

JEOTERMAL ISI POMPALARI KULLANIM ALANLARI VE JEOLOJİ MÜHENDİSİNİN BU ÇALIŞMADAKİ YERİ VE ÖNEMİ

Nazife DİKENOĞLU

DSİ Genel Müdürlüğü

Jeoloji Mühendisleri Odası

Jeotermal Enerji kaynakları Komisyon Sekreteri

Günümüzde, ısıtma ve soğutma için sarf edilen enerjinin toplam enerji tüketimi içindeki oranı artmaktadır. Bu amaçla tüketilen enerjinin verimli kullanımı önemlidir. Son yıllarda adını sıkça duymaya başladığımız ısı pompası sistemleri, endüstriyel alanda uygulamalarının yanı sıra binalarda ısıtma-soğutma amaçlı kullanılmaktadır.

Isı pompası basit olarak ısı enerjisini bir ortamdan diğer bir ortama taşıyan ve elektrikle beslenen bir sistemdir. Isı pompası da adını, ısı enerjisini bir ortamdan diğer bir ortama "pompalama" veya "taşıma" kabiliyetinden alır. Isı pompalarında ısı kaynağı olarak toprak, su veya hava kullanılmaktadır.

Isı kaynağı olarak toprak ısının kullanıldığı sistemlere "Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sistemleri" adı verilmektedir. Uygulamada, "Yer Kaynaklı Isı Pompası" ya da "Jeotermal Isı Pompası" olarak da adlandırılmaktadır.

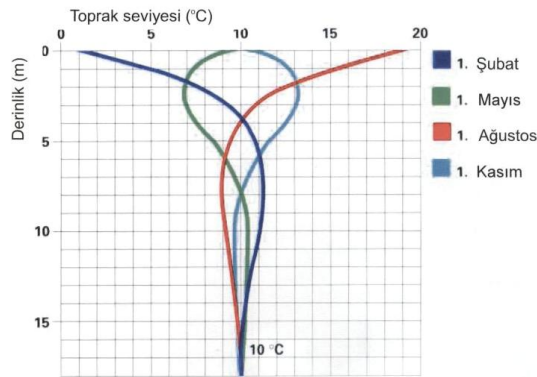
Toprağın içindeki sıcaklığın kararlı değişimi nedeniyle toprak enerjisinin kullanımında daha etkili sonuçlar elde edilmektedir. Yer enerji sistemleri olarak bilinen "Toprak Kaynaklı Isı Pompası (TKIP)" sistemleri, toprakta biriken ısı enerjisini kullandığı için çevreci bir enerji kaynağı olarak nitelendirilebilir. Ancak sistem, elektrik enerjisi ile çalıştığı için, elektrik üretiminde kullanılan primer kaynak önem kazanmaktadır. Bu da ülke enerji politikalarıyla ilgili bir durumdur.

Alternatif enerji kaynakları arasında, toprak ısı önemli bir yer tutmaktadır. Toprak kaynaklı ısı pompası teknolojisi, yeryüzünün belirli bir derinliğinde sıcaklığın yıl içinde nispeten sabit kalması gerçeğine dayanır. Toprak ısı pompası sayesinde tek bir binayı bile hem ekolojik hem de ekonomik olarak uygun bir şekilde ısıtmak mümkün olmaktadır.

İnsanların yaz ve kış aylarında istemiş olduğu konfor şartı çok değişmez; 24 °C 'nin bir iki derece altında veya üzerindedir. Kışın ısıya ihtiyacımız olduğunda dış hava sıcaklığı en düşük seviyelerde iken yazın ise tam tersi içerden dışarı ısı atmamak isteriz ancak bu sefer de hava sıcaklığı en yüksek seviyelerdedir. Dört mevsim boyunca hava sıcaklığı (-) derecelerden (+) derecelere kadar büyük bir değişim gösterir. Toprak sıcaklığı hava sıcaklığına göre çok daha az dalgalanır. Toprak Kaynaklı Isı Pompaları, toprağın içindeki sıcaklığın kararlı değişmesi ve soğuk iklimlerde performansı yüksek tutması nedeniyle enerjinin kullanımında daha etkili sonuçlar ortaya çıkarır.

Güneş enerjisi; bizim en büyük enerji kaynağımızdır. Kullandığımız tüm enerji kaynakları güneş enerjisinden türemektedir. Fakat, güneş enerjisinin bulunulan konum itibarıyla sürekli olmaması, kesintili yapısı nedeniyle doğrudan tutulması pahalı ve güçtür. Büyük bir kütleyle sahip olan yerküre, yeryüzüne ulaşan güneş enerjisinin hemen hemen yarısını yutarak bünyesinde barındırır. Dolayısıyla yeryüzü, güneş enerjisini depolayarak; soğutma sezonunda dış havadan daha düşük sıcaklıklara, ısıtma sezonunda ise dış havadan daha yüksek sıcaklıklara sahip bir ısı enerji kaynağı olarak karşımıza çıkar.

Güneş ışınlarının yeryüzüne çarpması ve magmadan yükselen ısıyla yerkürede depolanan ısı enerjisini yeryüzünden yaşam alanlarına aktarmak amacıyla; toprak kaynaklı ısı pompaları tasarlanmıştır.



Şekil 1: Topraktaki sıcaklık değişimi

Güneş ısısı toprak altında uzun bir süre depolanabilir. Bu sayede bütün yıl boyunca hemen hemen sabit bir sıcaklık seviyesini koruyan toprak katmanları, pompa işletmesi için diğer kaynaklara göre daha yüksek performans katsayısı (verim) elde edilmesini sağlayabilir.

Toprak ısısı %98 oranında depolanmış güneş enerjisidir. Toprak kışın en soğuk günlerinde bile, optimal işletme için gerekli olan sıcaklık değerine sahiptir. Toprak kolektörleri (toprak ısı değiştiricileri) toprağa yerleştirilerek topraktaki ısı alınır. Toprak kolektörleri içerisinde dolaştırılan ısı taşıyıcı sıvı, topraktaki ısıyı ısı pompasına iletir.

Toprak altına depolanmış enerji, bir antifriz – su karışımı ile taşınır. Toprak altından enerji çekilmesi, toprak altına döşenmiş olan polietilen (PE) boru sistemi ile gerçekleşmektedir.

3. TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASI SİSTEMLERİ

3.1. Toprak Kaynaklı Isı Pompası Alt Sistemleri

Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sistemleri, toprak altındaki ısıyı kullanmaktadır. Üç ana kısım veya alt sistemden oluşmaktadır.

Bunlar;

1. Isı taşıyıcı akışkan ile jeokütlenin temasını sağlayarak, ısı alışverişine olanak sağlayan boru düzenleri yani, **ısı değiştiricileri**.
2. Jeokütleden elde edilen ısıyı binaya aktaran sistem, yani **ısı pompası**.
3. Bina içindeki mahalleri ısıtmak veya soğutmak için gerekli olan ısıdan yararlanma tesisi yani, **ısı dağıtım sistemi**.

Toprak Kaynaklı Isı Pompaları, toprak ısı değiştiricisinin tipine, kullanım şekline göre farklı sınıflara ayrılmaktadır. Kullanılan toprak ısı değiştiricileri; ısı pompası sistemlerinin performansını, pompalama enerji ihtiyacını ve ilk yatırım maliyetini etkilemektedir. En uygun toprak ısı değiştiricisinin seçimi; iklim yapısı, arazi özellikleri ve ekonomikliğinin bir fonksiyonudur.

Toprak Kaynaklı Isı Pompalarında toprağın veya yeraltı suyunun enerjisinden yararlanmak için iki yöntem kullanılmaktadır.

1-Açık Çevrim Sistemler

2-Kapalı Çevrim Sistemler

3.2. Açık Çevrim Sistemler

Kuyu, artezyen, göl, nehir gibi açık bir su kaynağından elde edilen suyun, bir hidrofor sistemi ile ısı pompasına pompalanması suretiyle suyun sahip olduğu ısı enerjisinden doğrudan faydalanmak esasıyla çalışan sistemlerdir.

Açık sistemleri tasarlarken birkaç özel faktör göz önünde bulundurulmalıdır. Birinci önemli faktör, kullanılan suyun kalitesidir. Açık çevrimli sistemlerde; soğutucu akışkan ile yerüstü veya yeraltı suyu arasındaki ısı değiştiricisi, kirlenme, korozyon veya tıkanma tehlikesi ile karşı karşıyadır. İkinci önemli faktör, ısı kaynağı olarak kullanılan su kütlesinin yeterliliğidir. Soğutucu akışkan ile yerüstü veya yeraltı suyu arasındaki ısı değiştiricisinde birim soğutma yükü başına ihtiyaç duyulan su debisi genellikle, 0,027-0,054 lt/s kW arasındadır. Üçüncü önemli faktör, dönüş suyunun ne yapılacağına belirlenmesidir. Dönüş yeraltı/yerüstü suyu, enjeksiyon kuyuları ile toprağa geri verilebildiği gibi göl, ırmak gibi yüzey sistemlerine aktarılabilir. Bu konudaki yasal mevzuat açık sistemin fizibilitesini etkileyebilir. Kuyu dizaynına bağlı olarak açık sistemler, tüm toprak kaynaklı ısı değiştiricilerinin kurulumlarından daha fazla pompalama yüküne ihtiyaç duyarlar. Bununla birlikte ideal şartlarda bir açık çevrim uygulaması, yer ısı değiştirici sistemlerin içinde en ekonomik olanıdır.

3.3. Kapalı Çevrim Sistemler

Kapalı çevrimli sistemler, kapalı devre toprak altına gömülü polietilen borulardan oluşur. Kapalı sistem toprak ısı değiştiricisi boru, mahal içinde bulunan ısı pompasına bağlıdır ve boru şebekesi, ısı taşıyıcı akışkanla doludur. Isı taşıyıcı akışkan olarak su-antifriz karışımı kullanılır. Kapalı sistem, ısı taşıyan sıvıyı, basınç altında bulunan boru içerisinde sürekli dolaştırır. Kapalı çevrimli sistemler, toprak ısı değiştiricisi içerisindeki

ısı taşıyıcı akışkanın sirküle edilmesi işlevini sağlayan bir sirkülasyon pompası gerektirirler.

Toprak Kaynaklı Isı Pompaları kapalı bir sistemde ısı değiştirci boruların toprağa dōřenme biçimlerine göre de ikiye ayrılmaktadır.

a) Yatay borulama sistemleri

b) Dikey borulama sistemleri

3.3.1. Yatay Borulama

Yatay ısı değiştircileri, genellikle arsa alanının uygun olması durumunda kullanılırlar. Yatay sistemler tek bir hendek veya birbirine yakın hendekler içine bir veya birden fazla borunun yerleştirilmesiyle oluşur. Spiral veya düz boru şeklinde dōşenebilirler. Uygulamada, “yatay borulamalı sistem”, “toprak (yer) kolektörü” olarak da adlandırılmaktadır.



Şekil 3 (a): Yatay borulama

Hafriyat maliyeti, sistemin ilk yatırım maliyetinin önemli bir kısmını oluşturduğunda, spiral yer ısı değiştirciler kullanarak sistemin ilk yatırım maliyetini düşürmek mümkündür.



Şekil 3 (b): Yatay borulama

Şehir merkezlerindeki arsa parsellerinin çok küçük olması yatay borulama sistemi kurulumunu zorlaştırmaktadır. Yatay borulama sistemi, 1,2-1,5 m derinliğe ve seçilen boru çapına bağlı olarak yaklaşık 0,5-0,7 m mesafe ile birbirine paralel olarak döşenirler. Böylece her m² alan için yaklaşık 1,43 ile 2,00 m arasında boru döşenir.

Avantajları	Dezavantajları
İlk yatırım maliyetleri daha düşüktür.	Boru yerleşimi için daha fazla alana gereksinim duyulmaktadır.
Donanımları daha yaygındır.	Toprak ısı değiştiricileri toprağın üst kısımlarında olduğundan mevsimsel sıcaklık değişimlerinden ve yağışlardan daha fazla etkilenirler.

3.3.2. Dikey Borulama

Arsa alanlarının sınırlı olduğu durumlarda bu sistem yaygın olarak kullanılır. Dikey pompalar yer ısını iletme açısından oldukça ideal pompalardır. Uygulamada, "dikey borulamalı sistem", "sonda uygulaması" olarak da adlandırılmaktadır.

Dikey tip borulama sistemlerinin planlanması ve yerleştirilmesi için, toprak zemininin özelliklerinin, katmanlarının toprak direncinin ve mevcut olan yeraltı suyunun seviyesinin ve bu suyun akış yönünün bilinmesi şarttır.

Dikey borulama sistemi genellikle dikey bir sondaj deliğinin içine iki adet küçük çaplı yoğunluğu yüksek polietilen borunun yerleştirilmesi ile oluşturulur. Bu iki boru deliğinin dibinde füzyon kaynağıyla, birbirine çok yakın bir U dönüşü yapacak şekilde kaynatılır. Sondaj derinliği ise yerel jeolojik koşullara göre 15 ile 180 m arasında olabilir.



Şekil 4. Dikey Borulama

Normal hidrojeolojik şartlar altında ortalama Dikey tip borulama sistemi kapasitesi 50W/m (VDI 4640'a göre) olarak kabul edilmektedir.

Dikey borulama sistemi'nin yatay borulama sistemine göre;

Avantajları	Dezavantajları
Daha az alan yeterli olabilmektedir.	Kurulumları daha pahalıdır
Toprak Isı değiştiricileri daha derine gömüldüğünden mevsimsel sıcaklık değişimlerinden ve az etkilenir.	Kurulumları için özel donanımlara ihtiyaç duyulmaktadır.
Boru uzunluğu daha az olduğundan kullanılan pompa güçleri daha düşüktür.	

4. TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASI ÇALIŞMA ŞEKLİ

4.1. Isı Pompasının Genel Çalışma Prensibi

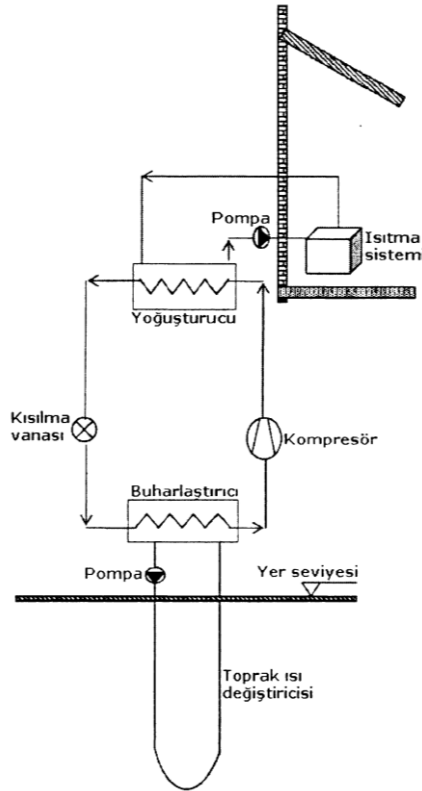
Isı pompası, düşük sıcaklıklı kaynaklardan (hava, su, yer) ısıyı süzen ortamsal enerji teknolojisidir, su ve yer ısıtması için ihtiyaç duyulduğunda sıcaklığı yükseltir ve yayar. Temel çalışma prensibi olarak termodinamiğin ikinci kanunu kullanır. Bu kanuna göre; ısının düşük sıcaklık seviyesinden yüksek sıcaklık seviyesine transferi için yardımcı bir enerji kaynağına ihtiyaç duyar.

Isı Pompası bir buzdolabı gibi çalışmaktadır (Şekil 5). Buzdolabında bulunan soğutucu akışkanın ısısı bir kompresörle alınır ve cihazdaki yoğuşturucu (kondenser) üzerinden odaya

verilir. Isı pompasında ise çevremizde bulunan ısı (toprak, su, hava) alınır ve ısıtma sistemine verilir.

4.3. Toprak Kaynaklı Isı Pompası Çalışma Prensibi

Toprak Kaynaklı Isı Pompası, tersinir bir buhar sıkıştırımlı çevrim ve buna bağlı toprak altına gömülü ısı değiştiricilerinden oluşan sistemlerdir. Bu sistemlerde su-soğutucu akışkan ısı değiştiricisi ve toprağa gömülü boru ağında su veya antifrizli su çözeltisi dolaştırılır. Isıtılacak veya soğutulacak hava ise soğutucu akışkan ısı değiştiricisi etrafında dolaştırılır. Bazı durumlarda Toprak Kaynaklı Isı Pompası'nda doğrudan genişmeli sistemler de kullanılabilir. Bu sistemlerde soğutucu akışkan bakır borular içinde toprak altında dolaştırılır. Dolayısıyla toprakla ısı transferi için ara bir akışkan kullanılmamış olur. Toprak Kaynaklı Isı Pompasının çalışma ilkesi Şekil 7 ile verilmiştir.[3]



Şekil 7: Toprak Kaynaklı Isı pompasının çalışma ilkesi

5. TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASI SİSTEM TASARIMI

Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sistemi'nde Toprak Isı Değiştiricisinin tasarımından önce binanın tam bir ısı kazancı ve kaybı tespit edilmelidir.

Binanın ısı gereksinimi için kat planı zonlara bölünerek, her bir zon için ısı kaybı/kazancı hesaplamaları yapılır. Isı Kaybı Hesabı, (EN 12831, DIN 4701, TS2164) göre hesaplanmalıdır. Isıtılan alanın yaklaşık ısı gereksinimi hesaplanmasında binanın ısı yalıtım durumu önemlidir.

Tablo 1. Isıtılan alanın spesifik ısı gereksinimi

$q = 0,03\text{kW/m}^2$	Düşük Enerji Evi
$q = 0,05\text{kW/m}^2$	Yeni Bina, İzolasyonu iyi (1995 yılı sonrası yönetmeliklere uygun)
$q = 0,08\text{kW/m}^2$	Normal Isı Yalıtımlı Bina (1980 dönemi yapılar)
$q = 0,12\text{ kW/m}^2$	Isı Yalıtımı iyi olmayan eski yapılar

Toprak Kaynaklı ısı pompası tasarımı için aşağıdakilerin bilinmesi gerekmektedir.

a) Boru Özellikleri

b) Toprak Özellikleri

c) Yerel Özellikler

d) Isı Pompası Özellikleri

e) Çalışma Faktörü,

f) Toprak Isı Değiştiricisi Uzunluğu

5.1. Boru Özellikleri

Değişik boru malzemelerinin denenmesi sonucunda, toprağın korozif etkisinden en az etkilenen ve dolayısıyla en uzun ömürlü olan malzeme olarak plastik borular öne çıkmıştır.

Boru çapı değişken olarak seçilir. Boru çapı cihaz büyüklüğüne ve çevrim tipine göre değişiklik gösterir. 1 1/4" den 2" e kadar boru kullanılmaktadır.

Boru ısı direnci (R_b): Boru malzemesi olarak polietilen (polyethylene) ve polibutilen (polybutylene) malzemeler kullanılabilir.

5.2. Toprak Özellikleri

Toprak özellikleri olarak, toprağın cinsi (Kumlu, killi, yer altı suyu olan vb) ve Toprak direnci faktörü önem kazanmaktadır.

Toprağın iletim katsayısı yıl içerisinde hem nem miktarına bağlı olarak değişebilmektedir hem de değişik derinliklerde farklı değerler alabilmektedir.

Yatay sistem projelendirilmesi için toprakta depolanmış ısı için tecrübe değerleri Tablo 3'de verilmektedir. Toprak ne kadar çok nemli ise o kadar çok ısı depolanır

Tablo 3. Yatay borulama sistemi için depolanmış ısı

Toprak kalitesi	kapasite
Kumlu kuru zemin	10-15W/m ²
Kumlu yaş zemin	15-20 W/m ²
Killi kuru zemin	20 -25 W/m ²
Killi yaş zemin	25 - 30 W/m ²
Yeraltı suyu olan zemin	30 - 35 W/m ²

Dikey sistem projelendirilmesi için toprak derinliklerinde depolanmış ısı tecrübe değerleri Tablo 4'de verilmektedir. Toprak ne kadar çok nemli ise o kadar çok ısı depolanır.

Tablo 4. Dikey borulama sistemi için depolanmış ısı [9]

Toprak kalitesi	kapasite
Kumlu kuru zemin	20-40W/m
Kumlu nemli zemin	50-60 W/m
Yeraltı suyu olan toprak katmanları	70 -90 W/m

Toprak direnci, toprak içinden geçen ısı akışı direncidir. Diğer bir deyişle, toprağın ısı direnci, toprağın ısı akışına karşı gösterdiği dirençtir. Kuru hafif toprak, yoğun nemli toprak kadar hızlı bir şekilde, ısı enerjisini taşımaz. Bu bilgilere ek olarak, boruların dikey uzunlukları, borular arası uzaklık, kullanılan boruların sayısı ve boyutu toprak direncini etkileyen faktörlerdir.

Tablo 5. Toprak ısı iletim katsayısı değerleri,**k [W/(mK)][3]**

Toprak özelliği	k[W/mK]
Toprak için verilen tüm değerlerin aralığı	0.15 -4
Toprak için verilen tüm değerlerin aralığı	0.15 -4
Doymuş toprak	0.6-4
Kuru kum	0.15-0.25
Nemli kum	0.25-2
Doymuş kum	2-4
Killi toprak (kuru ile nemli)	0.6-2.5
Humuslu toprak	0.15-2
Sert kayalar	2-7
Tüfler (delikli volkanik kayalar)	0.5-2.5

Toprak ısı ı direnci(Rt): Toprak boyunca akan ısı için önemli bir dirençtir. Toprak altına gömülen boruların derinliğinin, boruların boyutlarının, açılan her bir hendeğe kaç boru konulduğunun, boruların yatay ve dikey olmasının, bir hendeğe birden fazla boru konulması durumunda boruların birbirleri arasındaki yatay ve dikey mesafelerin ve toprak cinsinin toprak ısı ı direnci üzerinde etkisi büyüktür. Farklı boru yerleşimleri için toprak ısı ı direnci değerleri Tablo 6'da verilmiştir

Tablo 6. Toprak direnci [5]

		R _t (AĞIR TOPRAK-NEMLİ)										R _t (KAYA)
		R _t (AĞIR TOPRAK-KURU VEYA HAFIF TOPRAK-NEMLİ)										R _t (AT-NEMLİ)
		3	4	5	6	3	4	3	4	3	4	U
BORU ÖLÇÜSÜ	3/4"	1.02	1.06	1.09	1.11	1.31	1.37	2.05	2.15	2.11	1.88	0.6
		1.38	1.44	1.47	1.49	1.77	1.84	2.75	2.86	2.85	2.53	1.06
	1"	0.97	1.02	1.04	1.06	1.26	1.32	2	2.1	2.07	1.84	0.57
		1.32	1.37	1.4	1.42	1.7	1.77	2.88	2.79	2.78	2.47	1.01
	1_1/4"	0.92	0.97	0.99	1.01	1.22	1.27	1.96	2.05	2.02	1.79	0.54
		1.25	1.31	1.34	1.36	1.63	1.7	2.61	2.72	2.71	2.4	0.96
	1_1/2"	0.89	0.94	0.97	0.98	1.19	1.25	1.92	2.02	1.99	1.76	0.53
		1.21	1.27	1.3	1.32	1.59	1.66	2.57	2.68	2.67	2.36	0.94
	2"	0.85	0.89	0.92	0.94	1.14	1.2	1.88	1.98	1.94	1.71	0.5
		1.15	1.2	1.24	1.26	1.53	1.6	2.51	2.62	2.61	2.29	0.89

Tablo 6'da, kaya ve ağır nemli toprak içindeki dikey sistemlerin yanı sıra, tek borulu, çift borulu ve dört borulu çoklu sistemlerde kullanılan 1" den 2" e kadar çeşitli boru ölçüleri için ağır nemli toprak, ağır kuru toprak ve hafif nemli toprak için, toprak direnci tablosunu gösterilmektedir.

5.3. Yerel Özellikler

Toprak Kaynaklı Isı Pompası sisteminin uygulanacağı yerdeki yıllık ortalama hava sıcaklığı ve toprak sıcaklığının bilinmesi gerekmektedir. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMI) verilerinden yararlanılarak bazı verilere ulaşmak mümkündür. DMI toprak sıcaklıklarını tarımsal amaçlı ölçtüğü için en fazla 1 metreye kadar olan ölçüm bilgilerine ulaşılabilir.

Yıllık Ortalama Toprak sıcaklığını (T_m), ayrıca yıl içinde ulaşılan maksimum (T_h) ve minimum toprak sıcaklığı (T_l), DMI'den edinilen toprak sıcaklığı aylık verilerinden hesaplamak mümkündür.

Yıllık ortalama toprak sıcaklığı(T_m), Toprak sıcaklığı hem derinliğe hem de zamana bağlı olarak değişim gösterir. Ortalama toprak sıcaklığı, değişik derinliklerdeki yıllık ortalama sıcaklıktır. Yüzeyledeki hava sıcaklığının toprak sıcaklığına etkisi vardır, fakat güneş ışınlarının etkisi daha fazladır. Toprağın ısıyı depolama ve yavaşça geri verme gibi özelliklerinden dolayı sıcaklık değişimlerini azaltma etkisi vardır. Bu etki toprağın yoğunluk ve nem miktarına ve derinliğe bağlı olarak değişir. Derinlik arttıkça yıl içindeki sıcaklık değişimi azalır.

Yıllık ortalama toprak sıcaklığı(T_m), Yıl boyunca değişen toprak sıcaklığının ortalamasıdır. Yıllık ortalama toprak sıcaklığı 15 - 45 m derinlikte kuyu suyu sıcaklığına eşit alınabilir, ya da ortalama yıllık hava sıcaklığına yaklaşık $1,1^{\circ}\text{C}$ eklenerek bulunabilir.

Etkilenmiş Toprak Sıcaklığı (Değişim Derecesi): Isı değiştiricisinin temas halinde bulunduğu toprak sıcaklığının artması veya azalması borunun gömüldüğü derinliğe bağlı olarak değişir. Bu değer $1,66 - 10^{\circ}\text{C}$ arasında değişir ve genelde $5,55^{\circ}\text{C}$ olarak kabul

edilir. Bunun anlamı ısıtma durumunda toprak sıcaklığının 5,55 °C azalması, soğutma durumunda ise 5,55 °C artmasıdır.

6- MALİYET ANALİZİ

6.1. İlk yatırım maliyetini etkileyen parametreler

Uygulama yapılacak binanın ısı kaybı/kazancı hesabı, ortalama giriş suyu miktarı ve sıcaklığı, ısı pompası seçiminde ve çalışma faktörünün hesaplanmasında önemli parametrelerdir.

Bir binada toprak kaynaklı ısı pompası uygulamasına başlarken önce toprak ısıl direnci, yıllık ortalama toprak sıcaklığı, toprak yapısı vb. gibi parametreler de incelenmelidir. Bu parametreler ilk yatırım ve işletme giderlerini etkileyecek önemli hususlardır. Ön araştırması iyi yapılmamış bir sistem ekonomik olmayacaktır.

Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sistemi uygulamasında, yatay borulama sistemi için hafriyat, dikey borulama için ise için yapılan sondaj çalışmaları en önemli maliyet unsurudur.

Toprak altı ısı devresi (ısı değiştiricileri) tasarımındaki her parametre aynı zamanda maliyete de etki etmektedir.

Boru cinsi ve boru çapı: Isı iletkenliği yüksek borular, toprak ısı değiştiricilerinin performansını artırır. Ancak toprak direncinin yanında boru direncinin etkisi ufak olduğundan boru malzemesi seçilirken, korozif ve ısıl mukavemet değerleri daha önemli rol oynar. Boru çapı arttıkça toprak direnci azalır. Aynı şekilde sürtünme kayıpları da azalacağından devri daim pompasının gücü de düşer. Böylece daha büyük boru çapının seçilmesiyle işletme maliyetleri düşerken, ilk yatırım maliyeti artmış olur.

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

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

Maliyetleri etkileyen en önemli faktörler boru çapı, gömme derinliği ve yeteri kadar büyük döşeme alanının varlığında borular arası mesafelerdir. Dolayısıyla, ekonomik analiz yapılırken, boru ve hafriyat fiyatları ile işçilik ücretleri iyi araştırılmalıdır.

Toprak kaynaklı ısı pompalarında, toprak ısı değiştiricisi maliyeti, uygulamadan uygulamaya farklılık göstermekle birlikte, ülkemizde, % 30-35 yer tutmaktadır. Bu yüzden toprak altı devresi tasarımına özen gösterilmelidir.

KAYNAKLAR

[1] Arif HEPBAŐLI, Ebru HANCIOĞLU "Toprak Kaynaklı (Jeotermal) Isı Pompalarının Tasarımı, Testi ve Fizibilitesi" V. Ulusal Tesisat Kongresi (TESKON) s:521-563

[2] Veli DOĞAN "Su-Toprak Kaynaklı Isı Pompaları" VI. Ulusal Tesisat Kongresi (TESKON)

[3] Hüseyin GÜNERHAN "Yer Kaynaklı Isı pompalarında Toprak Isı Değiştiricisinin Tasarımı" VIII. Ulusal Tesisat Kongresi (TESKON), Isı Pompalarının Konutsal ve Endüstriyel Uygulamaları Kursu Notları S:53-68

[4] Beyhan ŐEN "Toprak ve Su Kaynaklı Isı Pompalarının Tanıtımı ve Uygulamaları" VIII. Ulusal Tesisat Kongresi (TESKON), Isı Pompalarının Konutsal ve Endüstriyel Uygulamaları Kursu Notları S:33-53

[5] Hikmet ESEN, Asım BALBAY "Yer Kaynaklı Bir Isı Pompası Sistemindeki Toprak Isı Değiştiricisi Boru Uzunluğunun Belirlenmesi" Mühendislik ve Makina Dergisi sayı:527

[6] Hikmet ESEN, Mustafa İNALLI, Mehmet ESEN "Yatay Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sisteminin Deneysel Uygulaması" Mühendislik ve Makina Dergisi sayı:523

[7] Nejat KİPER " Isı Pompaları – Isısan Isıtma ve Klima sanayii A.Ő. " sunusu

[8] Viessmann "Isı Pompası Sistemleri Planlama Klavuzu"

[9] Viessmann "Vitocal Isı Pompaları" sunusu

[10] Eren KALAFAT “Yer Kaynaklı Isı Pompası. II. ÇEVRE ve ENERJİ KONGRESİ BİLDİRİLER KİTABI 2001 TMMOB Mak Müh. Odası İSTANBUL

[11] H.Günerhan ,K Ülgen ,A. Hepbaşı , "Toprak Kaynaklı Isı Pompalarında Toprak Isı Değiştiricisinin Tasarımı: Ege Üniversitesi Uygulaması", Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, Cilt 21, Sayı 1, Sayfa: 18-24, 2001.

[12] Olcay KINCAY, Galip TEMİR “Toprak ve Hava Kaynaklı, Isı Pompalı Sistemlerin Ekonomik İncelenmesi” MMO Tesisat Mühendisliği Dergisi Sayı:68

[13] Olcay KINCAY, Özgen AÇIKGÖZ, Uğur AKBULUT, Dikey Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sisteminin Konvansiyonel Sistemlerle Ekonomik Olarak Karşılaştırılması

[14] Erdin, Ertuğrul-Alten,Akın-Şirin,Görkem “Isıtmak ve Soğutmak için Yer Isısının Kullanılması” Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü

[15] Diz, Timur/İZODER “Yer Kaynaklı Isı Pompası Sistemleri ile İlgili Temel Esaslar”

[16] Umran SERPEN, Yıldırım PALABIYIK, Konutları, LPG, Jeotermal Isı Pompası ve Güneş Enerjisi Seçenekleri İle Isıtmanın Ekonomik Analizi

[17] İzolasyon Dünyası Dergisi Eylül-Ekim 2004 Sayı: 49

[18] MILES, L., "Heat Pumps: Theory and Service", Delmar Publishers Inc., NY, 1994

[19] HEPBASLI, A., YILMAZ, H. and EROGLU, S. Three Case Studies of Ground Source Heat Pump Systems Design and Economic Feasibility, IEA ECES IA ANNEX 14 "Cooling in All Climates with Thermal Energy Storage" *Fourth Workshop*, Istanbul, Turkey. April 19, 2001

[20] KAMP, ASHARE Transactions, Vol.97, 374-385, 1991

[21] www.mmoist.org.tr

[22] <http://www.thesisat.com.tr>

[23] Tesisat Dergisi Sayı:164

[24] www.formgroup.com