

# YER KAYNAKLI BİR ISI POMPASI SİSTEMİNDEKİ TOPRAK ISI DEĞİŞTİRİCİSİ BORU UZUNLUĞUNUN BELİRLENMESİ

## GİRİŞ

Yer Kaynaklı Isı Pompası (YKIP) sistemleri (jeotermal ısı pompası sistemleri, yer enerji sistemleri ve yer ısı değiştiricisi sistemleri olarak da adlandırılabilirler) konut ve ticari tip ısıtma ve soğutma uygulamaları için alternatif enerji sistemleri olarak son on yılda ilgi çekmiştir. YKIP uygulamaları, ASHRAE tarafından jeotermal enerji kaynaklarının üç kategorisinden biri olarak tanımlanmıştır. Bu kategoriler: (1) yüksek sıcaklık ( $>150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) elektrik gücü üretimi, (2) orta - düşük sıcaklık ( $<150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) direkt kullanımlar, (3) YKIP uygulamaları (genellikle  $<32\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) [1]. YKIP' lar, toprağın içindeki sıcaklığın kararlı değişmesi ve soğuk iklimlerde performansını yüksek seviyede tutması nedeniyle enerjinin kullanımında daha etkili sonuçlar ortaya çıkarır. Bu sebeplerden dolayı birçok ülkede YKIP kullanımı Isıtma-Havalandırma ve İklimlendirme (HVAC) endüstrisi tarafından desteklenmektedir. Günümüzde, YKIP'ların kullanımının düşük oranda olmasının en büyük nedeni, ilk yatırım maliyetinin hava kaynaklı sistemlerden yaklaşık % 30-50 daha pahalı olmasındandır.

Literatürde, YKIP sistemleri ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Bunlar; YKIP sistemleri üzerine yapılan nümerik çalışmalar [2-4], performans [5-7] ve ekonomik analiz çalışmalarıdır [8, 9]. YKIP sistemleri için el kitapları ve standartlar [10, 11] da vardır.

Bu çalışmada Elazığ Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesinde kurulan YKIP sisteminden çeşitli ölçüm değerleri alınarak toprak ısı değiştiricisi (TID) boyu hesaplanmıştır. Hesaplama için Visual Basic programlama dilinde bir algoritma hazırlanmıştır. TID'in tipinin (yatay veya düşey) ve odanın ısıtma/soğutma kapasitesinin değişiminin TID boyuna etkisi incelenmiştir.

## TASARIM METODU

TID'in boyu, bölgenin meteorolojik özelliklerine, toprak yapısına, kurulacak ısı değiştiricisinin teknik özelliklerine göre değişiklik göstermektedir. YKIP sistemlerinde TID ısıtma için tasarlanacağı zaman ısı değiştiricisinin boyu ( $L_1$ ) Eşitlik (1) göz önüne alınarak hesaplanmalıdır. Aynı şekilde soğutma için tasarlanacağı zaman ise, ısı değiştiricisi boyu ( $L_s$ ) hesabı için Eşitlik (2) kullanılmalıdır. Ancak, sistemin boyunun belirlenebilmesi için her iki durumda göz önüne alınarak hesaplamalar yapılmalı ve en büyük boy seçilmelidir, aşağıda verilen denklemler, YKIP sistemlerinde TID boyu hesabı için Miles, 1994 tarafından verilen ve günümüzde geçerliliğini sürdüren Uzun yöntemin denklemleridir [12, 13].

Isıtma mevsimi için (kışın):

$$L_I = \frac{572 \left( \frac{COP_I - 1}{COP_I} \right) (R_b + R_t F_I)}{(T_I - T_{min})} \cdot IK \quad (m) (1)$$

Soğutma mevsimi için (yazın):

$$L_S = \frac{572 \left( \frac{COP_S + 1}{COP_S} \right) (R_b + R_t F_S)}{(T_{max} - T_h)} \cdot SK \quad (m) (2)$$

Bu çalışmada, programlama dili olarak görsel olaylara izin veren çok amaçlı Visual Basic 6.0 programı kullanılmıştır. TID'in tasarımının gerçekleştirildiği bilgisayar programının ana formu Şekil 1'de verilmiştir. Şekil 2'de ise programın girdi değerleri verilmiştir. Şekil 2'nin üst kısımda verilen değerler (boru malzemesi, ölçüsü, geometrisi, pozisyonu ve toprak tipi) değişkendir. Boru malzemesinin cinsi (PE SCH-40, PE SDR-11, PE SDR-17 ve PE SDR-13.5), boru çapının ölçüsü (3/4", 1", 1-1/4", 1-1/2" ve 2"), boru dizilişine göre toprak direnci değerleri (R1,...R11) toprağın türü (ağır toprak-nemli, ağır toprak-kuru veya hafif toprak-nemli ve kaya), TID'in tipi (yatay ve düşey), ısıtılan veya soğutulan odanın hesaplanan ısıtma ve soğutma kapasiteleri (IK ve SK), hesaplanan ısıtma ve soğutma etkinlik katsayıları (COP<sub>I</sub> ve COP<sub>S</sub>), yıllık yüksek toprak sıcaklığı (T<sub>h</sub>), yıllık düşük toprak sıcaklığı (T<sub>l</sub>), yıllık ortalama toprak sıcaklığı (T<sub>m</sub>), en düşük su sıcaklığı (T<sub>min</sub>), en yüksek su sıcaklığı (T<sub>max</sub>), ısıtma çalışma faktörü (F<sub>I</sub>) ve soğutma çalışma faktörü (F<sub>S</sub>) değerleridir.

Şekil 1. Toprak Isı Değiştiricisinin Boyunu Hesaplayan Programın Ana Formu.

Isıtma ve soğutma yükleri bu çalışmada değişken olarak verilip TID boyunun değişimi gözlenecektir. Bundan dolayı bu çalışmada IK ve SK değişken olduğundan COP<sub>i</sub> ve COP<sub>s</sub> de değişken olacaktır. TID boyunu hesaplamak için öncelikle toprak sıcaklıkları ve ısı pompası elemanlarının kapasiteleri tespit edilmelidir. Daha sonra TID'in boru boyu hesaplanmalı ve sistem elemanlarının seçimi yapılmalıdır. Burada sistemin tasarımına ilişkin bazı hesaplama değerlerinin verildiği ve aslında tasarımın daha geniş kapsamlı olarak yapılmasının gerektiği göz ardı edilmemelidir. Programdaki yılın en yüksek toprak sıcaklığı (T<sub>h</sub>), yılın en düşük toprak sıcaklığı (T<sub>i</sub>), yıllık ortalama toprak sıcaklığı (T<sub>m</sub>) değerlerini bulmak için Elazığ ili için 2000 yılına ait toprak sıcaklık değerleri Elazığ Meteoroloji Bölge Müdürlüğünden [14] alınmıştır. Tablo 1'de Elazığ ili için beş farklı derinlikte aylık ortalama toprak sıcaklığı (5...100 cm), değişimleri verilmiştir.

Değişken Değerler	
Evin Malzemesi	PE SDR-11
Evin Çapı	2'
Toru Geometrisi	T1
Evin Fodyu	Yatay Evin
Toprak Tipi	A21 Toprak-Nemli

Soğutma Etkinlik Katsayısı (COP <sub>s</sub> )	2.23	°C
Isıtma Etkinlik Katsayısı (COP <sub>i</sub> )	78	°C
Boru Direnci (R <sub>b</sub> )	0.141	(m <sup>2</sup> °C/W)
Toprak Direnci (R <sub>t</sub> )	0.85	(m <sup>2</sup> °C/W)
Ortalama Toprak Sıcaklığı (T <sub>m</sub> )	15.52	(°C)
Yüksek Toprak Sıcaklığı (T <sub>h</sub> )	25.3	(°C)
Düşük Toprak Sıcaklığı (T <sub>i</sub> )	7.5	(°C)
Isıtma Kapasitesi (IK)	2.5	(kW)
Soğutma Kapasitesi (SK)	3.125	(kW)
En Yüksek Su Sıcaklığı (T <sub>max</sub> )	35	(°C)
En Düşük Su Sıcaklığı (T <sub>min</sub> )	3.5	(°C)
Isıtma Çalışma Faktörü (F <sub>i</sub> )	0.5	°C
Soğutma Çalışma Faktörü (F <sub>s</sub> )	0.9	°C

**Şekil 2. Programın Girdi Değerleri**

Bir ısıtma tesisinde, ısı pompasından hangi oranda faydalanılmasının uygun olacağı, teknik ve ekonomik inceleme sonucu belirlenir. Gerekteğinde ek bir ısıtıcıdan faydalanılır. Isı kaybı bakımından en kritik ay olan tasarım ayında, ısı kaybının tamamen ısı pompasından karşılanması düşünülebilir. En uygun ısıtma tesisinin belirlenebilmesi bakımından alternatif uygulamalar için, ısı pompası aylık çalışma oranı ( $f_a$ ) ve ısı pompası yıllık yararlanma oranı ( $x_y$ ) değerlerinin hesaplanması gerekir.  $f_a$  değeri toprak ısı değiştiricisinin boyutlandırılmasını,  $x_y$  değeri ise, ısıtma sisteminin maliyetinin bulunmasını sağlar.  $f_a$ , dikkate alınan ay için çalışma süresinin dönem süresine oranıdır.  $x_y$ , dikkate alınan ay için bina ısı kaybının ısı pompası tarafından karşılanan kısmının dönem ısı kaybına oranıdır. Bir ısıtma tesisinde,  $f_a$  ve  $x_y$  değerlerinin hesaplanması için ASHRAE tarafından Bin (Aralık) yöntemi önerilmiştir.

Bin yönteminden yararlanabilmek için öncelikle:

a) Dış hava sıcaklığının uzun yıllar ortalamaları ve frekansları ile toprak sıcaklığının, ısı değiştiricisinin konulacağı derinlikteki değerinin uzun yıllar ortalaması

b) Bina  $U_b F$  değeri ( $U_b F = Q_b / (t_{bi} - t_p)$ )

c) Bina iç hava sıcaklığı ortalama değeri

d) Isı pompası karakteristik değerleri bilinmelidir.

2000 Yılı Aylık Ortalama Toprak Sıcaklıkları (°C)												
Derinlik (cm)	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A
5 cm	0.9	1.8	6.4	15.6	20.5	28.2	34.6	32.2	25.6	15.7	9.2	3.4
10 cm	2.0	2.4	6.5	15.6	20.2	27.3	33.4	31.8	25.7	16.4	9.8	4.1
20 cm	3.1	2.9	6.3	14.9	19.5	25.4	30.5	29.9	25.3	17.5	10.7	5.2
50 cm	6.8	5.0	6.8	13.3	17.7	23.0	27.5	28.5	25.3	20.1	14.2	9.2
100 cm	9.7	7.5	7.9	12.0	15.8	20.3	24.3	26.3	24.7	21.3	16.4	12.1

*Tablo 1. Elazığ İçin 2000 Yılı Aylık Ortalama Toprak Sıcaklıkları [14]*

Isıtma ve çalışma faktörleri, ısı kaybının veya kazancının en yüksek olduğu aylarda, cihazın bu yükleri karşılaması için gereken kapasitesine oranıdır. Bu değerler 13 sütunlu bir Tablo hazırlanarak, yukarıda bahsedilen Bin (Aralık) yönteminin kullanılmasıyla sırasıyla 0.5 ve 0.9 olarak bulunmuştur [15]. Söz konusu odada kurulan deney düzeneğinden sırasıyla COP<sub>i</sub>, COP<sub>s</sub>, T<sub>min</sub> ve T<sub>max</sub> değerleri alınmıştır [16]. Ayrıca boru boyu hesaplamalarında kullanılan, boru direncini (R<sub>b</sub>)'yi bulmak için Tablo 2, toprak direnci (R<sub>t</sub>)'yi bulmak için Tablo 3'deki değerlerden faydalanılmıştır.

$R_b (yatay) / R_b (dusey)$				
Boru çapı	PE SCH-40	PE SDR-11	PE SDR-17	PE SDR-13.5
3/4"	0.17/0.116	0.144/0.096	0.16/0.11	0.20/0.14
1"	0.159/0.109	0.144/0.096	0.16/0.11	0.20/0.14
1-1/4"	0.130/0.089	0.144/0.096	0.16/0.11	0.20/0.14
1-1/2"	0.117/0.080	0.144/0.096	0.16/0.11	0.20/0.14
2"	0.098/0.068	0.144/0.096	0.16/0.11	0.20/0.14

*Tablo 2. Boru Direnç Değerleri [12]*

		Rt (AĞIR TOPRAK-NEMLİ)										Rt (KAYA)
		Rt (AĞIR TOPRAK-KURU VEYA HAFIF TOPRAK-NEMLİ)										Rt (AT-NEMLİ)
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	
BORU ÖLÇÜSÜ	3/4"	<u>1.02</u>	<u>1.06</u>	<u>1.09</u>	<u>1.11</u>	<u>1.31</u>	<u>1.37</u>	<u>2.05</u>	<u>2.15</u>	<u>2.11</u>	<u>1.88</u>	<u>0.6</u>
		1.38	1.44	1.47	1.49	1.77	1.84	2.75	2.86	2.85	2.53	1.06
	1"	<u>0.97</u>	<u>1.02</u>	<u>1.04</u>	<u>1.06</u>	<u>1.26</u>	<u>1.32</u>	<u>2</u>	<u>2.1</u>	<u>2.07</u>	<u>1.84</u>	<u>0.57</u>
		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"	<u>0.92</u>	<u>0.97</u>	<u>0.99</u>	<u>1.01</u>	<u>1.22</u>	<u>1.27</u>	<u>1.96</u>	<u>2.05</u>	<u>2.02</u>	<u>1.79</u>	<u>0.54</u>
		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"	<u>0.89</u>	<u>0.94</u>	<u>0.97</u>	<u>0.98</u>	<u>1.19</u>	<u>1.25</u>	<u>1.92</u>	<u>2.02</u>	<u>1.99</u>	<u>1.76</u>	<u>0.53</u>
		1.21	1.27	1.3	1.32	1.59	1.66	2.57	2.68	2.67	2.36	0.94
	2"	<u>0.85</u>	<u>0.89</u>	<u>0.92</u>	<u>0.94</u>	<u>1.14</u>	<u>1.2</u>	<u>1.88</u>	<u>1.98</u>	<u>1.94</u>	<u>1.71</u>	<u>0.5</u>
		1.15	1.2	1.24	1.26	1.53	1.6	2.51	2.62	2.61	2.29	0.89

Tablo 3. Toprak Direnci [12]

### SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu sistem için, 2 HP (1.4 kW)'lık FH 5524 F tipi tek fazlı kompresör seçilmiştir [16]. Isıtma etkinlik katsayısı (COP<sub>I</sub>) ve soğutma etkinlik katsayısı (COP<sub>S</sub>) değerlerini bulmak için aşağıdaki Eşitlik 3 ve 4 kullanılmıştır. İçinde bulunduğumuz iklim kuşağında soğutma yükü (Q<sub>s</sub>) ısıtma yükünün (Q<sub>i</sub>) yaklaşık 1.25 katı derecesindedir [17]. Beş farklı ısıtma yükü için (1, 2.5, 5, 7.5 ve 10 kW) COP<sub>I</sub> değerleri bulunmuştur. Bu beş farklı ısıtma yükünün 1.25 katı alınarak beş farklı soğutma yükü (1.25, 3.125, 6.25, 9.375 ve 12.5 kW) bulunmuştur. Bu ısıtma ve soğutma yüklerine göre Eşitlik 1 ve 2'den ısıtma ve soğutma boru boyu hesaplanmıştır.

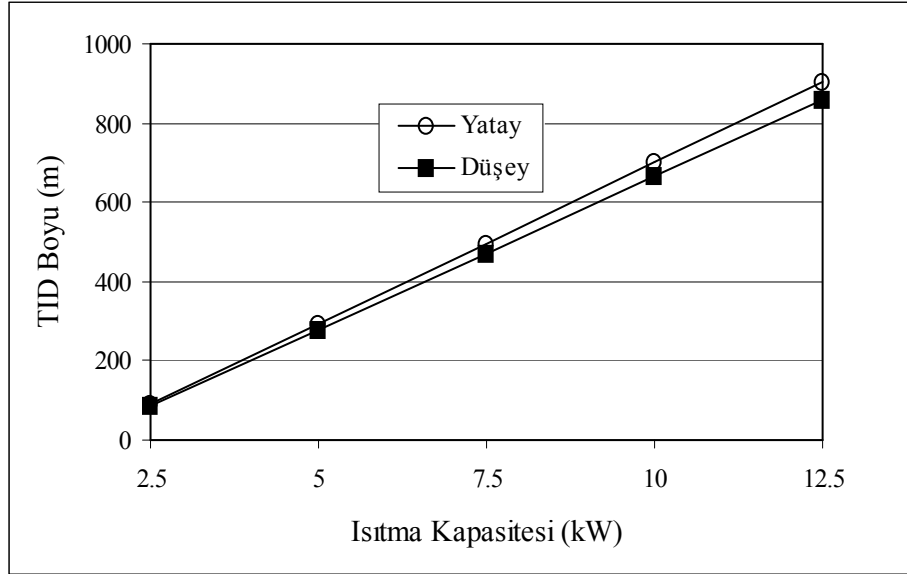
$$COP_I = \frac{Q_I}{W_c} \quad (3)$$

$$COP_S = \frac{Q_S}{W_c} \quad (4)$$

Bu çalışmada ilk olarak TID tipinin (yatay veya düşey) etkisi incelenmiştir. Bunun için daha önceki çalışmalarda en az boru boyunun elde edildiği PE SDR-11 boru malzemesi, 2" boru çapı ölçüsü, ağır toprak nemli ve R1 dizilişi özellikleri programda seçilerek sadece ısıtma için TID boru boyu hesaplanmıştır. Şekil 3'de beş farklı ısıtma kapasitesine göre yatay ve düşey TID tipi için hesaplanan boru boyunun değişimi verilmiştir. Görüldüğü gibi aynı ısıtma kapasitesine göre düşey sistemlerde daha az boru gereksinimi hesaplanmıştır. Kurulacak YKIP sistemi için eğer uygun toprak alanı da yok ise düşey TID'li YKIP sistemleri tercih edilmelidir. Ancak, Fransa'da, C. Olivier 2001 yılında yaptığı bir araştırmada, düşey ve yatay YKIP sistemlerin yatırım ve işletme maliyetleri açısından kıyasını yapmıştır. Bu çalışmaya göre, düşey ve yatay sistemlerin yatırım maliyetleri sırasıyla 137 ve 115 Euro/m<sup>2</sup>, bu sistemlerin sırasıyla işletme maliyetleri 2.6 Euro/m<sup>2</sup>'dir [18]. Kurulacak YKIP sistemi için

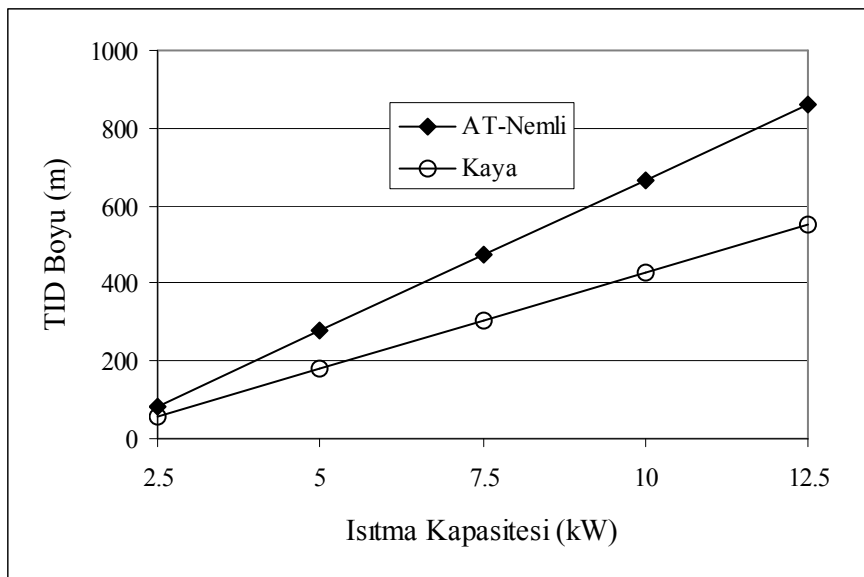
toprak alanı uygun ise maliyet analize de yapıp sistemin yatay veya düşey olmasına karar verilmelidir.

Şekil 4'de düşey toprak ısı değiştiricileri için toprak tipinin değişiminin TID boru boyunu nasıl değiştirdiği verilmiştir. PE SDR 11 boru malzemesine ve 2" boru çapına göre iki farklı toprak turunun ayrı ayrı kullanılmasıyla hesaplanan boru boylarında Ağır toprak-nemli toprak (AT-Nemli) turunun Kaya toprak türüne göre daha fazla boru gereksiniminin olduğu gorlmuştur. Bunun sebebi; (AT-Nemli) toprak turunun toprak direncinin  $0.85 \text{ m}^\circ\text{C/W}$ , Kaya toprak tipinin direncinin  $0.5 \text{ m}^\circ\text{C/W}$  olmasıdır. Toprak direnci değeri arttıka TID boru boyu değeri artmıştır.



Şekil 3. Isıtma Mevsiminde TID Tipine Göre Toprak Isı Değiştiricisi Boyunun Değişimi

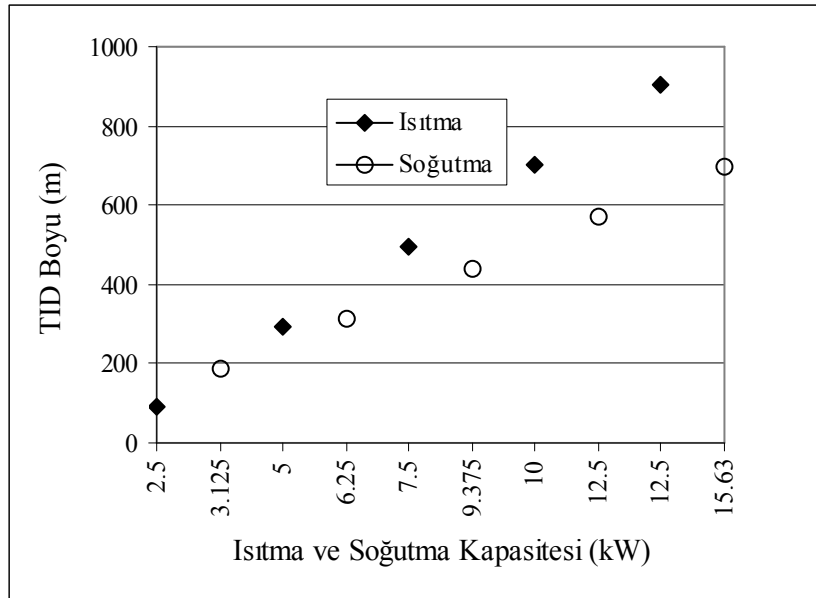
(PE SDR 11, 2", R1, AT- Nemli)



**Şekil 4. Isıtma Mevsiminde Toprak Türüne Göre Düşey Toprak Isı Değiştiricisi Boyunun Değişimi**

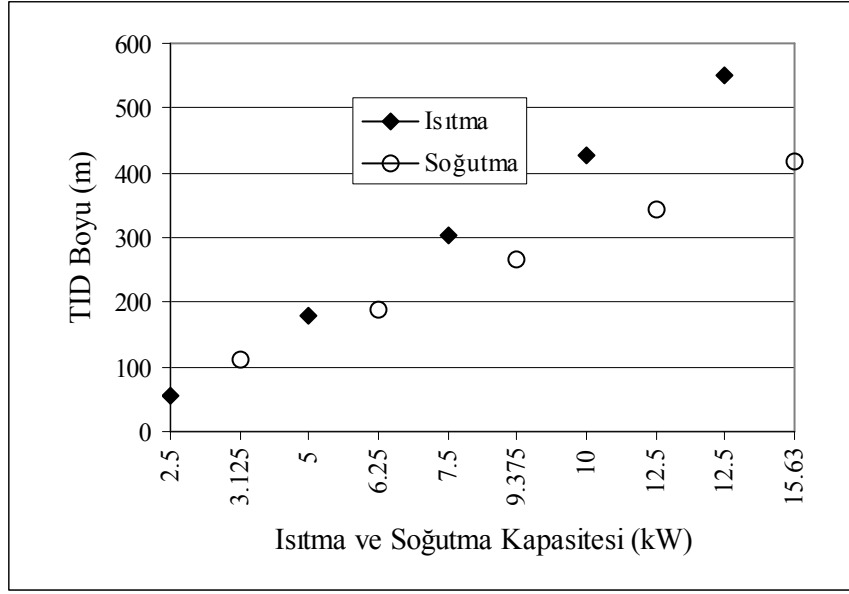
**(PE SDR 11, 2", R11, AT- Nemli ve Kaya)**

Şekil 5'de hem ısıtma hem de soğutma kapasitelerine ve AT-Nemli toprak türüne göre hesaplanan yatay TID boru boylarının değişimleri verilmiştir. Isıtma ve soğutma kapasitelerinin belli bir değerine kadar ısıtma boru boyu, soğutma boru boyundan küçüktür. Ancak daha büyük ısıtma veya soğutma yüklerinde ısıtma boru boyu soğutma boru boyundan daha büyüktür. Bu durum Eşitlik 1 ve 2'deki (COP<sub>i</sub>-1) ve (COP<sub>s</sub>+1) değerlerinden kaynaklanmaktadır. Şekil 6'da hem ısıtma hem de soğutma kapasitelerine ve kaya toprak türüne göre hesaplanan düşey TID boru boylarının değişimleri verilmiştir. Şekil 5 için yapılan yorumlar Şekil 6'daki değişim için de yapılabilir, ancak aynı ısıtma ve soğutma yükleri için düşey sistemde en az boru boyunun ısıtmada 54.203 m, soğutmada 111.3 m olduğu, yatay sistemde en az boru boyunun ısıtmada 89.13 m, soğutmada 185.31 m olarak hesaplandığı görülmüştür.



**Şekil 5. Isıtma ve Soğutma Kapasitesine Göre Yatay Toprak Isı Değiştiricisi Boyunun Değişimi**

**(PE SDR 11, 2", R1, AT- Nemli)**



**Şekil 6. Isıtma ve Soğutma Kapasitesine Göre Düşey Toprak Isı Değiştiricisi Boyunun Değişimi**

**(PE SDR 11, 2", R11, Kaya)**

Sonuç olarak, bu çalışmada Miles [12] tarafından önerilen yöntem kullanılarak en az TID boru boyunun, düşey TID'li YKIP sistemlerinde olduğu görülmüştür. Düşey TID'li YKIP sistemlerinde en iyi toprak türünün yani en az boru boyunu veren toprak türünün kaya tipi toprak olduğu da görülmüştür. Boru malzemesinin PE SDR-11, boru çapının 2" olduğu, boru geometrisinin bu çalışmada R1 olarak verildiği geometri kabulüyle hesaplamalar yapılmıştır.

Literatürde yapılan test sonuçlarından görüleceği üzere YKIP sistemlerinin performans değerleri hava ve su kaynaklı ısı pompalarına göre daha yüksektir [5-8]. Bu yüzden uygun fiziksel özelliklere sahip jeolojik yapıların olduğu bölgelerde bu tür ısı sistemleri ülkemiz için mutlaka uygulanmalıdır. Ülkemizde bu tür ısıtma veya soğutma uygulamalarının yaygınlaşması ile ülke ekonomisine ve enerji girdisine önemli kazançlar sağlanacaktır. Bu amacı gerçekleştirmek için ülkemizin iklimi ile topraklarının fiziksel özellikleri esas alınarak, YKIP sistemlerinin uygulama standartları geliştirilmelidir. Bu standardın hazırlanması ile tasarımcılar ve üreticiler cesaretlenecek ve bu tip ısı pompalarının uygulaması da yaygınlaşacaktır. Ayrıca endüstriyel amaçlı YKIP sistemleri üzerinde araştırmalar yoğunlaşmalıdır.

### SEMBOLLER

$COP_1$  : Ünitenin ısıtma etkinlik katsayısı (-)

$COP_s$  : Ünitenin soğutma etkinlik katsayısı (-)

$f_a$  : Isı pompası aylık çalışma oranı (-)

$F$  : Isının geçtiği yapı bileşenlerinin yüzeyi ( $m^2$ )

$F_s$  : Soğutma çalışma faktörü (-)



FI : Isıtma alışma fakt6r6 (-)

Q<sub>b</sub> : Konut ısı y6k6 (kW)

L<sub>I</sub> : Isıtma mevsimi için hesaplanan toprak ısı değiştiricisi boyu (m)

L<sub>S</sub> : Soğutma mevsimi için hesaplanan toprak ısı değiştiricisi boyu (m)

IK : Isıtma kapasitesi (kW)

SK : Soğutma kapasitesi (kW)

R<sub>b</sub> : Boru toprak direnci (m°C/W)

R<sub>t</sub> : Toprak direnci (m°C/W)

t<sub>bi</sub> : Konut içerisinin ortalama sıcaklığı (°C)

t<sub>p</sub> : Projelendirmede esas alınan dış hava sıcaklığı (°C)

T<sub>h</sub> : Yılın en y6ksek toprak sıcaklığı (°C)

T<sub>I</sub> : Yılın en d6ř6k toprak sıcaklığı (°C)

T<sub>max</sub> : 6niteye girecek en y6ksek akışkan sıcaklığı (°C)

T<sub>min</sub> : 6niteye girecek en d6ř6k akışkan sıcaklığı (°C)

T<sub>m</sub> : Ortalama toprak sıcaklığı (°C)

U<sub>b</sub> : Binanın ısıl geçirgenliği (W/m<sup>2</sup> °C)

x<sub>y</sub> : Isı pompasından yıllık yararlanma oranı (-)

## KAYNAKÇA

1. ASHRAE Temel El Kitabı, Atlanta, (GA): 1989.

2. **S.P. Kavanaugh, K. Rafferty**, "Ground-Source Heat Pumps: Design of Geothermal Systems for Commercial and Institutional Buildings", ASHRAE, 167, 1997.

3. **S. Oerder, J.P. Meyer**, "Effectiveness of a Municipal Ground Coupled Reversible Heat Pump System Compared to an Air Source System", ASHRAE Trans, 104 (1A): 540-9, 1998.

4. **E. H. Spilker**, "Ground Coupled Heat Pump Loop Design Using Thermal Conductivity Testing and The Effect Of Different Backfill Materials On Vertical Bore Length", ASHRAE Trans, 104(1B): 775-9, 1998.

5. **P.F. Healy and V. I. Ugursal**, "Performance and Economic Feasibility of Ground Source Heat Pumps In Cold Climate", International Journal of Energy Research, 21, 857-870, 1997.
6. **P.J. Lineau**, "Geothermal Heat Pump Performance and Utility Programs in the United States", Energy Sources, 19: 1-8, 1997.
7. **G. Phetteplace and W. Sullivan**, "Performance of a Hybrid Ground-Coupled Heat Pump System", ASHRAE Transactions, 1b, 104, 763-770, 1998.
8. **M.A. Catan, V.D. Baxter**, "An Optimized Ground Coupled Heat Pump System Design For Northern Climate Applications", ASHRAE Trans, 91(2B): 1185-203, 1985.
9. **P.E. Martin**, "A Design and Economic Sensitivity Study of Single Pipe Horizontal Ground Coupled Heat Pump Systems", ASHRAE Trans, 96 (1): 634-42, 1990.
10. **J.E. Bose, J.D. Parker and F.C. McQuiston**, "Design/Data Manual for Closed Loop Ground Coupled Heat Pump Systems", ASHRAE, Atlanta, 1985.
11. **S.P. Kavanaugh**, "Using Existing Standards to Compare Energy Consumption of Ground Source Heat Pumps With Conventional Equipment", ASHRAE Trans, 98(2): 599-606, 1992.
12. **L. Miles**, "Heat Pumps Theory and Service", Delmar Publishers Inc., NY. 1994.
13. **H. Günerhan, K. Ülgen ve A. Hepbaşlı**, "Toprak Kaynaklı Isı Pompalarında Toprak Isı Değiştiricisinin Tasarımı: Ege Üniversitesi Uygulaması", Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 21, 1, 18-24, 2001.
14. Elazığ Meteoroloji Bölge Müdürlüğü Bülteni, "Dış Hava ve Toprak Sıcaklıkları", 2000.
15. **H. Esen**, "Elazığ İklim Şartlarında Yatay Borulu Toprak Kaynaklı Isı Pompası Tasarımı", Yüksek Lisans Semineri, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2001.
16. **H. Esen**, "Toprak Kaynaklı Isı Pompası Performansına Etki Eden Parametrelerin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2002.
17. **İ. Ersöz**, "Toprak Kaynaklı Isı Pompası İle Bir Hacmin Soğutulması", Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 187s, 2000.
18. **C. Olivier**, "Ground-Source Heat Pump in France in the Residential", [www.uni-giessen.de/~gg1068/pdf-Dateien/Geothermie/Literatur/Gth-days01/course/Olivier.pdf](http://www.uni-giessen.de/~gg1068/pdf-Dateien/Geothermie/Literatur/Gth-days01/course/Olivier.pdf)