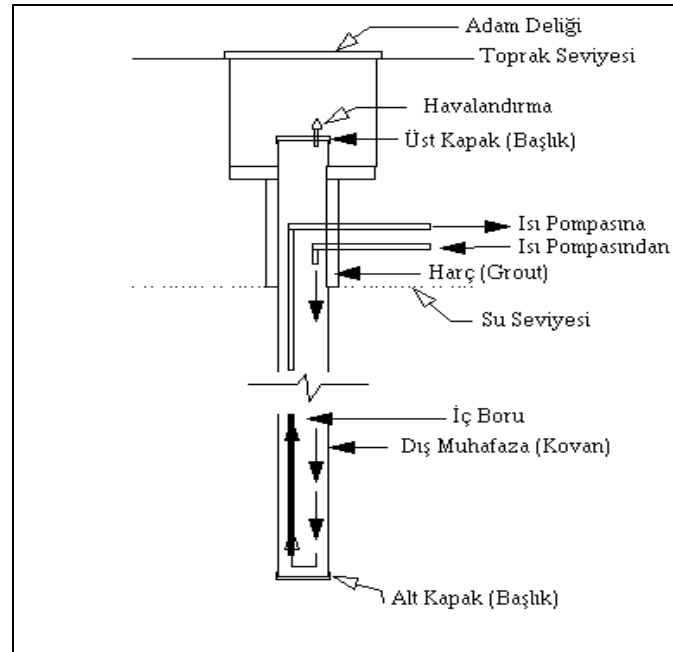
Bu ısı değiştiricisi, toprağa gömülmüş veya herhangi bir su kaynağına (kuyu, göl, gibi) daldırılmış borulardan oluşur. Bu sistemlerde, ya yatay olarak yada düşey olarak (Şekil 3,4,5,6 ve 7) gömülmüş/daldırılmış polietilen boru serpantini kullanılır [73].



Şekil 4. Kapalı Çevrimli Sistem: (a) Düşey ve (b) Yatay

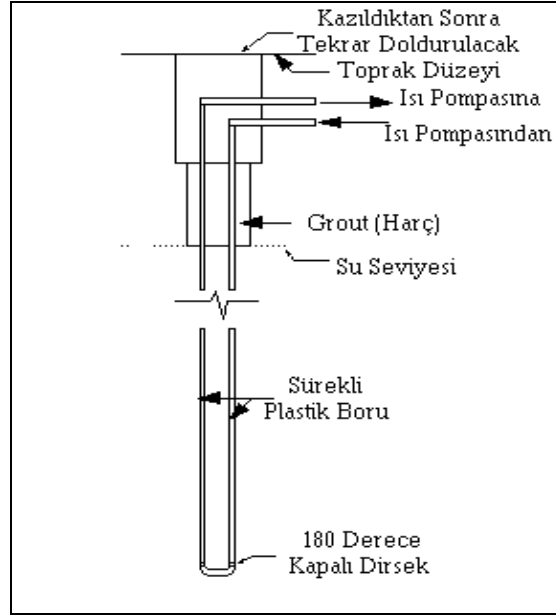


Şekil 5. Yatay Toprak Isı Değiştiricisinin Bazı Uygulama Şekilleri



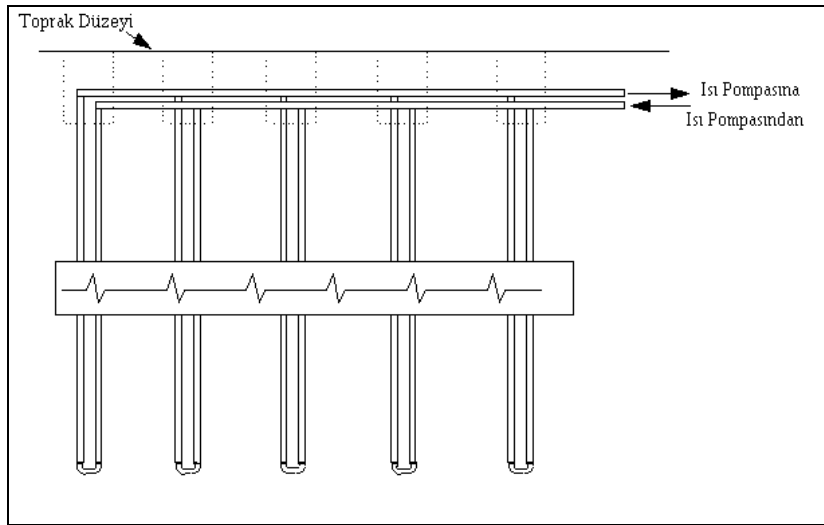
Şekil 6. Düşey Toprak Isı Değiştiricisi Kesit Resmi (Kapalı-Dış Muhafazalı) [73]

Yerden (toprak veya su) geçerken ısıtılan veya soğutulan alkol/antifriz esaslı bir su eriyiği, borular içinden geçer. Direk genişmeli sistemler denilen, bazı sistemlerde, ısı pompasının soğutucu akışkanı, toprak veya su ısı değiştiricisinin içinden geçer. Böylece, su eriyiği, ilave pompa ve ısı değiştiricisi ihtiyacı gerekmez. Bu direk genişmeli sistemlerde, bakırdan [76] yapılmış serpantinler kullanılır ve hiçbir ısı değiştiricisi olmadığı için, daha fazla verimlidir [73].



Şekil 7. Düşey Toprak Isı Değiştiricisi Kesit Resmi (Kapalı Çevrim) [73]

Düşey toprak veya su ısı değiştiricisi (TSİD) sisteminin paralel birçok düşey serpantinlerden oluşturulması mümkündür (Şekil 7). Bu yerleşimde, daha küçük çapta borular kullanılır ve tek bir düşey sistem gibi daha derin olarak konulmazlar veya yatay bir sistem gibi daha fazla alan gerektirir.



Şekil 8. Düşey Toprak Isı Değiştiricilerinin Paralel Bağlanması [73]

c) Dağıtım Sistemi (Isıdan Yararlanma Tesisi)

Birçok evsel YKİP'si sisteminde, sıcak veya soğuk havayı dağıtmak ve nem kontrolü sağlamak için, alışıla gelmiş hava dağıtım kanalları kullanılır. Birkaç sistemde, bir veya daha fazla fan-coil ünitesi, radyatörler veya döşemeden ısıtma sistemi söz konusudur. Uygun şekilde tasarlanmış, kurulmuş ve sızdırmaz hava kanalları, sistemin veriminin sağlanması için önemlidir. Kanallar yalıtımalıdır ve mümkün olduğu yerde, yapının ısı zarfı (iklimlendirilen hacmin) içinde olmalıdır.

Okullar ve ofisler gibi büyük ticari yapılardaki sistemlerde sık sık farklı yerleşim kullanılır. Çoklu ısı pompaları (belki her bir sınıf veya ofis için bir adet), yapının içindeki bir çevrimle aynı toprak ısı değiştiricisine bağlanır. Bu şekilde, yapının her bir alanının ayrı olarak kontrolü yapılabilir. Yapının gölgeli tarafındaki ısı pompaları ısıtma yaparken, güneşli tarafındakiler ise, soğutma sağlarlar. Bu yerleşim çok ekonomiktir. Çünkü; sadece yapının ısıtma ve soğutma ihtiyaçları arasındaki fark için ısı kaynağı veya ısı kuyusu olarak kullanılan toprak ısı değiştiricisiyle, ısı; yalnızca yapının bir alanından diğer alanına transfer edilecektir [72].

d) Su Isıtma

Sıcak, nemli iklimlerde, sıcak kullanma suyu için soğutucu akışkan çevriminin yüksek basınçlı tarafına bir ısı değiştiricisinin konulması önerilir. Bu cihaz, genellikle, soğutma modunda veya ısıtma modunda fazla ısıtma kapasitesiyle (güney iklimlerde mevcut olan) sıcak su elde etmek için kompresörün kullanıldığı kızgın buhar soğutucularıdır (desuperheater). Bu ısı değiştiricisi kompresör çıkışına konulur. Sıkıştırılan gazdan ortaya çıkan fazla ısıyı, evin sıcak su tankına giden bir su hattına transfer eder. Yazın, iklimlendirme sık sık yapıldığı zaman, kızgın buhar soğutucusu; ev sakinlerinin ihtiyacı olan tüm sıcak suyu sağlar. Bununla beraber, kızgın buhar soğutucusu; kış süresince daha az sıcak su sağlar ve sistem işletilmediği zaman, ilkbahar ve sonbahar süresince hiç sıcak su sağlamaz [8,72].

Bugün kurulan konutsal ölçekte birçok sistem, ısı veya iklimlendirme yapıldığı zaman sıcak kullanma suyu elde etmek için, kızgın buhar soğutucusu ile donatılır. Daha büyük ısı değiştiricileri ve ısıtma suyu için kullanılacak soğutucu akışkan devresinin tüm yoğuşma kapasitesinden yararlanmayı mümkün kılan kontrol mekanizmaları olan üniteler piyasada bulunmaktadır [8].

5. ÜLKEMİZDE YAPILAN ÇALIŞMALAR

YKIP üzerine ülkemizde yapılan çalışmalar, üç kısımda ele alınabilir: (i) Üniversite Çalışmaları, (ii) Standartlaştırma Çalışmaları ve (iii) Uygulama (Kurma ve İşletme) Çalışmaları

5.1. ÜNİVERSİTE ÇALIŞMALARI

Üniversitelerimizde YKIPsı konusunda çeşitli çalışmalar yürütülmektedir. Hatta, bazı üniversitelerimizin Lisans Üstü programlarında, uzun yıllardan beri seçmeli olarak "Isı Pompaları" dersi verilmektedir. Bu bağlamda, sözü geçen çalışmalar; (i) teorik ve (ii) teorik ve deneysel olmak üzere, iki kısımda incelenecektir:

Teorik Çalışmalar

Ülkemizdeki üniversitelerde, YKIPsı ile ilgili olarak gerek makale/veya bildiri [77,78] gerekse de Yüksek Lisans Tezi [79,80,81] ve doktora tezi [82] bazında çeşitli çalışmalar yürütülmüştür.

TKIPlarının kent dışı konutlarda kullanımına ilişkin yararlanma yöntemleri, Kalkış [77] tarafından açıklanmıştır. Bu çerçevede, *somut örneklerle ısı pompaları da kullanılarak, bu yöntemin ne denli geçerli olabileceği gösterilmektedir. Basit ve ucuz ısı pompalarının geliştirilmesi ile bu yöntemin ülkemizde de ilgi çekeceği savunulmaktadır.*

Hepbaşı [79] tarafından, 1985 yılında; "Isı Pompası Sistemleri ve Konut Isıtılması" isimli Yüksek Lisans çalışmasında, ısı kaynağı olarak topraktan yararlanarak, toprak-su/ısı pompası tesisi ile, konut ısıtılması üzerine çalışılmıştır. "*Projelendirmeye esas olan tek katlı ve toprak ısı değiştiricilerinin yerleştirilmesine uygun, yeterli toprak alanı bulunan binaya döşmeden ısıtma metodu uygulanmıştır. Bu çalışmada; hem yatay hem de düşey toprak-ısı değiştiricisi tasarımı yapılmış ve bu iki farklı yöntemin birbirine göre üstünlükleri incelenmiştir.*"

Ataman [80] tarafından, "Toprak Kaynaklı Isı Pompaları (TKIP)nın Tasarımı" üzerine bir Yüksek Lisans Tezi tamamlanmıştır. Bu çalışmada; şu hususlar belirtilmiştir: "*Isı pompalarında kaynak olarak*

toprağın kullanımı, toprağa gömülen ısı pompalarının maliyetlerinden ötürü, kaynak olarak havayı kullanan ısı pompalarına göre daha yüksek yatırım maliyetleri gerektirmektedir. Ancak, TKIP'nın ısı tesir katsayılarının daha yüksek olması işletim maliyetlerini azaltmaktadır. Toprak ısı değiştiricilerinin maliyetlerinin yüksek olması, boyutlandırmanın çok iyi yapılmasını gerektirir. Bunun için ise, toprak özelliklerinin, gerek hava gerekse toprak sıcaklık değerlerinin ve ısı pompası karakteristiklerinin çok iyi bilinmesi gerekir. Ayrıca, boyutlandırma sonunda, ekonomik analizin çok iyi yapılması gerekir. Ataman tarafından yapılan çalışmada; Göztepe' de inşa edilen bir konutun toprak kaynaklı ısı pompası ile ısıtılması ele alınmış, konutun ısı kaybı derece gün metoduyla hesaplanarak uygun ısı pompası seçilmiştir. Seçilen bu ısı pompasının çalışma şartlarına uygun olarak, toprak ısı değiştiricilerinin boyutlandırılmasına geçilmiştir. Toprak ısı değiştiricileri boyutlandırılırken, topraktaki sıcaklık değişimi Kelvin Çizgisel Kaynak Teorisinin, Ayna Görüntü Metodu eklenerek elde edilmiştir. Bu metodun kullanılması için gerekli toprak direncinin hesabında ise, tüm boruların birbirlerine olan ısı etkileşimi göz önüne alınmıştır.”

Teorik ve Deneysel Çalışmalar

Ülkemizde, YKIPları konusunda, deneysel ve teorik olarak, biri Yüksek Lisans [81] ve diğeri ise, Doktora [82] olmak üzere iki tanedir.

Babür [81] tarafından 1986' da yapılan, “Design and Construction of An Earth Source Heat Pump (Toprak Kaynaklı Isı Pompası Tasarımı ve Yapımı)” isimli Yüksek Lisans çalışmasında, ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümü'nde var olan cihazlar kullanılarak, toprak hava arasında çalışan bir ısı pompasının tasarımı ve yapımı gerçekleştirilmiştir. “İki devreden oluşan ısı pompasının, bir devresi Soğutucu Akışkan 12 ile çalışan soğutma çevrimi, diğer devresi ise, içinden su-antifriz karışımı (salamura) geçen toprak altındaki boru demetidir. Toprak altındaki boru demeti 10 m uzunluğunda 5/8” bakır borudan yapılmıştır. Soğutma ve salamura devreleri bir depo içindeki helis ısı değiştiricisi ile birleştirilmiştir. Deney düzeni toprak sıcaklık dağılımını ölçmek ve ısı pompasının etkenlik katsayısını belirlemek için gerekli ölçme cihazları ile donatılmıştır. 1985-86 ısıtma mevsiminde değişen iklim koşullarında ve değişken salamura kütle debisinde toplam 44 deney yapılmıştır. Topraktan soğurulan ısı gücü ölçülmüş ve teorik modellerin tahminleri ile karşılaştırılmıştır.”

Kara [82] tarafından, “Düşük Sıcaklıktaki Jeotermal Kaynakların Isı Pompası Yardımıyla Bina Isıtmada Kullanımı” isimli bir doktora çalışması tamamlanmıştır. Bu çalışmada; Erzurum yöresinde bulunan jeotermal kuyulardan çıkan düşük sıcaklıkta olduğu ve sadece kaplıca amacıyla kullanıldığı belirtilmiştir. “Örneğin; Erzurum' un Pasinler ilçesinde 200 m derinlikte 42 °C sıcaklık ve 75-95 l/s debide iki kuyu, Ilica ilçesinde ise, 605 m derinlikte 39 °C sıcaklıkta jeotermal suyun sıcaklığı 30-35 °C dolayındadır. Bu çerçevede, yukarıda sözü geçen düşük sıcaklıktaki jeotermal kaynakların bina ısıtılmasında değerlendirilmesi amacıyla, su-su tipi bir jeotermal ısı pompası sistemi tasarlanmış ve sistemin bir bilgisayar modeli geliştirilmiştir. Sistemde; 35 °C sıcaklıkta jeotermal kaynak kullanılarak, doğrudan ısıtma amacıyla 45 °C sıcaklıkta su üretilmiştir. Sonuçta; R-22 gazı ile çalışan jeotermal ısı pompası sisteminin toplam etki katsayısı 2.8 olarak belirlenmiş ve geliştirilen bilgisayar programından elde edilen sonuçların deneysel sonuçlarla uyumlu olduğu görülmüştür. Bilgisayar programı yardımıyla, bu sistemde R-22' ye alternatif olarak R-500 ve R-502 gazlarının kullanımı incelenmiş ve en yüksek etki katsayısının R-500 gazı ile elde edileceği sonucuna varılmıştır. Öte yandan, yapılan inceleme sonucunda; çevre dostu olması nedeniyle, son yıllarda kullanımı yaygınlaşan R-134a gazının kullanılmasının daha da iyi bir netice vereceği anlaşılmıştır.”

5.2 STANDARDLAŞTIRMA ÇALIŞMALARI

Isı pompaları ile ilgili olarak TSE tarafından 14 adet standart (Tablo 6a ve 6b) hazırlanmıştır [83]. Tablo 6a' da gösterildiği gibi, bu standartlardan sadece ikisi (TS prEN 255-3 ve TS 10055) YKIPları ile ilgilidir.

Tablo 6a. Isı Pompaları İle İlgili Türk Standartları Listesi [83]

SIRA NO	TS NO.	TARİH	AÇIKLAMA
1	TS prEN 255-3	04.04.1996	Isı Pompaları Elektrik Enerjisiyle Tahrik Edilen Kompresörle Çalışan Isıtma veya Isıtma/Soğutma Amacıyla Kullanılan Bölüm 3: Sudan/Suya ve Tuzlu Sudan/Suya Isı Pompaları. Deneyler ve İşaretleme Kuralları
2	TS 10055	31.03.1992	Isı Pompaları-Mekanik Tahrikli-Sudan-Suya Tip

Tablo 6b. Isı Pompaları İle İlgili Türk Standartları Listesi [83]

SIRA NO	TS NO.	TARİH	AÇIKLAMA
1	TS prEN 255-2	04.08.1996	Isı Pompaları Elektrik Enerjisiyle Tahrik Edilen Kompresörle Çalışan Isıtma veya Isıtma/Soğutma Amacıyla Kullanılan Bölüm 2: Havadan/Suya Isı Pompaları. Deneyler ve İşaretleme Kuralları
2	TS prEN 255-4	09.03.1996	Isı Pompaları Elektrik Enerjisiyle Tahrik Edilen Kompresörle Çalışan Isıtma veya Isıtma/Soğutma Amacıyla Kullanılan Bölüm 4: Havadan/Havaya Isı Pompaları. Deneyler ve İşaretleme Kuralları
3	TS prEN 255-6	15.10.1996	Isı Pompaları Elektrik Enerjisiyle Tahrik Edilen Kompresörle Çalışan Isıtma veya Isıtma/Soğutma Amacıyla Kullanılan Bölüm 6: Kullanma Sıcak Suyu Isıtmada Kullanılan Isı Pompaları-Tarifler. Deney Metotları ve İşaretleme Kuralları
4	TS prEN 255-7	09.03.1996	Isı Pompaları Elektrik Enerjisiyle Tahrik Edilen Kompresörle Çalışan Isıtma veya Isıtma/Soğutma Amacıyla Kullanılan Bölüm 6: Kullanma Sıcak Suyu Isıtmada Kullanılan Isı Pompaları-Hava Kaynaklı Gürültü İçin Ölçülmesi-Ses Gücü Seviyesinin Tayin Edilmesi
5	TS EN 378-1	07.11.1995	Soğutma Sistemleri ve Isı Pompaları Güvenlik ve Çevre Kuralları Bölüm 1: Temel Kavramlar
6	TS EN 378-2	07.11.1995	Soğutma Sistemleri ve Isı Pompaları Güvenlik ve Çevre Kuralları Bölüm 2: Genel Tarifler
7	TS prEN 378-9	28.03.1996	Soğutma Sistemleri ve Isı Pompaları Güvenlik ve Çevre Kuralları Bölüm 9: Soğutucu Akışkanlara Karşı Şahsi Korumaya Donanım
8	TS 9339	26.04.1991	Isı Pompaları-Mekanik Tahrikli-Sınıflandırma ve Çalışma Esasları
9	TS 9340 EN 255-1	03.12.1996	Isı Pompaları Elektrik Enerjisiyle Tahrik Edilen Kompresörle Çalışan Isıtma veya Isıtma/Soğutma Amacıyla Kullanılan Bölüm 1: Terimler, Tarifler ve Adlandırma
10	TS 9607	26.11.1991	Isı Pompaları-Mekanik Tahrikli-Havadan-Havaya Tip
11	TS 9971	03.10.1992	Isı Pompaları-Mekanik Tahrikli-Havadan-Havaya Tip
12	TS prEN 12263	16.12.1997	Soğutma Sistemleri ve Isı Pompaları-Basıncın Sınırlanmasında Kullanılan Emniyet Cihazları-Özellikler ve Tip Deneyler

5.3 UYGULAMA ÇALIŞMALARI

Ülkemizde, YKIPları henüz imal edilmemektedir. Bununla beraber, bazı firmalar imal etmeyi düşünmektedir. Bunun yanı sıra, YKIPları, ülkemizdeki bazı firmalar [84,85,86,87] tarafından yurt dışından ithal edilmekte ve bu konuda sınırlı firma [84,85,86,87,88] çalışmaktadır. Ayrıca, şu ana kadar kurulan YKIPsı sayısı, oldukça azdır. Tablo 7 ve 8’ de, sırasıyla, A ve B Firmaları tarafından kurulan tesisler belirtilmiştir. C Firması [86], daha çok, yurt dışında birçok çalışmanın [89,90,91,92,93] yürütüldüğü, “Su Çevrimli Isı Pompası Sistemleri (Water-Loop Heat Pump Systems)” ile ilgili faaliyetlerde bulunmaktadır. Bu firmanın, Maya Sitesi-Akatlar/İstanbul’ da kurmuş olduğu su çevrimli ısı pompası sistemi vardır. Ancak, bu sistemle ilgili teknik değerler (yapınının ısıtma soğutma yükleri, iklimlendirilen hacim) ve enerji parametreleri (yıllık ısı geri kazanım, soğutma enerjisindeki yıllık tasarruflar, ısıtma ve soğutma enerjisinden yıllık tasarruflar) elde edilememiştir. D firması, birkaç aydır, yabancı bir firmanın temsilciliğini almış olup, henüz kurulan sistem mevcut değildir. Bunun yanı sıra, E firmasının Antalya’daki iki sudan suya ısı geri kazanımı ve sudan suya ısı pompası uygulaması mevcuttur [88].

Tablo 7. A Firması Tarafından Kurulan YKIPları [84]

S i r a N o	Yeri	Net Isıtılan Yüz. Alanı (m ²)/ Hacim (m ³)	Isıtma / Soğutma Yükü (kW)	TOPRAK DEĞİŞTİRİCİSİ		Yapının Isıtma/ Soğut. Şekli	Isıtma / Soğut. Etki Kats. (IEK/ SEK)
				Sondaj/ Serme	Derinlik/ Uzunluk (m)		
1	İstanbul Acarlar	276 / 745	26.00 / --	Sondaj	120	Yerden Isıtma (YI)	3.4 / --
2	İstanbul Acarlar	320 / 864	30.14 / --	Sondaj	140	Yerden Isıtma	3.5 / --
3	İstanbul Acarlar	460 / 1288	42.93 / 59.91	Sondaj	170	YI + Fan-coil	3.7 / 4.2
4	İstanbul M.Ş.Paşa	400 / 1200	41.87 / --	Serme	550	Radyatör	3.8 / --
5	Mersin İnsuyu	435 / 1218	42.49 / 56.65	Serme	600	Fan-coil	3.9 / 4.1
6	Sapanca	230 / 621	21.66 / --	Serme	330	Yerden Isıtma	3.6 / --
7	Silivri	300 / 840	29.30 / 39.07	Sondaj	130	Fan-coil	3.7 / 4.1
8	İstanbul Acarlar	460 / 1288	44.93 / 59.91	Sondaj	170	YI + Fan-coil	3.6 / 4.2
9	İstanbul Acarlar	320 / 896	31.26 / --	Sondaj	140	Radyatör	3.4 / --

AÇIKLAMALAR:

- Tüm borular, 1 ¼ “ çapındadır.
- Günlük işletme saati, ortalama 10 saat olarak verilmiştir.
- 10.06.1999 tarihi itibarıyla, firma tarafından verilen değerlerdir.

Tablo 8. B Firması Tarafından Çalışması Süregelen YKIPları [85]

No	Yapı Yeri / Özellikleri	İklimlendirilen Yüzey Alanı (m ²)	İklimlendirilen Hacmi (m ³)	TOPRAK (SU) Toprak	ISI Su	DEĞİŞTİRİCİSİ Boru Çapı
1	İzmit/ Arke. Müze.	3500	14000	Dikey Sondaj	--	3/4 "
2	Maşukiye/ Villa	1100	3300	--	3 l/s	1 1/4"
3	Bahçecik/ Villa	650	1520	--	2 l/s	3/4 "
4	Akyazı/ Apt.	1200	3240	--	6 l/s	1 1/4"
5	Konya/ Sitesi	24900	74700	--	--	1 1/4"
6	Antalya/ Site	8640	25920	--	28 l/s	1 1/4"

AÇIKLAMALAR:

- Çalışmalar devam etmektedir.
- 13.07.1999 tarihi itibarıyla firma tarafından verilen değerlerdir.
- Kullanılan tüm borular SDR 11 PE 100 polietilendir.
- Dikey sondaj, 6" ve 110 m derinliktedir.
- Tüm üniteler, ısıtma/soğutma ve sıcak su temini içindir. Isıtma ve soğutma; fan-coil ile sağlanmaktadır.
- Sudan yararlanmada, genellikle 60/85 m derinliğe inilmiştir.
- Dikey sondaj, hava üfleme ve bina içersisinde hava kanalları ile tasarlanmıştır.
- Dikey sondajda, 6" 'lik sondaj çukuruna, 110+110 metre U dönüşlü PE 100 boru konmuştur.

6. YER KAYNAKLI ISI POMPALARI KURULUŞLARI NASIL ORGANİZE OLMALIDIR ?

Yurt dışında (Amerika'da), TKIPsı çalışmaları, tasarımdan montaja kadar her süreçte, organize olmuştur. Bu bağlamda, TKIPsı endüstrisinde yer alan değişik kurum ve kuruluşlar bir fikir vermesi bakımından ele alınacaktır. Bunlar; kamu şirketleri, elektrik kooperatifleri, müteahhitler, tasarım mühendisi ve hidroloji müşavirleri, ekipman imalatçıları, üniversiteler ile araştırma kurumları ve hükümetlerdir [73].

- *Kamu şirketleri ve elektrik kooperatifleri;* YKIPlarının tanıtılmasında ve bazı durumlarda montajında işlevini görür. Enerji açısından verimli teknolojilerin kullanımını teşvik etmek için bazı krediler verirler.
- *Mühendislik ve hidroloji müşavirleri;* YKIPlarını tasarlar ve ticari sistemler için ön saha etütlerini yaparlar. Sistemlerin boyutu ve büyüklüğü; enerji ihtiyaçları ve saha koşullarına göre belirlenir.
- *Müteahhitler;* genel olarak montaj işinin çoğunu yapar. Çukurları kazar, kuyu sondajını yapar (Bazı müteahhitler, delme işini taşeronla yaptırır), boru hattını çeker, tesisat ve elektrik bağlantılarını yapar ve sistemi kontrol ederek çalıştırır.
- *Ekipman imalatçıları;* ısı pompalarını, boruları ve YKIP sisteminde kullanılan ilgili ekipmanı sağlar. Ekipmanın mühendislik standartları, ASTM (The American Society for Testing and Materials; Amerikan Test ve Malzemeler Birliği)den temin edilir.

- *Üniversiteler, birlikler ve araştırma kurumları*; genellikle, sistemin etkinliğini belirlemek için, yeni teknikler ve test yöntemleri sağlar. Örneğin; IGSHPA (Uluslararası Toprak Kaynaklı Isı Pompası Birliği) ASTM standartları olan ekipman ve malzemeleri önerir. Belirli ürünlerin kullanılmasının istenmesi, YKIPlarının kurulmasında kalitenin sağlanmasının yollarından biridir. Antifriz, dolgu malzemeleri ve diğer malzemeler dahil olmak üzere, YKIPlarının tüm konularında araştırma sürer. Teknolojideki değişiklikler ve ilerlemeler aynı şekilde devam eder.
- Hükümetler; endüstri ve/veya ekipman standartlarını ve kurallarını ortaya koyar.

7. TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPALARININ TASARIM METODOLOJİSİ

YKIPsının enerji performansı; üç ana faktörden etkilenir [4]: (i) Isı pompası cihazı, (ii) dolaşım (sirkülasyon) pompası veya kuyu pompası ve (iii) toprak ısı değiştiricisi veya yeraltı suyu kuyusu.

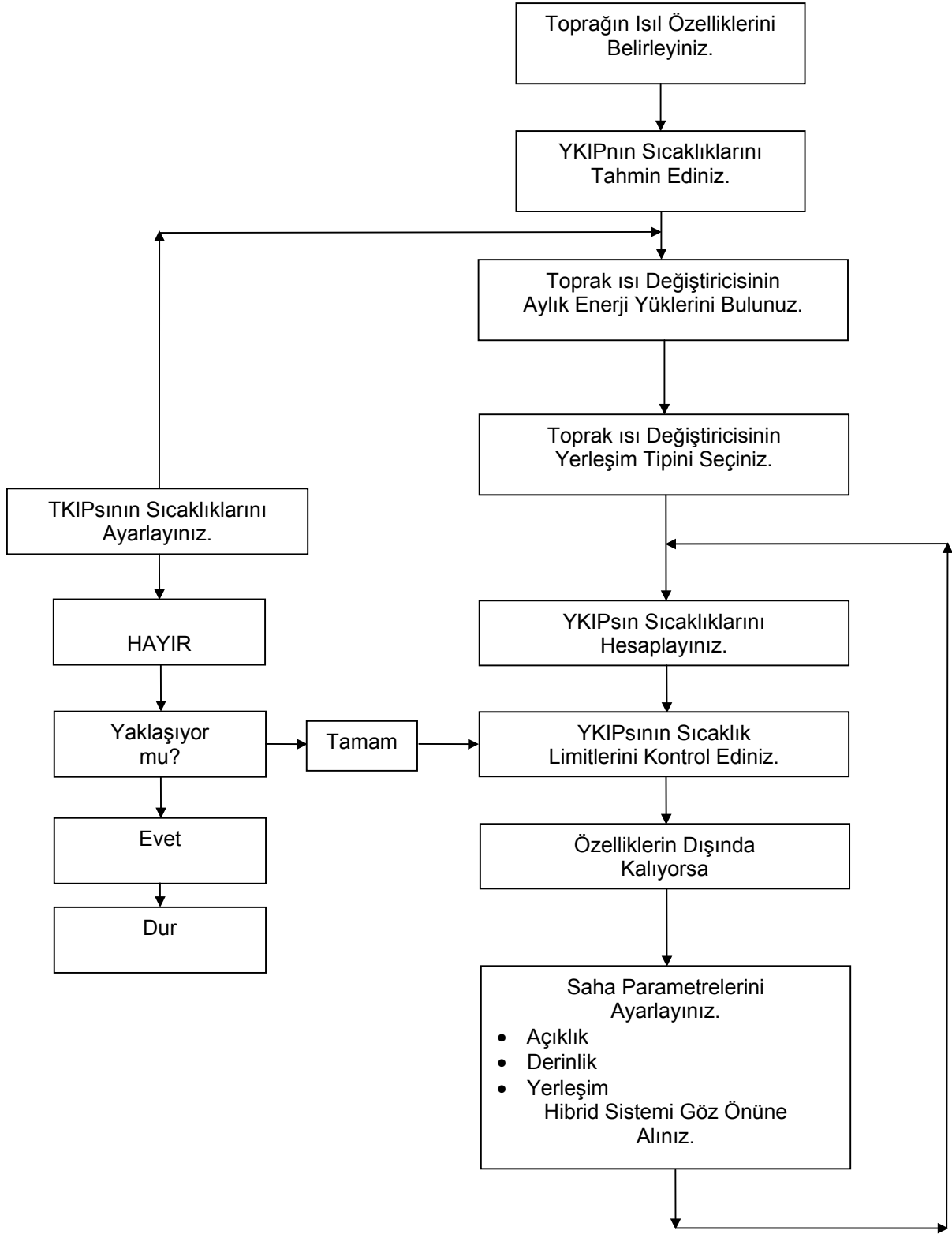
Isı pompası, sistemde en büyük tek enerji tüketicisidir. Isı pompasının performansı, makinanın verimi ve toprak ısı değiştiricisi veya kuyu ile üretilen su sıcaklığının bir fonksiyonudur. Burada izlenmesi gereken en önemli strateji, verimli bir ısı pompasıyla başlamaktır. Verimsiz bir ısı pompasının performansını iyileştirmek için toprak ısı değiştiricisinin büyütülmesi, hem güç hem de pahalıdır. YKIPlarının performansı, ARI tarafından belirlenmektedir. ARI 330 standardı ile soğutma (EVO veya EER) ve ısıtma (IEK veya COP) için performans değerleri belirtilir. Mevcut ARI' de, EVO (veya EER); 10 - 18.6 arasında ve EK (veya COP); 2.8 - 3.6 arasında olan cihazlar içerilmiştir. Bu değerler göz önüne alındığında, ekipmanın performansı, satın alınan ısı pompasının kalitesine göre, hemen hemen % 100 değişebilmektedir. Ekipmanın gerçek performansı; toprak sıcaklığının, pompalama enerjisinin ve toprak ısı değiştiricisinin tasarımının bir fonksiyonu olan, toprak ısı değiştiricisiyle üretilen su sıcaklığının fonksiyonudur.

Tablo 9. Yer Kaynaklı Isı Pompaları Tasarım Metodolojisi [6]

TASARIM AŞAMASI	TASARIM AŞAMASININ AÇIKLAMASI
1. YAPININ YERLEŞİMİNİ BELİRLEYİN.	• Mimari projeye göre, yapının yerleşimini zonlara ayırın.
	• Her bir zonun ısı kaybı/kazancını hesaplayın.
	• Yapının zonlarını, merkezi veya çoklu toprak ısı değiştiricilerine göre gruplandırın.
	• Tasarım koşullarında kapasite ve verime dayalı olarak her bölge için ısı pompalarını seçin.
2. EKİPMANI SEÇİN.	• Basma yüksekliğini, sıcaklık aralığını, ünite tipini, sesi, servis durumunu göz önüne alın.
	• Uygulanabildiği taktirde, su kaynaklı sulu ısıtma ve soğutma düzenini belirleyin.
	• Kanal, ısı geri kazanımı, ön iklimlendirme serpantinleri gibi, havalandırma sisteminin elemanlarını seçin.
3a. TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPALARI	• Toprak özelliklerini belirleyin (test delikleri yapın).
	• Boru tipini, boyutunu, delik ayrılmasını, dolgu malzemesini belirleyin.
	• Gerekli delik çapını hesaplayın.
	• Dış kollektörleri tasarlayın.
	• Hava atma sistemini tasarlayın.

Tablo 9 (Devamı). Yer Kaynaklı Isı Pompaları Tasarım Metodolojisi [6]

TASARIM AŞAMASI	TASARIM AŞAMASININ AÇIKLAMASI
3b. <i>YERALTI SU KAYNAKLI ISI POMPALARI</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Yeraltı suyunun kullanılabilirliğini/kalitesini belirleyin. • Gerekli kuyu debisini belirleyin. • Suyun dışarı verilme yöntemini belirleyin. • Yeraltı suyu-su ısı değiştiricisini belirleyin.
3c. <i>DENİZ SU KAYNAKLI ISI POMPALARI</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Rezervin debilerini, derinliğini ve sıcaklıklarını (yüksek/düşük) bulun. • Serpantin boyutu ve tipini belirleyin. • Gerekli serpantin uzunluğunu hesaplayın. • Dış kollektörleri tasarlayın. • Hava atma sistemini tasarlayın.
4. <i>YAPININ BORU TESİSATINI TASARLAYIN.</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Merkezi toprak ısı değiştiricisinin, çoklu ısı değiştiricisine göre yararlarını gözden geçirin. • Basınç kayıpları az olacak şekilde hattı belirleyin ve boru sistemini boyutlandırın. • Isı pompaları ve ayırma vanalarıyla aç/kapa (on/off) akış kontrolü sağlayın. • İç boru tesisatı, yalıtım, antifriz, inhibitör gibi malzemeleri belirleyin.
5. <i>POMPA VE KONTROL YÖNTEMİNİ BELİRLEYİN.</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Merkezi pompanın (pompaların) çoklu ayrı pompalara göre yararlarını gözden geçirin. • Pompa karakteristik eğrisine göre, hemen hemen maksimum veriminde pompaları işletmek üzere pompayı (pompaları) seçin. • Kontrolsüz, aç/kapa kontrolle, çoklu hızlı (veya çoklu pompa), değişken hızlı gibi pompa kontrol seçeneklerini gözden geçirin. • Toplam talebin % 10' nundan daha büyük olduğu takdirde, çevrimin pompa gücünü hesaplayarak, sistemi yeniden tasarlayın.
6. <i>DİĞER SEÇENEKLERİ DEĞERLENDİRİN.</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Gerekli olan toprak ısı değiştiricisi boyutunu azaltmak için, daha yüksek verimli ısı pompalarını kullanın. • Çevrimin boyutunu düşürmek için, soğutma kulesi veya daha soğuk akışkan kullanın. • Düşey sondaj delik ayrılmasını veya serpantin boru boyunu artırın veya azaltın. • Kontrol giderleri dahil olmak üzere, çoklu çevrimlerin ve pompaların, merkezi çevrimlere ve pompaya göre giderlerini inceleyin.



Şekil 9. Yer Kaynaklı Isı Pompaları Tasarım Metodolojisi [71]

Kısaca; bir TKIPsı sistemi değerlendirildiği zaman, sistemin verimini tam olarak anlayabilmek için, makinanın verimini, toprak ısı değiştiricisinin yeterliliği ve pompalama tasarımının uygunluğu göz önüne alınmalıdır. Başka bir deyişle, Tablo 9 ve Şekil 9' da, gösterildiği gibi, bir metodolojiye göre tasarım yapılmalıdır [6,71].

8. YER KAYNAKLI ISI POMPALARIYLA İLGİLİ SIK SIK SORULAN SORULAR

YKIPLarı ile uğraşıldığında aşağıda belirtilen bir dizi sorular ile karşı karşıya kalınır. Burada, sadece bunların bir kısmı, soru-cevap şeklinde verilecektir. Bir bakıma, hem bu konuda çalışma yapmak isteyenlere hem de kullanıcılara yol göstermek amaçlanmıştır [94,95]. Bununla beraber, bazı rakamların, yurtdışı uygulama değerleri olduğu ve sadece bir fikir vermek amacıyla verildiği göz ardı edilmemelidir.

8.1. GENEL SORU-CEVAP LİSTESİ

- *S 1: YKIPsı nedir ?*
- C 1: YKIPsı, evi veya iş yerini ısıtmak ve soğutmak için, toprak ve/veya yeraltı suyunun doğal ısı depolama kabiliyetini kullanan, elektrik motoruyla tahrik edilen bir soğutma cihazıdır.
- *S 2: YKIPsı nasıl çalışır ?*
- C 2: Herhangi bir ısı pompası gibi, ısı enerjisini bir yerden diğerine taşır. Evlerdeki buzdolabı da aynı prensibe göre çalışır. Soğutma işlemi kullanarak, YKIPLarı; toprak ve/veya yeraltı suyunda depolanan ısı enerjisini çeker ve bu enerjiyi eve transfer eder.
- *S 3: Isı, yer ile ev arasında nasıl transfer edilir ?*
- C 3: Yerin, ısı enerjisini yutma ve depolama kabiliyeti vardır. Isı, yerden bir sıvı ortamla (yeraltı suyu veya antifriz eriyiği) alınır ve bir ısı değiştiricisinden geçerek ısı pompasına basılır. Isı pompasında, evi ısıtmak için bir soğutucu akışkanın sıkıştırma ve buharlaştırma çevrimiyle ısı yükseltilir. Yazın, bu işlem tersine olur ve evin içindeki ısı çekilerek sıvıyla yere transfer edilir.
- *S 4: Isıtma ve soğutmadan söz ediliyor. YKIPLarıyla bunların her ikisi yapılabilir mi ?*
- C 4: Bir ısı pompasını o kadar çok yönlü yapan özelliklerden biri, ısıtma ve soğutmaya yapmasıdır. Bu, oda içindeki termostatın düğmesinin kolayca çevrilmesiyle olur (bu, isteğe göre otomatik olarak da yapılabilir). Soğutma modunda, YKIPsı; ısıyı odanın içinden alır ve yeraltı suyu veya toprak ısı değiştiricisi yardımıyla daha soğuk yere transfer eder.
- *S 5: Isıtma ve soğutma serpantinlerinin (ısı değiştiricilerinin) ayrılmasına gerek var mıdır ?*
- C 5: Hayır, gerek yoktur. Aynı ısı değiştiricisi, her ikisi için kullanılır. Isıtmadan soğutmaya geçildiği veya tam tersi olduğu zaman, ısı akışı ters çevrilir.
- *S 6: Yeraltındaki boru sistemi gerçekten çalışır mı ?*
- C 6: Yeraltına gömülen boru veya yer altı ısı değiştiricisi, ısı pompası teknolojisindeki en fazla teknik ilerlemedir. Isı enerjisinden yararlanmak için, yeraltına boruyu gömmek, 1940'lı yıllarda başlamıştır. Bununla beraber, sadece son 10 yıldır yeni ısı pompası tasarımları ve iyileştirilmiş boru malzemeleri, YKIPLarını en verimli ısıtma ve soğutma sistemleri kılmak için kombine edilmiştir.
- *S 7: Isı pompası prosesinin mekanizması nasıldır ?*
- C 7: Isı pompası terimini tanımasa bile, bir buzdolabı veya klima cihazı olan birisi, ısı pompasının işletmesini görmüştür. Bu makinalar, ısı üretmekten öte, mevcut ısıyı alır ve bu ısıyı daha düşük sıcaklıktaki bir yerden daha yüksek sıcaklıktaki bir yere taşırlar (bundan ötürü, ısı "pompası" terimi kullanılır). Buzdolaplarının amacı; soğutma yapmaktır. Isı pompaları aynı zamanda, ısıtma için ısıyı, düşük bir sıcaklık kaynağından daha yüksek sıcaklıktaki bir hacme taşırlar. Örneğin; hava kaynaklı bir ısı pompası, ısıyı dış havadan alır ve bu ısıyı iç ortama verir. Isı kaynağı toprak veya yeraltı suyu olmak üzere, YKIPsı da aynı şekilde çalışır. Düşük sıcaklıktaki ısının 38 °C' nin üstüne çıkarılması ve bunun içeriye transfer edilmesi; buharlaşma, sıkıştırma, yoğuşurma ve genişleme çevrimini gerektirir. Bir soğutucu akışkan (genellikle R-22 soğutucu akışkanı), ısı pompası çevriminde dolaşan iş yapan akışkan olarak kullanılır. Bu çevrim, soğuk soğutucu akışkanın ısı değiştiricisinden (buharlaştırıcı) geçmesiyle ve düşük sıcaklıktaki kaynaktan (yer altı ısı değiştiricisinden sıvı) ısının yutulmasıyla başlar. Soğutucu akışkan, yutulma işiyle buharlaşır, bundan sonra, gaz soğutucu akışkan, bir elektrikle çalışan kompresörden geçen. Burada, soğutucu akışkan basınçlandırılarak, sıcaklığı 82 °C' nin üzerine çıkarılır. Daha sonra, gaz; ısının çekildiği ve yaklaşık olarak 43 °C sıcaklıkta eve pompalandığı bir soğutucu akışkan/hava ısı değiştiricisinde

dolaştırılır. Isı kabı olduğu zaman, soğutucu akışkan sıvıya dönüşür. Sıvı, bir genişleme vanasından geçerken soğutulur ve proses tamamlanır. İklimlendirme yapmak için, akış ters şekilde gerçekleştirilir.

- *S 8: Bir YKİP'sinin fiyatı ne kadardır ?*
- C 8: YKİP'sinin ilk yatırımı alışlagelmiş sistemlerden daha fazladır. Ortalama olarak, bir YKİP'si sistemi, ton kapasite başına yaklaşık olarak 2500 \$, kabaca 2.5 ton' luk bir ünite için, 6250 \$ tutar. Kıyaslama için, kurabileceğiniz en ucuz alternatif, 4000 \$ civarındadır. Bununla beraber, YKİP'si ısıtma, soğutma ve sıcak su sisteminin işletme giderleri göz önüne alındığı zaman, satın alma fiyatı farkı, enerji tasarruflarıyla hızlı bir şekilde kapatılır. Amerika'da birçok elektrik şirketi, YKİP'lerinin daha fazla çekici olması için, teşvikler sağlar.
- *S 9: YKİP'sinin kullanımının artmasının, elektrik fiyatına ve kullanılabilirliğe olan etkisi nedir ?*
- C 9: Pik yük ihtiyacının düşürülmesiyle, elektrik şirketleri daha fazla müşteriye hizmet eder ve müşteri başına sabit giderlerini düşürür. Bu, kW başına daha az fiyata yol açar. Çünkü; yeni kapasite için sabit yatırım yüksektir.
- *S 10: YKİP'si sisteminin çevresel yararları nelerdir ?*
- C 10: YKİP'si sistemleri enerjiyi korur ve atmosferdeki zehirli emisyon miktarını azaltır. Güneşten gelen yenilebilir enerjiyi kullanırlar ve sistem dış havaya bağlı olmadığı için, yapının içindeki havayı daha temiz tutarlar ve dış kirleticilerden arındırılmıştır.
- *S 11: YKİP'si sistemlerini kurmak güç müdür ?*
- C 11: Birçok ünitenin, özellikle başka bir zorlanmış havalı sistemin yerine geçeceği zaman, kurulması kolaydır. YKİP'leri, fosil yakıtlı ocakların uygun olmadığı alanlara kurulabilir. Çünkü; hiçbir yanma yoktur ve böylece, havalandırma gerektirmez. Kanal işi, mevcut hava dağıtım sistemi olmadan, evlere yapılmalıdır. Kanalin kurulma gideri, kanalı yapanla değerlendirilebilir.
- *S 12: Mevcut kanal, bu sistemle işlevini yerine getirir mi ?*
- C 12: Evet. Birçok durumlarda işlevini yerine getirir. Kanal işini yapan kimse, kanal ihtiyaçlarını ve gerektiğinde, iyileştirmeleri belirleyebilir.
- *S 13: Toprak ısı değiştiricisini kendimiz kurabilir miyiz ?*
- C 13: Bunun yapılması önerilmez. Borunun ısıl ergimesine ilaveten, delme ve çukur açma işleri, bu işin uzmanı tarafından en iyi şekilde yapılır. Profesyonel olmayan montajlar, tasarrufları yok edecek olan, optimum performansın azalmasına yol açar.
- *S 14: Çukurlar ve düşey boru delikleri ne kadar uzaklıkta yerleştirilir ?*
- C 14: Düşey boru delikleri 10 - 15 ft (yuvarlak olarak 3 - 4.5 m) uzaklıkla yerleştirilirken, çukurlar 4 - 5 ft (yuvarlak olarak 1.2 - 1.5 m) açıklıkla yapılır.
- *S 15: Yatay bir sistemi kurmak ne kadar zaman alır ?*
- C 15: Bu; toprak koşullarına, borunun uzunluğu ile derinliğine ve gerekli ekipmana bağlıdır. Genellikle, 1-2 günde tamamlanabilir.
- *S 16: Donmanın olduğu işletme koşullarında performansta (etkinlikte) ne gibi değişimler olur ?*
- C 16: Toprak sıcaklığının 4.5 °C'den -1.1 °C' ye düşmesi, yaklaşık olarak kapasite ve verimde % 10' luk kayba yol açar. -1.1 °C' de, donan topraktaki nemden çekilen gizli ısı, kuzey iklimlerde işletilen sistemlerde iyi performans vererek, sistemin kapasitesinin artmasına önemli ölçüde katkı koyar.
- *S 17: Toprağın donma koşulları herhangi bir problem doğurur mu ?*
- C 17: Sistem uygun şekilde tasarlanıp kurulduğu takdirde, hayır. 3 - 4 ft'luk (yak. 0.9 - 1.2 m) derinlikler, güneşin, donan toprağı yaz süresince eritmesini sağlar. Ton kapasite başına yeterli uzunluk, bu sorunların üstesinden gelir.

- S 18: *Düşey bir sistem ne kadar sürede kurulabilir ?*
- C 18: Düşey montajda, süre, kurulacak yerdeki hafriyatın tipi ve derinliğine, toprağın tipi ve sertliğine ve aküferlerin bulunuşu gibi koşullarla değişir. Tipik delme süreleri, 1 - 2 gündür; toplam kurma genellikle 2 günde yapılabilir.
- S 19 : *Yatay ve düşey montajların yarar ve sakıncaları nelerdir ?*
- C 19: Yatay montajlar, gider bakımından daha az ekipmanı gerektirerek, daha basittir. Bununla beraber, toprak sıcaklığı ve nem miktarındaki değişimler nedeniyle, daha uzun borular kullanılır. Montajlar, yoğun yağmurlu havadan olumsuz olarak etkilenir. Genellikle, daha büyük alan gereklidir. Son derece sert kaya, sondaj makinaları için eğitilmiş kişileri gerektiren düşey montajı, gerekli kılabilir. Ama daha az boru kullanılır. Arazinin sınırlı olduğu yerlerde, düşey montajlar idealdir.
- S 20: *Borunun uygun şekilde yerleştirildiğinden nasıl emin olunabilir ?*
- C 20: Bu işin uzmanı seçilmelidir. Kuracak kişinin daha önce yaptıkları işlerin listesi istenmelidir. Burada uzman kişiler, kapasitelerinin doğrulanması ve aranması için, adres ve telefon numaralarını vermekten mutluluk duyarlar. Bunu kuran kişinin nerede eğitim aldığına ve şimdiye kadar ne kadar tesis kurduğuna bakılabilir.
- S 21: *Toprak altı ısı değiştiricisi (serpantini) çimenlik veya peyzajı etkiler mi ?*
- C 21: Hayır, etkilemez. Bu konuda yapılan araştırmalar; bu serpantinlerin yeşillığe, ağaçlara veya çalılara ters bir etkisi olmadığını göstermektedir. Birçok yatay montaj, yaklaşık 90 cm genişliğinde çukurlar gerektirir. Geçici açık alanlar, çimle restore edilebilir. Düşey ısı değiştiricisi, daha az yer gerektirir ve yeşilliklere önemli ölçüde zarar vermez.
- S 22: *Isı değiştiricinin konulacağı alanda birçok gölgelik yapan ağaçların olması, toprak sıcaklığını ve toprağın enerji kaynağı olarak kullanılmasını etkiler mi ?*
- C 22: Asla, etkilemez.
- S 23: *Bu sistemleri kurmak için, evin yalıtılması gerekir mi ?*
- C 23: YKİPSi sistemleri, evin yalıtımı nasıl olursa olsun, ısıtma ve soğutma giderlerini azaltır. Bununla beraber, yalıtım ve hava kaçakların önlenmesi, herhangi bir ısıtma ve soğutma tipinden maksimum miktarda tasarruf sağlanmasında anahtar faktörlerdir.
- S 24: *Bu sistemler, ticari, endüstriyel veya apartman ihtiyaçlarını karşılamak için kullanılabilir mi ?*
- C 24: Evet, kullanılabilir. YKİPSi sistemleri, yatay veya düşey toprak ısı değiştiricilerinin düzenlenmesiyle, çoklu sistemlerin kullanılmasıyla kurulabilir. Bu, zon kontrolunu ve ara yük dengelemesini kolaylaştırır.
- S 25: *YKİPSi ile sıcak su nasıl elde edilir ?*
- C 25: Kızgın buhar soğutucusu (desuperheater) kullanılarak, YKİPSi, atık ısıyı sıcak suyu ısıtmak üzere devreye girer. Sistem soğutma modunda olduğu zaman, yaz süresince, ısıl prosesin yan ürünü olarak sıcak su bedava elde edilir. Kışın, ısıtma modunda, kızgın buhar soğutucusu sıcak suyun bir kısmını ısıtır. Bu kızgın buhar soğutucuları bazı ünitelerde standarttır, diğerlerinde ise, isteğe bağlıdır.
- S 26: *YKİPSi, fosil yakıtlı ocağa eklenebilir mi ?*
- C 26: Evet, eklenebilir. İkili (dual) sistemler, çift yakıtlı ısıtma sisteminin olması istendiği yerlerde, mevcut ocaklara kolayca ilave yapılabilir. YKİPSi, çift yakıtlı sistemlerde, ana ısıtma kaynağı olarak ve fosil yakıtlı ocak ise, ilave ısının gerekli olduğu son derece soğuk havada ilave ısıtma olarak kullanılır.
- S 27: *Yukarıdaki soru, son derece soğuk iklimlerde ilave ısı kaynaklarının gerekli olduğu anlamına mı geliyor ?*
- C 27: Tüm sistemlerde, acil bir destekleme ünitesi kullanılır. Isı pompaları, en soğuk havada bile, gerekli olan tüm ısıyı karşılayabilir. Tesisi kuracak kişi tarafından yapılacak ekonomik bir analiz, ısının ne kadarının ısı pompasıyla ve ne kadarının ilave kaynakla karşılanacağını ortaya çıkarılmalıdır.

- S 28: YKİPsı sisteminin, toplam ısıtma ihtiyaçlarını karşılayacak yeterli büyüklükte kurulması önerilir mi ?
- C 28: Aslında, sistemi kuracak kişinin, ekipman seçiminde yol göstermek üzere, ısıtma ve soğutma yük hesabını vermesi gerekir. YKİPsı sistemleri, genel olarak tüm soğutma ihtiyacını karşılamak üzere boyutlandırılmalıdır. Isıtma ihtiyaçlarına bağlı olarak, bir YKİPsı sistemi, ısıtma tasarım yükünün genellikle % 80 - 100' ünü sağlar. Tüm ısıtma ihtiyaçlarını karşılamak üzere sistemin boyutlandırılması, ısıtma giderlerinin azalmasına yol açar, ama tasarruflar daha büyük sistemin ilave toplamının karşılığını vermeyebilir.
- S 29: YKİPsı sisteminin garantisi var mıdır ?
- C 29: Hemen hemen tüm YKİPsı imalatçıları, alışlagelmiş ısıtma ve soğutma sistemlerinin garantilerine eşdeğer olan ana bileşenleri için bir garanti verir. YKİPlarında kullanılan plastik boru imalatçıları ise, ürünlerini 25 - 50 yıl garanti ederler.
- S 30: Tüm YKİPları benzer midir ?
- C 30: Hayır. Belirli uygulamalar için tasarlanmış farklı türde YKİPları vardır. Birçok YKİPsı, örneğin; açık sistemlerde karşı karşıya kalınan daha yüksek yeraltı suyu sıcaklıklarında işletilir. Diğerleri, kapalı çevrimli sistemlerde mümkün olan - 4 °C' ye kadar düşük su giriş sıcaklıklarında çalışır. Çoğu YKİPsı, yazın iklimlendirme, bununla beraber birkaçı sadece kışın ısıtma yapar. Sadece ısıtma olan sistemlerin bazıları, orta iklimlerde soğutma sağlayan yeraltı suyu ile soğutulan serpantini birleştirir. YKİPları, aynı zamanda, farklı şekillerde tasarlanırlar. Bazı ünitelerde, fan, kompresör, ısı değiştiricisi ve serpantin tek bir kabinedir. Bunun yanı sıra, split sistemlerde, serpantin zorlanmış havalı ocağa eklenebilir ve mevcut fan kullanılabilir.
- S 31: Elektrik sisteminin kapasitesinin artırılmasına gerek var mıdır ?
- C 31: YKİPlarında, büyük miktarlarda elektrikli ısıtıcı kullanılmaz. Bu yüzden, mevcut sistem yeterli olabilir. Genellikle, 200 Amper'lik bir elektrik sistemi birçok durumda yeterince büyük olabilir. YKİPsını kuran firma, bu elektrik ihtiyacını belirleyebilir.
- S 32: Kaç türlü toprak ısı değiştiricisi çevrimi vardır ?
- C 32: Esas itibarıyla, açık ve kapalı çevrim olmak üzere, iki tiptir.
- S 33: Açık sistem mi yoksa kapalı sistem mi en iyisidir ?
- C 33: İşletme gideri ve verimin net sonuçları, hemen hemen aynıdır. Seçilen sistem, yeterli yeraltı suyu beslemesinin ve suyun boşlatılmasının olup olmadığına bağlıdır. Eğer bu sağlanıyorsa, açık sistem verimli olarak kullanılabilir. Eğer sağlanamazsa, yatay ya da düşey kapalı sistem en iyi çözümdür. Belli bir işletme süresi boyunca, kapalı çevrimli sistem daha az bakım gerektirir. Çünkü; bu sistem sızdırmazdır ve olası mineral tortularının oluşmasını yok ederek, basınçlandırılmıştır.

8.2. KAPALI ÇEVİRİMLE İLGİLİ SORU-CEVAP LİSTESİ

- S 1: Bir kapalı sistem nedir ?
- C 1: "Kapalı sistem" terimi, bir ısı değiştiricisi olarak özel gömülmüş plastik bir borunun sürekli çevriminin kullanıldığı bir YKİPsını açıklamak için kullanılır. Boru, içinde antifriz eriyiğinin dolaştığı sızdırmaz, bir yeraltı çevrimi oluşturmak için, içeride bulunan ısı pompasıyla birleştirilir. Bir kuyudaki suyun tüketildiği açık bir sistemden farklı olarak, kapalı çevrim sisteminde basınçlı boruda ısı transfer akışkanı dolaştırılır.
- S 2: Bu çevrim nereye yerleştirilebilir ?
- C 2: Bu; alanın kullanılabilirliğine ve araziye bağlıdır. Birçok kapalı sistem, evlerin yakınındaki alanlara yatay olarak döşenir. Bununla beraber, toprak koşulları uygun ve alanı yeterli olan bir ev veya iş yeri yakınındaki açık alan işleyecektir.
- S 3: Çukurların derinliği ve uzunluğu ne kadar olacaktır ?
- C 3: Isı pompası kapasitesinin her "tonu (12000 Btu/h)" başına, çukurların derinliği, normal olarak 4 ft (yak. 1.2 m) ve uzunluğu bir çukurda 125 ft (yak. 37.5 m)' dir. Yatay çevrim sisteminin bir yararı

ise, çukurları arazinin şekline göre yerleştirmektedir. Kaba bir kural olarak (parmak hesabıyla), ısı pompasının ton soğutma başına 500 ft (yak. 150 m'lik) bir boru uzunluğu gereklidir. İyi yalıtılmış, 2000 ft² (yak. 186 m²) lik bir evde, boru uzunluğu 1500 ft (457 m) olan 3 - 3 ½ ton kapasitesindeki bir sistem gereklidir.

- S 4: *Bir çukurda ne kadar boru vardır ?*
- C 4: Normal olarak, Şekil 4' ün altında gösterildiği gibi, 500 ft (yak. 150 m) uzunluğundaki bir boru, 90 cm genişliğindeki bir çukurun tabanına düz olarak konur. Daha sonra, üstü toprak veya kum ile kaplanır. Bu şekilde, hacimden ve paradan tasarruf sağlayan daha dar çukura daha fazla uzunlukta boru konulması sağlanır.
- S 5: *Yatay toprak ısı değiştiricisi için yeterli alan yoksa, ne yapılabilir ?*
- C 5: Kapalı çevrim sistemleri, aynı zamanda düşey olabilir. Isı pompası kapasitesinin tonu başına yaklaşık 37.5 - 45 m derinlikte delikler delinir. U-şeklindeki boru çevrimi kuyunun içine daldırılır ve etrafı dolgu harcı veya dolgu malzemesi (grout) denilen sızdırmaz malzemeyle doldurulur.
- S 6: *Isı değiştiricisi borusu ne kadar dayanır ?*
- C 6: Kapalı sistem çevrimleri, sadece yüksek-yoğunluklu polietilen boru kullanılarak döşenebilir. Uygun döşendiğinde, bu borular 75 - 100 yıl dayanır. Aslında, çoğu imalatçılar, bu çevrimleri 50 - 55 yıl garanti ediyor. Bu boru malzemesi, toprakta normal olarak bulunan kimyasallardan etkisiz olup, ısı iletim özellikleri iyidir. Yer altındaki herhangi bir yerde, PVC boru kullanılmamalıdır.
- S 7: *Çevrimin boru birleşimleri nasıl yapılmalıdır ?*
- C 7: Boru parçalarını birleştirmek için kabul edilen tek yöntem, ısıl füzyondur (ısı ergimesidir). Boru bağlantıları ısıtılır ve orijinal borudan daha sağlam bir birleştirme oluşturmak için birlikte bu yöntemle birleştirilir. Toprak ısı değiştiricisinin mekanik olarak birleştirilmesi, asla kabul edilen bir uygulama değildir. Bu tür bağlantılar, sızmalar nedeniyle çevrimde arızalara yol açar.
- S 8: *Eğer çevrim donma noktasının altına düşerse, sistem zarar görür mü ?*
- C 8: Hayır, çevrimdeki antifriz eriyiği, onu donma noktasının -7 °C altında tutacaktır. Amerika' da kabul edilebilir antifrizler, eyaletlere göre değişmektedir.
- S 9: *Bir evin yakınında küçük bir göl varsa, bu havuzun içine ısı değiştiricisi konulabilir mi ?*
- C 9: Derinliği ve büyüklüğü yeterli ise, evet. Göz önüne alınan küçük göl için, yıl boyunca en düşük düzeydeki derinlik minimum 3 m olmalıdır. Havuz çevrimlerinde, bakır, polietilen veya polibutilen boru kullanılabilir.
- S 10: *Düşey toprak ısı değiştiricisinin etrafına dolgu (enjeksiyon) malzemesi niçin konur ?*
- C 10: Dolgu malzemesi (grouting) ihtiyaçları farklı durumlarda değişir. Bunun amacı, yüzeyden veya diğer aküferlerden (suyu olan yeraltı tabakası) gelen suyla aküferlerin kirlenmesini önlemek için, düşey ısı değiştiricisinin serpantininin etrafına düşük geçirgenlikte malzeme koymaktır. Yaklaşık olarak toplam sistemin ısıl iletkenliğini % 20 iyileştirmek için % 40-50 arasında kuarslı kumlu olan yüksek katlı bentonit kullanılır.

8.3. AÇIK ÇEVİRİMLE İLGİLİ SORU-CEVAP LİSTESİ

- S 1: *Açık çevrimli sistem nedir ?*
- C 1 : "Açık çevrim" terimi; ısı kaynağı olarak alışıla gelmiş kuyudan çıkan yeraltı suyundan yararlanıldığı YKİPsı sistemini açıklamak için yaygın olarak kullanılır. Yeraltı suyu, ısının çekildiği ısı pompasına beslenir. Daha sonra, su, uygun şekilde boşaltılır.
- S 2: *Boşaltılan (dışarıya verilen) su ile ne yapılabilir ?*
- C 2: Su, ısı pompasından geçtikten sonra, suyun dışarıya verilmesi için birçok yol vardır. Açık dışarıya verme yöntemi, en kolay ve ucuzdur. Basit olarak açık boşaltma, suyun bir akıntıya, nehre, göle, hendeğe ve benzerlerine bırakılmasıdır. Bu seçeneklerden biri mevcut olmalıdır ve açık boşaltma fizibil olmadan önce, ısı pompasıyla kullanılan suyun miktarını kabul etme kapasitesine sahip olmalıdır. İkinci boşaltma yöntemi ise, geri dönüş kuyusunun kullanılmasıdır.

Geri dönüş kuyusu (reenjeksiyon kuyusu), aküfere suyun geri döndüğü ikinci kuyudur. Bu kuyunun kapasitesi, ısı pompasından geçen suyun boşaltılmasını sağlayacak yeterli büyüklükte olmalıdır. Yeni bir reenjeksiyon kuyusu, uzman sondajcı tarafından yapılmalıdır. Benzer şekilde, bu kuyu reenjeksiyon kuyusu olarak kullanılmadan önce, mevcut kuyunun kapasitesi test edilmelidir.

- S 3: *Bir açık çevrimde ne kadar yeraltı suyuna ihtiyaç vardır ?*
- C 3: Açık çevrim sisteminin kullanıldığı YKIPları, ünitenin boyutuna ve ısı pompası imalatçıların teknik özelliklerine bağlı olarak farklı miktarlarda su gerektirirler. Belirli bir modelin su ihtiyacı genellikle, litre/dak (veya galon/dak) olarak belirtilir ve ünitenin teknik özelliklerinde belirtilir. Isıtma işini üstlenen firma, bu bilgiyi verebilmelidir. Genellikle, işletilirken, orta büyüklükteki bir sistemde 4-12 US gal/dak (15.14 - 45.42 l/dak) olarak değişir. Kuyu ve pompa ikilisinin, sıcak kullanma suyu ihtiyaçlarına ilaveten ısı pompası için gerekli olan suyu besleyebilecek yeterli büyüklükte olmalıdır. Isı pompasına yeterli suyu beslemek için, basınçlandırma tankının büyütülmesi veya tesisatın iyileştirilmesi söz konusu olabilir.
- S 4: *Su kalitesinin yeterli olmaması ne tür sorunlara yol açabilir ?*
- C 4: Su kalitesinin yeterli olmaması, açık sistemlerde ciddi sorunlara yol açabilir. Isı pompası kurulmadan önce, suyun sertliği, asit derecesi ve demir miktarı test edilmelidir. Ekipman imalatçıları, ne tür suların kullanılması gerektiği konusunda yardımcı olurlar. Mineral tortular, ısı pompasının ısı değiştiricisinin içinde oluşabilir. Yumuşak asit eriyiği ile oluşan bu tortuların zamanla temizlenmesi gerekebilir. Yabancı maddeler, kısmen demir, reenjeksiyon kuyusuna zarar verebilir.
- S 5: *Açık sistem çevresel zarara yol açar mı ?*
- C 5: Hayır. Isı pompası sadece ısıyı sudan alır veya suya verir. Çevreye dönen sudaki sadece değişim, sıcaklığın çok az artması veya azalması şeklindedir.

8.4. YENİ BİR ISITMA SİSTEMİ İLE İLGİLİ SORU-CEVAP LİSTESİ

Bir ev veya işyeri için düşünülen ısıtma sisteminin tipi ne olursa olsun, bu sistemleri kuranlara sorulması gereken belirli sorular vardır. Bu sorular, sistemin gerçek veriminin, olabilecek işletme sınırlamalarının ve işletme giderlerinin miktarının bulunmasında büyük önem taşır. Aşağıda, bununla ilgili birkaç soru-cevap listesi verilecektir:

- S 1: *Önerilen ocağın kcal/h (kW veya Btu/h) boyutu ne kadardır ?*
- C 1: Ocaklar, saat başına belirli miktarda ısı enerjisi sağlamak amacıyla tasarlanmıştır. "kcal/h" terimi bir saatte cihazla ne kadar ısı üretildiğini gösterir. Hangi boyutta ocağa ihtiyaç duyulduğu bilinmeden önce, evin veya işyerinin ısı kayıp/kazanç hesabı yapılmalıdır. Buradan, ihtiyaç duyulan ısıtma sisteminin boyutu hassas olarak bulunabilir. Birçok fosil yakıtlı ocaklar, işletme giderlerinin artmasına yol açarak, evin ısıtma ihtiyaçlarından çok fazla boyutlandırılmıştır.
- S 2: *Etkinlik katsayısı gerçek midir yoksa sadece imalatçının bir ortalama değeri midir ?*
- C 2: Bu konuda daha fazla bilgi edinmek için, Bölüm 2.2 gözden geçirilmelidir. Amerika'da, her çeşit ısıtma ve soğutma sisteminin performansı yetkili kurumlarca belirlenir. Örneğin; fosil yakıtlı ocakların yüzde olarak bir verimi vardır. Doğal gaz, propan ve fuel-oil yakıtlı ocakların, laboratuvar koşullarına dayalı verimleri vardır. Gerçek kurulu verim değerini elde etmek için, baca gazı ısı kayıpları, fazla boyutlandırmanın neden olduğu çevrim kayıpları (bir ısıtma veya soğutma sisteminin gerçek verimi, devreye alma ve devreden çıkarma kayıpları nedeniyle azalır. Bir ısıtma veya soğutma sisteminin fazla boyutlandırılması, çevrim kayıplarını artırır.), fanın elektrik kullanımı, ve benzerleri gibi etmenler göz önüne alınmalıdır. Diğer tip ısı pompaları gibi, YKIPlarının verimleri (iyilik dereceleri), etkinlik katsayılarına (EK) göre belirlenir. EK; sistemden elde edilen enerjinin, sistemin kullandığı enerjiye oranıdır. Birçok YKIPlarında, EK' ları 3-4 arasındadır. Fosil ocağın % 50-90 verimli olduğu bir yerde, YKIPsı, yaklaşık % 300 verimlidir.
- S 3: *Minimum su giriş sıcaklığının satın alınan ısı pompasına bir etkisi var mıdır ?*
- C 3: Eğer açık sistem söz konusu ise, su giriş sıcaklıkları 10 °C' nin altına ender olarak düşecektir. YKIPları, bu sıcaklıklarda hemen hemen verimli çalışacaktır. Öte yandan, kapalı bir

sistemde, donma noktasının altında su giriş sıcaklıklarıyla karşı karşıya kalınacaktır. Bu yüzden, ısı pompasını idare eden bu sıcaklığı bilmek önemlidir.

- S 4: Isı pompası satıcısının ve toprak (veya su) ısı değiştiricisini kuranın, işin uzmanı olması gerekir mi ?
- C 4: Satıcıdan referansların istenmesinden çekinilmemelidir. Saygın bir satıcı, kendisinin kapasitesinin toprak ısı değiştiricisini kuranla aynı olduğunu doğrulamak amacıyla telefon edilmesi için, adresini ve telefon numarasını vermekten çekinmez.
- S 5: Kapalı mı yoksa açık sistem mi en iyisidir ?
- C 5: Bu; Bölüm 8.1 (Soru 33)' de daha önce açıklandığı gibi, birçok etmenlere bağlıdır.
- S 6: Çevrimin birleştirilmeleri ısı fizyon (ergime) ile gerçekleştiriliyor ?
- C 6: Kapalı sistem çevrimleri için kullanılan özel borunun parçalarının birleştirilmesi için kabul edilebilen tek yöntem, ısı ergimedir. Herhangi bir başka yöntem, çevrimde büyük olasılıkla arızalara yol açacaktır.
- S 7: YKİPSİ sistemi için geri ödeme süresi ne kadardır ?
- C 7: Bunun hassas olarak belirlenebilmesi için, YKİPSİ sistemiyle enerji giderlerinden yılda ne kadar tasarruf edileceği ve YKİPSİ ile alışlagelmiş ısıtma sistemi arasındaki fark bilinmelidir. Örneğin; YKİPSİ sistemiyle yılda 700 \$' lık bir tasarruf edilecekse ve gider farkı 2000 \$ ise, geri ödeme süresi üç yıldan az olacaktır.
- S 8: YKİPSİ sistemi hakkında daha fazla bilgi alınmak isteniyorsa, kiminle temasa geçilmelidir ?
- C 8: Bu soru, tüketicilerin yönlendirilmesi bakımından önemlidir. Dolayısıyla, bununla ilgili gerekli bilgilendirmeler (kampanyalar) yapılmalıdır.

8.5. ISI POMPASI SEÇİMİ NASIL YAPILIR ?

Isı pompasının performansı, değişik faktörlerden etkilenir. Bu yüzden, seçim; her kurulan sistemin karakteristiklerine göre belirlenmelidir. İmalatçıların verisi, istenilen koşullarda mevcut olmalıdır. Kritik olan koşullar, su giriş sıcaklığı ve mevcut sistemin debisidir [8].

Uygun bir ısı pompası cihazını seçmek için, yapının ısıtma ve soğutma yük hesabı yapılmalıdır. Sıcak ve nemli iklimlerde, imalatçının önerdiği hava debisindeki soğutma yükünü (duyulur/gizli ısı ihtiyaçlarını karşılamak için önerilen aralıklarda kalınmalıdır) ve su giriş koşullarını karşılayacak bir cihaz seçilmelidir. Su giriş koşulları (sıcaklık ve debi), ilgili yerdeki derinlikteki toprak sıcaklığının bulunmasıyla düşey toprak ısı değiştiricileri için tahmin edilebilir. En kötü durumdaki soğutma modunda su giriş sıcaklığını (Bu koşulları karşılamak için daha sonra toprak ısı değiştiricisi boyutlandırılmalıdır) bulmak için, bu sıcaklığa 20-25 °F (11-14 °C) eklenir. Debi, minimum 2.5 gal/dak-ton (2.7 l/dak-kW) olmalıdır. Ama, 3.0 gal/dak-ton (3.2 l/dak-kW) olması önerilmektedir. Cihaz, yukarıdaki su sıcaklığı ve debide soğutma yükünü karşılamalıdır. Su giriş sıcaklığını bulmak için, derinlikteki toprak sıcaklığından 15-20 °F (8-10 °C) çıkarılmasıyla, ısıtma kapasitesi belirlenir. Gerekli su debisi, soğutma modundaki debiye eşit veya biraz az olacaktır. Eğer cihaz ısıtma yükünü karşılamaz ise, ilave ısı verilmelidir veya soğutma/ısıtma yükü kombinasyonuna oldukça yakın başka bir cihaz seçilmelidir. Eğer fazla ısıtma kapasitesi varsa, bu ısı, sıcak kullanma suyu ihtiyaçlarını karşılamak için kullanılabilir.

Yeraltı su kaynaklı cihazlar için, yerel yeraltı suyu sıcaklıkları, ilgili jeolojik araştırmalardan bellidir. Reenjeksiyon kuyusu (dönüş kuyusu) ısı pompası besleme (gidiş) kuyusuna yakın olmadıkça, yeraltı suyu sıcaklıkları, mevsimle önemli ölçüde değişmez. 15 m' lik minimum ayrılma açıklığı bu değişimi önleyecektir. O zaman ısı pompası, yerel yeraltı sıcaklıkları kullanılarak, soğutma ve ısıtma yüklerini karşılayacak şekilde boyutlandırılmalıdır. Su debileri, 1.5-3 gal/dak-ton (1.6-3.2 l/dak-kW) aralığında olmalıdır. Tasarım debisi, ısı pompası kapasitesi ile pompa güç ihtiyaçları arasındaki ilişkinin optimize edilmesiyle seçilebilir.

Göl sulu sistemlerde su giriş sıcaklığının tahmin edilmesi zordur. 1.5 - 4.5 m arasındaki su, dış hava sıcaklığının 10-15 °F (6-8 °C) altında kalırken, yüzeye yakın göllerdeki su dış hava sıcaklığına

yaklaşır. Isıtmada ısı pompasının uygun olarak boyutlandırılmasına dikkat edilmelidir. Çünkü, ısı tabakalaşma, güney iklimlerde göl suyu sıcaklığına olumsuz bir etki yapabilir.

Isı pompalarının seçilmesinde göz önüne alınması gereken ilave hususlar; su/soğutucu akışkan serpantininin basınç kaybı, verim, su/soğutucu akışkan malzemesi ve fiyat, yerleşim gibi tipik düşüncelerdir.

9. EKONOMİK ANALİZ

Aslında bu bölümde, ülkemizde kurulan tüm sistemlerden elde edilen verinin toplanarak, bir ekonomik analiz yapılması amaçlanmış idi. Fakat, ülkemiz koşullarında ekonomik analiz yapmak için şu sıralar yeterli veri toplanamadığı için, bu yapılamamıştır.

Tablo 10. YKIPsı Ekonomik Analizi İçin Örnek 1

EKONOMİK ANALİZ				
AÇIKLAMA	YKIPsı SİSTEMİ	1 NO'LU SEÇENEK	2 NO'LU SEÇENEK	3 NO'LU SEÇENEK
Yatırım Tutarı				
Yıllık İşletme Tutarı				
Yıllık Bakım Tutarı				
20 Yıllık Yapım-Kullanım Gideri (YKG)				
LCC (YKG): Life-Cycle Cost				
Yıllık Ortalama YKG Tasarrufları				
Ton Başına Yatırım Tutarı				
m ² Başına Yatırım Tutarı				
Bakım Tutarı/m ² -yıl				

Bununla beraber, A ve B firmaları tarafından verilen değerlere göre, kaba bir hesaplama (parmak hesabı), toplam yatırım tutarı, ton soğutma başına 3000 US\$ ve m² iklimlendirilen yüzey alanı başına, 30 US\$ olarak bildirilmektedir. Ayrıca, her iki firma tarafından geri ödeme süresinin 4 yıl olduğu bildirilmiştir. Uygulamada, bu analizler, ekonomik analizle ilgili yazılım programları kullanılarak yapılmaktadır. Bu çerçevede, aşağıda sadece ekonomik analize baz teşkil edici bazı tablolar (Tablo 10,11 ve 12), bir fikir vermek amacıyla sunulacaktır [96].

Tablo 11. YKIPsı Ekonomik Analizi İçin Örnek 2a

YATIRIM TUTARLARI				
EKİPMAN	YKIPsı SİSTEMİ	1 NO'LU SEÇENEK	2 NO'LU SEÇENEK	3 NO'LU SEÇENEK
Isı Pompaları				
Dolaşım Pompaları				
Toprak Isı Değiştiricisi				
Boru Hattı, Kanal, Ve Diğ.				
Çatı Tipi İklimlendirme Cihazı + Kanal				
Elektrik Panosu				
Toplam				
Alışla gelmiş sistemde (Örneğin; 1 No'lu seçenekte), çatı tipi iklimlendirme cihazı ve elektrikli ısıtıcı vardır.				

Tablo 12. YKİPSİ Ekonomik Analizi İçin Örnek 2b

YILLIK ENERJİ TASARRUFLARI	
Seçenek 1	
Seçenek 2	
Seçenek 3	
YKİPSİ Sistemi	
Toplam Enerji Tasarrufları	
Basit Geri Ödeme Süresi	
Alışıla gelmiş sistemde (Örneğin; 1 No'lu seçenekte), çatı tipi iklimlendirme cihazı ve elektrikli ısıtıcı vardır.	

9. YER KAYNAKLI ISI POMPALARI İLE İLGİLİ KAYNAK KILAVUZU

Bu bölümde, YKİPları konusunda çalışma yapmak isteyenlere yardımcı olmak amacıyla geniş kapsamlı kaynak listesi sunulmaktadır. Bunun yanı sıra, bu çalışmanın kaynaklar kısmında yer alan referanslar da bu amaçla kullanılabilir. Ayrıca, İnternette, “GeoExchange Information Center” tarafından, kuruluş adresleri, tasarıma yönelik el kitapları, teknik makaleler, montaj bilgileri ve bilgisayar programları listesi verilmiştir. Aşağıda sadece söz konusu kuruluşların listesi verilecektir. Diğer bilgiler, bu merkezin Web sayfasından elde edilebilir [84].

9.1. YER KAYNAKLI ISI POMPALARIYLA İLGİLİ EL KİTAPLARI

El kitapları (kılavuz kitaplar); gerek tasarımcı gerekse montajcı gerekse de işletmecilerin vazgeçilmez kaynaklarıdır [71,94]. Aşağıda, bu konuda sık sık kullanılan bazı el kitapları (bilinenlerin fiyatı yazılarak) özet şeklinde verilecektir (Sözcüklerin kısa yazılışları, “kısaltmalar” bölümünde yer almaktadır).

- *NREC/OSU/IGSHPA Closed -Loop/Ground-Source Heat Pump Systems: Installation Guide*
(*Kapalı Çevrimli/Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sistemleri : Montaj Kılavuzu*)

Kılavuzun (No'su: 21010) Fiyatı : 75 \$ (Üyeler İçin : 50 \$)

Bu el kitabı, ısıtma ve iklimlendirme müteahhiti, mimarlar, mühendisler, kamu şirketi temsilcileri veya YKİPlarını doğru olarak kurmak isteyen herhangi bir kimse için montaj uygulamaları ile ilgilidir. 236 sayfalık bu el kitabı, IGSHPA'nın montaj çalışmalarının ana notlarıdır ve YKİPlarının tasarımı ve montajı için mevcut olan en geniş kapsamlı kılavuzdur. Sayısız şekiller, diyagramlar ve tablolar bulunmaktadır. Konu ana başlıkları şunlardır: (i) Ekonomi, pazarlama ve talep azaltması, (ii) Isı pompası sisteminin seçimi, boyutlandırılması ve tasarımı, (iii) Toprak veya Su Isı Değiştiricisinin Tasarımı, (iv) Boru birleştirme yöntemleri, (v) Isı değiştiricisinin montajı, (vi) YKİPSİ sisteminin devreye alınışı ve kontrolü

- *ASHRAE Ground Source Heat Pumps: Design of Geothermal Systems for Commercial and Institutional Buildings*

Bu kitap, 167 sayfadan oluşmakta olup, YKİPları tasarımcılarına, ticari ve kuruluşlara ait binalara yönelik yüksek kaliteli sistemlerin mantıklı bir fiyatla sağlanmasında yardımcı olmak amaçlanmıştır. Konu ana başlıkları şunlardır : (i) Giriş, (ii) Toprak kaynaklı uygulamalarında kullanılan ısı pompası üniteleri, (iii) Düşey toprak ısı değiştiricisi tasarımının esasları, (iv) Toprak veya su ısı değiştiricilerinin

tasarımı, (v) YKIPları için pompalar ve borulama, (vi) Yeraltı su kaynaklı ısı pompaları, (vii) Yüzey suyu kaynaklı ısı pompaları, (viii) YKIPlarının ekonomik analizi

- *ASHRAE Design/Data Manual for Closed-Loop Ground-Coupled Heat Pump Systems*

1985 yılında yayınlanmış olan, bu ASHRAE el kitabında, YKIPlarıyla ilgili olarak o zamanda mevcut en fazla bilgi bulunmaktadır. Toprak donması, ısı değiştiricileri tasarımları, simülasyon araçları ve diğer analiz teknikleri ele alınmıştır.

- *EPRI/NRECA/OSU/IGSHPA Soil and Rock Classification for the Design of Ground-Coupled Heat Pump Systems : Field Manual*
(*Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sistemlerinin Tasarımı İçin Toprak ve Kaya Sınıflandırması Saha El Kitabı veya kısaca: Toprak ve Kaya Sınıflandırması Saha El Kitabı denilmektedir.*)
El Kitabı (No'su : 21060) Fiyatı 25 \$ (Üyeler İçin : 15 \$)

Bu 55 sayfalık el kitabında, jeolog olmayanların sahadaki toprakları ve kayaları belirlemesi ve YKIPsı sisteminin tasarımında kullanılacak olan ısı özellikleri değerlendirmesi için gerekli bilgiler bulunmaktadır. İşlenen konular şunlardır : (i) Toprakların özellikleri, (ii) Toprakların sınıflandırılması, (iii) Alan tanımlama yöntemleri, (iv) Mevcut bilgiyi kullanarak ısı iletkenlik değerlerinin seçimi, (v) Tasarım amaçları için petrole ilgili grupların tanımlanması, (vi) Petrole ilgili tanımlamalar

- *IGSHPA/OSU Grouting Procedures for Ground-Source Heat Pump Systems*
(*Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sistemleri İçin Dolgu Malzemesinin Kullanma Yöntemleri*)
El Kitabı (No'su : 21010) Fiyatı 25 \$ (Üyeler İçin : 15 \$)

45 sayfadan oluşan bu el kitabında, YKIPsı endüstrisinde dolgu malzemesinin kullanma yöntemlerinin ve yeraltı suyunun korunmasının önemini anlaşılmasına ilişkin bilgiler yer almaktadır. Ele alınan konular: (i) Kuyunun dolgu malzemesiyle doldurulmasının önemi, (ii) Verimli olmayan doldurma yöntemleri, (iii) Dolgulamada kullanılan pompalar, (iv) Karıştırma ve yerleştirme yöntemleri,

- *NRECA/EPRI/OSU/IGSHPA Geothermal Heat Pumps Introductory Guide*
(*Jeotermal Isı Pompalarına Yeni Başlayanlar İçin Kılavuz*)
Kılavuzun (No'su: 21040) Fiyatı : 20 \$ (Üyeler İçin : 18 \$)

Bu 100 sayfalık kılavuzda, evsel YKIPsı sistemlerinin esaslarına giriş verilmiştir. Aynı zamanda bir pazarlama aracı olarak da kullanılabilir. Yedi bölüm, ekler, sayısız şekil ve tablolardan oluşmaktadır. Bölüm ana başlıkları: (i) Giriş ve genel bir bakış, (ii) Ekonomi, pazarlama ve talep azaltması, (iii) Isı pompası sisteminin seçimi, boyutlandırılması ve tasarımı, (iv) Boru birleştirme yöntemleri, (v) Toprak ısı değiştiricisinin montajı, (vi) sistemin havasının alınması

- *IGSHPA/OSU Closed-Loop/Geothermal Heat Pump Systems: Design and Installation Standards (1997)*
(*Kapalı Çevrimli/Jeotermal Isı Pompası Sistemleri : Tasarım ve Montaj Standartları*)
Tasarım ve Montaj Standartlarının (No'su: 21030) Fiyatı : 15 \$ (Üyeler İçin : 7.5 \$)

IGSHPA, YKIPları için standartların hepsini bir set halinde vermektedir. Bu güncelleştirilen baskıda, 1994' den beri IGSPA Standartları Komitesi tarafından önerilen tüm değişiklikler yer verilmiştir. Bu standartlar; kapalı çevrimli toprak ısı değiştiricileri için tasarım ve montaj standartları, boru yerleşimi ve tekrar doldurma, iç borulama ve dolaşım sistemleri, jeotermal ısı pompaları ve saha planlama, kayıtlar ve restorasyon. Aynı zamanda, standartların değişimi için yöntem sunan yeni bir bölüm eklenmiştir.

- *Closed-Loop Geothermal Systems: Slinky® Installation Guide*
(Kapalı Çevrimli Jeotermal Sistemler: *Slinky®* Montaj Kılavuzu)
Slinky&Trade Montaj Kılavuzu (No'su: 21050) Fiyatı : 35 \$ (Üyeler İçin : 25 \$)

Bu kılavuz, esas itibarıyla montajcılar ve tasarımcılar için yazılmıştır. Bu 60 sayfalık bir çeşit el kitabı, Slinky & Trade montajları için belirleyici bir kılavuzdur. Tasarımdan kurulmasına kadar geçen her aşama ele alınmıştır. Toprak ısı değiştiricisi tasarımı, boru malzemesi seçimi ve standartları, serpantin yerleşimi, gibi bölümlerden oluşmuştur.

- *Thermal Analysis of Heat Extraction Boreholes, Lund University, Lund Swedin*
(Isı Çekmede Kullanılan Sondaj Kuyularının Isıl Analizi, Lund Üniversitesi, Lund, İsveç)

Toprağın ısı iletkenlik karakteristikleri, sondaj kuyusu açıklığı, yerleşimi, işletme zamanı, ısı değiştiricisi yerleşimi ve diğerleri gibi birçok değişik konunun yer aldığı düşey kuyuların ısı analiziyle ilgili geniş kapsamlı bir çalışmadır. Kitapta, IBM PC' de ve uygun bilgisayarlarda, MS-DOS altında çalışan sekiz farklı program kitapla birlikte verilmektedir. Ticari düzey toprak ısı değiştiricilerinin tasarımıyla uğraşanlar için önemli bir kitaptır.

- *EPRI Water-Loop Heat Pump Engineering Guide*
(EPRI Su Çevrimli Isı Pompası Mühendislik Kılavuzu)

Bu kılavuz kitabın tüm amacı, ticari yapılarıdaki su çevrimli ısı pompası sistemlerinin başarılı bir şekilde uygulanmasını sağlamaktır. Sözü geçen kılavuz, kapalı çevrimli toprak ısı değiştiricilerine de yer verilerek tekrar yazılmaktadır.

- *EPRI Commercial Heat Pump Water Heaters . Applications Handbook*
(Ticari Isı Pompası Su Isıtıcıları : Uygulama El Kitabı)

Bu uygulama el kitabı, ticari hava kaynaklı ısı pompası su ısıtıcısı teknolojisinin anlaşılması ve başarılı olarak uygulanması için tek kaynaktır.

9.2. YURTDIŞINDAKİ BAZI YKIPsı İMALATÇILARI LİSTESİ

Aşağıda, yurtdışındaki bazı YKIPsı imalatçıları Tablo 13' de, ilgili kuruluşlar Tablo 14' de ve toprak ısı değiştiricilerinde kullanılan polietilen malzemeye ilgili imalatçılar Tablo 15' da ve ülkemizdeki YKIPsı imalatçıları Tablo 16' de göstermiştir.

Tablo 13. Yurtdışındaki Bazı Isı Pompası İmalatçıları Listesi [73,94]

Sıra No/ Ref. No	Adı	Adresi	Tel/Faks No.	İnternet Sayfası/ E-mail
1 [94]	Addison Products Company	Bob Williamson; P.O. Box 607715, Orlando, FL 32860, Amerika	407-292-4400/ 407-290-1329	www.addison-hvac.com/
2 [94]	Bard Manufacturing Company	Fred Paepke; 1914 Randolph Dr., Bryan, OH 43506, Amerika	419-636-1194/ 419-636-2640	www.bardvac.com/
3 [94]	ClimateMaster	Dan Ellis; P.O. Box 25788, Oklahoma City, OK 73125, Amerika	405-745-6000/ 405-745-6058	www.climatemaster.com/

Tablo 13 (Devamı). Yurtdışındaki Bazı Isı Pompası İmalatçıları Listesi [73,94]

Sıra Ref. No	Adı	Adresi	Tel/Faks No.	İnternet Sayfası/ E-mail
4 [94]	Command-Aire/Trane Company	Ellen Trick; P.O. Box 7916, Waco, TX 76714, Amerika	817-299-6300/ 817-299-6671	www.trane.com/
5 [94]	Econar Energy Systems	Del Overholser; 1135 W. Main St., Suite 201, Anoka, MN 55303, Amerika	612-241-3110/ 612-241-3111	www.econar.com/
6 [94]	ETA System Enersteknik AB	Anders G. Björklund, Box 114, S-19323, İsveç	+46-8-592-9210/ +46-8-592-59240	www.etasystem.se
7 [94]	Florida Heat Pump Manufacturing Division of Harrow Products, Inc.	Chris Smith; 601 NW 65 th Court, Ft. Lauderdale, FL 33309, Amerika	954-776-5471/ 954-776-5529	www.fhp-mfg.com/
8 [94]	Geo-Flo Products Corp. Heat Pump Accessories	Tom Miller; 2101 South Yost Ave., Bloomington, IN 47403-3193, Amerika	812-330-0315/ 812-330-0317	
9 [94]	GeoPlast	Dog Fox; 2954 Day St., Winnipeg, MB R2C 2Z2, Kanada	204-224-2791/ 204-224-2288	
10 [73]	GeoSolar	Box 249, Fergus ON, NIM 2W8, Kanada	1-519-843-3393	
11 [94]	Grunfos Pumps Corp.	Dan Ellis; 1009 Commerce Ct., Buffalo Grove, IL 60089, Amerika	847-465-8905/ 847-465-8922	
12 [94]	Hydro Delta Corporation	Dave McCahill; 1000 Rico Rd., Manroeville, PA 15146, Amerika	412-373-5800/ 412-3737766	
13 [94]	Hydro-Temp Corporation	Steve Hudson; P.O. Box 566, Pocahontas, AR 72455, Amerika	800-382-3113/	info@hydro-temp.com www.hydro-temp.com
14 [94]	Mammoth, Inc.	Craig Fischbach; 101 82 nd St., Chaska, MN55318, Amerika	612-361-2644/ 612-361-2801	www.mammoth-inc.com/
15 [94]	McQuay International	Shane Gydesen; P.O. Box 1551, Minneapolis, MN 55441, Amerika	612-553-5000/ 612-553-5177	
16 [73]	Trane Corporation	3221 Speight Street, P.O. Box 7916, Waco, Texas 76714-7916, Amerika	817-840-3244/	
17 [73]	USPower Climate Control, Inc.	Jeffry Aspacher; 954 Marcon Blvd., Allentown, PA 18103, Amerika	215-266-9500/	
18 [94]	WaterFurnace International	Jeff Hammond; 9000 Conservation Way, Fort Wayne, IN 46809, Amerika	219-478-5667/ 219-478-3029	www.waterfurnace.com/
19 [94]	York International	Dan Berdett; P.O.Box 1592, York, PA 17403, Amerika	717-771-6102/ 717-771-6819	

Tablo 14. YKIPları İle İlgili Kuruluş Listesi [84,97]

Sıra No	Kuruluş Adı	Kuruluş Adresi	Tel/Faks No.	E-mail Adresi/Web Sayfası
1 [84]	Geothermal Heat Pump Consortium, Inc. (GHPC)	701 Pennsylvania Avenue, N.W. Washington, DC 20004-2696, Amerika	(202) 508-5500/ (202) 508-5222	info@ghpc.org http://www.geoexchange.org
2 [84]	International Ground Source Heat Pump Association (IGSHPA)	Oklahoma State University 490 Cordell South Stillwater, OK 74078-8018, Amerika	(405) 744-5175/ (405) 744-5283	http://www.igshpa.okstate.edu
3 [84]	The American Institute of Architects (AIA)	1735 New York Avenue, N.W. Washington, DC 20006-5292, Amerika	(800)AIA-3837/ (202) 626-7364	http://www.aia.org
4 [84]	American Society of Heating, Refrigeration, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE)	1791 Tullie Circle, N.E. Atlanta, GA 30329-2305, Amerika	(404) 636-8400/ (404) 321-5478	ashrae@ashrae.org http://www.ashrae.org
5 [84]	Electric Power Research Institute (EPRI)	3412 Hillview Avenue P.O. Box 10412 Palo Alto, CA 94303, Amerika	(800) 766-EPRI	http://www.epri.com
6 [84]	National Rural Electric Cooperative Association (NRECA)	4301 Wilson Boulevard Alexandria, VA 22203-1860, Amerika	(703) 907-5500/ (703) 907-5521	http://www.nreca.org
7 [84]	American Society of Mechanical Engineers (ASME)	89996 Burke Lake Road Burke, VA 22015, Amerika	(703) 978-5000/ (703) 978-1157	76330.1335@compuserve.com http://www.millkern.com/ero
8 [84]	Air Conditioning Contractors Association (ACCA)	1712 New Hampshire Avenue, NW. Washington, DC 20009, Amerika	202) 483-9370/ (202) 232-8545	plupson@acca.org http://www.acca.org

Tablo 14 (Devamı). YKIPları İle İlgili Kuruluş Listesi [84,97]

Sıra No	Kuruluş Adı	Kuruluş Adresi	Tel/Faks No.	E-mail Adresi/Web Sayfası
9 [84]	Sheet Metal and Air Conditioning Contractors' National Association (SMACNA)	4201 Lafayette Center Drive, Chantilly, VA 20151, Amerika	(703) 803-2980 (703) 803-3732	smacna@erols.com http://www.smacna.org
10 [84]	Environmental Protection Agency (EPA)	Manager GHP Program Mail Code 6202J 401 M Street, SW Washington, DC 20460, Amerika	(888) STAR-YES/ (703) 803-3732	http://www.epa.gov/energystar.html
11 [84]	U.S. Department of Energy	Office of Utility Technologies, Geothermal Technologies, 1000 Independence Avenue, SW Washington, DC 20585, Amerika	(202) 586-1512/ (202) 586-8185	http://www.doe.gov
12 [84]	Federal Energy Management Program	1000 Independence Avenue, SW, Washington, DC 20585 Washington, DC 20460, Amerika	(202) 586-5772/ (202) 586-3000	http://www.eren.doe.gov/femp
13 [97]	Natural Resources Canada	"Energy Publications" 15 th Floor, 580 Booth St., Ottawa, Ontario, K1A 0E4, Kanada	(613) 995-2943/ (613) 943-1590	
14 [97]	Canadian Earth Energy Association	130 Slater, Suite 605, Ottawa, ON K1P 6E2, Kanada	(613) 230-2332/ (613) 237-1480	ceea@earthenergy.org www.earthenergy.org

Tablo 15. Yurtdışındaki Bazı Polietilen İmalatçıları Listesi [84]

Sıra No	Adı	Adresi	Tel/Faks No.	İnternet Sayfası/ E-mail
1	Charter Plastics	Terry Ruot; P.O. Box 770, Titusville, PA 16354, Amerika	814-827-9665/ 814-827-1614	www.charterplastics.com/
2	Cresline Plastic Pipe Co., Inc.	M.T. Walker; 955 Diamond Ave., Evansville, IN 47711, Amerika.	812-428-9300/ 812-428-9353	
3	ENDOT Industries	Robert Jensen; 60 Greenpond Rd., Rockaway, NJ 07866, Amerika	201-625-8500/ 201-625-4087	

Tablo 15 (Devamı). Yurtdışındaki Bazı Polietilen İmalatçıları Listesi [84]

Sıra No	Adı	Adresi	Tel/Faks No.	İnternet Sayfası/ E-mail
4	McElroy Manufacturing Pipe Fusion Machines	Ted Striplin; P.O. Box 580550, Tulsa, Ok 74158, Amerika	918-836-8611/ 918-836-3273	
5	Phillips Driscopipe	Barry Peterson; 2929 N. Central Expwy, Suite 300, Richardson, TX 75083, Amerika	800-527-0662/ 972-783-2647	www.driscopipe.com
6	Solvay Polymers	Steve Sandstrum; 3333 Richmond Ave., Houston, TX 77098, Amerika	713-525-4000/ 713-522-2435	
7	VanGuard Plastics	Griff Hawkinson; 831 N. Vanguard St., McPherson, KS 67460-3111, Amerika	316-241-6369/ 316-241-2123	
8	WaterFurnace International	Jeff Hammond; 9000 Conservation Way, Forth Wayne, IN 46809, Amerika	219-478-5667/ 219-478-3029	www.watersource.com/

Tablo 16. Ülkemizdeki YKIPları Temsilcileri

Sıra	Temsilci Firma Adı	İlgili Kişi	Adresi	Tel/Faks No.	Yurtdışı İmalatçı Firmanın Adı
A	YEŞİL ÇİZGİ LTD.	Hakan Yılmaz	Dellalzade Sok. 15/A, Balmumcu- Ortaköy, İstanbul	(0212)272 76 78/ (0212) 272 76 05	Thermia (İsveç)
B	ENTE AVRASYA LTD.	Turan Kırankaya	Cengiz Topel Cad. Müneccim Arif Sok. No. 14, 41040, İzmit/Kocaeli	(0262) 331 85 94/ (0262) 324 23 25	TETCO Brand Geothermal Products (Amerika)
C	FORM A.Ş.	Tunç Korun	Ruhi Badadi Sok. 1, Balmumcu, 80700 İstanbul	(0212) 288 15 70/ (0212) 272 56 52	ClimateMaster (Amerika)
D	TEBA A.Ş. (EPAR A.Ş.)	Ümit Pınar	Yazıbaşı Köyü Bozalan Mevkii, 35875, Torbalı, İzmir	(0232) 853 97-83 (0232) 853 95 35	McQuay International (Amerika)

10. SONUÇ VE ÖNERİLER

“Geleceğin Teknolojisi” başlığı ile bir bakıma konunun önemi vurgulamaya çalışıldığı bu çalışmada, öncelikle yer kaynaklı ısı pompaları (YKIPları)nda kullanılan değişik kavramlar (etkinlik/verim, adlandırma) verildi, yarar ve sakıncaları açıklandı. Daha sonra, çalışma prensibi verilerek, ülkemizde bu konuda yapılan çalışmalar belirtildi. Son olarak, bu konuda çalışma yapmak isteyenler için, geniş bir literatür listesi sunuldu.

Ana amacı; YKIPlarının ülkemizde yaygınlaşmasına katkı sağlamak olan bu çalışmadan, şu sonuçlar çıkarılabilir:

- YKIPları endüstrisi, ülkemizde yeni bir sektördür. Hali hazırda, ülkemizde YKIPları imalatçısı yoktur. Bunun yanı sıra, çalışır vaziyette tesis sayısı oldukça azdır.
- Ülkemizde kurulan tesisler, yeterince test (tasarım değerlerinin gerçek ölçüm değerleriyle kıyaslanması bakımından) edilememektedir.
- Bu konuda, gerek üniversitemizde gerekse de sanayide çeşitli çalışmalar yürütülmekte, ancak önemli bir iletişim eksikliği söz konusudur.
- Firmalardan bilgilerin toplanması için, yoğun uğraşlarda bulunulmuştur. Bu çalışma kapsamına alınması planlanan, ancak elde edilemeyen bilgiler söz konusudur. Bu da bir bakıma, firmaların yoğun işleri içinde boğulduğu, bu konuya yeterince zaman ayıramadığını göstermektedir.
- Firmaların verisine göre, ülkemizde YKIPlarının yatırım tutarı, ton soğutma başına 3000 US\$ ve m² yüzey alanı başına 30 US\$ de tutmaktadır. Ayrıca, basit geri ödeme süresi 4 yıldır.

YKIPlarının ülkemizde gelişmesi için aşağıdaki çalışmalar yapılması önerilmektedir:

- Bölüm 6’ da açıklandığı gibi, YKIPları konusunda, iyi bir organizasyon gereklidir.
- YKIPları konusunda, montajına yönelik standartlar (veya en azından teknik kurallar) hazırlanmalıdır.
- Yurtdışındaki uygulamalarda olduğu gibi, ülkemizde, “Yer Kaynaklı Isı Pompaları Derneği” veya benzer isim altında, üretken bir dernek kurulmalıdır.
- Bu sektör ülkemizde göreceli olarak yeni başladığı için, iyi uygulamaların olması, hatta bu konuda pilot projelerinin yapılması, gelişmesi bakımından gereklidir. Bu bir bakıma, tüketicinin bu konuya olan direncini kıracaktır.
- YKIPları konusunda, yurtdışında olduğu gibi, üniversite-sanayi işbirliğinin sağlanması büyük önem taşımaktadır.
- YKIPları konusunda, kullanıcıların bilinçlenmesi için, kampanyalar yapılmalıdır.
- YKIPları sistemlerini kuranların eğitimden geçirilmeleri gereklidir.
- YKIPlarında, tüketicilerin kullanımını artırmak amacıyla, yurtdışında olduğu gibi, teşvikler sağlanmalıdır.
- YKIPları sistemleri kuran firmaların, ölçmeye büyük önem vermeleri gerekmektedir. Bu konuda kullanılan paket programlar, ülke koşullarını tam olarak yansıtmayabilir. Yansıtsa bile, ne yapıldığının iyi bilinmesi gereklidir. Aksi halde, sistemin boyutlarının gereksiz yere artmasına ve böylece maliyetin yükselmesine yol açabilir. Bazen tersi de söz konusudur. Sistem yetersiz boyutlandırılıp, kötü örnek oluşturarak, gelişimine olumsuz etki yapabilir. Burada, ölçme ile ilgili güzel sözleri tekrar hatırlatmakta büyük yarar vardır:

- Ölçmek bilmek, bilmek yönetmektir [98].
- Avrupa Atasözü: Görmek, inanmaktır [99].
- Japon Atasözü : Bir kere görmek, yüz defa işitmekten iyidir [99].
- Lord Kelvin: Birşeyi ölçebildiğiniz ve onu değerlendirebildiğiniz taktirde, bu konuda birşeyler biliyorsunuz demektir. Ama birşeyi ölçemezseniz, onu sayılarla ifade edemezsiniz. O zaman bilginiz yetersiz demektir [100].

Yukarıdan da anlaşılacağı üzere, ülkemizde kurulan YKIPları sistemlerinin (aslında kurulan tüm sistemlerin) ısı balansı yapılarak, sistemin kalbi üzerinde odaklanmalıdır [101].

- İleri** [102] tarafından ülkemiz için geniş kapsamlı olarak ele alındığı gibi, değişik sektörlerimizde ekserji verimleri, yurtdışına kıyasla çok düşüktür. Bu bağlamda, enerji verimliliği ve yönetimi çalışmalarına önem verilmeli, her sektörde “Enerji Yönetim Sistemleri” kurulmalıdır.

GÖSTERİMLER

Latin Harfleri

EK (COP)	: Etki Katsayısı, Eşş. (1a), (5), (8) ve (12b), Birimsiz
$E_{k_{tr}}$: Tersinir Durumda Etki Katsayısı, Eş. (12b), Birimsiz
EKYD(IPLV)	: Entegre Edilmiş Kısmi Yük Değeri, Böl. (2.2), Birimsiz
EVO (EER)	: Enerji Verimlilik Oranı, Eşş. (4) ve (5), Btu/h-W
IEK	: Isıtma Etki Katsayısı, Eşş. (1b) ve (1c), Birimsiz
$IEK_{IP, tr}$: Tersinir Isı Pompasının Etki Katsayısı, Eş. (3), Birimsiz
IMPF(HSPF)	: Isıtma Mevsimsel Performans Faktörü, Eşş. (6a) ve (6b), Btu/h-W
KMPF	: Kombine Mevsimsel Performans Faktörü, Böl. (2.2), Birimsiz
KWT	: kW/ton, Eş. (7)
MEVO	: Mevsimsel Enerji Verimlilik Oranı (SEER), Böl. (2.2), Birimsiz
MPF (SPF)	: Mevsimsel Performans Faktörü, Böl. (2.2), Birimsiz
Q_{ϕ}	: Çekilen Isı Miktarı, Eş. (7), ton soğutma
Q_H	: İllik Ortama Verilen Isı Miktarı, Eş. (1b), kW
Q_{iL}	: Isıtma Sezonu Boyunca Verilen İlave Isıtma Enerjisi, Eş. (6b), Btu/h
Q_{IP}	: Isıtma Sezonu Boyunca Isı Pompasıyla Verilen Isıtma Enerjisi, Btu/h, Eş. (6b), kW
Q_L	: Soğutulan Ortamdan Çekilen Isı Miktarı, Isı Makinasının Çevreye Verdiği Isı, Eş. (1a), kW
SEK	: Soğutma Etki Katsayısı, Eşş. (1a) ve (1c), Birimsiz
$SEK_{SM, tr}$: Tersinir Soğutma Makinasının Etki Katsayısı, Eş. (2), Birimsiz
T_H	: Yüksek Sıcaklıkta Isıl Enerji Deposu, Eşş. (2) ve (3), K
T_L	: Düşük Sıcaklıkta Isıl Enerji Deposu, Eşş. (2) ve (3), K
W_{et}	: Yük Koşullarında Elektrik Tüketim Miktarı, Eş. (7), kW
W_{iL}	: Isıtma Sezonu Boyunca İlave Isıtma Sistemine Verilen Elektrik Enerjisi, Eş. (6b), W
W_{IP}	: Isıtma Sezonu Boyunca Isı Pompasına Verilen Elektrik Enerjisi, Isı Pompası Kompresörünün Tahrik İş, Eş. (6b) kW
$W_{net,g}$: Verilen Net Elektrik Enerjisi, Eş. (1a), W
W_{tr}	: Elde Edilebilecek En Çok (Tersinir) İş, Eş. (12a), kJ
W_y	: Makinadan Elde Edilen Yararlı İş, Eş. (12a), kJ

Yunan Harfleri

η_{II}	: İkinci Yasa Verimi, Böl. (2.2), %
$\eta_{II,EK}$: Soğutma Makinası ve Isı Pompası İçin, Etkinlik Katsayılarıyla İkinci Yasa Verimi, Eş. (12b), %
$\eta_{II,IG}$: İş Gerektiren Makinalar İçin İkinci Yasa Verimi, Eş. (12a), %
$\eta_{II,K}$: Kullanılabilirlik Tanımına Göre İkinci Yasa Verimi, Eşş. (14a) ve (14b), %
ξ_{IP}	: Ekserjetik Verim, Eş. (13b), %

Kısaltmalar

ARI	: İklimlendirme ve Soğutma Enstitüsü (Air-Conditioning and Refrigeration Institute), Amerika
ASHRAE	: Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Birliği (American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers)

ASTM	: Amerikan Test ve Malzemeler Birliği (American Society for Testing and Materials)
Böl.	: Bölüm
Btu	: British Thermal Unit (İngiliz Isı Birimi)'in kısaltılmış şekli olup, ısı enerjisi birimi (1 kWh = 3412 Btu)
Btu/h	: Bir ısıtma ekipmanının ısıtma kapasitesini ölçmek için kullanılan bir ısı birimidir.
EPA	: Çevre Koruma Acentesi (Environmental Protection Agency), Amerika
EPRI	: Elektrik Gücü Araştırma Enstitüsü (Electric Power Research Institute)
Eş.	: Eşitlik
Eşş.	: Eşitlikler
HVAC	: Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme (Heating, Ventilating, and Air-Conditioning)
IGSHPA	: Uluslararası Toprak Kaynaklı Isı Pompası Birliği (International Ground Source Heat Pump Association)
NRECA	: Ulusal Kırsal Elektrik Kooperatifi Birliği (National Rural Electric Cooperative Association)
OSU	: Oklahoma Devlet Üniversitesi, Amerika (Oklahoma State University)
TS	: Türk Standardı
TSID	: Toprak veya Su Isı Değiştiricisi
U.S.D.O.E.	: Amerikan Enerji Departmanı (The U.S. Department of Energy)
YKIP	: Yer Kaynaklı Isı Pompa
YKİPları	: Yer Kaynaklı Isı Pompaları
YKİP'si	: Yer Kaynaklı Isı Pompası

KAYNAKLAR

- [1] MCNEIL, C.S.L. ve CRAWFORD, T.K. Vertical Borehole Groundloop Heat Pump Installation, Advanced Buildings, Newsletter, 1995 Royal Architectural Institute of Canada, Vol. 1, No. 8, 11 Sayfa, Haziran 1995 (<http://www.discribe.ca/nordic/projtruro.htm>).
- [2] LUND, J. W. Geothermal Heat Pump Utilization in the United States, Geo-Heat Center, Quarterly Bulletin, Vol. 11, No.1, Sayfa : 1, 1988.
- [3] LUND, J. W. Geothermal Heat Pumps-Trends and Comparisons-, Geo-Heat Center, Quarterly Bulletin, Vol. 12, No.1, Sayfa : 1-6, 1989.
- [4] LIENAU, P. J. Geothermal Heat Pump Performance and Utility Programs in the United States, Energy Sources (Taylor & Frances), 19:1, Sayfa: 1-8, 1997.
- [5] BOSE, J. E., PARKER, J. D. ve MCQUISTON, F.C. "Design/Data Manual for Closed-Loop Ground-Coupled Heat Pump Systems". ASHRAE, Atlanta, 1985.
- [6] KAVANAUGH, S.P. ve RAFFERTY, K. "Ground-Source Heat Pumps: Design of Geothermal Systems for Commercial and Institutional Buildings", ASHRAE, 167 Sayfa, 1997.
- [7] PARTIN, J. R. Sizing the Closed-Loop Earth Coupling for Heat Pumps, ASHRAE Transactions, Part 2a, Vol. 91, Sayfa: 61-69, 1985.
- [8] KAVANAUGH, S. Design Considerations for Ground and Water Source Heat Pumps in Southern Climates, ASHRAE Transactions, Part 1, Vol. 95, Sayfa : 1139-1149, 1989.
- [9] SAFEMAZANDARANI, P., EDWARDS, J. A., JOHNSON, R. R. ve MOHAMMAD-ZADEH, Y. Mathematical Modeling of a Direct Expansion Ground-Coupled Heat Pump System, ASHRAE Transactions, Part 1, Vol. 96, Sayfa : 583-589, 1990.
- [10] COUVILLION, R. J. Field and Laboratory Simulation of Earth-Coupled Heat Pump Coils, ASHRAE Transactions, Part 2b, Vol. 91, Sayfa : 1326-1334, 1985.
- [11] MEI, V. C. Experimental Study of Direct-Expansion Ground Coil Heat Exchangers, ASHRAE Transactions, Part 1, Vol. 96, Sayfa : 821-828, 1990.
- [12] KAVANAUGH, S. Development of Design Tools for Ground-Source Heat Pump Piping, ASHRAE Transactions, Part 1b, Vol. 104, Sayfa : 1932-937, 1998.

- [13] HUGHES, P.J., LOOMIS, L., O'NEIL R.A. ve RIZZUTO, J. Results of the Residential Earth-Coupled Heat Pump Demonstration in Upstate New York, ASHRAE Transactions, Part 2b, Vol. 91, Sayfa : 1307-1325,1985.
- [14] FRANCK, P. Ve BERNTSSON,T. Ground-Coupled Heat Pumps with Low-Temperature Heat Storage: Some Swedish Experiences, ASHRAE Transactions, Part 2b, Vol. 91, Sayfa : 1285-1296, 1985.
- [15] KAVANAUGH, S.P. ve PEZENT, M.C. Lakewater Applications of Water-to-Air Heat Pumps, ASHRAE Transactions, Part 1, Vol. 96, Sayfa : 813-820, 1990.
- [16] SULATISKY, M.T. ve VAN DER KAMP, G. Ground-Source Heat Pumps in the Canadian Prairies, ASHRAE Transactions, Part 1, Vol. 97, Sayfa : 374-385,1991.
- [17] KAVANAUGH, S.P. Field Test of a Vertical Ground-Coupled Heat Pump in Alabama, ASHRAE Transactions, Part 2, Vol. 98, Sayfa : 607-616, 1992.
- [18] MELOY, B.R. Free Cooling Works for Cowlitz County Hall of Justice, ASHRAE Transactions, Part 1, Vol. 98, Sayfa : 1023-1030, 1992.
- [19] RAFFERTY, K.D. Large Tonnage Groundwater Heat Pumps-Experiences with Two Systems, ASHRAE Transactions, Part 1, Vol. 98, Sayfa : 587-592, 1992.
- [20] HATTEN, M.J. Groundwater Heat Pumping: Lessons Learned in 43 Years at the Building, ASHRAE Transactions, Part 2, Vol. 98, Sayfa : 1031-1037, 1992.
- [21] FLEMING, W. Ground-Source Heat Pump Design and Operation-Experience Within an Asian Country, ASHRAE Transactions, Part 1b, Vol. 104, Sayfa : 771-774, 1998.
- [22] CATAN, M.A. ve BAXTER, V.D. An Optimized Ground-Coupled Heat Pump System Design for Northern Climate Applications, ASHRAE Transactions, Part 2b, Vol. 91, Sayfa : 1185-1203, 1985.
- [23] MARTIN, S.D. A Design and Economic Sensitivity Study of Single-Pipe Horizontal Ground-Coupled Heat Pump Systems, ASHRAE Transactions, Part 1, Vol. 96, Sayfa : 634-642, 1990.
- [24] HETTEPLACE, G. ve SULLIVAN, W. Performance of a Hybrid Ground-Coupled Heat Pump System, ASHRAE Transactions, Part 1b, Vol. 104, Sayfa :763-770, 1998.
- [25] EALY, P.F. ve UGURSAL, V.I. Performance and Economic Feasibility of Ground Source Heat Pumps in Cold Climate, International Journal of Energy Research, Vol. 21, Sayfa: 857-870, 1997.
- [26] KAVANAUGH, S.P. Using Existing Standards to Compare Energy Consumption of Ground-Source Heat Pumps with Conventional Equipment, ASHRAE Transactions, Part 2, Vol. 98 Sayfa : 599-606, 1992.
- [27] STACK, O.A.. Effectiveness of a Municipal Ground-Coupled Reversible Heat Pump System Compared to an Air-Source System, ASHRAE Transactions, Part 1a, Vol. 104, Sayfa : 540-549, 1998.
- [28] SHONDER, J.A., HUGHES, P.J. VE THORNTON, J.W. Using Calibrated Engineering Models to Predict Energy Savings in Large-Scale Geothermal Heat Pump Projects, ASHRAE Transactions, Part 1b, Vol. 104, Sayfa : 944-962, 1998.
- [29] İŞİKEL, K. Panel: Ülkemizde Isı Yalıtımı Uygulamaları, "Isı Yalıtımı ve Enerji Tasarrufu Sempozyumu", Bildiriler Kitabı, TMMOB Makina Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, MMO İzmir Şube Yayın No:11, Sayfa: 113, 28 Kasım 1996.
- [30] DEN BRAVEN, K.R. Antifreeze Acceptability for Ground-Coupled Heat Pumps Ground Loops in the United States, ASHRAE Transactions, Part 1b, Vol. 104, Sayfa : 938-943, 1998.
- [31] SPILKER, E.H. Ground-Coupled Heat Pump Loop Design Using Thermal Conductivity Testing and the Effect of Different Backfill Materials on Vertical Bore Length, ASHRAE Transactions, Part 1b, Vol. 104, Sayfa : 775-779, 1998.
- [32] FEDERAL TECHNOLOGY ALERT. Ground Source Heat Pumps Applied to Commercial Facilities, http://www.pnl.gov/fta/2_ground.htm, 1999.
- [33] BOISSAVY, C. Ground Source Heat Pump Systems, Bölüm 14 , International Summer School on Direct Application of Geothermal Energy, Geothermal District Schemes (Editörler: K. Dimitrou, O. Mertoğlu ve K. Popouski), Course Text, Makedonya, 1997.
- [34] ORKUSTOFNUN, I.F. Geothermal Direct Use Around the World, Geothermal Bulletin, Geothermal Resources Council, Vol. 27, No. 8, Sayfa : 235-239, Kasım 1998.
- [35] GRC, Geothermal Resources Council. A Vision for the Future. Geothermal Bulletin, Vol. 27(8), Sayfa: 171-178, 1998.
- [36] GEA-GHPTC, Geothermal Energy Association Western Heat Pump Training Center. GeoExchange Systems (Geothermal or Ground Source Heat Pumps), Linda Klieman tarafından yollanan faks eki, 9 Sayfa, E-mail: geahp@concentric.net, 28 Ocak 1999.

- [37] SOUND GEOTHERMAL CORPORATION. Geothermal Heat Pumps, 3 Sayfa, <http://www.soundgt.com/pumps.html>, 1999.
- [38] MILES, J. Geosource Heat Pumps, A Sampling of Geosource Heat Pumps in Eastern Montana, <http://www.midrivers.com/~bill/heatpumps/page20.html>, 1999.
- [39] HEPBAŞLI, A. HVAC Sistemlerinde Etkinlik ve Verim Tanımları (I. Bölüm), TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Tesisat Mühendisliği Süreli Teknik Yayını, Sayı : 50, Sayfa : 33-53, İstanbul, Mart-Nisan 1999.
- [40] www.energy.ca.gov/glossary/glossary-d-f.html, Energy Glossary Letter D to F, Aralık 1998.
- [41] www.hvac-city.com/hv0100002.htm, HVACCity Definitions, Aralık 1998.
- [42] HEPBAŞLI, A. HVAC Sistemlerinde Etkinlik ve Verim Tanımları (II. Bölüm), TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Tesisat Mühendisliği Süreli Teknik Yayını, Sayı : 51, Sayfa : 24-42, İstanbul, Mayıs-Haziran 1999.
- [43] http://www.pnl.gov/fta/2_appc.htm, Federal Technology Alert, Ground- Source Heat Pumps Applied to Commercial Facilities, Appendix C, Performance and Efficiency Terminology Defined, Aralık 1998.
- [44] MILES, L. "Heat Pumps Theory and Service", Delmar Publishers Inc., 1994.
- [45] -, Isı Pompası Sistemleri Hakkında Genel Bilgiler, Tesisat Dergisi, Sayfa: 57, Sayı: 30, Kasım/Aralık, 1997.
- [46] ÇENGEL, Y. ve BOLES, M. (Çeviren: Derbentli, T.). "Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik", Literatür Yayıncılık, 1996.
- [47] www.comfornet.com/cn-gloss/glossary.htm, Comfornet-Heating and Cooling Glossary, Aralık 1998.
- [48] www.eren.doe.gov/consumerinfo/energy_savers/glossary.html, Energy Savers: Glossary, Aralık 1998.
- [49] www.energy.ca.gov/efficiency/appliances/...ump/deffhpmp..htm, Central Air Conditioners and Heat Pumps Definitions, Aralık 1998.
- [50] PITA, G.E. "Air Conditioning Principles and Systems", Prentice Hall Career & Technology Prentice-Hall, Inc., New Jersey, Sayfa: 406, 1989.
- [51] www.nu.com/partners/glossary.htm, NU-Glossary of Electric Utility Terminology, Aralık 1998.
- [52] www.cbpower.com/a-c.htm, Corn Belt Power Cooperative-Air Conditioning, Aralık 1998.
- [53] www.comfornet.com/cn-gloss/glossary.htm, Comfornet-Heating and Cooling Glossary, Aralık 1998.
- [54] REISTADT, G.M., EIGER, D.F. ve LANG, S. Design and Available Energy Analysis of a Heating-Only Residential Heat Pump for the Western Pasific Northwest, ASHRAE, HI-85-10, No. 4, Part 2B, Vol. 91, 555-572, 1985.
- [55] www.bellandcompany.com/def.htm, Definitions and Terms, Aralık 1998.
- [56] LANGLEY, B.C. "Heat Pump Technology, Systems Design, Installation, and Troubleshooting", Prentice-Hall, Inc., 1989.
- [57] www.nahbr.com/homebase/factshee/general.htm, Energy Efficiency in Remodeling General, Aralık 1998.
- [58] www.roguevalleyheat-air.com/info.html, Information about Heating and Air-Conditioning in Grants Pass, Aralık 1998.
- [59] www.rebholtz.com/glos.htm, HVAC Terms Air Conditioning Furnaces Air Filtering RMI, Aralık 1998.
- [60] www.klearview.com/acdef.htm, Room Air Conditioner Definitions, Aralık 1998.
- [61] www.heatexchange.com/glossary.htm, Glossary of Heating and Air Conditioning Terms, Aralık 1998.
- [62] www.hammock.ifas.ufl.edu/txt/fairs/3748, Glossary, Aralık 1998.
- [63] www.hannabery.com/hvacwords.htm, Hannabery HVAC-HVAC Definitions, Aralık 1998.
- [64] www.acca-ntx.org/terminology.htm, Conditioning Terminology, Aralık 1998.
- [65] www.roguevalleyheat-air.com/ac.htm, Air Conditioning for Medford, Grants Pass and Ashland Area, Aralık 1998.
- [66] HAVRELLA, R.A. "Heating, Ventilating, and Air Conditioning Fundamentals", Prentice-Hall, Inc., 1995.
- [67] www.ugi.com/gas/glossary.htm, UGI Gas Service Glossary, Aralık 1998.
- [68] SORENSAN, H. A. "Energy Conversion Systems", John Wiley & Sons, Inc., 1983.
- [69] KIRN, H., "Waermepumpen", Band 1: Einführung und Grundlagen, Verlag C. F. Müller Karlsruhe, 5. Baskı, 1981.

- [70] EICKENHORST, H. ve KIRN, H. "Waermepumpen", Band 4: Installation, Betrieb und Wartung der Elektrowaermepumpen, Verlag C. F. Müller Karlsruhe, 130 Sayfa, 1982.
- [71] BOSE, J. E. Today's Ground Source Heat Pumps, Energy Engineering, Vol. 90, No. 5, 1993.
- [72] GHPC, Inc. Geothermal Heat Pump Consortium, Inc., Model Ordinance, www.geoexchange.org/public/techinfo/mod-ord.htm, 7 Sayfa, 1999.
- [73] AFCESA, Air Force Civil Engineer Support Agency. Ground Source Heat Pumps, http://www.afcesa.af.mil/Directorate/CES/Mechanical/Tech_Data_Bul/grd-src-heat-pumps.html, 1999.
- [74] LUND, J. W. Geothermal Heat Pump Utilization in the United States, Geo-Heat Center, Quarterly Bulletin, Vol. 11, No.1, Sayfa : 5-7, 1988.
- [75] USDOE, U.S. Department of Energy, Using the Earth to Heat and Cool Homes, Geo-Heat Center, Quarterly Bulletin, Vol. 11, No.1, Sayfa : 12-15, 1988.
- [76] www.copper.org/tubehandbk/source.html, Design Data: Ground Source Heat Pumps, The Copper Tube Handbook Section III: Design and Installation Data, 1999.
- [77] KILKIŞ, B. Kent Dışı Konutlarda Isı Pompası Kullanımında Toprak Isısından Yararlanma Yöntemleri, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, Cilt 4, Sayı 1, Sayfa : 21-25, Mayıs 1981.
- [78] TANER, K. Heat Recovery from the Soil by using Heat Pumps", 1. Türk-Alman Ortak Sempozyumu, Ocak 1986.
- [79] HEPBAŞLI, A. Isı Pompası Sistemleri ve Konut Isıtılması, Yüksek Lisans Tezi (Danışman : Prof. Dr. Alpin Kemal Dağsöz), İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Bölümü, Enerji Programı, İstanbul, 134 Sayfa, 1985.
- [80] ATAMAN, H. Toprak Kaynaklı Isı Pompalarının Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi (Danışman : Doç. Dr. Salim Özçelebi), İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Bölümü, Enerji Programı, İstanbul, 151 Sayfa, 1991.
- [81] BABÜR, N. Design and Construction of An Earth Source Heat Pump, Yüksek Lisans Tezi (Yönetici: Doç. Dr. Rüknettin Oskay), ODTU, Makina Mühendisliği Bölümü, Ankara, 119 Sayfa, Eylül 1986.
- [82] KARA, Y. A. Düşük Sıcaklıktaki Jeotermal Kaynakların Isı Pompası Yardımıyla Bina Isıtmada Kullanımı, Doktora Tezi (Yönetici: Doç. Dr. Bedri Yüksel), Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum, 130 Sayfa, 1999.
- [83] TSE, Türk Standardları Enstitüsü. TS Kataloğu, Ankara, Böl. 1 ve 2, 1076 ve 688 Sayfa, 1998.
- [84] GEOEXCHANGE INFORMATION CENTER. GeoExchange Resource Guide, The Geothermal Heat Pump Consortium's Web Site, <http://www.ghpc.org/Teleconference/resource.htm>, 1999.
- [84] YEŞİL ÇİZGİ LTD. ŞTİ., 10.06.1999 tarihli faks mesajı, 1 Sayfa, İstanbul.
- [85] ENTE AVRASYA LTD. ŞTİ., 13.07.1999 tarihli faks mesajı, 5 Sayfa, İzmit/Kocaeli.
- [86] Form A.Ş., Teba 87
- [88] DOĞAN, V. Isı Geri Kazanım ve Sudan Suya Isı Pompası Uygulaması, II. Uluslararası Yapı Teknolojisi Bilimi ve Yapıda Tesisat Sempozyumu, İstanbul.
- [89] KUSH, E. A. Detailed Field Study of A Water-Loop Heat Pumps System, ASHRAE Transactions, Vol. 96, Part 1, 1048-1063, 1990.
- [90] HUGHES, P. J. Survey of Water-Source Heat Pump system Configurations in Current Practice, ASHRAE Transactions, Vol. 96, Part 1, 1021-1028, 1990.
- [91] HOWEL, R.H. ve ZAIDI, J.H. Analysis of Heat Recovery in Water-Loop Heat Pump Systems, ASHRAE Transactions, Vol. 96, Part 1, 1039-1047, 1990.
- [92] PIETSCH, J. A. Optimization of Loop Temperatures in Water-Loop Heat Pump Systems, ASHRAE Transactions, Vol. 97, Part 2, 713-726, 1991.
- [93] HOWEL, R.H. ve ZAIDI, J.H. Heat Recovery in Buildings Using Water-Loop Heat Pump Systems: Part I-Energy Requirements and Savings, ASHRAE Transactions, Vol. 97, Part 2, 736-749, 1991.
- [94] IGSHPA, INTERNATIONAL GROUND SOURCE HEAT PUMP ASSOCIATION. Frequently Asked Questions about GHP, www.igshpa.okstate.edu, 5 Sayfa, 1999.
- [95] IGSHPA, INTERNATIONAL GROUND SOURCE HEAT PUMP ASSOCIATION Ground-source Heat Pumps Frequently Asked Questions FAQ, <http://ourworld.compuserve.com/homepages/DaveNRGman/geotfaq.htm>, 5 Sayfa, 1999.
- [96] HEPBAŞLI, A. VE GÜNERHAN, H. A Study on the Utilization of Geothermal Heat Pumps in Turkey, World Geothermal Congress 2000, 28 Mayıs - 10 Haziran 2000 Kyushu-Tohoku, Japonya (Özet kabul edildi ve metin incelemededir).
- [97] www.cisti.nrc.ca/irc/library/pf07.html, Ground Source Heat Pumps, 6 Sayfa, 1999.

- [98] EIEI, ELEKTRİK İŞLERİ ETÜT İDARESİ. Ulusal Enerji Tasarruf Merkezi, Sanayide Enerji Yönetimi Esasları, Cilt 1, Bölüm 3: Enerji Yönetimi, Ocak 1997.
- [99] MINE, K. "Temperature Measurement III, Kyushu International Center, JICA & KITA, Kitakyushu, Japonya, 1998.
- [100] KEDİCİ, Ö. Enerji Yönetimi Kurs Notları, EIEI, Ankara, 1998.
- [101] HEPBAŞLI, A. Isı Balansı : Isı Yönetim Sisteminin Kalbi, Doğal Gaz Dergisi, Sayı: 61 ve 63, Sayfa: 178-184 ve 127-131, 1999.
- [102] İLERİ, A ve GÜRER, T. Energy and Exergy Utilization in Turkey during 1995. Energy, The International Journal, Vol. 23, No. 12, 1099-1106, 1998.

ÖZGEÇMİŞ

Arif HEPBAŞLI

1958 yılında İzmir’de doğdu. İş yaşamı; esas itibarıyla, üniversite ve özel sektörden oluşmaktadır. Bu çerçevede, İzmir Motor Teknik Lisesi’ni bitirdikten sonra (1976), yükseköğrenimini, sırasıyla, lisans; Selçuk Üniversitesi (1980), Yüksek Lisans ve Yabancı Dil Hazırlık Sınıfı; İ.T.Ü. (1985) ve doktora (aynı zamanda DESA A.Ş.’de çalışarak); Selçuk Üniversitesi (S:Ü)’nde (1990) tamamladı. Çalışma hayatında ise, S.Ü.’nde; Araş. Gör. (1982-1986), DESA A.Ş.’de; Proje Başmühendisi ile Planlama ve Kalite Sağlama Md.Yrd. (1986-1992) ve AKZO-KEMİPOL A.Ş.’de (Boya Fabrikası); Mühendislik ve Yatırımlar Md.Yrd. (1992-1993) ve SİMPLOT ve BEŞİKÇİOĞLU A.Ş.’de Bakım-Onarım Müdürü (1993-1995) görevlerinde bulundu. Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi’ nin Makina ve Gıda Mühendisliği Bölümleri’nde, ısı tekniği konularında dersler verdi (1995-1996). 1996 yılından beri, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü ve Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü’nde öğretim üyesi olarak çalışmaktadır. Aynı zamanda Enstitü Müdür Yardımcısıdır. Isı tekniği ilgi alanı olup, son zamanlarda Enerji Yönetimi üzerine çalışmalar yapmaktadır. Enerji Yöneticisi sertifikasına sahip olan Hepbaşlı; evli olup, Almanca ve İngilizce bilmektedir.

A. Özden ERTÖZ

1934 yılında İzmir’de doğdu. 1960 yılında İ.T.Ü.’den makina mühendisi olarak mezun oldu. 1960-1961 yıllarında Finlandiya’da pompa araştırma mühendisi olarak çalıştı. 1964 yılında Vansan Makina Sanayii’ni kurarak pompa imalatına başladı. Aynı zamanda NATO İzmir teşkilatında 18 yıl işletme mühendisi olarak görev yaptı. 1964 yılından bugüne kadar çeşitli tipte pompaları üretti. Pompa Sanayicileri Derneği (POMSAD) kurucularındandır. Vansan Makina Sanayii adlı kendi firmasında derin kuyu pompaları, jeotermal pompalar, dalgıç pompalar, pis su pompaları ve çekvafler imal etmekte olup öğretim görevlisi olarak Dokuz Eylül Üniversitesinde 2 yıl süreyle Hidrolik makineler dersini vermiştir. 1 yıl da Dokuz Eylül Üniversitesi Meslek Yüksek Okulunda Pompalar ve Kompresörler dersini vermiş olup halen Ege Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü’nde Hidrolik Makineler dersini vermektedir.