

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TOPRAK ISI DEĞİŞTİRİCİSİNİN TEORİK ve DENEYSEL
ANALİZİ**

Makine Müh. Zakir TORUN

**F.B.E Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Isı Proses Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Doç.Dr. Ahmet KOYUN

İSTANBUL, 2008

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ.....	iv
KISALTMA LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
ÖNSÖZ.....	ix
ÖZET.....	x
ABSTRACT.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. TOPRAKTAN ISITMA SİSTEMLERİNİN ÖNEMİ.....	2
3. ÇEŞİTLİ YAKIT TÜRLERİ ve YKIP İLE ISITMA SİSTEMİNİN KARŞILAŞTIRILMASI	8
3.1 Kömür.....	8
3.2 Fuel-Oil ve Motorin.....	8
3.3 Doğal Gaz.....	9
3.4 Elektrik	10
3.5 Yakıt Maliyetleri	10
4. DÜNYADA YER KAYNAKLI ISI POMPASI UYGULAMALARI.....	13
5. TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASI SİSTEMİNİN ELEMANLARI	15
6. TOPRAK ALTI YER ISI EŞANJÖRÜ.....	16
6.1 Toprak altı boru devresi.....	16
6.1.1 Ne zaman	17
6.1.2 Ne kadar.....	17
6.1.2.1 Hibrit sistemler	17
6.1.3 Ne şekilde	19
6.1.4. Nasıl.....	19
6.1.4.1 Düşey YKIP sının avantajları şöyle özetlenebilir.....	20
6.1.4.2 Sakıncaları ise;.....	20
6.1.4.3 Yatay YKIP'larının avantajları şöyle özetlenebilir.	21
6.1.4.4 Geniş bir yersel kurulum alanı gerektirmesine ek olarak diğer bazı sakıncaları;.....	21
7. TOPRAK ALTI KAPALI ÇEVİRİMLER	22
7.1 Yatay Tasarım.....	22
7.1.1 Kapalı devre, yer kaynaklı ısı pompaları yatay tasarım biçiminde, düşey olana göre bazı üstünlüklere sahiptir;	23

7.1.2 Yatay boru uyarlaması tasarımını sınırlayan bazı etkenler aşağıdaki gibi özetlenebilir;	23
7.2 Akışkan akışı ve boru devresi.....	31
7.3 Düşey Tasarım:.....	33
8. YER ALTI SUYU ISI POMPASI SİSTEMLERİ	46
8.1.1 Belirli koşullar altında YSKIP'larının avantajları şunlardır:.....	46
8.1.2 Bu teknoloji yıllar boyunca bir çok yerde kullanılmıştır. Sistemin sakıncaları ise şöyle sıralanabilir.;.....	46
8.2 Tasarım Stratejisi.....	48
8.3 Yer Altı Suyu Kalitesi	50
9. YÜZEYSEL SU ISI POMPASI SİSTEMLERİ	52
9.1.1 Kapalı devre YSIP'larının önemli avantajları arasında şunlar sayılabilir	52
9.1.2 Sakıncaları ise;.....	52
9.2 Yüzeysel Su Isı Pompaları.....	53
9.3 Göllerde Isı Transferi.....	54
9.4 Göllerde Isıl Özellikler	55
9.5 Kapalı Devre Göl Isı Pompası	56
10. Antifriz Gereksinimleri.....	58
11. MAHAL KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ.....	63
12. ISI POMPASI ÜNİTESİ	64
12.1 Yer kaynaklı ısı pompasının performans değerlendirmesi:.....	65
12.1.1 Isı Pompası;	65
12.1.2 Sirkülasyon pompası:	66
12.1.3 Yer Isı Eşanjörü;.....	67
12.1.4 Kompresörler	68
12.1.5 Toprak karakteristiği	69
13. ISI DAĞITIMI.....	71
14.DENEYSEL ÇALIŞMA.....	72
14.1 Sistemin tanıtılması.....	72
14.1.1 Toprak ısı değiştiricisi devresi.....	72
14.1.2 Isı Pompası.....	81
14.1.3 Kontrol ve Ölçüm Sistemi.....	82
14.2 Deney verileri.....	85
14.3 Deney verilerinin yorumlanması,Grafikler.....	86
15.TEORİK ÇALIŞMA.....	94
15.1 Sabit yüzey sıcaklığı kabulü.....	94
15.2 KOYUN Modeli.....	97
15.3 Çözümler.....	100
15.3.1 Alüminyum kanatlı boru için değerler.....	100
15.3.2 PPRC boru için değerler.....	104
15.3.3 Boru içerisindeki akışkan sıcaklığının değişiminin hesaplanması.....	106

15.3.4 Alüminyum kanatlı boru ve PPRC borunun verimlerinin karşılaştırılması.....	114
15.3.5 Etkilenmiş toprak sıcaklığının hesaplanması.....	115
16. BORU BOYUNUN HESAPLANMASI İÇİN TASARIM VE OPTİMİZASYON YÖNTEMİ.....	121
16.1 Binanın ihtiyaç duyulan soğutma yükünün hesaplanması.....	121
16.2 Isı pompasının çalışma koşullarının belirlenmesi.....	121
16.3 Isı pompasının dizaynı.....	122
16.4 Yer ısı değiştiricisinden geçen suyun kütleli debisinin bulunması.....	123
16.5 1 modül için gerekli olan boru boyu L.....	124
16.6 Kayıplar, basma yüksekliği ve pompa gücünün hesaplanması.....	125
16.7 Sistemin genel performansı.....	129
16.8 Yatırım maliyetinin hesaplanması.....	129
17. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	135
KAYNAKLAR.....	136
ÖZGEÇMİŞ.....	137

SİMGE LİSTESİ

K	Toprağın ısı iletkenlik katsayısı	
Q	Isı transfer miktarı, kW	
L	gerekli delik çapı, m	
T _g	toprak sıcaklığı	
T _w	sıvının sıcaklığı	
R	Toprağın efektif ısı direnci mK/W	
FSC	Kısa devre ısı kayıp faktörü	
LC	Soğutma için gerekli delik uzunluğu	m
Lh	Isıtma için gerekli delik uzunluğu	M
PLFm	Tasarım ayında kısmi yük faktörü	
q _a	Toprağa yıllık net ortalama ısı geçişi	kW
q _{lc}	Binanın tasarım soğutma blok yükü	kW
q _{lh}	Binanın tasarım ısıtma blok yükü	kW
R _{ga}	Yerin efektif ısı direnci (yıllık değişim)	mK/kW
R _{gd}	Yerin efektif ısı direnci (günlük değişim)	(mK)/kW
R _{gm}	Yerin efektif ısı direnci (aylık değişim)	(mK)/kW
R _b	Borunun ısı direnci (mK)/kW	
t _g	Bozulmamış toprak sıcaklığı	°C
t _p	Komşu borulardan girişime bağlı sıcaklık hatası	°C
t _{wi}	Isı pompası girişindeki sıvı sıcaklığı	°C
t _{wo}	Isı pompası çıkışındaki sıvı sıcaklığı	°C
W _c	Tasarım soğutma yükünde güç girdisi	kW
W _h	Tasarım ısıtma yükünde güç girdisi	kW
α	Toprağın ısı yayınlılığı	
τ	Çalışma süresi	
d	Borunun dış çapı	
i	giriş	
o	çıkış	
F _o	Fourier sayıları	
F _{sc}	kısa devre ısı kayıp faktörünü	
C _{psc}	toprağın doğrulanmış özgül ısısı	
ρ _{sc}	Toprağın doğrulanmış yoğunluğu	
C _{pw}	Suyun özgül ısısı (4.1868 kJ/kgK)	
ρ _{pw}	Suyun yoğunluğu (1000 kg/m ³)	

KISALTMA LİSTESİ

YKIP	Yer kaynaklı ısı pompası
DG-YKIP	Direkt genişmeli yer kaynaklı ısı pompası
HDPE	High density polietilen (Yüksek yoğunluklu polietilen)
EER	Energy efficiency ratio (Enerji verim oranı)
UV	Ultraviyole
YSKIP	Yer altı su kaynaklı ısı pompaları
COP	Coefficient of performance (performans etkisi)
YSIP	Yüzeysel su ısı pompası sistemleri
SEER	Seasonal energy efficiency ratio (Mevsimlik enerji verim oranı)
YIE	Yer ısı eşanjörü
HSPF	Isıtma mevsimlik performans faktörü
ARI	Amerikan soğutma enstitüsü
ASHRAE	American society of heating,refrigerating and air conditioning engineers
LPG	Likit gaz
PPRC	Polipropilen Random Co-polimer

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Bazı yakıtların yakıt,işletme bakım ve kapital maliyet oranları.....	6
Şekil 3.1 Enerji üretim türlerine göre CO ₂ emisyonu görülmektedir	12
Şekil 6.1 Yer devresi elemanları.....	16
Şekil 6. 2 Soğutma yapılan sistemlerde hibrit sistem uygulama örneği	18
Şekil 6.3 Isıtma yapılan sistemlerde hibrit sistem uygulama örneği.....	19
Şekil 7.1 Bazı çok borulu uygulamalar.....	24
Şekil 7.2 Üst üste binmiş spiral uygulama.....	26
Şekil 7.3 Yatay, seri toprak altı borulama.....	31
Şekil 7.4 Yatay, paralel toprak altı borulama.....	32
Şekil 7.5 Veri toplama	33
Şekil 7.6 Yerin ısı direnci için Fourier/G-Faktör Grafiği	41
Şekil 7.7 Dikey, seri toprak altı borulama	44
Şekil 7.8 Dikey, paralel toprak altı borulama.....	45
Şekil 7.9 Borular bir kanala, dikey yada yatay olarak yerleştirilebilir	45
Şekil 8.1 Yer altı suyu kullanan ısı pompaları.....	47
Şekil 8.2 Debi-Performans Değişimi.....	49
Şekil 9.1 Kapalı devre göl ısı eşanjörü.....	53
Şekil 9.2 Göllerdeki Isıl Tabakalaşma Yıllık Çevriminin İdealize Edilmiş Diyagramı.....	57
Şekil 10.1 Kapalı devre göl serpantin demeti, gevşek.....	58
Şekil 10.2 Kapalı devre göl serpantin demeti, sıkı.....	59
Şekil 12.1 Isı Pompası Ünitesi.....	64
Şekil 14.1 Toprak ısı değiştirici devresinin şeması.....	73
Şekil 14.2 PPRC boruların toprak kapatılmadan önce alınmış görüntüsü.....	74
Şekil 14.3 PPRC borular ve kollektör.....	74
Şekil 14.4 Alüminyum kanatlı borunun toprak kapatılmadan önceki görüntüsü.....	75
Şekil 14.5 Isı pompası şeması.....	76
Şekil 14.6 Rotametre.....	77
Şekil 14.7 Su sayacı.....	78
Şekil 14.8 Su deposu.....	79
Şekil 14.9 PPRC boru yerleşim şeması, hafriyat detayları.....	80
Şekil 14.10 Isı Pompası.....	81
Şekil 14.11 Isı Pompası ünitesi, Su deposu ve hava kanalları.....	82
Şekil 14.12 Termokopl yerleşim şeması, alüminyum kanatlı boru için.....	83
Şekil 14.13 Sıcaklık ölçüm cihazı.....	84
Şekil 14.14 Grafik.....	86
Şekil 14.15 Grafik.....	86
Şekil 14.16 Grafik.....	87
Şekil 14.17 Grafik.....	87
Şekil 14.18 Grafik.....	88
Şekil 14.19 Grafik.....	88
Şekil 14.20 Grafik.....	89
Şekil 14.21 Grafik.....	89
Şekil 14.22 Grafik.....	90
Şekil 14.23 Grafik.....	90
Şekil 14.24 Grafik.....	91
Şekil 14.25 Grafik.....	91
Şekil 14.26 Deneyden toplam sürede alınan ortalama sıcaklık değerleri şeması.....	92
Şekil 14.27 Grafik.....	93

Şekil 14.28 Dr.Hakan Demir tarafından hazırlanan Doktora tezinde kış şartlarında su giriş ve çıkış sıcaklıklarının deneysel ve teorik olarak karşılaştırılması.PPRC boru.....	93
Şekil 15.1 Boru boyunca meydana gelen ısı transferi.....	94
Şekil 15.2 Boru boyunca meydana gelen ısı transferi.....	97
Şekil 15.3 Alm.borunun kanat hesabı için gerekli kanat ölçüsü referans değerleri.....	100
Şekil 15.4 Grafik.....	107
Şekil 15.5 Grafik.....	108
Şekil 15.6 Grafik.....	108
Şekil 15.7 Grafik.....	109
Şekil 15.8 Grafik.....	111
Şekil 15.9 Grafik.....	113
Şekil 15.10 Grafik pprc boru için.....	113
Şekil 15.11 Grafik.....	119
Şekil 15.12 Dr.Hakan Demir tarafından yapılan Doktora tezinden alınmıştır. Grafik Matlab ortamında geliştirilen program yardımı ile çizilmiştir.....	119
Şekil16.1 Isı pompasının T-s diagramı.....	122
Şekil 16.2 Paralel akışlı yer ısı değiştiricisinin izometrik şeması,DİZ.....	125
Şekil 16.3 Grafik.....	132
Şekil 16.4 Grafik.....	133
Şekil 16.5 Grafik.....	133
Şekil 16.6 yer altı boru devresi.....	134

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Birincil enerji kaynakları (2001 Yılı Sonu İtibariyle, Enerji Bakanlığı)	4
Çizelge 2.2 Birincil enerji kaynakları üretimi, Enerji Bakanlığı.....	5
Çizelge 2.3 Birincil enerji kaynakları tüketimi, Enerji Bakanlığı	6
Çizelge 2.4 Dünya enerji rezervleri tahmini (EJ)	7
Çizelge 3.1 Doğalgaz alım anlaşmaları. Kaynak: Enerji Bakanlığı.....	9
Çizelge 3.2 Yakıt Fiyatları (Enerji Bakanlığı).....	11
Çizelge 3.3 Isınma için gerekli günlük maliyetler hesaplanmıştır.....	12
Çizelge 4.1 Dünyada jeotermal ısı pompası uygulamaları	14
Çizelge 7.1 En çok kullanılan kazı yöntemleri için kanal uzunlukları	28
Çizelge 7.2 Katsayılar.....	29
Çizelge 7.3 Gerekli pompa büyüklüğü.....	30
Çizelge 7.4 Seçilmiş Bazı toprak,kaya ve harç/dolgu malzemelerinin ısıl özellikleri.....	37
Çizelge 7.5 Değişik jeotermal koşullar için potansiyel bitirme (dolgu) yöntemleri	39
Çizelge 7.6 Fsc.....	42
Çizelge 7.7 Yüksek yoğunluklu, Polietilen U-borulu yer altı eşanjörlerinde delik dolgularının ısıl direnci (Rb).....	43
Çizelge 10.1.-Seçilen YKIP Antifriz Çözeltilisinin Uygunluğu.....	60
Çizelge 10.2. Seçilen YKIP Antifriz Çözeltilisinin Uygunluğu.....	61
Çizelge 12.1 Pompa dizayn kriterleri.....	66
Çizelge 12.2 Soğutma kapasitelerine göre tavsiye edilen kompresör.....	69
Çizelge 12.3 Kompresör tiplerinin verim değerleri.....	69
Çizelge 14.1 Deneyden elde edilen değerler.....	85
Çizelge 15.1 $F(z)$ integrali (Ingersoll ve Plass, 1955).....	96
Çizelge 15.2 Toprak cinsi ve derinliğe bağlı sıcaklıkları dağılımı.....	99
Çizelge 15.3 Değişik toprak tiplerinin fph biriminde fiziksel özellikleri (Plass, 1955).....	100
Çizelge 15.4 Ortalama değerler tablosu.....	104
Çizelge 15.5 Değişik giriş sıcaklıklarında PPRC borudan su çıkış sıcaklığı, teorik ve deneysel sonuçlar.....	106
Çizelge 15.6 Değişik giriş sıcaklıklarında Al.Kanatlı borudan su çıkış sıcaklığı, teorik ve deneysel sonuçlar	107
Çizelge 15.7 PPRC Boru boyunca akışkan sıcaklığının değişim değerleri hesap tablosu.....	110
Çizelge 15.8 Alüminyum kanatlı Boru boyunca akışkan sıcaklığının değişim değerleri hesap tablosu.....	112
Çizelge 15.9 $I(x)$: İntegralin değerleri x 'e bağlı olarak aşağıda verilmiştir.....	116
Çizelge 15.10 Al.Kanatlı borudan yatayda uzaklaştıkça toprakta meydana gelen sıcaklık değişimi.....	118
Çizelge 15.11 Deney verileri ve ortalama değerleri... ..	120
Çizelge 16.1 Çeşitli derinliklerde maksimum ve minimum toprak sıcaklıkları.....	121
Çizelge 16.2 Yer ısı değiştiricisinde meydana gelen lokal kayıplar,Diz.....	128
Çizelge 16.3 Diz'in 1" borusu ile, al.kanatlı borunun karşılaştırılması.....	132
Çizelge 16.4 Değişik toprak derinlikleri için DİZ' in yaptığı hesaplar ve buna ek olarak bizim borumuzdan elde edilen hesap değerleri.....	132

ÖNSÖZ

Toprak kaynaklı ısı pompası sistemleri hakkında bu güne kadar pek çok teorik çalışma yapılmış olmasına karşın, sistem kurulum maliyetlerinin fazlalığı yüzünden akademik çalışma yapan pek çok araştırmacı deneysel çalışmalarla hesaplamalarını karşılaştırma olanağı bulamamıştır. Bu çalışmada yeni bir toprak altı borulama yöntemi uygulanmış sistemden, verileri deneysel olarak tespit edebilme imkanı bulunmuştur. Tez esasında deneysel uygulama olup, yoğun bir çalışma ve sistemde meydana gelen pek çok arıza ve aksilikle mücadele etmeyi gerektirmiştir. Deneysel analiz biraz zaman ve sabır gerektirmekle birlikte bir miktarda mali yükümlülükler getirmiştir. Çalışmada YKIP sistemlerinin verimini etkileyen en önemli parça olan toprak altı boru sisteminin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışmanın yapılmasında ve yürütülmesinde yardımlarını esirgemeyen, maddi manevi ve psikolojik olarak destek olan sayın tez danışmanım, kıymetli hocam Doç.Dr.Ahmet Koyun'a şükranlarımı sunarım.

ÖZET

Bu çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi, Davutpaşa kampüsünde kurulmuş bulunan Toprak Kaynaklı Isı Pompası sisteminin çalıştırılarak elde edilen deneysel verilerin analizini içermektedir. Deney düzeneği Plastik ve Alüminyum kanatlı olmak üzere iki tip borudan oluşan toprak altı borulama sistemi içermektedir. Her iki boru modelide toprak altında ayrı bir hattır. Isı pompası çalıştırılarak borulardaki ısı transferleri incelenmiştir. Sistemde her iki modelin karşılaştırılarak analizi gerçekleştirilmiştir. Boruların ısı analizinde sabit yüzey sıcaklığı kabulü, Koyun modeli ve çizgisel kaynak teorisi kullanılmıştır. Başlangıçta YKIP'nın önemi açıklanmış ve YKIP sistemleri geniş bir şekilde tanıtılmıştır. Sonra deneysel düzenek tanıtılmış ve hesaplamalara geçilmiştir. Sonuç olarak boruların etkinlikleri karşılaştırılmıştır ve yatırım maliyetleri incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Termoeconomik optimizasyon, yer kaynaklı ısı pompası, yer ısı eşanjörü, paralel borulu yatay toprak ısı değiştiricisi

ABSTRACT

This work includes the analysis of the experimental data that obtained by working the Ground Sourced Heat Pump founded at Davutpaşa Campus of Yıldız Technical University. Experiment mechanism includes undergrounded piping system which consist of Plastic and Aliminium winded types of pipe. Both type of pipe are seperated pipe line under the ground.

Heat transfers at the pipes are examined by making heat pump work. Analysis has been made by comparing two models. Constant surface temperature, KOYUN model and linear source teori has been used for heat analysis of the pipes. At the beginning, the importance of Ground Sourced Heat Pump has been explained and then Ground Sourced Heat Pump system has been introduced in detail. After that, experimantal mechanism has been introduced and calculations has been done. In conclusion. The efficiency of the pipe has been compared and investment cost studied.

Keywords: Thermoeconomic optimization, Ground Sourced Heat Pump, Ground heat exchanger, Parallel pipe horizontal ground heat exchanger,

1. GİRİŞ

Günümüz dünyasında enerjinin çok önemli bir yeri vardır. Gelişmenin en iyi yolu enerjiyi iyi kullanabilmekten geçmektedir. Gelişmiş dünya ülkelerine baktığımızda bu ülkelerin hepsinin enerjinin nasıl daha iyi kullanabileceği üzerine çalışmalar yapmakta olduğunu ve elde ettikleri değerleri de çok güzel bir şekilde uygulamaya geçirdiklerini görmekteyiz. Bizde toplum olarak enerjiyi daha verimli kullanabilmenin yollarını aramalıyız. Bu konuda en büyük görev tabi ki mühendislere düşmektedir. Bu çalışmada bugün gelişmiş pek çok ülkede yaygın olarak kullanılmakta olan yer kaynaklı ısı pompalarının bir türü olan toprak kaynaklı ısı pompası sistemi üzerinde durulmuştur. Bugün Türkiye’de bu tip sistemleri kuran firma sayısı iki elin parmakları kadar azdır. Bu sistemlerin Türkiye’de kullanılabilirliği üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Tezimde mevcut sistemlerde kullanılmakta olan toprak altı boru devresinin geliştirilmesine yönelik deneysel çalışma yapılmıştır. Yıldız Teknik Üniversite’sinin Davutpaşa Kampüsü’nde kurulmuş bulunan deney düzeneği, toprak altındaki iki farklı özellikteki boru ile kurulmuştur. Boru devrelerinden bir tanesi PPRC boru kullanılarak oluşturulmuş olup, ikinci devre Alüminyum Kanatlı boru kullanılarak oluşturulmuştur. Amaç aynı ısı pompası sistemi, aynı şartlar altında (hava sıcaklığı, nem, toprak karakteristikleri, toprak sıcaklığı, vs..) boru devrelerindeki ısı transfer miktarlarını analiz etmektir.

2. TOPRAKTAN ISITMA SİSTEMLERİNİN ÖNEMİ

İnsan vücudunun yüzey sıcaklığı ortalama olarak 34°C olduğundan dolayı Dünya'nın pek çok yerinde ortam sıcaklığı 15°C'nin altına düştüğü takdirde insanlar çağlar boyunca ısınmak için çeşitli yöntemlere başvurmak zorunda kalmışlardır. Bazı insanlar bütün yıl sıcak geçen iklim bölgelerinde yaşadığı için ısınma problemi hiç yaşamazken bazı insanlarda bütün yıl soğuk geçen iklimlerde yaşam mücadelesi vermek zorunda kalmışlardır. Çağlar boyunca insanlar yaşadıkları coğrafi çevrenin imkanları doğrultusunda çeşitli ısınma yöntemleri kullanmıştır. Eskimo'lar kardan yapılmış evlerinde yıl boyunca fok yağı yakarak ısınmışlar ve toplumlarının devamını sağlamışlardır. Ağaç bakımından zengin bölgelerde yaşayan insanlar bol bol odun yakarak ısınmış, daha yüksek olduğu için ağaç yetişmeyen ancak hayvancılığın elverişli olduğu bölgelerde ise bol bulunan hayvan atıkları yakılarak ısınma ihtiyacı sağlanmıştır. Kömürün bulunması insanlık için bir dönüm noktası olmuş, kömür madenlerinin açılması ile insanların ısınması artık ticari bir sektör haline gelmiştir. Özellikle nüfusun fazla olduğu bölgelerde insanlar çeşitli meslek dallarına ayrılmış, bazı insanlar topluma odun kömür taşıırken bazılarında soba imalatında çalışarak geçimleri sağlamışlardır. 20.yüzyıla gelindiğinde Dünya nüfusu ciddi oranda artmış, ısınma problemi toplumları etkileyen büyük bir olgu olarak karşımıza çıkmıştır. 20.yüzyıla birlikte enerji, toplumların karşısına çıkan en önemli unsur haline gelmiştir. En fazla enerjiye sahip olan ve enerji kaynaklarını en iyi şekilde yöneten devletler bugün çağımızın güçlü devletleridir. USA ve Avrupalı bazı devletler enerji kaynaklarına sahip olan ülkelerde sömürgecilik yaparak bu günkü güçlü yapılarını kurmuşlardır. Dünya bugün hali hazırda enerji kaynaklarını yönetmek için verilen bir mücadele ile karşı karşıyadır.

Nüfus arttıkça ısınma büyük bir problem haline gelmiş, odun ve özellikle kömür tüketimi hava kirliliğini arttıran en büyük problem olarak toplumların karşısına çıkmıştır. Örnek olarak güzel ülkemiz Türkiye'nin başkenti Ankara'da 1990'lı yıllarda kömür tüketimi sebebiyle kışın özellikle akşam saatlerinde insanların sobalarını yakmaya başlaması ve havada oluşan alçak basıncında katkısıyla sokakta rahatlıkla nefes alarak dolaşmak güç bir durumdu. Akciğer kanseri ve verem gibi rahatsızlıklara daha sık rastlanıyordu. Bugün Doğalgazın büyük şehirlerde kullanılmaya başlaması hava kirliliğini nispeten o günlere göre azaltmıştır. Ancak doğalgazın ülkemize ait bir kaynak olmadığını unutmamak ve gelecekle ilgili planlarımızı yaparken ve enerji yönetimiyle ilgili yatırımlarımızı yaparken gelecek nesillere, çocuklarımıza kimseye bağımlı olmadan kendi ayakları üzerinde durabilecekleri, zor günde yıkılmalarını önleyici sistemler üzerine yatırım yapmalıyız. Düşünebiliyor musunuz 10 sene

sonra Türkiye dış borçlar sebebiyle doğalgaz alamaz hale gelmiş ve insanlar evlerinde kömür yakıyor. Aslında avrupalı devletler ve hatta Rusya dahi Türkiye'nin kömür yakmasına izin vermeyecektir. Çünkü hava kirliliği global bir olgudur ve bizim yakacağımız kömür, rüzgar ve yağmurla onların üzerine yağmaktadır.

Ülkeler ısınma ihtiyacını karşılamak için bugün dahi çeşitli yöntemlere başvurmaktadır. Örneğin USA'nın Texas eyaletinde eyalet dışında dev bir doğalgaz santrali bulunmakta, Texas'ın doğalgaz rezervlerinden alınan doğalgaz bu santralde yakılarak elektrik üretilmektedir. Üretilen bu elektrik güçlü elektrik hatlarından geçerek konutlarda elektrikle ısınma ve yemeklerde aynı zamanda elektrikli ocaklarda pişirilmektedir. Elektrik tabiki halka çok uygun fiyatla verilmektedir. Ayrıca şehrin elektrik altyapısı çekilen yüksek akımı karşılayacak güçtedir. İstanbul'da ise doğalgaz, doğalgaz boru hatları ile evlere kadar gelmekte ve kombi, kazan gibi sistemlerle evlerde kullanıma sunulmaktadır. Her iki sistemin kullanım açısından avantajları ve dezavantajları ayrıca verimleri ayrı bir tartışma konusudur.

Enerjiyi verimli kullanmak, ekonomik istikrarı sağlamak ve ülkelerin gelişmesi için çok önemli bir konudur. Enerjinin kullanım şekli ve elde etme yöntemleri çevre kirliliğininide etkileyen bir faktördür. Global ısınma, kutuplarda buzulların erimesi, kuraklık ve su kaynaklarının değer kazanması nüfusu artan dünyanın gelecek yıllardaki en büyük problemidir. Aydınlatma, ulaşım, imalat vs.. gibi enerji kullanılan pekçok alan mevcut olmakla birlikte dünyadaki enerji kaynaklarının büyük kısmı, ısınma ihtiyacı için harcanmaktadır. Basit bir hesap yapacak olursak; Dünyada 6 milyar insan yaşadığını göz önüne alalım. Ortalama 5 kişilik aile kabul edersek 1.2 milyar aile olduğunu kabul edelim. Bu ailelerin en az %40'ının ısınma ihtiyacı olan iklim bölgelerinde yaşadığını varsayalım. Bir ailenin aylık ısınma ihtiyacı için en az 100 ytl bütçe ayırdığını ve senede sadece 6 ay ısınma yaptıklarını kabul edelim.

100 YTLx 6ay=600 YTL

480milyon dünya üzerinde 6 ay ısınan aile sayısı

480000000x6=288milyar YTL = Yaklaşık olarak 1 \$=1.3 YTL kabul ederek

Dünyadaki insanların 1 yıllık ısınma maaliyetleri 221 milyar \$ olarak hesaplanabilir.

Ulaşılan bu sonucun tamamen kabuller yapılarak yapılmış basit bir hesap olduğunu biliyoruz, ancak hesaplanan bu değer gerçek değerden çok farklı olduğu söylenemez. Çıkan sonuç bize çok ciddi bir ısınma maaliyeti olduğunu ortaya çıkarmaktadır. Demekki ısınmada yapılacak %1 lik bir verim artışı dahi dünyada 2 milyar dolarlık bir tasarruf sağlayacak,

dünyanın kaynakları daha az tüketilmiş olacak, bunu çevre kirliliği gibi pek çok etken zincirleme takip edecektir.

Tüm dünyada alternatif enerji kaynaklarının arayışları sürmektedir. Aranılan en büyük özellikler

- a) Bol miktarda bulunuyor olmalı
- b) ucuz olmalı
- c) kolay erişilebilmeli, her yerde olmalı
- d) çevreyi kirletmemeli
- e) verimli olmalı

Topraktan ısıtma sistemlerinin önemide burada ortaya çıkmaktadır, çünkü yukarıdaki maddelerin hepsini sağlamaktadır. Günümüzde bu konuda pek çok çalışma yapılmış, ilk yatırım maliyetleri denilen bir noktaya bu konu takıldığı için sistemin gelişmesi ve yaygınlaşması yavaşlamıştır.

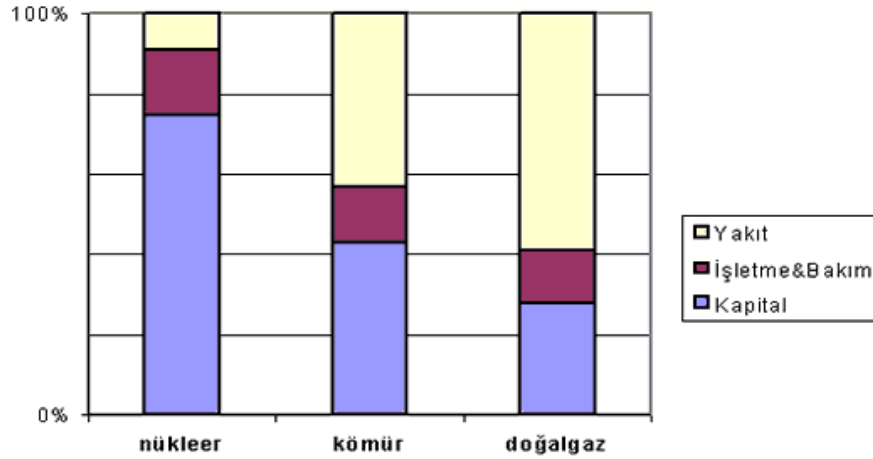
Çizelge 2.1 Birincil enerji kaynakları (2001 Yılı Sonu İtibariyle, Enerji Bakanlığı)

Kaynaklar	Görünür	Muhtemel	Mümkün	Toplam
Taşkömürü	(*)428	456	245	1.126
Linyit				
Elbistan	3.357	-	-	3.357
Diğer	3.982	626	110	4.718
Toplam	7.339	626	110	(**) 8.075
Asfaltit	45	29	8	82
Bitümler	555	1.086	0	1.641
Hidrolik				
Gwh/Yıl	125.000	-	-	125.000
MW/Yıl	34.729	-	-	34.729
Ham Petrol (Milyon Ton)	41,8	-	-	41,8

Çizelge 2.3 Birincil enerji kaynakları tüketimi, Enerji Bakanlığı

BİRİNCİL ENERJİ KAYNAKLARI TÜKETİMİ															
(Orjinal Birimler)															
YILLAR	TAŞKÖMÜRÜ (BinTon)	Linyit (BinTon)	ASFALTİT (BinTon)	PETROL (BinTon)	DOĞAL GAZ (10 ⁶ m ³)	HİDROLİK (GWh)	JEOTERMAL		RÜZGAR (GWh)	GÜNEŞ (BinTep)	ODUN (BinTon)	HAYVAN VE BİTKİ ART. (BinTon)	ELEKTRİK İTHALATI (GWh)	ELEKTRİK İHRACATI (GWh)	TOPLAM (BinTep)
							ELEKTRİK (GWh)	ISI (BinTep)							
1970	4727	5772	36	7579		3033		23			12816	9253			18872
1971	4651	6376	23	8819		2610		38			12189	9316			20088
1972	4638	7355	168	10215		3204		38			13503	9514			22411
1973	4595	7642	290	11995		2603		48			13847	9807			24512
1974	5031	8188	394	12132		3356		50			14500	10088			25535
1975	4959	8973	456	13503		5904		56			14562	10495	96		27437
1976	5005	10998	443	14992	15	8375		58			14734	11002	332		29695
1977	5057	11675	434	17230	18	8572		58			14989	11276	492		32454
1978	4696	13235	297	17010	22	9335		60			15248	11750	621		32571
1979	4898	13882	203	14796	34	10289		60			15506	12258	1044		30708
1980	4630	15243	558	15309	23	11348		60			15765	12839	1341		31973
1981	4522	16179	560	15090	16	12616		60			16023	12689	1616		32049
1982	5044	17716	861	16127	45	14167		82			16760	12607	1773		34388
1983	5336	20663	750	16705	8	11343		100			17086	12748	2221		35697
1984	5678	25632	225	16990	40	13426	22	178			17256	11978	2653		37425
1985	6189	34767	523	17270	68	12045	6	232			17368	11039	2142		39399
1986	6545	42354	607	18688	457	11873	44	304		5	17570	11343	777		42472
1987	7220	40653	631	21239	735	18618	58	324		10	17693	11059	572		46883
1988	7525	33080	624	21302	1225	28950	68	340		13	17711	10987	381		47910
1989	6825	47557	409	21732	3162	17940	63	342		19	17815	10885	559		50705
1990	8191	45891	287	22700	3418	23148	80	364		28	17870	8030	176	-907	52987
1991	8824	48851	139	22113	4205	22683	81	365		41	17970	7918	759	-506	54278
1992	8841	50659	197	23660	4612	26568	70	388		60	18070	7772	189	-314	56684
1993	8544	46086	102	27037	5088	33951	78	400		88	18171	7377	213	-589	60265
1994	8192	51178	0	25859	5408	30586	79	415		129	18272	7074	31	-570	59127
1995	8548	52405	66	27918	6937	35541	86	437		143	18374	6765	0	-696	63679
1996	10892	54961	34	29604	8114	40475	84	471		159	18374	6666	270	-343	69862
1997	12537	59474	29	29176	10072	39816	83	531		179	18374	6575	2492	-271	73779
1998	13146	64504	23	29022	10648	42229	85	582	6	210	18374	6396	3299	-298	74709
1999	11362	64049	29	28862	12902	34678	81	618	21	236	17642	6184	2330	-285	74275
2000	15525	64384	22	31072	15086	30879	76	648	33	262	16938	5981	3791	-437	80500
2001	11176	61010	31	29661	16339	24010	90	687	62	287	16263	5790	4579	-433	75402
2002	18830	52039	5	29776	17694	33684	105	730	48	318	15614	5609	3588	-435	78331
2003	17535	46051	336	30669	21374	35330	89	784	61	350	14991	5439	1158	-588	83826
2004	18904	44823	722	31729	22446	46084	93	811	58	375	14393	5278	464	-1144	87818
2005*	19421	56577	738	30016	27314	39561	94	926	59	385	13819	5127	636	-1798	91576

* Geçici



Şekil 2.1 Bazı yakıtların yakıt, işletme bakım ve kapital maliyet oranları

Nükleer, kömür ve kombine çevrim gaz santrallerinin üretim maliyetindeki payları (%10 iskonto oranı ve 25 yıllık süre için) Şekil 2.1’ de gösterilmiştir. (Kaynak: Proceedings of European Seminar on Nuclear in a Changing World, Avrupa Komisyonu, XII/0318/98.EN, Cilt I ve II, Brüksel, 14-15 Ekim 1998)

Çizelge 2.4 Dünya enerji rezervleri tahmini (EJ)

YAKIT TÜRÜ	Toplam Yıllık Üretim	Görünür Rezerv	Muhtemel Rezerv	Spekülatif Kaynak	Görünür Rezerv Tükenme Süresi (Yıl)
A) TÜKENİR KAYNAKLAR					
1)KATI YAKITLAR	101	20.310	115.100	195.500	201
Taş Kömürü	84	14.300	85.310	80.500	170
Y. Bitümlü Taşkömürü	4	3.280	33.610	87.500	820
Linyit	12	2.580	14.680	25.000	215
Turba	1	150	1.500	2.500	150
2)SIVI YAKITLAR	191,5	8.610	21.220	133.600	3.468
Ham Petrol	125	(*)138,5	1.580	7.800	32
Doğal Gaz	66	(**)138,3	6.670	11.000	81
Bitümlü Şist	0,1	270	11.340	100.000	2.700
Asfaltlı Kumlar	0,4	270	1.650	15.000	675
3)RADYOAKTİF YAK.	18	1.400	1.920	4.500	71
Uranyum	18	1.130	1.380	4.500	71
Toryum	-	270	580	-	-
U-Th(Uretken Esfeğır)	-	(84.300)	(115.620)	(267.000)	-
4)FÜZYON YAKITLAR					
D	-	-	-	1*10 ¹²	-
Li	-	-	-	5*10 ⁸	-
5)JEOTERMAL KAY.	0,5	50	480.000	431*10 ⁸	100
Yerkabuğu ısısı	-	-	430.000	430*10 ⁸	-
Doğal Akifer	0,5	50	50.000	1*10 ⁸	100
TOPLAM TÜKENİR K.	309	30.307	618.240	1*10¹²	171
B) YENİLENEBİLİR KAYNAKLAR					
Hidro	22	40	40	290	R
Biyomas	36	150	150	18.000	R
Güneş	0,01	-	10.000	5*10 ⁸	R
Rüzgar	0,01	-	500	5.000	R
Dalga	0	-	10	85	R
Med-Cezir	0,01	-	2	50	R
Termal Okyanus	0	-	200	4.500	R
T. YENİLENEBİLİR K.	58	190	10.902	5,2*10⁸	R

(*) 1992 Sonu itibariyle toplam görünür ham petrol rezervi (Milyar Ton)

(**) 1992 Sonu itibariyle toplam görünür doğal gaz rezervi (Trilyon M3), BP World 1993

R: Yenilenebilir

KAYNAK: Robertson Res. İnt., 1988

3. ÇEŞİTLİ YAKIT TÜRLERİ ve YKIP İLE ISITMA SİSTEMİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

3.1 Kömür

- Kömür merkezi sistemlerde bireysel sistemlere göre daha yüksek verimle yakılabilmektedir.
- Kömürün ısıttığı su veya buharın taşıma maliyetleri (pompalama enerjisi, borulardaki ısı kayıpları, vb) dikkate alındığında bireysel sistemler enerji tüketimi yönünden merkezi sistemlere göre genellikle daha masraflıdır. Zaten kömür genelde sadece basit bir sobayla kullanılır ve konutlarda sadece belli mahallin ısıtması mümkün olmakta evin diğer kısımları soğuk ve konforsuz olmaktadır.
- Kömürün dairelere taşınması, depolanması ve yakılması, külünün atılması gibi zorluklar konfor ve çevre şartlarını olumsuz etkilemektedir.
- Merkezi kazanlı ısıtma sistemleri bir nebze konforlu olsada, hava kirliliği nedeniyle toplu yerleşim bölgelerinde kömürün kullanım imkanı sınırlanmıştır.

3.2 Fuel-Oil ve Motorin

- Fuel-oil'in bireysel ısıtma sistemlerinde kullanım imkanı yoktur (veya çok zordur) denilebilir.
- Kömür için söz konusu olan dezavantajlara aynen sahiptir.
- Fuel-oil daha çok bölge ısıtmasında doğal gazın olmadığı yerlerde kullanılır.
- Motorin ise yine doğal gazın olmadığı yerlerde, LPG kullanımına da olanak yoksa bireysel sistemlerde kullanılmaktadır.
- Fuel-Oil No.6 Yalnız buhar veya kaynar su kazanlarında (ortalama su sıcaklığı 130°C'nin üzerinde olan) kullanılabilir. Fuel-oil No.6'da yüksek oranda kükürt vardır. Kazan suyu sıcaklığı 130°C'nin altında olursa kükürt yoğunlaşır ve sülfirik asit oluşur ve bu asit kazan borularını çürütür.
- Fuel-oil no.4 su sıcaklığı 80°C nin üzerindeki kazanlarda kullanılabilir.
- Fuel-oil No.6 , No.4' ten daha ucuz olmakla birlikte dezavantajları daha çoktur.
 - a-kazan verimi düşüktür
 - b-dağıtım kayıpları fazladır
 - c-ilk yatırım maliyetleri fazladır
 - d-işletme maliyeti daha fazladır.

3.3 Doğal Gaz

- Rensiz,kokusuz ve havadan hafif bir gazdır.
- Temiz bir yakıttır ve çevreyi kirletmemektedir.Gaz halinde olduğundan hava ile daha iyi bir karışım oluşturarak kolay yanar. Tam yandığında mavi alev oluşur.
- Doğal gaz boru hattı ile başta Rusya ve İran dan olmak üzere, çeşitli ülkelerden ve sıvılaştırılmış olarak tankerlerle Cezayir ve Nijerya'dan temin edilmektedir.
- Avrupa'da çok yaygın olarak kullanılan doğalgaz ülkemizde de 2002 yılına kadar İstanbul, Ankara, Bursa, Eskişehir, ve İzmit'te kullanılırken 2006 yılı başı itibariyle 16 şehir merkezinde kullanılmaktadır. 41 şehir merkezinde doğal gaz dağıtım projesi kapsamında alt yapı çalışmaları sürdürülmekte, 15 şehir merkezi için ise ihale süreci devam etmektedir.
- Kokusuz olması sebebiyle kaçak halinde fark edilebilmesi için özel olarak kokulandırılmıştır.
- En büyük dezavantajı ise ülkemizin doğal kaynakları arasında bulunmayıp, tamamiyle dışa bağımlı oluşumuzdur.Bir miktar Türkiye'de bulunsada bu kullanılan rakamın yanında çok düşüktür.

Çizelge 3.1 Doğalgaz alım anlaşmaları. Kaynak:Enerji Bakanlığı

Doğalgaz Alım Anlaşmaları

Mevcut Anlaşmalar	Miktar (Plato) Milyar m ³ /yıl)	İmzalanma Tarihi	Süre (Yıl)	Durumu
Rus. Fed. (Batı)	6	14.02.1986	25	Devrede
Cezayir (LNG)	4	14.04.1988	20	Devrede
Nijerya (LNG)	1,2	09.11.1995	22	Devrede
İran	10	08.08.1996	25	Devrede
Rus. Fed. (Karadeniz)	16	15.12.1997	25	Devrede
Rus. Fed. (Batı)	8	18.02.1998	23	Devrede
Türkmenistan	16	21.05.1999	30	2005
Azerbaycan	6,6	12.03.2001	15	2005

Ayrıca, İran'la 2007 yılının temmuz ayında bir doğalgaz alım anlaşması imzalanmış olup, alınan doğalgazın Türkiye üzerinden Avrupa'ya transferi söz konusudur. Hattın 2010 yılında devreye girmesi planlanmaktadır.

3.4 Elektrik

- Türkiye’de elektrik üretimi Termik,Hidrolik,Jeotermal ve Doğalgaz santralleri ile sağlanmaktadır.
- Isınma için direkt kullanımı durumunda yüksek maliyet söz konusudur.
- Bölgesel olarak ısınma için kullanmak istenirse çekilen yüksek akımlara elektrik dağıtım hatları dayanmayacaktır.
- Temiz ve çevreye zarar vermeden ısınmak mümkündür.

3.5 Yakıt Maliyetleri

Çizelge 3.2’de 1993 yılından 2005 yılına kadar yakıt fiyatları görülmektedir. Çizelge 3.3’de ise bu fiyatlar kullanılarak yakıtların bilinen alt ısı değerleri kullanılarak ısınma için gerekli günlük maliyetler hesaplanmıştır. Görüldüğü gibi kömür en ucuz yakıt olarak karşımıza çıkmaktadır.Ancak kullanım zorlukları, taşıma, temizleme ve tüm evi ısıtamama, baca basması denilen rüzgarlı ve kötü havalarda kömür sobalarından kaynaklanan ölümler, kalabalık şehirlerde meydana gelen hava kirliliği ve çevre sorunları yüzünden ucuz olmasına rağmen kullanımı sınırlanmıştır. Burada Doğalgaz, hem kullanım konforu hemde ucuz olması ve çevreyi kirletmemesi açısından ön plana çıkmıştır.

YKIP ile ısıtma sistemide ucuz, temiz hatta doğalgazdan daha konforlu bir sistemdir. Çünkü kışın ısıtma yaptığımız gibi yazın sistemi ters çalıştırarak soğutma yapılabilmektedir. Kullanım fiyatı olarak doğal gazdan bir miktar pahalı gibi gözüksede uzun vadede ülkemizin doğal kaynaklarının kullanılması ve yabancı kaynaklara bağlı kalmamamız açısından daha uygun bir sistemdir. İlk yatırım maliyetleri YKIP’ında bugün için biraz yüksek çıksada kullanımın yaygınlaşması ve teknolojisinin gelişmesi yakın gelecekte bu maliyetleri aşağı çekecektir.

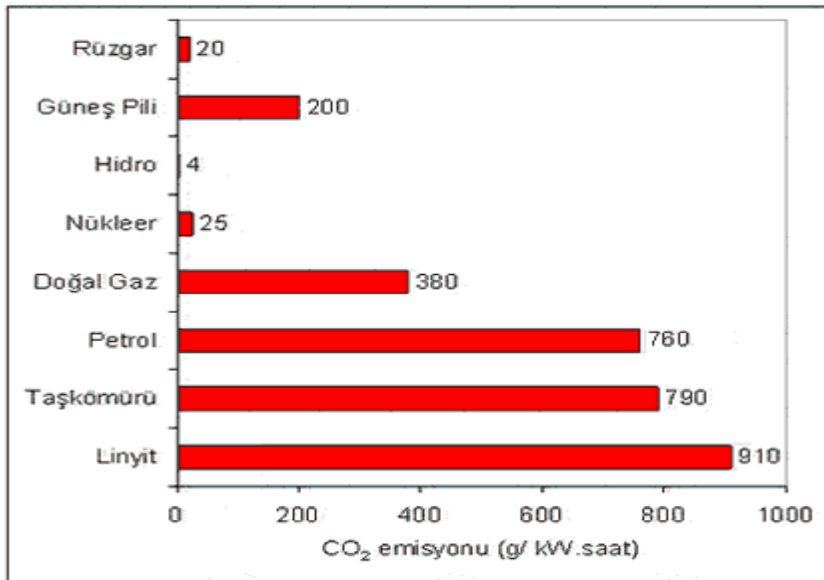
Çizelge 3.2 Yakıt Fiyatları (Enerji Bakanlığı)

	Fuel Oil	Gaz Yağı	Motorin	Kurşunsuz Benzin	Normal Benzin	Doğal Gaz (Sanayi)	Doğal Gaz (Mesken)	Linyit (Sanayi)	Linyit (Mesken)	Taşkömürü (Sanayi)	Elektrik (Sanayi)	Elektrik (Mesken)
	YTL/Ton	YTL/Litre	YTL/Litre	YTL/Litre	YTL/Litre	YTL/10 ⁷ kcal	YTL/10 ⁷ kcal	YTL/Ton	YTL/Ton	YTL/Ton	YTL/kwh	YTL/kwh
1993	1,68	0,005	0,005	0,007	0,007	1,7	2,9	0,47	0,73	0,52	0,001	0,0011
1994	3,6	0,012	0,01	0,016	0,016	4,2	6,2	0,94	1,5	1,32	0,0023	0,0023
1995	8	0,022	0,019	0,029	0,029	7,2	9,6	1,64	2,65	3,44	0,0035	0,0035
1996	15	0,044	0,04	0,056	0,056	15,3	17	2,99	5,28	7,15	0,007	0,0072
1997	27,6	0,085	0,079	0,116	0,117	30,2	36,2	5,82	9,57	14,64	0,0117	0,0121
1998	40	0,128	0,119	0,192	0,195	44,9	56,8	9,78	14,94	21,38	0,0196	0,0206
1999	72,8	0,25	0,237	0,363	0,365	68	94,6	14,74	22,89	25,87	0,0333	0,035
2000	128,9	0,435	0,435	0,583	0,582	109,4	162,1	20,22	32,37	43,69	0,05	0,0528
2001	222,6	0,776	0,733	0,992	0,993	246,2	297,9	39,08	52,89	76,8	0,0974	0,1027
2002	400,5	1,084	1,096	1,477	1,481	325,8	385,1	63,78	79,9	113,69	0,1424	0,1499
2003	457,4	1,308	1,394	1,804	1,81	344	398,8	66,95	89,47	120,93	0,1494	0,1587
2004	493,6	1,4	1,539	1,959	1,966	328,4	371,1	58,15	106,89	147,6	0,1428	0,1583
2005	731,1	1,84	1,956	2,535	2,52	408,4	485,5	64,1	118,2	173,07	0,1428	0,1583

Çizelge 3.3 Isınma için gerekli günlük maliyetler hesaplanmıştır

Yakıt Türleri	Ortalama ısı değerleri	Ortalama Verim	Birim Fiyat	Isıtma için gerekli ortalama günlük yakıt miktarı	Günlük ısınma maliyeti
Doğal Gaz	8250 kcal/m ³	91%	485,5 YTL/10 ⁷ kcal	9m ³ /gün	3,6 YTL
Linyit	2500 kcal/kg	69%	118,2 YTL/Ton	29,7 kg/gün	3,51YTL
Taş kömürü	3800 kcal/kg	69%	173,07 YTL/Ton	19,6 kg/gün	3,4 YTL
Fuel-Oil	9700 kcal/kg	81%	731,1 YTL/Ton	7,65 kg/gün	5,6 YTL
LPG	11000 kcal/m ³	91%	1,06 YTL/m ³	6,75 m ³ /gün	7,15 YTL
Gaz yağı	10200 kcal/litre	85%	1,84 YTL/litre	7,27 litre/gün	13,37 YTL
Elektrik	860 kcal/kWh	99%	0,1583 YTL/kWh	86 kWh/gün	13,61 YTL
YKIP	860 kcal/kWh	3,5 COP	0,1583 YTL/kWh	24,57 kWh/gün	3,88 YTL

Not: Bir evin İstanbul için günlük ısı kaybının 74250 kcal/gün olduğu varsayılarak hesaplanmıştır.



(Kaynak: Choosing the Nuclear Power Option: Factors to be considered, UAEA, 1998)

Şekil 3.1 Enerji üretim türlerine göre CO₂ emisyonu görülmektedir.

4. DÜNYADA YER KAYNAKLI ISI POMPASI UYGULAMALARI

Yer kaynaklı ısı pompası sistemleri yeni sistemler değildir. Bu konuda ilk patentler İsviçre’de 1912 yılına kadar gitmektedir. En eski YKIP sistemlerinden biri Amerika Birleşik Devletleri’ndeki New Haven’deki Birleşmiş Aydınlanma Merkezi’nin ısıtmasında 1930 yılından beri kullanılmaktadır. New Haven, Connecticut’tadır

Dünyadaki jeotermal enerjinin direkt uygulamasında, YKIP en büyük büyüme oranını 1995 yılında %59 luk oranla gerçekleştirmiştir. Toplam enerjinin %9.7 sini sağlamıştır. Bu büyümenin büyük bölümü ABD ve Avrupada, Japonya ve Türkiye gibi diğer ülkelerdeki ilginin artmasına rağmen daha fazla olmuştur.

Döşenmiş kapasite 6875 termik çıkarılmış megawatt, (MWt) ve yıllık enerji kullanımı 23287 terajoules (TJ/yıl) veya 6453 gigawatt-saat (GWh/yıl) veya 82000kW/yıl. 2000 li yılların başında toplam 27 ülkede (Çizelge 4.1)

Çizelge 4.1 gösteriyorki kullanılan ünitelerin sayısı yaklaşık 500000 ve 12 kw ünitelerin sayısı 570000’ in biraz üzerinde. Çizelgeye göre 450000 ünite şu anda ABD’de. Buradan hareketle bu oranda kullanımla 1.1 milyon ünite 2010 yılında toplam 1.5 milyon üniteye oranla ABD’de kullanılıyor olacaktır.

Dünyanın en büyük YKIP uygulamalarına Galt house east oteli ve Kentucky Lousville’deki Waterfront ofis binasını gösterebiliriz. 4700 ton kapasiteli YKIP sistemi ısıtma ve soğutma ihtiyacını karşılamak için kullanılmıştır.

Galt house east oteli 70000 m² alana 1984 yılında kurulmuş ve 1700 tonluk YKIP sistemi mevcuttur. Sistem 1500 \$/ton maaliyetle kurulmuştur. Karşılaştırmak gerekirse geleneksel sistemle kurulsaydı 2000 veya 3000\$/ton maaliyet gerekecekti. Otel kompleksinin enerji kullanımı YKIP kullanmayan benzer bir sisteme göre %53 daha az olup, aylık 25000 \$ enerji maaliyetleri azalmıştır.

Waterfront ofis binaları 1994 yılında kurulmuş olup 89000 m² ofis alanı ve 3000 ton YKIP sistemi projesi yapılmıştır. Bu proje dünyanın en büyük ticari YKIP sistemi projesidir. Galt House East otelinin 15 yıldır hiçbir sistem problemi olmadan çalıştığı ve YKIP’sının tahmin edilenden daha iyi performans sergilediği rapor edilmiştir.

En büyük ticari alanda uygulanmış YKIP sistemlerinden biride New Jersey Pomana’daki Stockton College’inde bugün çalışmaktadır. 63 adet YKIP sistemi toplam 1655 ton (5825 kW) kapasite ile her biri 129 m. derinlikte 400 adet ısı eşanjörüne bağlanmıştır.

Çizelge 4.1 Dünyada jeotermal ısı pompası uygulamaları

ÜLKE	MW _t ^a	TJ/yıl	GWh/yıl	Geçerli Sayı	Eşdeğer Sayı
Avusturalya	24	57,6	16	2000	2000
Avusturya	228	1094	303,9	19000	19000
Bulgaristan	13,3	162	45	16	1108
Kanada	360	891	247,5	30000	30000
Çek Cumh.	8	38,2	10,6	390	663
Danimarka	3	20,8	5,8	250	250
Finlandiya	80,5	484	134,5	10000	6708
Fransa	48	255	70,8	120	4000
Almanya	344	1149	319,2	18000	28667
Yunanistan	0,4	3,1	0,9	3	333
Macaristan	3,8	20,2	5,6	317	317
İrlanda	4	20	5,6	33	33
İtalya	1,2	6,4	1,8	100	100
Japonya	3,9	64	17,8	323	323
Litvanya	21	598,8	166,3	13	1750
Hollanda	10,8	57,4	15,9	900	900
Norveç	6	31,9	8,9	500	500
Rusya	1,2	11,5	3,2	100	100
Polanya	26,2	108,3	30,1	4000	2183
Sırbistan	6	40	11,1	500	500
Slovak cum.	1,4	12,1	3,4	8	117
Slovenya	2,6	46,8	13	63	217
İsveç	377	4128	1146,8	55000	31417
İsviçre	500	1980	550	21000	41667
TÜRKİYE	0,5	4	1,1	23	43
İngiltere	0,6	2,7	0,8	49	53
ABD	4800	12000	3333,6	350000	400000
Toplam	6875,4	23286,9	6453,1	512678	572949

a: Isıl olarak elde edilmiş megawatt

Kaynak: Lund 2000

Lund'un 2003 yılında yaptığı bir diğer çalışmaya göre toplam sayı 572949' dan, 800000 üniteye çıkmıştır.

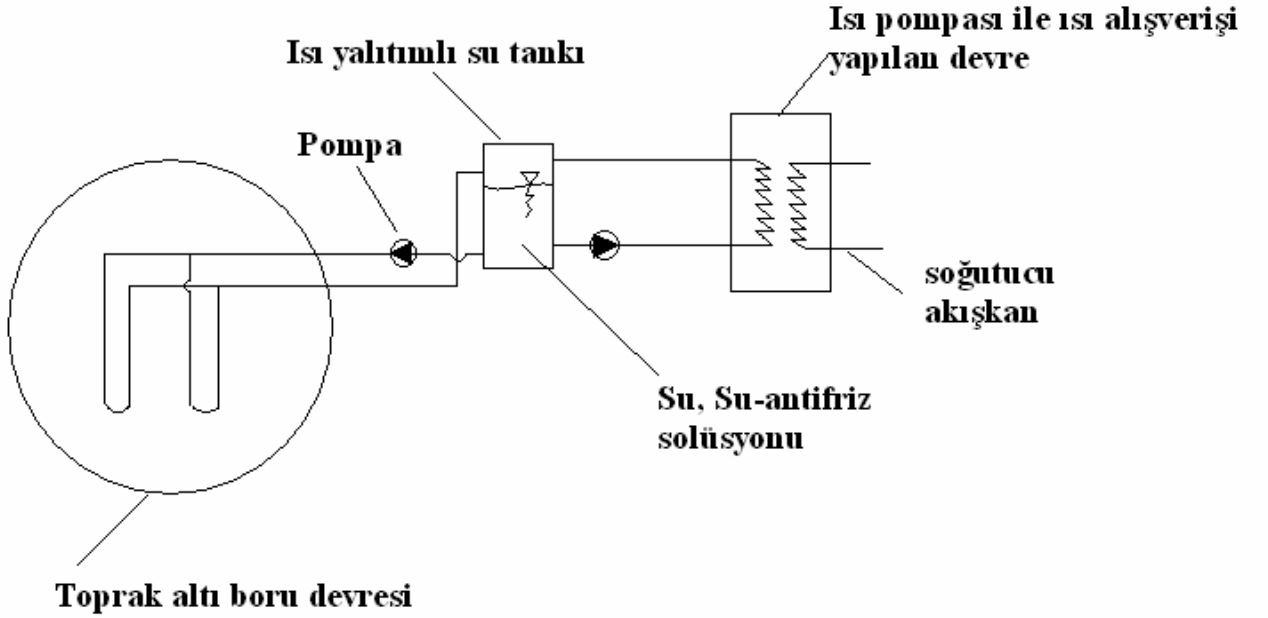
5. TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASI SİSTEMİNİN ELEMANLARI

YKIP'ları yıl boyunca sıcaklığı 7 ila 21 °C arasında değişen toprak sıcaklıklarını kullanarak düşük hava sıcaklıklarının yaşandığı mevsimlerde oluşabilecek donma tehlikesinden kurtularak etkili ısıtma ve soğutma yapar. Bu sistemlerle kazanılan verimlilik etkileyici seviyede ve ticari kullanıcılara geleneksel sistemlere göre %50'nin üzerinde verim artışı sağlamaktadır. Ayrıca kullanıcıların bakım maliyetleride düşmektedir. YKIP'ları toprağın kararlı sıcaklığını ısı kaynağı olarak kullanıp kış aylarında binaları ısıtır ve yaz aylarında toprağı bir ısı çukuru olarak kullanıp binaları soğutur. Binaların ısıtma ve soğutmasında kullanılan YKIP'ları 3 farklı alt sistemin birleşmesinden oluşur.

- Toprak altı yer ısı eşanjörü
- Isı pompası ünitesi
- Isı dağıtım sistemi

6. TOPRAK ALTI YER ISI EŞANJÖRÜ

Sistem kışın ısı enerjisini hava kaynaklı ısı pompaları yada halk arasında bilinen yaygın ismiyle klima denen cihazlar gibi havadan almaz. Eşanjörün devrelerinden bir tanesi toprak altına döşenmiş borular olup, kışın ısıtma sezonunda içerisinde geçen soğuk akışkanın toprağın ısınıp emerek ısınmasını sağlar. Yazın ise soğutma yaparken içerisinde geçen sıcak akışkanın soğumasını sağlar. Borular içerisinde su yada su-antifriz solüsyonu bir pompa yardımı ile sirküle olmaktadır. Eşanjörün ikinci devresi ise ısı pompası ile bağlantılı olup ısı pompasındaki ısının borulara geçmesini ya da borulardaki ısının ısı pompasına geçmesini sağlar.



Şekil 6.1 Yer devresi elemanları

Soğutucu akışkan bakır boru sistemi içinden geçmektedir. İkincil akışkan yer ısı eşanjöründen geçmektedir. Yer ısı eşanjörünün içerisinde su veya su-antifriz solüsyonu bulunmaktadır. Yer ısı eşanjörü hava şartlandırması yapılacak binaya yakın bir yere döşenmiştir.

6.1 Toprak altı boru devresi

YKIP'ları için en önemli noktalardan biri toprak altındaki boruların ne kadar, ne şekilde, nasıl, ne zaman yerleştirileceği ile ilgilidir.

6.1.1 Ne zaman

borular yerleştirilmelidir sorusuna verilecek en uygun cevap bizim ilk yatırım maliyetlerimizi düşürebilecek bir uygulama olmalıdır. Böyle bir sistem için en uygun olan daha bina inşa edilmeden önce inşaatın başlaması için gerekli olan hafriyat ve kazma işlemleri yapılınc boruların döşenmesidir. Bu şekilde tek bir hafriyat ile hem borular döşenecek hemde inşaat başlanacaktır. Bu iş için en uygun olan daha ortada bina dahil hiç birşey yokken projenin yapılması ve adımların birlikte atılmasıdır. Ancak YKIP sistemini mevcut binalara uygulamakta mümkündür. Bu durumda arazide tekrar kazı yada sondaj yapılacak buda bizim ilk yatırım maliyetimizi biraz artıracaktır.

6.1.2 Ne kadar

boru yerleştirilmelidir sorusuna verilecek cevap ise tamamen ısı kayıp ve kazanç hesapları ile ilgilidir. Kışın topraktan çekilmesi gereken maksimum ısı yükü için gerekli boru uzunluğu ile yazın toprağa atılması gerekebilecek maksimum ısı yükü için gerekli boru boyları hesaplanır ve kış veya yaz değeri için bulunan değerlerden hangisi daha uzun boru gerektiriyor ise o uzunlukta boru kullanılmalıdır.

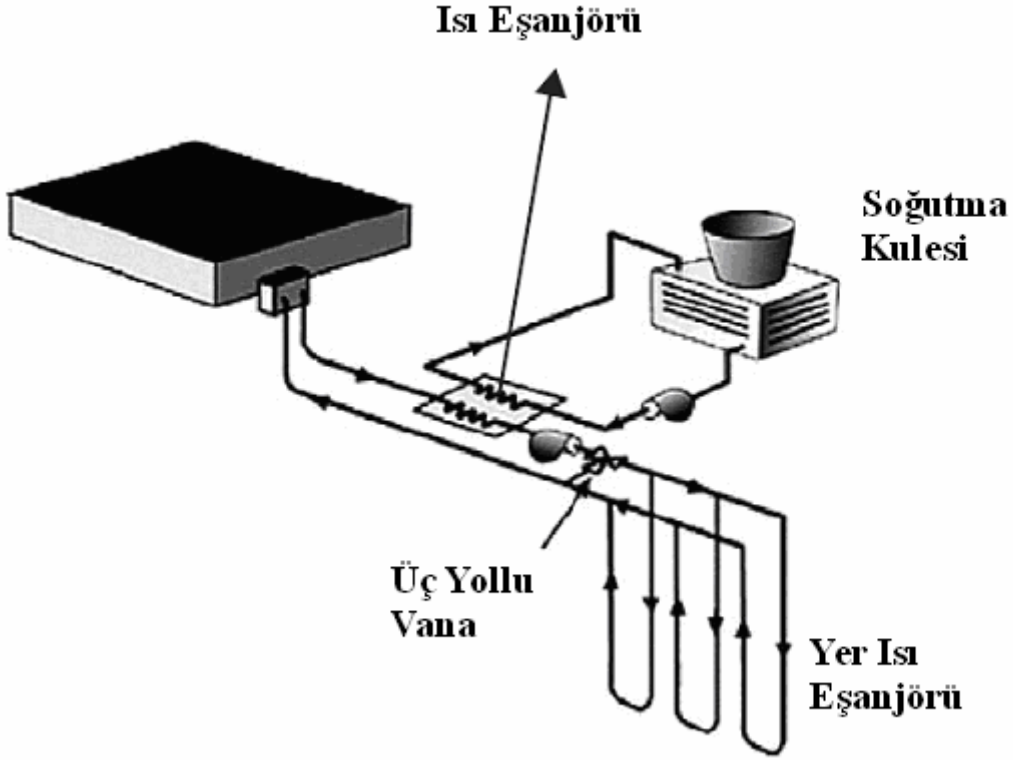
6.1.2.1 Hibrit sistemler

Yer kaynaklı ısı pompası sistemleri evler ve ticari binalar için ısıtma ve soğutma uygulamasına yönelik geleneksel sistemlere göre yüksek enerji verimleri ile çok cazip bir alternatif uygulama seçeneği sunmaktadır. Fakat sistemin yüksek ilk yatırım maaliyeti teknolojinin uygulanabilirliği açısından belirgin bir dezavantaj olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle ticari ve endüstriyel uygulamalarda düşey yer ısı eşanjörü tercih edilmektedir. Bu tip binalarda genellikle ağırlıklı olarak soğutma yapılmakta ve bu yüzden toprağa çekilen ısıdan çok daha fazla ısı pompalanmaktadır. Sonuç olarak gerekli yer ısı eşanjörü uzunluğu ısıtma yükü uzunluğu ihtiyacına göre soğutmada çok uzun çıkmaktadır. Yer ısı eşanjörünün boyunu kısaltmak ve ilk yatırım maaliyetini düşürmek için ısı yüklerini dengelemek ve artık ısıyı atmak için sisteme ikinci bir ısı atıcı eklemek uygundur. Bu tip sistemler Hibrit sistemler olarak bilinir.

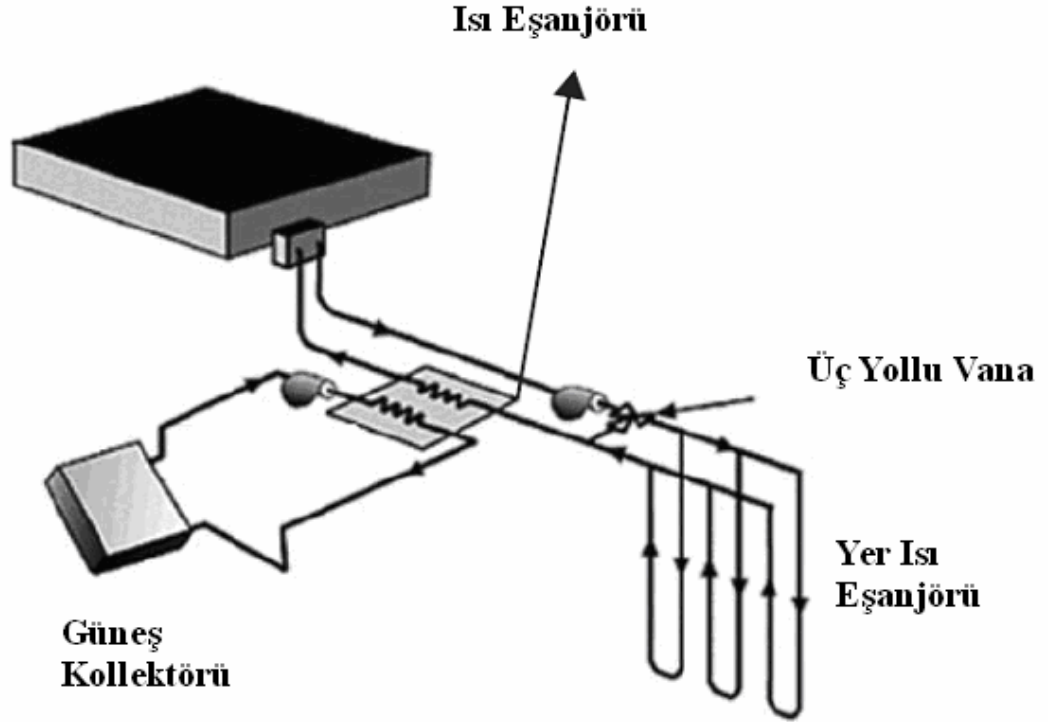
İlave ısı atıcı sistem olarak soğutma kulesi, akışkan soğutucu, soğutma havuzu veya asfalt ısıtma sistemi gibi yöntemlerden birisi kullanılabilir. Hibrit YKIP sistemlerinin dizaynı için önerilen geçerli yöntemlerden birisi yer ısı eşanjörünün yıllık ısı yükünün ikincil ısı atıcısının yıllık ısı yüküne dengelenmesidir. Bu yüzden sistem bileşenlerinin tasarımı ikincil ısı

atıcısının kontrolü stratejisine dayanır. Uzun süre çalışan küçük bir ikincil ısı atıcısının yapacağı işi, kısa süre çalışan büyük bir ikincil ısı atıcısı yapabilir. Bu yüzden yer ısı eşanjörü ile ikincil ısı atıcısı arasında bir denge kurmak ve kontrol stratejisi geliştirmek en iyi ekonomik seçeneği belirlemek için gereklidir.

Kuzey bölgelerindeki iklimlendirme sistemlerinde ise ısıtma ihtiyacı yapılacak dizaynın belirleyici faktörü olduğu için ikincil destek sistemi olarak güneş kolektörleri kullanılabilir. Kolektörler kapalı sistem yer ısı eşanjörümüzün boyunu kısaltacaktır. Suyu ısıtmak için geliştirilmiş güneş panelleri ısı transfer akışkanımıza ilave ısı sağlayacaktır. Bu durumda ısı pompamızın verimi artacaktır.



Şekil 6. 2 Soğutma yapılan sistemlerde hibrit sistem uygulama örneği



Şekil 6.3 Isıtma yapılan sistemlerde hibrit sistem uygulama örneği

6.1.3 Ne şekilde

sorusuna verilebilecek cevap ise kapalı sistemlerde 2 çeşittir. Borular toprak altına yatay veya düşey döşenebilir. Arazinin imkan verdiği, bahçenin geniş olduğu yerlerde boruların yatay döşenmesi montaj maliyetleri açısından daha düşük maliyetlerle sonuçlanabilir. Ancak arazinin kısıtlı olduğu durumlarda ve özellikle ticari binalarda kullanımında düşey sistemler daha çok kullanılmaktadır. Bu durumda derin sondaj yapılmaktadır. Açık sistemlerde ise göl, deniz uygulamaları, suyun bir kuyudan alınıp başka kuyuya pompalanması gibi sistemler mevcuttur.

6.1.4. Nasıl

YKIP sistemi, tersinir bir buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi ile bağlı olduğu kapalı, toprağa gömülü yer ısı eşanjörünü anlatır. En yaygın kullanılan birim, su hava ısı pompası olup, bu sistemde suyu yada su-antifiriz karışımını bir sıvı soğutkan ısı eşanjöründen ve yere gömülü bulunan termoplastik borulardan sirküle eder. İkinci tür YKIP, direkt ekspansiyonlu olup içerisinde soğutkanın sirküle ettiği yere gömülü bakır boruları içerir. Su-hava yada su-su ısı pompalarının YKIP'lerinin ikincil bir çözelti devresi kullanması bunları, DG-YKIP (Direkt genişlemeli) sistemlerinden ayırt eden unsurdur. YKIP sistemleri ısı eşanjör tasarımına göre

iki şekilde yatay ve düşey olarak tanımlanır. Düşey YKIP'ları yaygın olarak küçük çaplı, yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) boruların yere delinmiş bir kanal içerisine yerleştirildikten sonra çevresinin katı bir madde ile doldurulması biçiminde yapılır.

Borular deliğin dibinde kısa dönüştü U-bükümü yapılarak ısıtma açısından garantiye alınır. Düşey borular 20-40 mm nominal çaplar arasında değişir. Delik derinliği ise yerel delme koşulları ve mevcut ekipman olanaklarına göre 15-180 m. arasındadır.

Borular ızgara biçiminde döşendiğinde borular arasındaki uzaklığın en az 6 m. yapılması önerilir. Delikler tek sıralı olduğunda bu uzaklık daha kısa tutulabilir. Yıllık ısıtma yükü yıllık soğutma yükünden daha fazladır yada düşey su hareketi, boru devresi bölgesinde ısıtma tabakalaşma etkisini azaltır.

6.1.4.1 Düşey YKIP sistemin avantajları şöyle özetlenebilir.

- Nispeten küçük bir arazi parçası gerektirmesi.
- Isıl özellikler ve sıcaklık bakımından çok az değişiklik gösteren toprakla temasta olması.
- En küçük miktarda boru ve pompalama enerjisi gerektirmesi.
- En etkili YKIP sistem performansını verebilmesidir.

6.1.4.2 Sakıncaları ise;

- Yere deliklerin delinebilmesi için pahalı ekipman gerektirdiğinden kurulum maliyeti yüksekliği.
- Bu tür bir işi üstlenecek yüklenicilerin bulunmasında güçlükler yaşanabilmesidir.

Yatay YKIP'ları tek borulu, çok borulu ve spiral olmak üzere en azından üç gruba ayrılabilir. Tek borulu yatay YKIP'ları önceleri en az 1.2 m. derinlikteki dar kanallara döşenmiştir.

Bu tasarım biçimi geniş bir arazi alanına gerek gösterir. Çok borulu sistemde borular (iki, dört, altı) gerekli yer alanını azaltmak amacıyla tek kanal içerisine döşenir. Çok boru kullanarak kanal uzunluğu azaltılmış olur fakat, komşu boruların ısıtma girişiminden kaçınmak için kanal uzunluğunun artırılması gerekir. Bu spiral serpantinli gerekli yer alanını daha da azaltır. Bu tür yatay yerel ısı eşanjörleri, dar bir kanal içerisine yerleştirilecek biçimde yapılmış küçük çaplı polietilen boruların çekilerek genişletilmesi yoluyla ya da, geniş bir kanal dibine düz biçimde döşenmesiyle elde edilir.

Önerilen kanal uzunluğu tek borulu yatay YKIP'sının %20-30 'u kadar ise de, kanallar eşdeğer ısı performansını sağlayabilmek için bunun iki katı yapılırlar.

6.1.4.3 Yatay YKIP'larının avantajları şöyle özetlenebilir.

- Genellikle düşük maliyette kurulum ekipmanı genişlikle kullanıldığından, düşey YKIP'larına göre daha düşük maliyettedir.
- Bir çok konutsal uygulamada yeterli bir yersel alan bulunur.
- Eğitimli işletme elemanları her yerde bulunabilir.

6.1.4.4 Geniş bir yersel kurulum alanı gerektirmesine ek olarak diğer bazı sakıncaları;

- Toprak sıcaklıkları ve ısı özellikleri mevsim, yağmur ve gömme derinliğine göre değişir.
- Pompalamada enerji gereksinimleri biraz daha yüksektir.
- Sistem verimleri daha düşüktür.

7. TOPRAK ALTI KAPALI ÇEVİRİMLER

Boru hatları seri veya paralel olabilir. Seri hatların avantajı imalat ve montaj kolaylığıdır. Bununla birlikte daha büyük boru çapları gerektirdiğinden maliyeti fazladır ve belirli bir uzunluktan sonra basınç düşüşü çok artacağından ötürü kapasite sınırlaması söz konusudur. Paralel hatlarda ise nispeten küçük boru çapları sebebiyle maliyet düşüktür. Ancak bu hatlardaki havanın alınması daha zordur ve herbir paralel hattaki debinin eşit olması sağlanmalıdır.

Yatay borulamada en önemli hususlardan biri açılan hendeklerin geri doldurulmasıdır. Borular herhangi bir hasara karşı korunmak üzere, ısıtılabilir nitelikleri uygun bir kum ile yastıklanmalıdır. Ayrıca geri doldurma esnasında boruların bükülmemesine de dikkat edilmelidir. Bunun için boru hatlarında keskin dönüşlerden ve dirseklerden mümkün olduğunca kaçınılmalı ve geniş kavisler şeklinde dönüş yapılmalıdır.

Geri doldurma dikey deliklerde de özel bir önem taşır. Özellikle farklı yer altı katmanlarındaki suların karışmasını önlemek üzere özel geri doldurma malzemeleri kullanılarak sondaj delikleri kapatılmalıdır. Ancak böyle bir durumda dikey borulama sisteminin maliyeti artacaktır.

7.1 Yatay Tasarım

Kapalı devreli bir YKIP, teorik olarak toprakta 5 m. uzaklığa kadar bir çevrede sıcaklık değişimi yaratır. Buna karşılık, bütün pratik amaçlar için, boru devresinden 1 m. uzaklıktan sonra sıcaklık değişmez kabul edilebilir. Bu nedenle, boru devresi toprağın sağladığı orta sıcaklık düzeylerinden yararlanmayı sürdürerek yer üstüne yakın bir derinliğe gömülü olarak döşenebilir.

Toprak sıcaklığı 2 m. derinlikte ± 2 K oynama gösterdiğinden ısıtma ağırlıklı bütün bölgelerde antifriz çözeltileri kullanılmalıdır. Yatay uygulamalardaki kritik tasarım özelliği, ekipmanı besleyebilecek kapasitedeki bir devre uzunluğunun kullanılabilir alanda gömülebilmesidir.

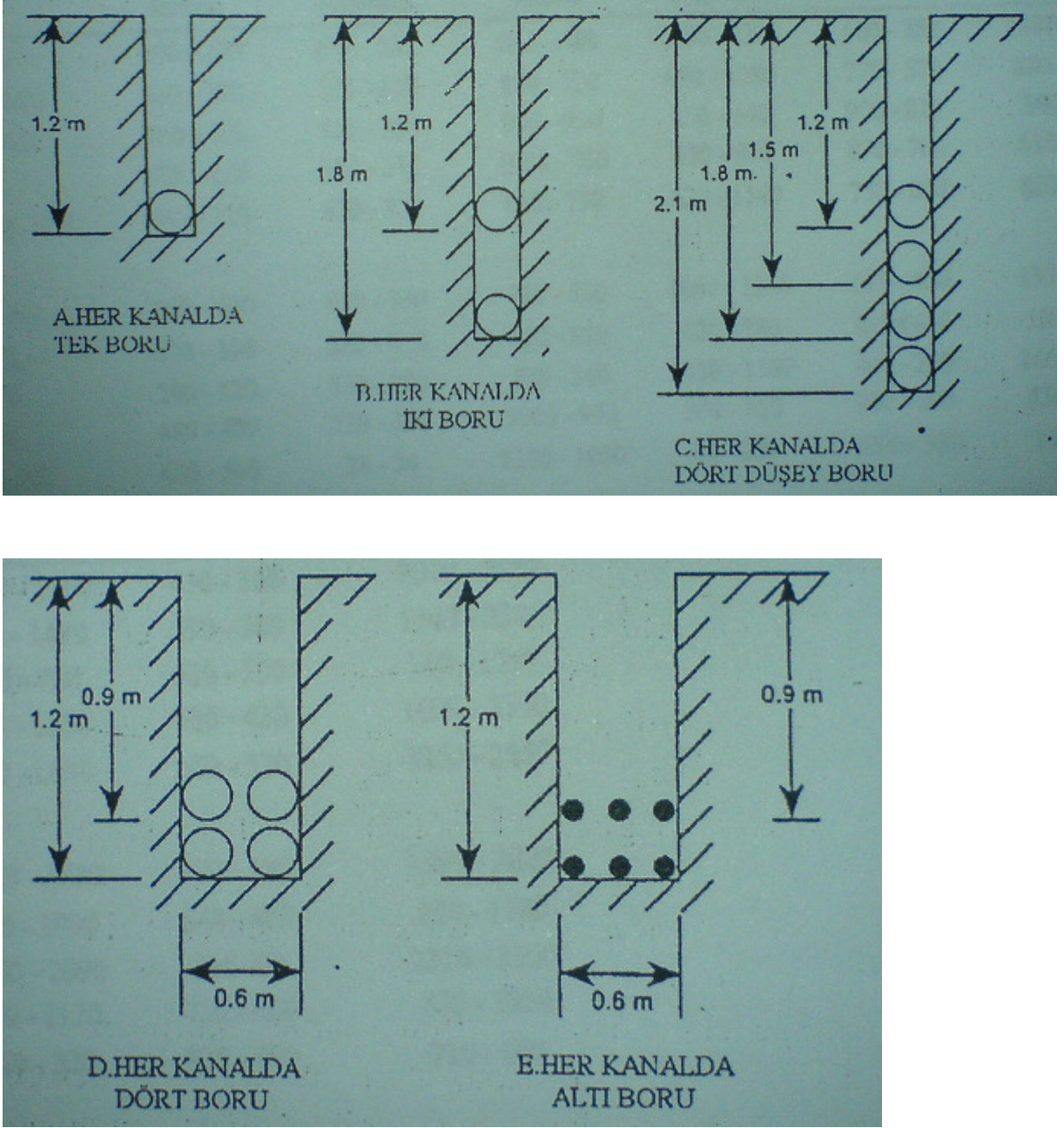
7.1.1 Kapalı devre, yer kaynaklı ısı pompaları yatay tasarım biçiminde, düşey olana göre bazı üstünlüklere sahiptir;

- Kanal açma ekipman maliyeti, delgi ekipman maliyetinin sadece bir kesri olduğundan, yer altı devresinin kurulumu düşey uygulamaya oranla çok daha düşüktür.
- Yer kaynaklı pompa kurulumu yapan yükleniciler genelde, ana boruların yerleştirileceği ve binaya geçişi sağlayan çukurların açılmasını sağlayan kazma ekipmanına sahip olduklarından işin bir başka yükleniciye bölünmesine gerek kalmaz.
- Ağırlıkları ve boyutları nedeniyle delgi ekipmanları her alana girerek çalışamaz. Kanalin sığ bir derinlikte döşenmesi nedeniyle su çukurunun kirlenme olasılığı yoktur.
- Toprak yüzeyinde ortaya çıkan ısı transferi yanında toprakla boru devresi arasındaki ısı transferi çok küçük olduğundan, yıllık yük değişimleri nedeniyle oluşabilecek sıcaklık etkileri çok küçüktür.

7.1.2 Yatay boru uyarlaması tasarımını sınırlayan bazı etkenler aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Ortalama bir konuta hizmet vermek üzere spiral olmayan borular için gerekli arazi alanı en az 2000 m² 'dir. Yatay düzenleme biçimi, genellikle küçük parseller üzerine kurulu bulunan kentsel evler için uygun değildir.
- Yere yakın döşenmiş olan en kalın devre borusunun, arazideki diğer kazı işlemlerinde kesilmeye uğraması olasıdır.
- Gerekli boru devre uzunluğu hesaplanırken özellikle yazın kuruyabilen kumlu topraklarda ve bayır tepelerinde, toprağın nem düzeyi de dikkate alınmalıdır.
- Yüzeye yakın kayalık bulunması durumunda kazıcının çalışması güçleşir, hatta bazen olanaksızlaşır.

Birden çok boru kullanıldığında bunlar, yatay devre uygulaması için gerekli alanı azaltmak üzere tek kanal içerisine döşenir. Şekil 7.1'de bazı çok borulu uygulamalar gösterilmektedir. Borular iki farklı derinlikte yerleşiyorsa, alttaki sıra döşenir ve üzerine yeteri kalınlıkta dolgu yapıldıktan sonra ikinci sıra yerleştirilir. Kısmi dolgu yapma işlemleri sırasında geçen zaman çok artacağından aynı kanal içerisine ikiden fazla boru nadiren uygulanır. Bir tek kanaldaki yüksek boru yoğunlukları, her borunun ısı transfer verimi boruların ısı girişimleri nedeniyle azalacağından, dönüş hatlarının düşürülmesini sağlar. En yaygın kullanılan çok borulu uyarlamalar, zincirli kazı makinaları ile açılan kanalların kullanıldığı iki borulu uyarlamalar ile, geniş bir kepçeye sahip kazıcılarla açılan kanallara uygulanan dört yada altı borulu düzenlemelerdir.



Şekil 7.1 Bazı çok borulu uygulamalar.

Şekil 7.2’de gösterilen üst üste binmiş spiral uygulamada, belli bir başarı düzeyi ile uyarlanabilir.

Kanal dolgusu ve spiral uyarlamalar için gereken fazla boru miktarı, hemen hemen düz boruların kurulumundaki maliyete yaklaşıp. Buna karşılık, daha kompakt bir tasarım için gerekli alanın azalması, bunların düz boruların uygulanması için çok küçük olan konutsal uygulamalarda kullanımını sağlayabilecektir.

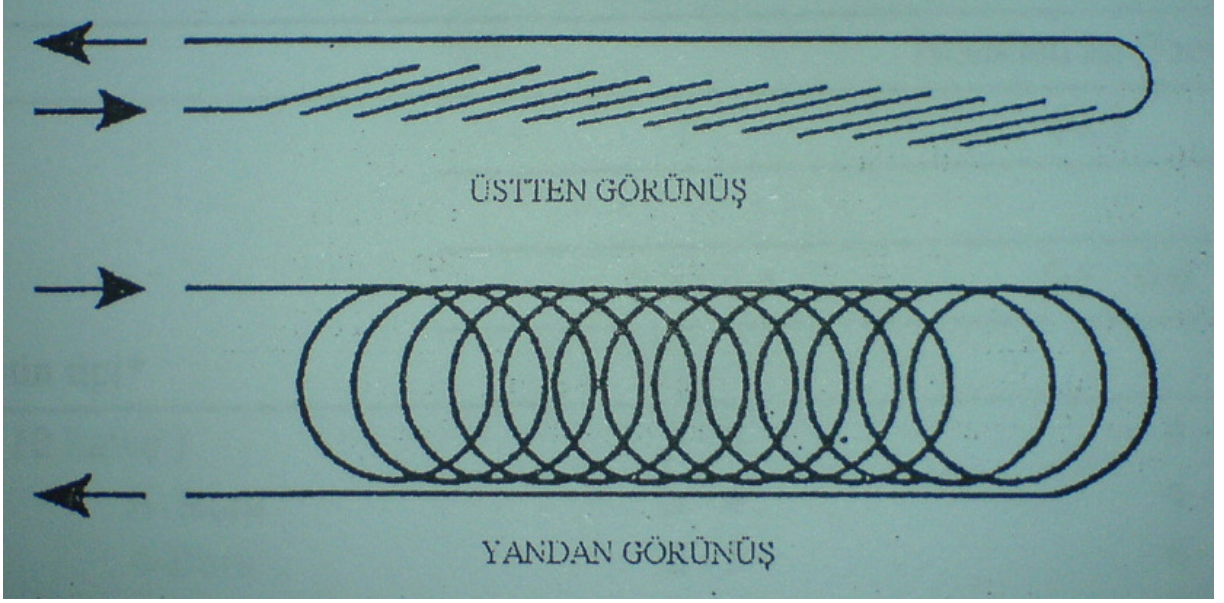
Buna karşılık, böyle bir düzenlemede, birbiri üzerine binen borular arasında kalan boşlukların tamamen toprakla doldurulmasını sağlayabilmek için dikkat etmek gerekir. Borular arasındaki toprağı kompakt hale getirmek için bol miktarda su eklemek gerekir. İyi bir toprak teması sağlamak ve boşlukların tam olarak doldurulmasını garanti altına almak üzere geniş aşamalı dolgu işlemi uygulamak yerinde olacaktır. Yüksek boru yoğunlukları (kanalın metre uzunluğu başına 10 m.'ye kadar boru) uzun süren ekstrem hava koşullarında, ısıtma mevsiminde toprağın donması, soğutma mevsiminde toprağın kurumasından kaynaklanan sorunlara neden olur. Spiral tasarım biçimi, zincirli kazıcı ile açılmış düşey kanallarda olduğu kadar, bir buldozerle açılmış geniş bir kanalın dibine boruları düz biçimde döşeyerek de uygulanmıştır. Bir kanalın dibine oturan biçimde döşenen spiral borular, düşey bir kanalda asılı durumda döşenen spiral borulara oranla daha iyi sonuç vermiştir.

Dolgu yapmak için gerekli ek zaman ve fazladan boru uzunluğu, spiral boru uyarlamasını hemen hemen düz borulu uyarlamalar kadar pahalı bir hale getirmektedir. Buna karşılık, kompakt bir tasarım için daha küçük bir alana gerek göstermesi, düz boruların uygulanması için çok küçük kalacak olan konutsal uygulamalarda kullanılmasına izin verir. Spiral boruların açılıp düzleştirilerek kanal dibinde uygulanması, kumlu toprak yapısı nedeniyle düşey kanalların kalıcı olmadığı orta batı ABD'nin kuzey bölgelerinde görülmektedir. Önce geniş bir kanal buldozerle kazılmakta daha sonra spiral borular düz biçimde kanalın dibine döşenmektedir. Buldozerle, makinenin ilerlemesi sırasında boruların üzerinden geçmemesine dikkat etmek koşulu ile, kanala dolgu yapılmasında da kullanılabilir.

Yatay kapalı devre sistemlerinin önemli bir kısmının ya bir zincirli kazıcı ya da bir ekskavatör yardımıyla döşenmesine rağmen, bu uygulama için artık yatay delgi makineleri de üretilmektedir. Özellikle elektrik kabloları ve temiz su tesisat kanallarının açılmasında, bu makineler toprağı yer yüzeyine paralel yönde delebilmektedir. Yer üstüne yerleştirilen bir dedektör diğer tesisatlara ve komşu alanlara geçmemek üzere delgi kafasının tam olarak nereye dalması gerektiğini gösterir.

Yatay devre uygulamalarının çoğu, pompalama gücünü düşürmek için bir tek seri olarak değil fakat paralel olarak bağlanır.

Paralel bağlantı biçiminde biraz daha fazla boruya gerek olmasına karşılık daha küçük çaplı boru kullanılabileceğinden daha az antifriz (eğer varsa) uygulama olanağı verir.



Şekil 7.2 Üst üste binmiş spiral uygulama

Aynı zamanda, küçük çaplı borular belli bir uzunluk için tipik olarak daha ucuz olup, paralel bağlı devrelerin toplam maliyetinde daha düşük olur. Diğer bir ek avantaj, paralel devrelerin daha küçük bir pompa ile yıkanıp temizlenebilmesi olup, seri devrelerde bu iş için daha büyük bir pompaya gerek bulunur. Paralel devrelerin tek sakıncası, eşitsiz akış gerçekleşebileceğinden ısı transfer veriminin üniform olmayabilmesidir.

Yatay bir devrenin kurulumu için gerekli zaman düşey kurulumlardan çok farklı değildir. Spiral yer devresi kurmak için iki kişilik bir ekip, bir konut için sistemi ortalama bir günde kurabilmektedir. Her hangi bir yer sistemi tasarlanırken toprağın karakteristikleri önemli bir husustur. Yatay devrelerde, kazınan toprak gözle kontrol ve test edilebileceğinden toprak türü kolayca belirlenebilir. EPRI (1989) yatay yer devresi tasarımında uygulanmak ve toprak ile kayaların belirlenmesinde kullanılmak üzere bir dizi kriter ve test işlemi sıralamıştır.

Toprak devresi tasarımında toprak türü ve nem içeriğinin düşünülmesi gereken önemli hususlar olmasına rağmen, çoğunlukla güney iklim bölgelerinde, gözlemlenen sistemlerin analizine dayalı bazı tasarım ilkeleri geliştirilmiştir.(Kavanaugh ve Calvert 1995) Çizelge 7.1'de en çok kullanılan kazı yöntemleri için kanal uzunlukları verilmektedir. Isıtma ağırlıklı olduğu yerlerde, günlük temelde %100'e yaklaşan ısıtma konumu çalışma zamanı ısıtma tasarımında norm olarak kullanılabilir.

Bunun tersine soğutma ağırlıklı iklimlerde, tasarım soğutma koşullarında, %50 'den fazla olmayan çalışma zamanlarına rastlanır. Uzun çalışma süreleri ve boruların çevresinde buz oluşması, yatay sistemlerin performansını devrenin kurulacağı alanın tasarımında hem de

sistemin bina yüküyle uyuşturulma biçimine bağımlı olacaktır. Isıtma ağırlıklı iklimlerde bu sistemlerden binlercesinin kurulmasına rağmen, doğru tasarım bilgilerine yöneltecek karşılaştırmalar yapılmamıştır. Çizelge 7.1’de verilen ve 13°C’nin altındaki toprak sıcaklıklarına dayandırılan devre uzunluğu verileri, nominal ısı pompası kapasitesine ve tasarım koşullarında yardımcı rezistanslı ısıtıcıların kullanımına dayanmaktadır. Eğer böyle bir sistem ilk kez kuruluyorsa, yerel iklimdeki başarılı devre uzunluğunu ve toprak türünü belirlemek için çevrede çalışan birkaç yüklenici ile görüşmek yararlı olacaktır.

Soğuk iklimlerde kurulan yatay devreli sistemlerde ayrıca dikkate alınması gereken hususlar, boru devresinin çevresinde oluşması olası buzlanmadır. Boru devresi yer altına döşenmiş her hangi bir diğer su tesisatına (temiz su, pis su ya da yağmur suyu) 0.60 m’den daha yakın geçirilmemelidir.

Eğer bu sınır korunamıyorsa, bu bölgedeki YKIP devresine yalıtım uygulanmalıdır. Yatay devreler bodrum kat yada benzeri ekipman yerleştirilen hacim duvarlarına, bu duvarlara paralel döşeniyorlarsa 2 m.’den daha yakın olmamalıdır. Eğer bu duvara yakın yerleştirilirse, buzlanma nedeniyle boruların yukarı hareketi yıpranmalarında neden olabilir.

Isıl işleme birleştirilmiş plastik borularda, doğru birleştirme teknikleri dikkatle uygulandığından sızıntı çok nadir ortaya çıkar. Bir sızıntı çıkması halinde uygulanabilecek en iyi yöntem, sızıntı boruya bir paralel boru çekerek devreden yalıtım ve olduğu yerde bırakmaktır.

Bir sızıntı yerinin bulunması, bu yerin onarımı yada değiştirilmesinden daha maliyetlidir. Bu sistemlerde 0.9 L gibi küçük bir miktar su kaybı sistemde basınç düşmesine ve atıl kalmasına yol açarken, kaçak noktaları temiz su borularında yapıldığı gibi, toprağın ıslanması kontrol edilerek bulunmaz.

Isıl yoldan birleştirilmiş borularda sızıntı nadiren ortaya çıkarsa da, bazı eyaletlerde belirli tür bazı antifrizlerin YKIP sistemlerinde kullanılmasına sınırlamalar getirilmiştir. Bu nedenle belirli bir karışımı seçmeden önce su kalitesi hakkındaki düzenlemeler kontrol edilmelidir. Soğuk olduğunda sergilediği iyi termodinamik özellikler ve ucuzluğu nedeniyle metanol sıklıkla kullanılır. Heinonen (1996) tarafından yapılmış kapsamlı bir analiz, alevlenebilirlik ve çevresel güvenliğin önemli olması durumunda etilen glikolün iyi bir alternatif olduğunu göstermiştir.

Çizelge 7.1 En çok kullanılan kazı yöntemleri için kanal uzunlukları.

Serpantin Türü ^a	Hatve ^b	Toprak Sıcaklığı °C						
	Metre kanal uzunluğu başına boru uzunluğu (m)	7-	8-	11-	13-	15-	17-	19-
		8	11	13	15	17	19	21
10-Spiral hatve	10	38	37	35	37	38	46	55
6-boru/6- Spiral hatve	6	55	49	46	49	55	61	70
4-boru/4-Spiral hatve	4	58	55	52	55	58	67	79
2-boru	2	91	85	76	85	91	104	122
19 mm Boru	2	55	52	47	52	55	61	70
25 mm Boru	2	42	49	46	49	52	58	66
32 mm Boru	2	49	46	44	46	49	53	61

Kaynak Kavanaugh ve Alvert (1995)

a: Uzunluklar yüksek yoğunluklu DR11 polietilen boruya
göredir.

b: Gerekli boru uzunluğunu bulmak için kanal uzunluğu
hatve ile çarpılır.

NOT: k= Yatay uyarlamada 1.0 W/(mK), Düşey uyarlamada k=2.1 W/(mK) değerlerine
dayandırılmıştır. Toprak sıcaklığının

<13oC olduğu durumlara ait değerler nominal ısı pompa kapasitesi ile tasarım koşullarındaki
yardımcı ısı varsayımına dayandırılmıştır.

Çizelge 7.2 Katsayılar

Toprağın diğer iletkenlikleri için çizelgede verilen değerleri aşağıdaki katsayılar ile çarpınız.

k değerleri	0.7	1	1.4	1.7	2.1	2.4	2.8	3.1	3.5
Yatay devre	1.22	1	0.89	0.82					
Düşey devre*			1.23	1.1	1	0.93	0.87	0.83	0.79

*Düşey devre değerleri $k=1.5 \text{ W/(mK)}$ olan bir çevresel dolgu kullanmaktadır.

$k \text{ çevresel}=0.7 \text{ W/(mK)}$ olan dolgu malz. için değerleri

1.2 ile,

$k \text{ çevresel}=1.9 \text{ W/(mK)}$ olan dolgu malz. için değerleri 0.95 ile çarpınız.

Çizelge 7.3 Gerekli pompa büyüklüğü

		Nominal ısı pompası kapasitesi, kW				
		7	10.5	14	17.5	21
		Gerekli akış miktarı, L/s				
		0.3-0.4	0.5-0.6	0.6-0.8	0.8-0.9	0.9-1.1
Serpantin tipi*		Paralel devrelerin sayısı				
Spiral (10 hatve)		3-4	4-6	6-9	8-10	8-10
6-boru		3-4	4-6	6-9	8-10	8-10
4-boru		2-3	4-6	5-8	6-9	6-10
2-boru		2-4	3-5	4-6	5-8	6-10
Düşey 19mm boru		2-3	3-5	4-6	5-8	6-10
Düşey 25mm boru		2-3	2-4	3-5	4-6	4-6
Düşey 32mm boru		1-2	1-2	2-3	2-3	2-4
Kanal uzunluğu		Ana boru çapı (PE boru), mm				
30 m.'den az		32	32	38	38-51	38-51
30-60		32	38	38	51	51
		Gerekli pompa büyüklüğü (No) kW				
		0.06	0.12 (1)	0.06 (2)	0.12 (2)	0.12 (2)

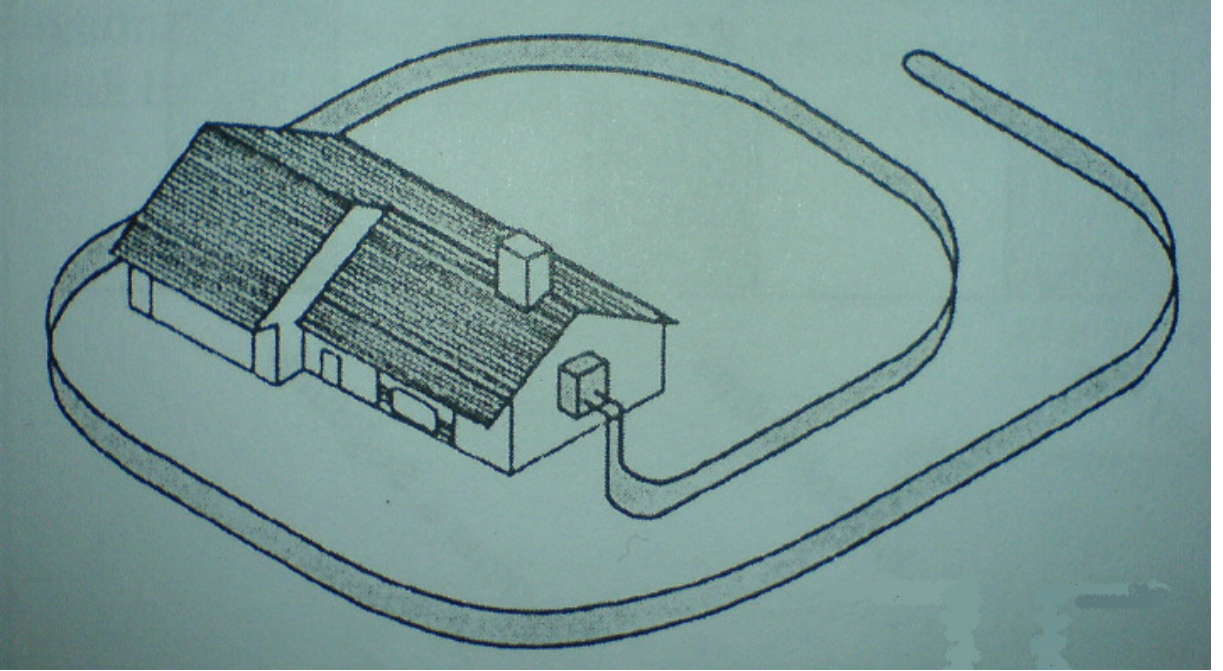
kaynak: Kavanaugh ve Calvert (1995)

* DR 11 HDPE Boru temel alınmıştır.

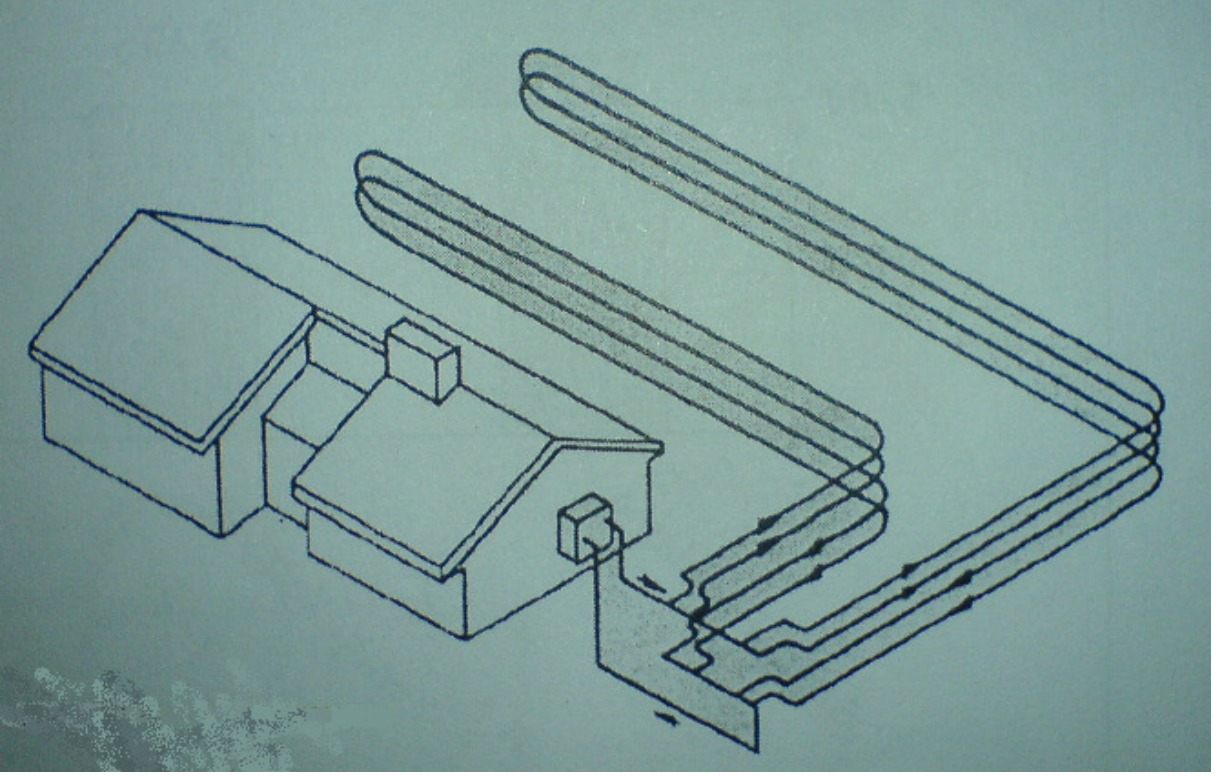
7.2 Akışkan akışı ve boru devresi

Ticari sistemler gibi konutsal sistemler de bazen aşırı pompa basıncı ile karakterize edilirler. Bu eğilim belki de, gereğinden küçük çaplı boru tesisatı, aşırı miltarlarda viskoz antifriz çözeltisini kullanımı yada pompanın küçük seçilmesinin bir sonucudur. Toplam güç olarak (kompresör ve fan dahil), 15 EER ve 10,5 kW'lık bir ısı pompası 2400 W gerektirir ve ek bir 0,12 kW'lık pompa (245 W çeker) sistem verimini %10 düşürür. Çizelge 7.3 olanaklı en az sayıda pompa kullanımıyla uygun akışkan miktarlarını vermektedir. Bu tablo, 0-%15 propilen glikol (hacimsel) çözeltileri içeren devrelere Çizelge 7.1-7.2 ile birlikte kullanılarak uygulanır. Bu çözeltinin; soğukken pompalanması en güç çözelti olarak tanınmaktadır. Buna karşılık yine de pompalanması etil alkolden güç olmayıp, sadece yeterli miktarda eklenmesi halinde pompalama güçlükleri ortadan kalkar. Kısa devreler daha yüksek düzeylerde antifriz gerektirirler.

Donma hattının üzerinde, açıkta giden boru tesisatına kapalı hücreli UV korumalı (boya ve sargı) bir yalıtım uygulanmalıdır.



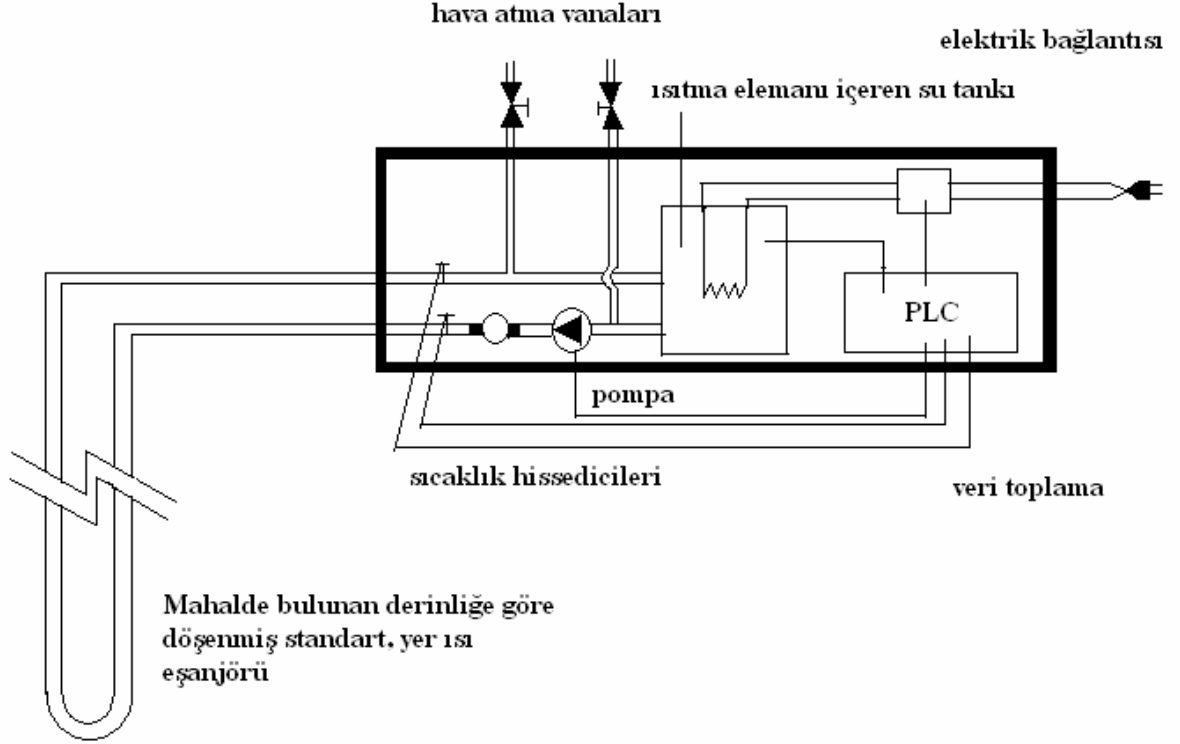
Şekil 7.3 Yatay, seri toprak altı borulama



Şekil 7.4 Yatay, paralel toprak altı borulama

7.3 Düşey Tasarım:

Düşey YKIP'larının tasarımında toprak kaya yapısıyla ilgili ısıl özelliklerin bilinmesi kritik önemdedir. Bu bilgiler planlanan ısı eşanjörü ile yaklaşık olarak aynı tip ve derinlikte bir devreyi mahalde kurarak elde edilebilir. Bir su devresine ısı sabit bir miktarda eklenirken veriler şekil 7.5'deki gibi toplanır.



Şekil 7.5 Veri toplama

Isıl iletkenlik, difüzivite ve sıcaklıkla ilgili veriler tersine yöntemler uygulanarak elde edilir. Bu yöntemler çizgisel ısı kaynağına (Gehlin 1998; Mogensen 1983, Witte ve ark. 2002) silindirik ısı kaynağına (Ingersoll ve Zobel 1954) yada sayısal algoritmaya (austin ve ark.2000, Shonder ve Beck 1999, Spitler ve ark.1999) dayanmaktadır.

Elde edilen verilerin duyarlık düzeyini artırmak amacıyla, olanaklı olduğunda bu yöntemlerin birden fazlası kullanılmalıdır. Önerilen testler Kavanaugh (2001) tarafından aşağıdaki gibi sıralanmıştır;

- Isıl özellik testleri 36-48 h uygulanmalıdır.
- Isıl miktarı gerçek bir ısı pompasının U-borularında beklenen pik yük olan 50-80 W/m olmalıdır.

-Güç girdisindeki sapma, ortalama değerin $\pm\%1,5$ 'den az, pik yüklerdeki sapma ortalamanın $\pm\%10$ 'undan az ya da ortalama sıcaklıklara ait grafikteki sıcaklıkların ortalama eğilim çizgisine göre $\pm 0,9K$ 'den az olmalıdır.

-Akış miktarı 11-22 K diferansiyel sıcaklık sağlayacak kadar yeterli olmalıdır.Bu gerçek bir ısı pompa sistemindeki sıcaklık farkıdır.

-Düşük iletkenlikteki [$k < 1.7 \text{ W/(m.K)}$] topraklarda, yer devresi kurulduktan ve çevresi doldurulduktan sonra, ısı iletkenlik testine başlamadan önce beş gün gibi bir süre beklenmesi önerilir. Daha yüksek iletkenlikteki topraklar için [$k > 1.7 \text{ W/(m.K)}$] üç günlük bir bekleme yeterli olabilir.

-İlk toprak sıcaklığı ölçümü bekleme süresinin sonunda, sıvı dolgulu ısı eşanjörüne sensörü en az üç yerden daldırıp ortalama olarak, ya da çalıştırmayı izleyen süreçte suyun çıkış sıcaklığı okunarak yapılmalıdır.

-Veri toplama her 10 dakikada bir yinelenmelidir.

-Bütün yer üstü boruları en az 13 mm kapalı gözenekli yalıtım malzemesi ya da eşdeğeri ile yalıtılmalıdır. Bütün teçhizat en az 25 mm fiber-glas yalıtıma sahip bir kabin içinde tutulmalıdır.

-Eğer deliğın tekrar test edilmesi gerekiyorsa, devre sıcaklığının, toprağın ilk ayar sıcaklığına 0.9 K yakınlıkta geri dönmesi beklenmelidir. Eğer 48 saatlik tam bir test yapılmışsa bu, orta ve yüksek iletkenliğe sahip toprakta 10-12 gün, düşük iletkenliğe sahip toprakta 14 gün beklemek demektir. Test daha kısa sürelerde bitirilmişse bu bekleme süreleri oransal biçimde azaltılabilir.

Yer altı devresi tasarım yöntemi, ticari sistemlerden sınırlı miktardaki bilgiyi kullanır. Eksik olan en önemli eleman, uzun dönemli, yerinde gözlenmiş verilerdir. Bu veriler daha sonra, su hareketinin ve uzun vadeli ısı depolamanın getirdiği etkilerin tamamen çözümlendiğini ve bu yönden yöntemin uygunluğunu doğrulamakta kullanılır. Tutucu bir tasarımcı su hareketinden her hangi bir yarar beklemez, maksimum yarar bekleyen tasarımcıların da ısı atımı ve emilmesinde yıllık dengesizlikleri ihmal etmesi gerekmektedir.

Isı miktarındaki saatlik değişmelere göre düzeltilmiştir. Eskilson (1987), Marrison (1997) Spitler ve ark.(2000) ve Spitler (2000) tarafından alternatif tasarım yöntemleri açıklanmıştır.

Kısa vadeli değişmeleri ele almak üzere Ingersoll ve Zobel (1954) yöntemi kullanılabilir. Bu yöntem aşağıdaki kararlı hal ısı transfer eşitliğine dayanır;

$$q = \frac{L.(t_g - t_w)}{R} \quad (7.1)$$

Burada;

Q=Isı transfer miktarı,kW

L=gerekli delik çapı,m

Tg=toprak sıcaklığı

Tw=sıvının sıcaklığı

R=Toprağın efektif ısıl direnci mK/W

Bu eşitlik delik uzunluğu L'nin belirlenmesi için yeniden düzenlenir. Isı miktarında bir dizi değişimler kullanılarak, kararlı hal eşitliği yersel ısı eşanjörünün ısı miktarı değişimini temsil edeceği bir biçime getirilir.

Toprağın birim uzunluk başına ısıl direnci belirli bir ısı değişiminin ortaya çıktığı zaman aralına bağlıdır.

Boru cidarının ısıl direnci ile “boru-akışkan,boru-toprak” arasındaki girişimi hesaba katmak için de bir diğer terim olaya dahil edilir. Sonuç eşitliği aşağıdaki biçimde olacaktır. Tasarım yöntemlerinden birisi, yere gömülü bir silindire ait ısı transfer eşitliklerinin çözümüne dayanır. Bu eşitlik Carslaw ve Jaeger (1947) tarafından geliştirilmiş ve değerlendirilmiş olup, Ingersoll ve Zobel (1954) tarafından yer altı ısı eşitlik sonucunda soğutma için uzunluk aşağıdaki şekli alır;

$$L_C = \frac{q_a R_{ga} + (q_{lc} - W_C)(R_P + PLF_m R_{gm} + R_{gd} F_{SC})}{t_g - \frac{t_{wi} - t_{wo}}{2} - t_p} \quad (7.2)$$

Isıtma için gerekli uzunluk

$$L_H = \frac{q_a R_{ga} + (q_{lh} - W_H)(R_P + PLF_m R_{gm} + R_{gd} F_{SC})}{t_g - \frac{t_{wi} - t_{wo}}{2} - t_p} \quad (7.3)$$

Elde edilir.

Eşitlik 7.2 ve 7.3 te kullanılan simgeler aşağıdaki gibidir.

FSC	Kısa devre ısı kayıp faktörü	
LC	Soğutma için gerekli delik uzunluğu	m
Lh	Isıtma için gerekli delik uzunluğu	M
PLFm	Tasarım ayında kısmi yük faktörü	
qa	Toprağa yıllık net ortalama ısı geçişi	kW
qlc	Binanın tasarım soğutma blok yükü	kW
qlh	Binanın tasarım ısıtma blok yükü	kW
Rga	Yerin efektif ısı direnci (yıllık değişim)	mK/kW
Rgd	Yerin efektif ısı direnci (günlük değişim)	(mK)/kW
Rgm	Yerin efektif ısı direnci (aylık değişim)	(mK)/kW
Rb	Borunun ısı direnci	(mK)/kW
tg	Bozulmamış toprak sıcaklığı	°C
tp	Komşu borulardan girişime bağlı sıcaklık hatası	°C
twl	Isı pompası girişindeki sıvı sıcaklığı	°C
two	Isı pompası çıkışındaki sıvı sıcaklığı	°C
Wc	Tasarım soğutma yükünde güç girdisi	kW
Wh	Tasarım ısıtma yükünde güç girdisi	kW
Not:	Isı transfer miktarı, bina yükleri ve sıcaklık hataları ısıtmada pozitif, soğutmada negatiftir	

Çizelge 7.4 Seçilmiş Bazı toprak,kaya ve harç/dolgu malzemelerinin ısı özellikleri

	kuru yoğunluk kg/m ³	iletkenlik W/mK	Difüzivite m ² /gün
Topraklar			
Ağır çamur (%15 su)	1925	1.4-1.9	0.042-0.061
Ağır çamur (%5 su)	1925	1-1.4	0.047-0.061
Hafif çamur (%15 su)	1285	0.7-1	0.055-0.047
Hafif çamur (%5 su)	1285	0.5-0.9	0.056
Ağır kum (%15 su)	1925	2.8-3.8	0.084-0.11
Ağır kum (%5 su)	1925	2.1-2.3	0.093-0.14
Hafif kum (%15 su)	1285	1-2.1	0.047-0.093
Hafif kum (%5 su)	1285	0.9-1.9	0.055-0.12
Kayalar			
Granit	2650	2.3-3.7	0.084-0.13
Kireç taşı	2400-2800	2.4-3.8	0.084-0.13
Kum taşı	2570-2730	2.1-3.5	0.65-0.11
Yaş tortul şist		1.4-2.4	0.065-0.084
Kuru tortul şist		1-2.11	0.055-0.074
Harçlar/Alt dolgu malzemeleri			
Bentonite (20-%30 katılar)		0.73-0.75	
Susuz,saf çimento (önerilmez)		0.69-0.78	
%20 Bentonite %80 SiO ₂ Kum		1.47-1.64	
%15 Bentonite %85 SiO ₂ Kum		1-1.1	
%10 Bentonite %90 SiO ₂ Kum		2.08-2.42	
%30 Beton %70 SiO ₂ Kum		2.08-2.42	
Plastikleştirici			

Kaynak: Kavanaugh ve Rafferty (1997)

Eşitlik (7.2) ve (7.3) uzun dönem ısı dengeszlikleri (qa) hesaba katmak için üç farklı değişmeyi dikkate alır. Tasarım ayında kısa dönemli ortalama aylık değişmeler, bir tasarım gününde kısa dönemli ortalama günlük değişimler. Bu, 1 saatlik gibi kısa bir süre olsa da, 4 saatlik bir blok kabul edilmesi önerilir.

Gerekli delik uzunluğu, 7.2 ve 7.3 numaralı eşitliklerle bulunan L_c ve L_h 'dan büyük olanıdır. Eğer L_c , L_h 'dan büyükse, büyük seçilmiş bir serpantin yerleştirmek ısıtma mevsiminde yararlı olabilir. Diğer bir seçenek te, biraz küçük bir serpantin yerleştirmek ve bunu bir su kulesi kullanarak dengelemektir. Eğer L_h büyükse, tasarımcı bu uzunluğu kullanmalı ve soğutma konumu sırasında, büyük seçilmiş yer altı serpantininin yararları kurulum maliyetlerinin yüksekliği dengelenmelidir.

Gövde deliğinin boşluklarını doldurmakta kullanılan dolgu malzemesi, yasal, ısı ve ekonomik düşüncelerin bir fonksiyonudur. Su kuyusu endüstrisinde öteden beri düşük maliyetli bir dolgu malzemesi olan bentonite bazı durumlarda ise delme sırasında çıkan malzeme kullanılmaktadır.

Son zamanlarda ısı yönden gelişkin malzemeler üretilmiştir. Nutter ve ark.(2001) düşey deliklerde potansiyel dolgu ve tesfiye malzemelerinin ayrıntılı bir incelemesini vermişlerdir. Çizelge 7.5'de değişik jeotermal koşullar için potansiyel bitirme (dolgu) yöntemlerini vermektedir. Burda kullanılan "çift dolgu" terimi, düşük geçirgenlikteki malzemeyi deliğin üst kısmına ve/veya su çukurlarının birbirinden soyutlanması gereken yerlere uygulamak, kalan kısımlarda ısı açıdan daha avantajlı malzemeyi kullanmak biçiminde bir uygulama pratiğini anlatır. Toprağın ısı direnci, toprak özelliklerinden, boru çaplarından ve birbirini izleyen ısı miktar değişmelerinden gidilerek hesaplanır. Çizelge 7.4'de deliklerin çevresel kısımlarında toprak ve dolgu malzemelerinin özellikleri verilmektedir. Çizelge 7.7, yüksek yoğunluklu düşey poliviniletlen (HDPE) U-boruların iki çap için eşdeğer ısı dirençlerinin göstermektedir.

Çizelge 7.5 Değişik jeotermal koşullar için potansiyel bitirme (dolgu) yöntemleri

Jeolojik Rejim Türü	Dolgu betonu			Delgi toprağıyla dolgu	Çift dolgu,aşağıdaki malzemelerle Çukur	
	0.6<k<1.4 W(mK)	1.4<k<2.1 W(mK)	k>2.1 W(mK)		Çukur altında delgi toprağı	Çukur altında diğerleri*
Çamur ya da düşük geçirgenlikte kaya						
Su çukuru yok	-	evet	evet	-	evet	evet
Tek su çukuru	-	evet	evet	-	-	evet
Çoklu su çukuru	evet	evet	evet	evet	evet	evet
Geçirgen kaya						
Sığ su çukuru yok	-	evet	evet	evet	evet	evet
Tek su çukuru	-	evet	evet	evet	evet	evet
Çoklu su çukuru	-	evet	evet	evet	-	-
İkinci düzey geçirgenlikte karst toprağı						
	-	evet	evet	evet	-	-
İkinci düzey geçirgenlikte bölünmüş parseller						
	-	evet	evet	evet	evet	evet

*çukur iletkenliği $k \geq 2.4$ W/mK olan bir dolgu malzemesi kullanılmalıdır.

*Evet =önerilen potansiyel dolgu yöntemi

2 ve 3 eşitliğinde değerlendirmesi en zor olan parametreler toprağın eşdeğer ısı dirençleridir. Carslaw ve Jaeger (1947) çözümleri çalışma süresi, boru dış çapı ve toprağın Fourier Sayısı (Fo) ile ilişkilendirilebilecek olan ısı yayınlığı (diffusivity) gerek gösterir.

$$Fo = \frac{4\alpha_s \tau}{d_b^2} \quad (7.4)$$

Burada ;

α =Toprağın ısı yayınlılığı

τ =Çalışma süresi

d =Borunun dış çapı

Yöntem değişik ısı değişimler için eşdeğer ısı direnci hesaplamak üzere değiştirilebilir. Bir sistem üç ısı değişimle karakterize edilebilir: 10 yıllık (3650 gün) değişme, q_d .üç zaman aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$\tau_1=3650 \text{ gün}$$

$$\tau_2=3650+30=3680 \text{ gün}$$

$$\tau_f=3650+30+0.25=3680.25 \text{ gün}$$

Buna göre Fourier sayıları (Fo) aşağıdaki değerlerle hesaplanır:

$$Fo_f=4 \alpha \tau_f / d_b^2$$

$$Fo_1=4 \alpha (\tau_f - \tau_1) / d_b^2$$

$$Fo_2=4 \alpha (\tau_f - \tau_2) / d_b^2$$

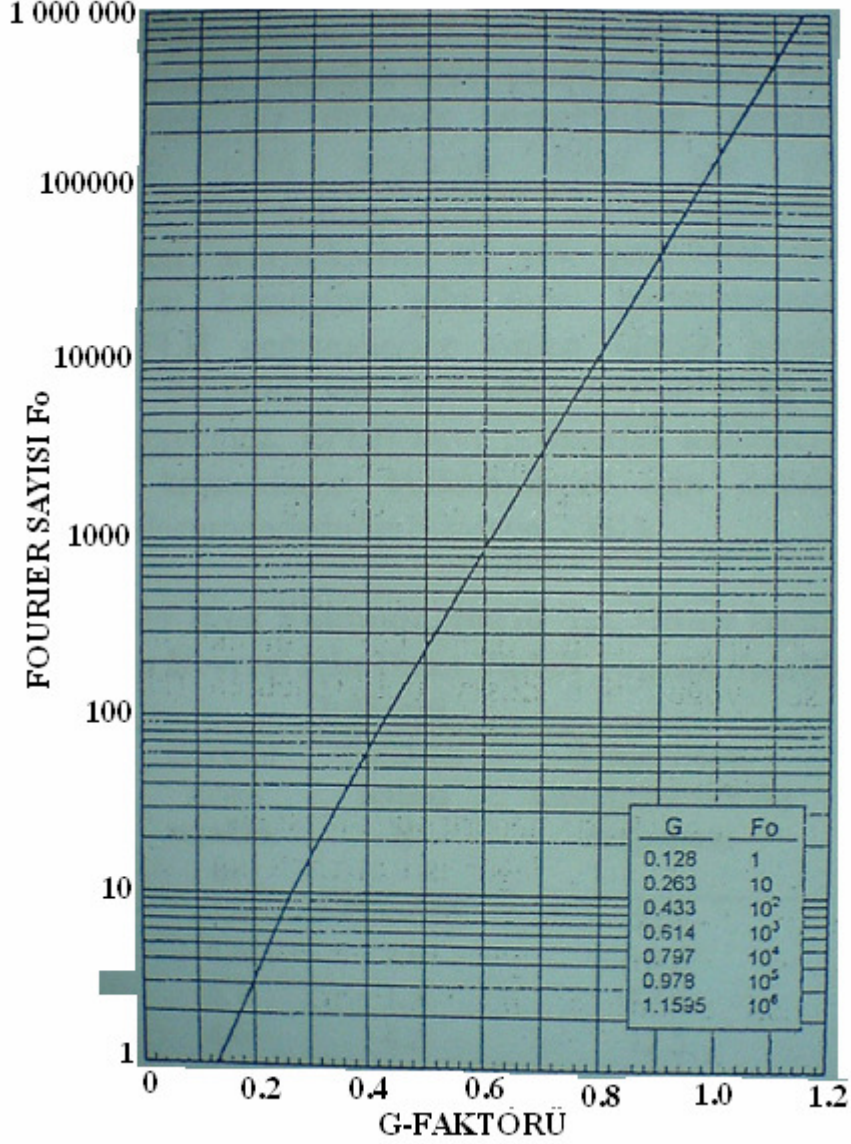
Ingersol ve Zobel (1954) yöntemini kullanarak toprağın ısı direncini hesaplamadaki ara kademe, her bir fourier sayısı için şekil 7.6'dan alınabilecek olan G-faktörünün belirlenmesidir.

$$R_{gA}=(G_f-G_1)/k_g \dots \dots \dots 5a$$

$$R_{gB}=(G_1-G_2)/k_g \dots \dots \dots 5b$$

$$R_{gC}=G_2/k_g \dots \dots \dots 5c$$

Toprağın ısı iletkenlik aralığı Çizelge 7.4 de verilmektedir. Devlet jeolojik araştırmaları toprak ve kaya için iyi bir veri kaynağıdır. Buna rağmen, toprağı, kaya tiplerini ve delgi koşullarını belirlemek için yerinde araştırma yapılması önerilir.



Şekil 7.6 Yer in ısı direnci için Fourier/G-Faktör Grafiğı
(Kavanaugh ve Rafferty 1997)

Konvensiyonel U-Borusunun aşağı doğru ve yukarı doğru akış bulunan iki kolu arasındaki kısa devre kayıpları nedeniyle performans bir miktar düşer. Bu azalma, aşağıdaki tabloda verilen kısa devre ısı kayıp faktörünü [eşitlik(2) ve (3)'teki Fsc] hesaplara dahil ederek dikkate alınır.

Normalde U-boruları gidiş ve dönüş ana-borularına paralel döşenir. Bazen, delik derinliğı sığ olduğunda, iki yada daha fazla boru seri olarak bağlanır. Bu durumlarda, kısa devre ısı

kayıpları azaltılmış olur. Böylece, F_{sc} 'nin değeri seri bağlanmış tek borular için daha küçüktür.

Çizelge 7.6 F_{sc}

F_{sc}		
Devre başına boru adedi	36 mL/(skW)	54 mL/(skW)
1	1.06	1.04
2	1.03	1.02
3	1.02	1.01

Sıcaklık (2) ve (3) eşitliklerinde geri kalan terimler sıcaklıklardır. Bölgede toprağın derindeki sıcaklığı, en iyi yerel su kuyusu kayıtlarından ve jeolojik araştırmalardan elde edilir. İkinci ve daha az sağlıklı bir kaynak da sıcaklık haritalarıdır. Toprak sıcaklıklarını 2 K duyarlıkta veren üçüncü bir kaynak ise eş sıcaklık eğrilerine sahip haritalardır. Bu haritalarda detaylı gösterim bulunmamaktadır, meteoroloji'den temin edilebilir.

Üniteye suyun giriş sıcaklığının (t_{wi}) seçimi, tasarım yönünden kritik önemdedir. Toprak sıcaklığına yakın bir değer seçildiğinde sistem verimi yüksek fakat gerekli yer altı serpantin uzunluğu son derecede fazla ve buna bağlı olarak da pahalı olur.

Toprak sıcaklığı (t_g)'den uzak bir değer seçilmesi, küçük ve pahalı olmayan bir yersel serpantin seçimine olanak verilirse de, bu kez sistemin ısı pompaları ısıtmada son derecede küçük kapasitede çalışırken, soğutmada talebini karşılamaktan uzak kalırlar.

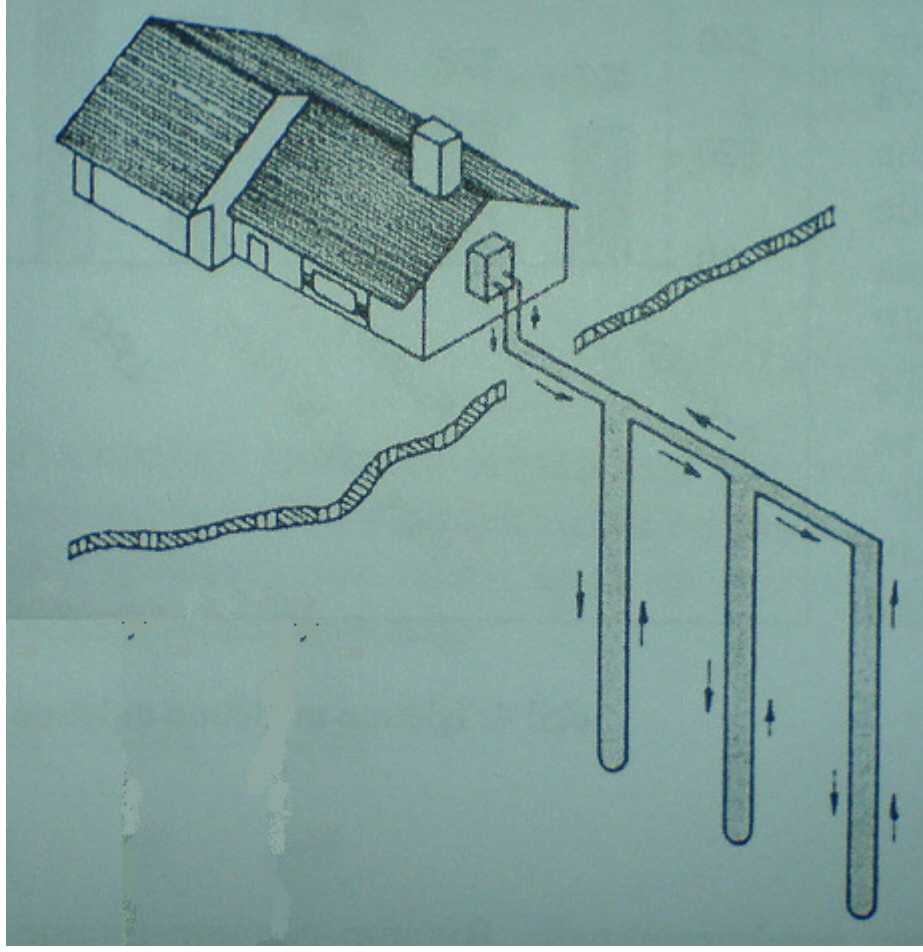
Çizelge 7.7 Yüksek yoğunluklu, Polietilen U-borulu yer altı eşanjörlerinde delik dolgularının ısı direnci (Rb)

U- borusu çapı mm	Delik dolgusunun iletkenliği, *W/(mK)					
	100 mm çaplı delik			150 mm çaplı delik		
	0.86	1.73	2.6	0.86	1.73	2.6
20	0.33	0.16	0.1	0.4	0.19	0.14
25	0.29	0.14	0.1	0.35	0.17	0.12
30	0.26	0.14	0.08	0.31	0.16	0.1
* DR 11 HDPE boruya ve kaynaşık akışa dayandırılmıştır.						
Diğer borular ve akışlar için düzeltmeler						
DR 9 boru	Re=4000		Re=1500			
+0.03 (mK)/W	+0.014 (mK)/W		+0.004 (mK)/W			
Kaynak: Kavanaugh (2001) ; Remund ve Paul (2000)						

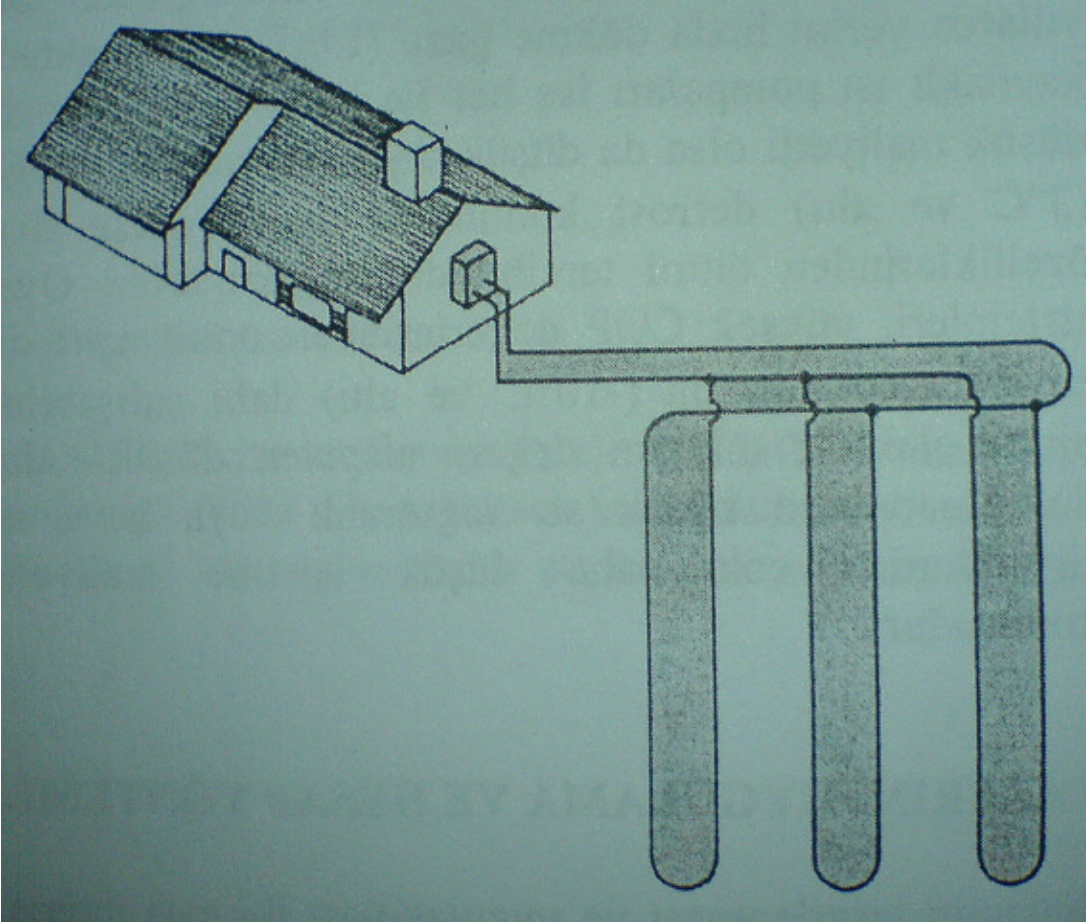
Su giriş sıcaklığı (twi) nin ısıtmada tg' den 11-17°C yüksek soğutmada 6-11°C düşük seçilmesi, ABD'deki bir çok bölge için kurulum maliyeti ile verim arasında iyi bir uyum sağlamaktadır.

Düşünülmesi gereken son sıcaklık, komşu boruların ısı girişiminden kaynaklanan sıcaklık hatası (tp)' dir. Tasarımcı gerekli boru uzunluğunda ciddi artışlara neden olmaksızın kullanılacak arazi alanını düşürmek için boruları birbirinden makul bir uzaklıkta döşemelidir.

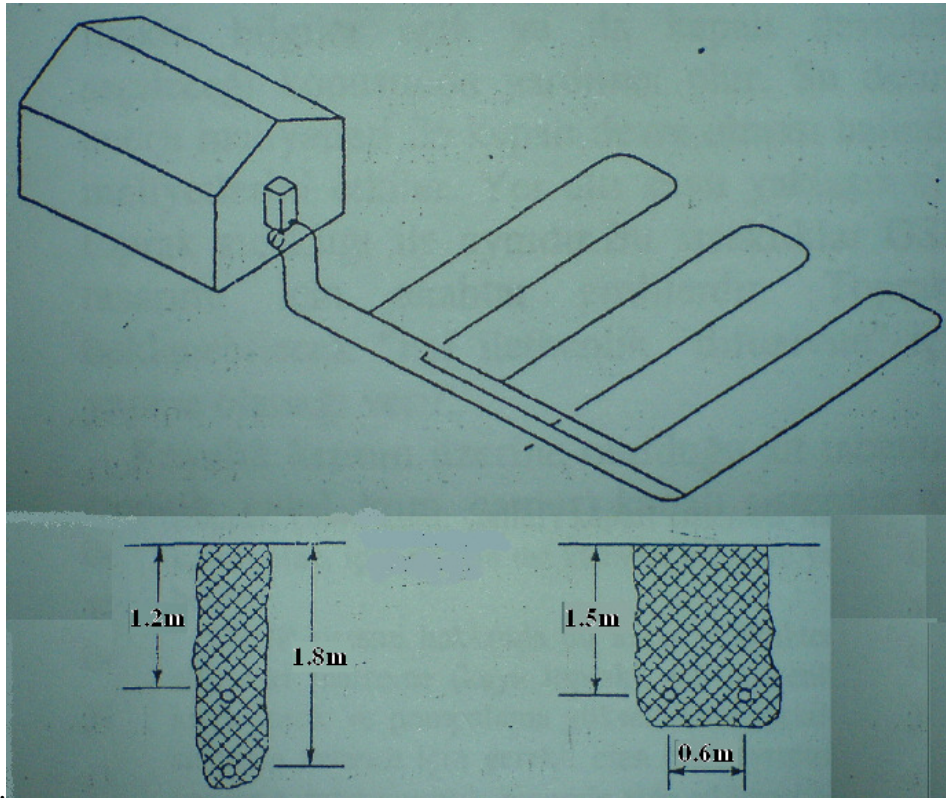
Yer altı suyunun hareketi, yoğun biçimde bir yerleşim paketine sahip yer altı devre bölgesinde, uzun dönemli sıcaklık değişimlerini önemli ölçüde etkiler (Chiasson ve ark.2000) Etkisi henüz araştırılmadığından, tasarımcı su geçirgenliği düşük olan çok sıkı çamurlu toprak ve yüksek su sızıntı değerlerine sahip gözenekli yapıdaki su çukurları için, minimum yer altı suyu hareketini temel alan bir tasarım uzunluk aralığı tesis etmelidir.



Şekil 7.7 Dikey, seri toprak altı borulama



Şekil 7.8 Dikey, paralel toprak altı borulama



Şekil 7.9 Borular bir kanala, dikey yada yatay olarak yerleştirilebilir.

8. YER ALTI SUYU ISI POMPASI SİSTEMLERİ

YKIP'larının ikinci alt dizisi yer altı suyu kullanılan ısı pompalarıdır. Şekil 8.1 Bu ekipmanlar YKIP'larının geliştirilmesine kadar en geniş kullanılan YKIP sistemleri olmuştur. Ticari sektörde, çok küçük bir kuyu alanına ihtiyaç gösteren ve nispeten pahalı olmayan kuyulardan geniş miktarda su elde edilip geri pompalanabildiğinden YSKIP çekici bir alternatif olabilir.

Yersel ısı eşanjörünün birim kapasitesi başına maliyeti nispeten sabit olmasına karşılık, birim kapasite başına maliyet YSKIP'larında çok daha düşüktür. Bir tek kuyu çifti bütün bir binaya hizmet sağlayabilir. Doğru tasarlanmış yer altı suyu ısı pompaları için gerekli bakım hizmeti, normal HVAC sistemi için gerekenden fazla değildir. Kullanılan su ikinci bir kuyudan geri verildiğinde net su tüketimi sıfırdır. Yaygın olarak kullanılan tasarım biçimlerinden birisi, yer altı suyu ile binalardaki hava-su ısı pompası kapalı devresi arasına su-su türü bir ısı eşanjörü yerleştirmektir.

Diğer bir olasılık da yer altı suyunun, bir ısı geri kazanım chiller'i (bir ısı eşanjörü ile soyutlanmış) arasından sirküle etmek ve su dağıtım sistemi yoluyla ısıtma ve soğutma elde etmektir.

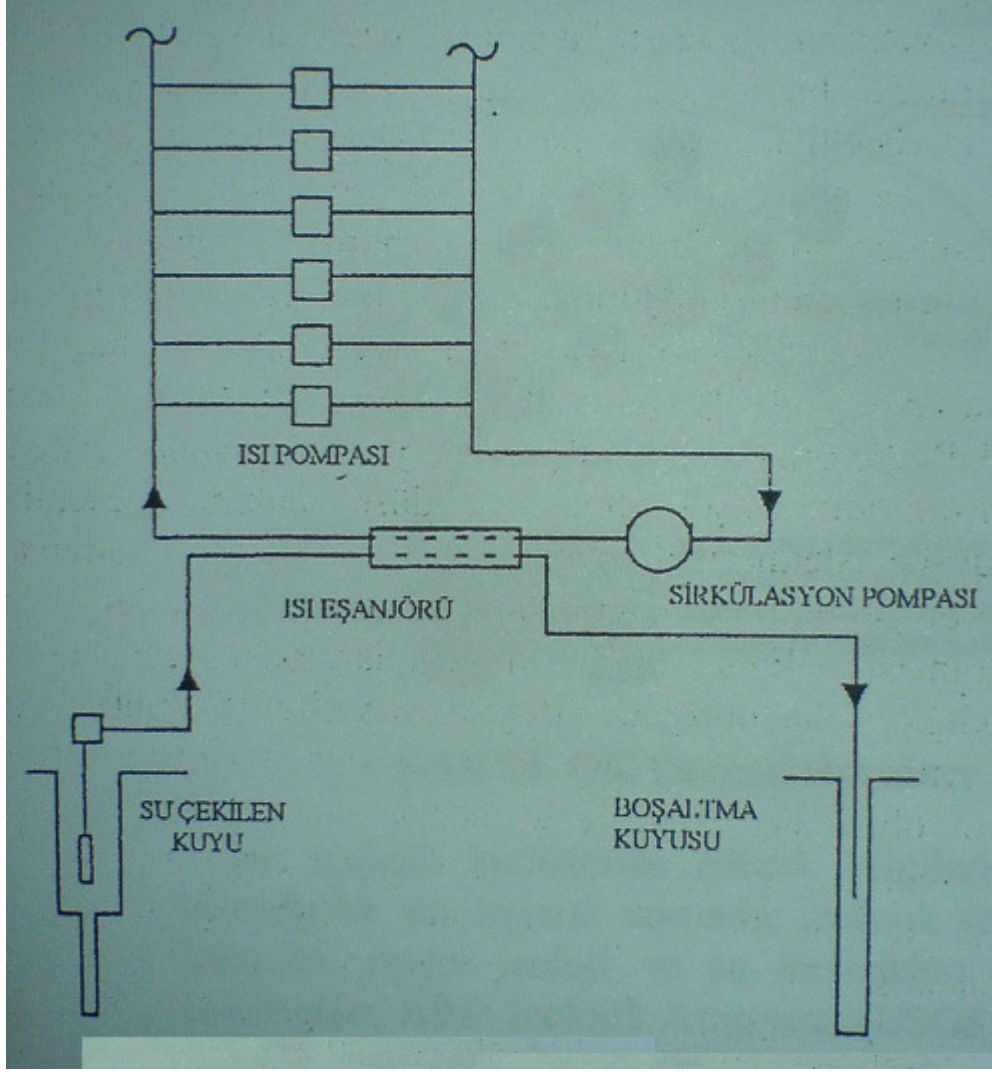
15°C'nin altındaki yer altı suyu, ısı pompası ile seri yada paralel bağlı olarak serpantinlerden direkt dolaştırılabilir. Soğuk yer altı suyu bulanmaması halinde mekanik bir soğutma ekipmanı tarafından üretilmesine gerek olan geniş bir enerji olanağı sağlar.

8.1.1 Belirli koşullar altında YSKIP'larının avantajları şunlardır:

- YKIP ekipmanından daha ucuza mal olur.
- Kuyu için gereken alan son derece kompakt bir alandır.
- Su kuyusunu açacak yükleniciler her yerde bulunabilir.

8.1.2 Bu teknoloji yıllar boyunca bir çok yerde kullanılmıştır. Sistemin sakıncaları ise şöyle sıralanabilir.;

- Yerel çevresel düzenlemeler sınırlayıcı olabilir.
- Elde edilebilir su miktarı sınırlı olabilir.
- Kuyu uygun biçimde geliştirilmemiş yada su kalitesi kötü olduğunda kirlenmeye karşı önlem almak zorunludur.
- Eğer sistem doğru tasarlanmadıysa ya da derin bir su çıkarından su çekiliyorsa enerji maliyetleri yüksek olabilir.



Şekil 8.1 Yer altı suyu kullanan ısı pompaları

Yer altı suyu kullanan bir ısı pompası YSKIP bu suyu bir kuyudan çekerek, ısı kaynağı ya da çukuru olarak kullanılmak üzere bir ısı pompasına (ya da arada bulunan bir ısı eşanjörüne) gönderir.

Bu uygulamada, hem üniter hem de merkezi santral tasarımı kullanılabilir. Üniter tiplerde, bina içerisinde çok sayıda küçük hava-su türü ısı pompası dağıtılmış durumdadır. Merkezi santral türü sistemlerde bir yada az sayıda chiller kullanılarak, iki ya da dört borulu fan-coil sistemine sıcak ve soğuk su gönderilir.

Direkt sistemler, (içerisinde bir ısı eşanjörü kullanılmayan ve yer altı suyunun doğrudan ısı pompasına gönderdiği) küçük kapasiteli sistemler dışında önerilmezler.

Bu biçimde tasarımı yapılan bazı sistemler başarılı olmuşlarsa da, bazıları son derece olumlu bir kimyasal yapıya sahip sularla bile ciddi sorunlar yaratmışlardır. Bu nedenle endüstriyel ticari ölçekli sistemlerde yer altı suyunu devreden soyutlamak için bir ısı eşanjörünün kullanılması tercih edilir. Devreye bir ısı eşanjörünün konulması nedeniyle ortaya çıkacak olan maliyet artışı toplam maliyet içerisinde küçük bir yer tutar.

Bu sistemlerde bakım işlemlerinin son derece azalması nedeniyle eşanjöre yapılan yatırım kolayca geri kazanılır.

Binaya yerleştirilen ekipmanın türü bir yana, yer altı suyunu kullanan sistemler birbirine benzer. Birincil önemdeki ekipmanlar;

- 1-Kuyular (su çekme ve gerekiyorsa geri basma)
- 2-Kuyu pompaları
- 3-Yer altı suyu ısı eşanjörüdür.

Bu yorumlara ek olarak, yer altı suyunu soyutlamak için bir ısı eşanjörü kullanan üniter YSKIP sistemlerinde spesifik olarak aşağıdaki hususlar da dikkate alınmalıdır.

8.2 Tasarım Stratejisi

Bir açık-sistem tasarımı, kuyu pompalama gücünü ısı pompasının performansının performansı ile dengelemelidir. Sistemdeki yer altı suyu akışı artırıldığında, ısı pompası için çok daha uygun sıcaklıklar üretilir. Yüksek akış miktarları pompalamadaki güç tüketimini artırırken, sistem EER(energy efficiency ratio) ya da COP (coefficient of performance)' sını da artıracığından, (daha uygun sıcaklıklar sağlayarak) ısı pompasının güç tüketimini azaltacak böylece pompalama gücündeki artış, ısı pompası gücündeki azalmayla dengelenecektir.

Bazı durumlarda yer altı suyu miktarındaki artışın, kuyudan pompalama gücüne getirdiği artış, ısı pompası güç tüketimindeki azalmadan daha fazla olur.

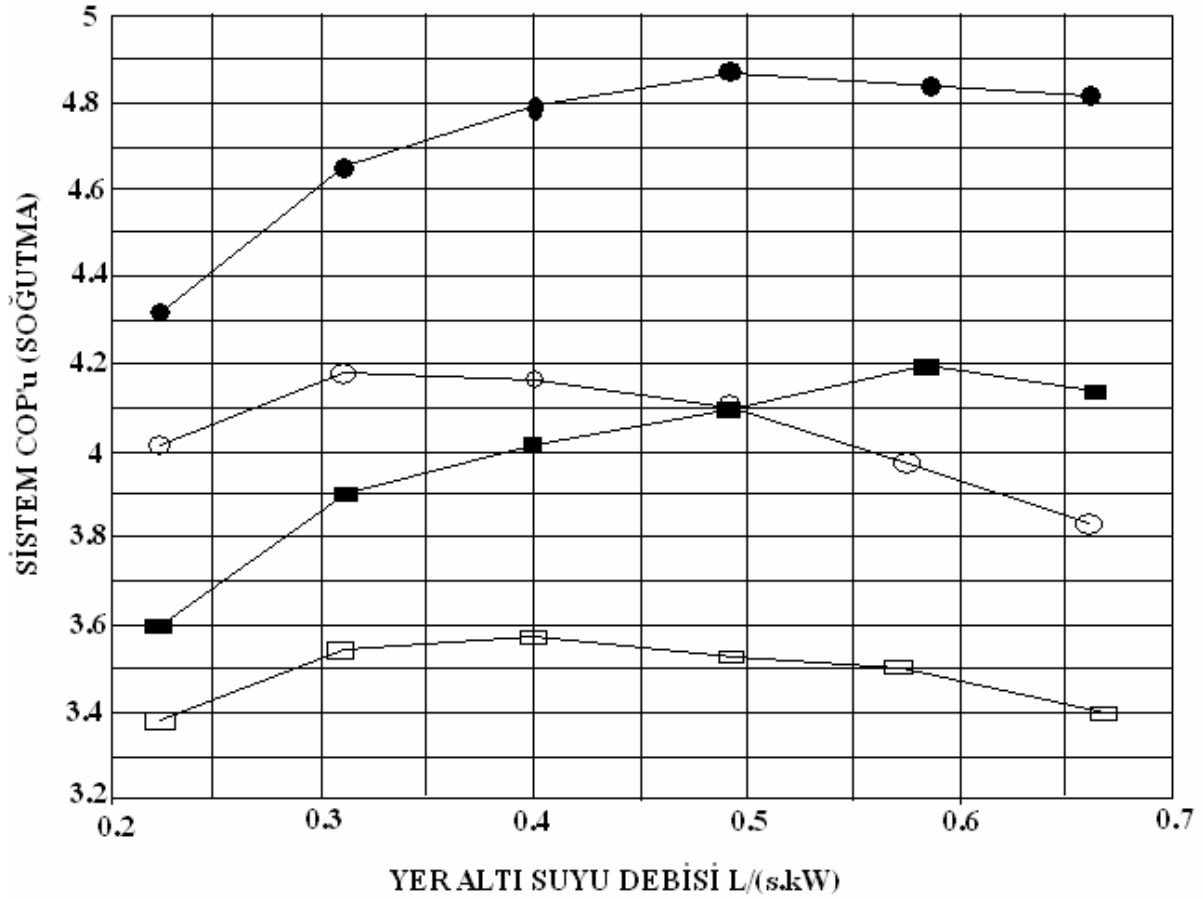
Açık sistemlerin tasarımındaki anahtar strateji, ısı pompası ve kuyu pompasının güç gereksinimlerine göre maksimum sistem performansını sağlayacak olan noktanın belirlenmesidir.

Tasarım koşulunda optimum ilişkiler bir kez saptandıktan sonra, kuyu pompasının kontrol yöntemi pik yük dışı sürelerde bu ilişkinin ne ölçüde korunacağını da belirler. Bu

optimizasyon süreci, geniş bir yer altı suyu akış miktarları aralığında sistem performansının değerlendirilmesini (ısı pompaları ve kuyu pompası) içerir.

Bu hesaplamayı yapmak için gerekli anahtar veriler, kuyu performansı (değişik akımlarda akış miktarı ve geri çekilme miktarı) ile değişik akış miktarlarında giriş suyu sıcaklığına karşı kuyu performansı olacaktır. Kuyu ile ilgili bilgiler genellikle kuyu pompası testlerinden çıkarılır. Isı pompası performans verileri ise üretici firmadan alınır.

Orta verimli ısı pompaları (COP'si 4) için verimli bir devre pompası tasarımı (0.016 W/W) ve 1.7 K'lık ısı eşanjörü sıcaklık farkında, Şekil 8.2 iki farklı yer altı suyu sıcaklığı (21°C ve 10°C) ve pratikte ortaya çıkmayan, iki kuyu pompası basıncındaki (300-900 kpa) eğrileri vermektedir.



Şekil 8.2 Debi-Performans Değişimi

Dört eğrinin optimum akış göstermesine rağmen, bazen daha düşük yer altı suyu akış miktarlarında çalışmak, suyun atık sorununu ve kuyu pompasının sermaye maliyetlerini azaltır.

Bu düşüncelerin projeye özgü niteliği yüksek düzeyde olsa da, bazı enlemlerdeki tasarımcının akış miktarı seçiminde düşünmesine değer özelliktedir.

Genelde, optimum tasarım, bina devresindeki akış miktarından daha düşük bir yer altı suyu akış miktarı ile sonuçlanır.

8.3 Yer Altı Suyu Kalitesi

Yer altı suyu kalitesinin önemi sistem tasarımına bağlıdır. Soyutlayıcı ya da ayırıcı bir ısı eşanjörü kullanan sistemlerde su kalitesi ile ilgili hususlara çok sık rastlanmaz (demir bakterisi dışında) ve bu durum bir YSKIP sisteminde bakım işlemlerini önemli düzeyde azaltır.

Yer altı suyunu doğrudan ısı pompalarında kullanan (küçük konutsal YSKIP sistemleri) sistemlerde bir kaç sorunun düşünülmesi gerekir. ABD’de suyla ilgili temel sorun genellikle kalsiyum karbonat (kireç taşı) biçimindeki taş birikimidir. Bu tür taş birikimi kısmen sıcaklığa bağlı olduğundan, yer altı suyunun temas ettiği yüzeylerin sıcaklığı taş birikimi düzeyinde belirler. Bu sistemlerde, soğutma konumunda su soğutkan ısı eşanjöründe ortaya çıkan pik sıcaklıklar olasılıkla 70°C’den fazladır. Soyutlama plakası bir ısı eşanjörü kullanan aynı sistemde olasılıkla ise 32°C’den fazla olmayan sıcaklıklara rastlanır. Aynı sistemin bir izolasyon plakası kullanılması halinde taş birikim eğilimi azalarak, oluşması olası düzeyler sınırlandırılır. Raffetry (200a) eyalet temelinde suların taş yapma potansiyeli hakkında bilgiler vermektedir.

Gerçekte deniz suyu uygulamaları için üretilmiş bulunan bakır nikel ısı eşanjörler bu işlev için mükemmel özellikler sergileyerek bir çok yer altı suyu için birkaç avantajı ortaya koyar. Hidrojen sülfid içeren yer altı sularıyla bu malzemenin, saf bakırdan daha kötü bir performans sergilediği gösterilmiştir.

Eğer yer altı suyu hava içeriyorsa, fazla ve özellikle ferrous demir, su içerisindeki ısı transfer yüzeylerinin kaplanmasıyla sonuçlanır (demiri, sudan daha az çözünen ferritik demir oksit biçiminde oksitleyerek). Bu demiri bir tek ısı eşanjöründen temizlemek yüzlerce hatta binlerce münferit ısı-pompasından temizlemeye göre çok daha az içişlik gerektirir. Yer altı su akımında bulunan parçacık halindeki maddeler (örneğin kum) mekanik sistemlerde bir sorun değil ise de, enjeksiyon kuyularını etkili biçimde tıkayabilir. Kum sorunu kuyuların tasarımı sırasında çözümlenmelidir (süzgeç çakıl paket).

Eğer sorunun yer üstünde çözümlenmesi gerekiyorsa bir süzgeç ya da filtre santrifuj seperatöre göre en fazla tercih edilen yöntemdir. Filtreler ilk çalışma ve durdurmada, santrifuj seperatörler gibi işlevsel düşüşler göstermezler (Kavanaugh ve Rafferty 1997)

9. YÜZEYSEL SU ISI POMPASI SİSTEMLERİ

Tasarım ve kurulum yöntemlerindeki benzerlikler nedeniyle yüzeysel su ısı pompası sistemleri YSKIP sistemlerinin bir alt dizisi olarak düşünülür. YSIP sistemleri, YKIP sistemlerine benzer şekilde kapalı devre yada YSKIP sistemlerine benzer şekilde açık devreli olarak yapılabilir. Gerçekte, yüzey sularının ısıl karakteristikleri, yer altı sularının karakteristiklerinden oldukça farklı olup, bazı önlemlerin alınmasını gerektiren farklı uygulamalar da olanaklıdır. Kapalı devre YSIP ları şekil 9.1 göl, nehir, ya da diğer bir açık gövdeli yüzeysel su kaynağına bağlı, hava-hava yada su-su türünden bir ısı eşanjörü içerir. Bir pompa, suyu yada su-antifriz çözeltisini, ısı pompası, su soğutkan ısı eşanjörü ve ısıyı su gövdesinden transfer etmekte kullanılan gömülü boru devresinden sirküle eder. Önerilen boru malzemesi mor ötesi (UV) korumayla ısıl sigorta altına alınmış HDPE borulardır.

9.1.1 Kapalı devre YSIP'larının önemli avantajları arasında şunlar sayılabilir;

- Kazı maliyetlerinin olmaması nedeniyle YSKIP'larına oranla daha düşük maliyet
- Pompalama enerjisi gereksiniminin düşük olması
- Düşük bakım gereksinimleri
- Düşük işletme maliyetleri

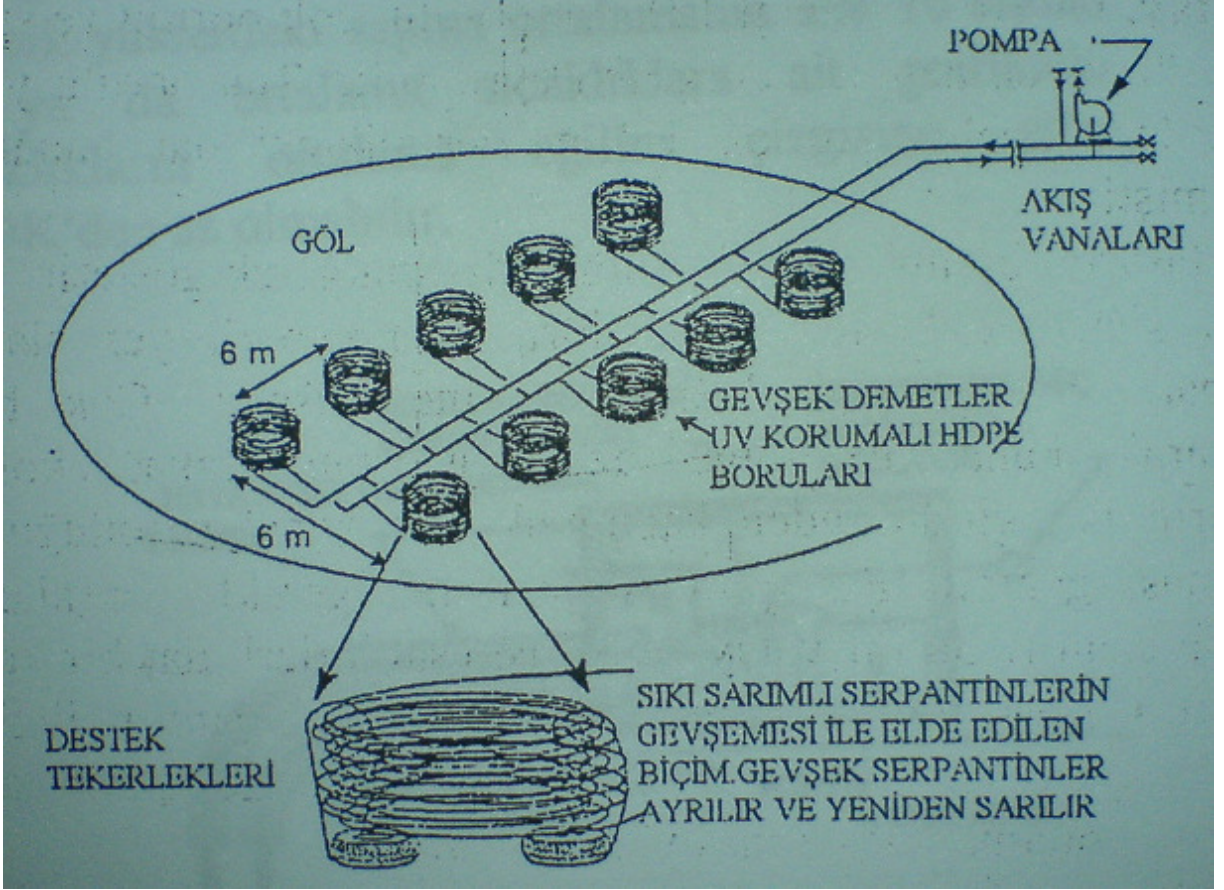
9.1.2 Sakıncaları ise;

- Kamuya açık göllerde serpantinlerin yıpranma olasılığı
- Gölün küçük ve sığ olması halinde, dış hava koşullarındaki gelişmelerle su sıcaklığının önemli ölçüde değişmesi ve bu değişimlerin sistem performansı ve kapasitesinde hava kaynaklı sistemlerde pek önemli olmayan olumsuz değişmelere neden olması.

Açık devreli YSIP sistemleri yüzeysel suyu soğutma kulesi ile birlikte, fakat fan yada bakım gereği olmaksızın kullanılabilir. Sıcak iklimlerde, göller kış ısıtması kaynağı olarak hizmet sağlayabilirse de, su sıcaklığının 7°C den düşük olduğu iklimlerde kış ısıtması için geçerli tek seçenek kapalı devre sistemlerdir.

Göl suyu doğrudan su-su ya da su-su ısı pompalarına pompalanabilir ya da, üniteye kapalı bir devreyle bağlanmış olan ısı eşanjöründen sirküle edebilir. Direkt sistemler sadece bir kaç ısı pompasına hizmet verecek biçimde küçük olurlar. Derin göllerde (12 m. ve daha derin) ön ısıtma yada soğutmayı olanaklı kılacak yeterli düzeyde ısıl tabakalaşma bulunur.

Gölün dip kısımlarından çekilen su bir hava kanalındaki serpantine pompalanabilir. Su sıcaklığı 10°C ve altında ise toplam soğutma olanaklı olabilmektedir. Ön soğutma daha sonra bir ısı pompasından sirküle edilen daha sıcak suyla yapılır.



Şekil 9.1 Kapalı devre göl ısı eşanjörü

9.2 Yüzeysel Su Isı Pompaları

Doğru kullanıldıklarında yüzeysel su kütleleri çok iyi ısı kaynağı ya da çukuru olabilirler. Bazı durumlarda göller soğutma için en iyi su sağlayan kaynaktırlar. Bu temelde çok değişik tasarımlar söz konusu olup bunlardan en çok uygulananlar aşağıda ele alınmaktadır.

Bir kapalı devreli sistemde, su hava türü ısı pompası, bir dalgıç serpantine bağlanır. Serpantin içinde sirküle eden ısı transfer akışkanı (genellikle su ya da antifriz karışımı) tarafından göle verilen (soğutma) ya da gölden çekilen (ısıtma) ısı biçiminde bir ısı transferi söz konusudur. Isı pompası ısıyı bina hava hazırlama birimine vererek ya da ondan çekerek transfer eder.

Bir açık devreli sistemde, su gölden pompalanarak bir ısı eşanjörü içinden geçer ve çekildiği noktadan farklı bir yerden göle geri döner.

Pompa göl seviyesinden biraz yukarda ya da göldeki su seviyesinin altında dalgıç biçiminde konulabilir. Isıtma konumundaki ısı pompa çalışması için bu sistem sıcak iklimler ile sınırlıdır. Göl suyunun giriş sıcaklığı donmadan korunmak üzere 5.5°C'nin üzerinde kalmalıdır.

Göl suyunun ısıl tabakalaşması nedeniyle, derin göllerde dibe yakın kısımda önemli miktarda soğuk su bulunur. Sadece bu su, ısı eşanjöründen dolaştırıldığında binayı soğutabilecek sıcaklığa sahiptir. Bu durumda soğutma için bir ısı pompası gerekli olmadığından enerji tüketimi önemli ölçüde azalır.

Kapalı devre serpantinleri daha soğuk göllerde de kullanılabilir. Isıtma ayrı bir ısı kaynağından ya da ısıtma konumunda çalıştırılan ısı pompasından sağlanır. Su sıcaklıklarının 10°C ile 15°C arasında olması durumunda ön soğutma ya da yardımcı toplam soğutma olanaklıdır.

9.3 Göllerde Isı Transferi

Göllerde transfer edilen ısı üç yolla gerçekleşir:

- Güneşten radyasyon yoluyla
- Çevre havasından konveksiyon yoluyla (hava sıcaklığı, göl sıcaklığından yüksekse)
- Topraktan kondüksiyonla

Güneş radyasyonu, 950 W/m²'ye kadar çıkabilen en önemli ısıtma mekanizması olup, gölün çok temiz olmaması durumunda sadece üst kısımda birikir. Güneş radyasyonunun %40'ı yüzey tarafından emilir. (Pezent ve Kavanaugh).

Kalan enerjinin %93'ü gözle görülebilen bir derinlikte emilir. Çevreleyen hava sıcaklığının, göldeki su sıcaklığından düşük olması durumunda ısı göle konveksiyonla aktarılır.

Rüzgar göle transfer edilen ısı miktarını artırır da, bu yolla transfer edilen enerji, maksimum güneş radyasyonunun %10-20'si kadardır. Topraktan sağlanan kondüksiyon ısı kazancı konveksiyonla sağlanandan daha düşüktür. (Pezent ve Kavanaugh 1997)

Göllerin soğuması öncelikle yüzeyden gerçekleşen buharlaşma yoluyla gerçekleşir. Hava ile gölün yüzeysel sıcaklığı arasındaki farkın küçüklüğü nedeniyle sıcak aylardaki konvektif ısıtma ya da soğutma çok küçük miktarlardadır. Gece gök yüzü açıkken ters radyasyon gerçekleşerek gölün daha da soğumasına neden olur.

Nispeten sıcak olan göl yüzeyinden gökyüzüne bir radyasyon gerçekleşir. Örneğin gece ters yöndeki radyasyon 14 K'lık bir sıcaklık farkına 160 W/m^2 düzeyinde olabilmektedir.

Isı transferinin üçüncü biçimi olan toprağa kondüksiyonla ısı geçişi gölün soğumasında önemli bir rol oynamaz. (Pezent ve Kavanaugh 1997)

Bu ısı transfer miktarlarını canlandırmak için 4000 m^2 'lik bir gölün 35 kW 'lık ısı pompası ile kullanıldığını düşünelim. Soğutma konumunda ünite göle 44 kW enerji aktaracaktır. Buda 11 W/m^2 olarak ifade edilir ve gölün güneş radyasyonundan kazandığı ısının yaklaşık %1'i civarındadır. Kışın 35 kW 'lık ısı pompası sadece 26 kW ya da diğer ifadeyle 6.4 W/m^2 ısıyı gölden çekecektir.

9.4 Göllerde Isıl Özellikler

Suyun maksimum yoğunluğu, donma noktası olan 0°C 'de değil fakat $+4^\circ\text{C}$ 'dedir. Bu fenomen, göllerde yada göllerden ısı transferiyle birleştirildiğinde ısı pompalarının etkili bir çalışma göstermesi için çok uygun sıcaklık profilleri ortaya çıkar.

Kışın en soğuk su yüzeyde olup bu tabaka yüzeyde kalarak donma eğilimi gösterir. Bir gölün dibini yüzeye göre 3-5 K daha sıcaktır. Bu durum kış durulması olarak adlandırılır. Sıcak su, yüzeydeki soğuk sudan daha iyi bir ısı kaynağı durumundadır.

Bahar yaklaşırken, sıcaklık, maksimum yoğunluk sıcaklığı olan $+4^\circ\text{C}$ 'ye yaklaşıncaya kadar ısınır. Kışın gerçekleşen ısıl tabakalaşma bozulmaya, üstten alta doğru sirkülasyon devreleri oluşmaya başlar. Durumun baharda bu biçimde tersine dönmesi (Pierce 1964) gölün son derece eş-biçim bir sıcaklığa sahip olmasına neden olur.

Baharın sonlarına doğru sıcaklık 7°C 'ye doğru çıkarken sirkülasyon döngüleri gölün üst kısmındadır. Bu durum yaz boyunca devam eder. Gölün üst kısımları evaporatif soğuma ve güneşten aldığı radyasyonla nispeten daha sıcak kalırken alt kısımlar (hypolimnion) bütün radyasyon üst kesimler tarafından emildiğinden soğuk kalır.

Sirkülasyon döngüleri alta geçemez ve toprağa olan kondüksiyon da küçük düzeydedir. Sonuçta derin ve çok az akıntı alan göllerde üst bölgeler $21-32^\circ\text{C}$ de alt bölgeler $4-13^\circ\text{C}$ de

olup, orta bölgelerde (thermo-cline) derinliğin çok az değişmesiyle önemli sıcaklık değişimleri görülür. Bu durum yaz durulması olarak adlandırılır.

Sonbahara doğru gelindiğinde, göl yüzeyi evaporasyon ve radyasyon nedeniyle soğumaya başlar. Kış gelirken üst bölgeler donma sıcaklığına doğru soğumaya başlarken alt bölgeler maksimum yoğunluk sıcaklığı $+4^{\circ}\text{C}$ 'ye doğru yaklaşır. Göllerin çoğu ideale hemen hemen yaklaşık bir sıcaklık profili sergilerse de bir çok faktör bu profili bozar. Bu karakteristikler arasında;

- 1-Göle giren ve çıkan yüksek debideki akımlar
- 2-Göl derinliğinin ısıl tabakalaşma için yeterli olamaması
- 3-Göl seviyesindeki oynamalar
- 4-Rüzgar
- 5-Yaz tabakalaşması için gerekli soğutmayı sağlayacak yeteri kadar soğuk hava bulunmaması

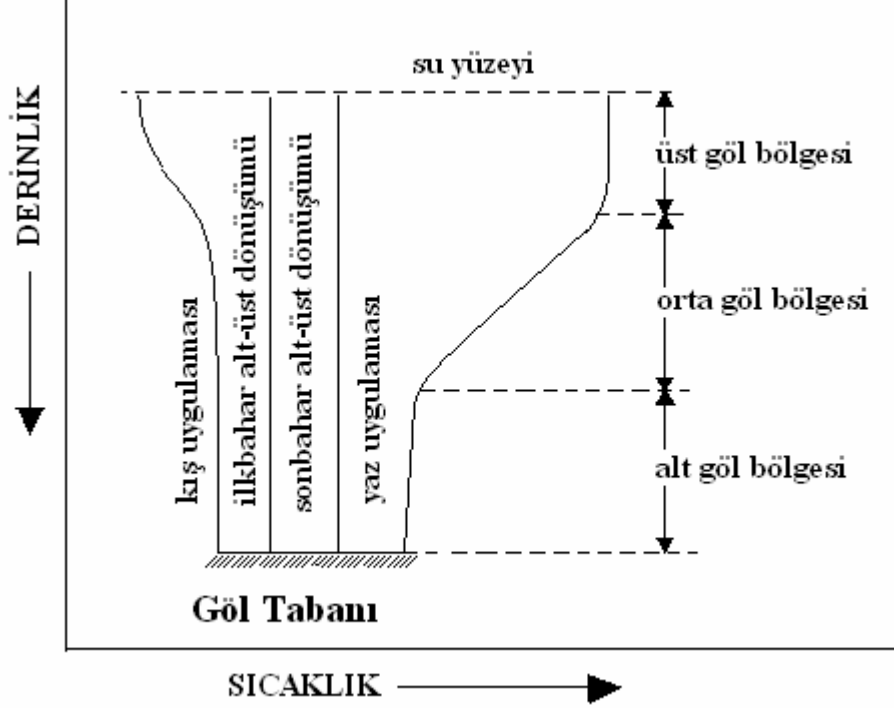
9.5 Kapalı Devre Göl Isı Pompası

Şekil 10.1-2'de gösterilen kapalı devre ısı pompası açık devrelere göre bazı avantajlara sahiptir. Birincisi, temiz suyun (ya da su antifriz çözeltisinin) ısı pompasından sirkülasyonu nedeniyle oluşan kirlenmenin azalmasıdır. İkinci avantaj pompalamadaki enerji giderlerinin düşük olmasıdır.

Bunun nedeni, temelde ısı pompası ile göl yüzeyi arasında önemli bir seviye farkı bulunmamasıdır. Üçüncü ayrıcalık, bu sistemin sıcaklığının $+4^{\circ}\text{C}$ 'nin altına düşmesi olası göllerde kullanımı önerilen tek devre olmasıdır. Suyun çıkış sıcaklığı 54 mL/skW değerinde giriş sıcaklığının 3 K altında olacaktır. Kütleli göl sıcaklığı $1-3^{\circ}\text{C}$ arasında olduğunda ısı eşanjörü yüzeylerinde donma başlar. Kapalı devre sistemlerin bir kaç sakıncası da bulunmaktadır. Sirkülasyon su sıcaklıkları göl sıcaklığının 2-7 K altına düştüğünden ısı pompasının performansı bir miktar azalır. Diğer bir sakınca halka açık göllere yerleştirilen serpantinlerin yıpratılma olasılığıdır. Isıl işleme birleştirilmiş polietilen devreler, bakır ya da yapıştırma ile birleştirilmiş PVC borulardan çok daha direnimsizdir. Üçüncü sakınca, özellikle çamurlu suyu bulunan göllerde yada serpantinlerin göl dibine yerleştirildiği durumlarda serpantin dış yüzeylerin kirlenme olasılığıdır.

Polietilen (PE 3408) bütün giriş borularında önerilen malzemedir. Bütün bağlantılar ya ısı ergitme yoluyla yapılmış geçme yada bindirme türünden olmalıdır. Bu plastik borular ayrıca özellikle yüzeye yakın döşediklerinde (UV) korumasına sahip kılınmalıdır. Bant sarılarak birleştirilen polivinil klorür (PVC) borular önerilmez.

Kapalı devre sistemlerdeki boru düzenlemeleri yere bağlı ısı pompalarında rastlanınlara benzer. Isı pompası ile göl arasında geniş çaplı bir ana boru ile göl içerisinde bir kaç paralel devre gereklidir.



Şekil 9.2 Göllerdeki Isıl Tabakalaşma Yıllık Çevriminin İdealize Edilmiş Diyagramı

Boru demetleri ısı yünden girişimi önlemek için, sıcak noktalardan ve soğuk ceplerden uzağa yerleştirilmelidir. Bu yerleşim biçimi performans yönünden önerilse de kurulumu oldukça uzun bir zaman alır. Bir çok yüklenici plastik boru serpantinleri sadece birbirinden ayırarak göle daldırmaktadır. Isıl girişimi önlemek için demet serpantinleri ayırık serpantinlerden daha uzun yapmak gerekir. Bu tür bir kurulum Şekil 10.1-2'de gösterilmektedir.

Bakır borularda bu devrelerde başarıyla kullanılmışlardır. Bakır boruların yüksek bir ısı iletkenliğe sahip olması nedeniyle, aynı ısı gereksinimler için kullanılan bakır boru uzunluğu plastik boru uzunluğunun dörtte biridir.

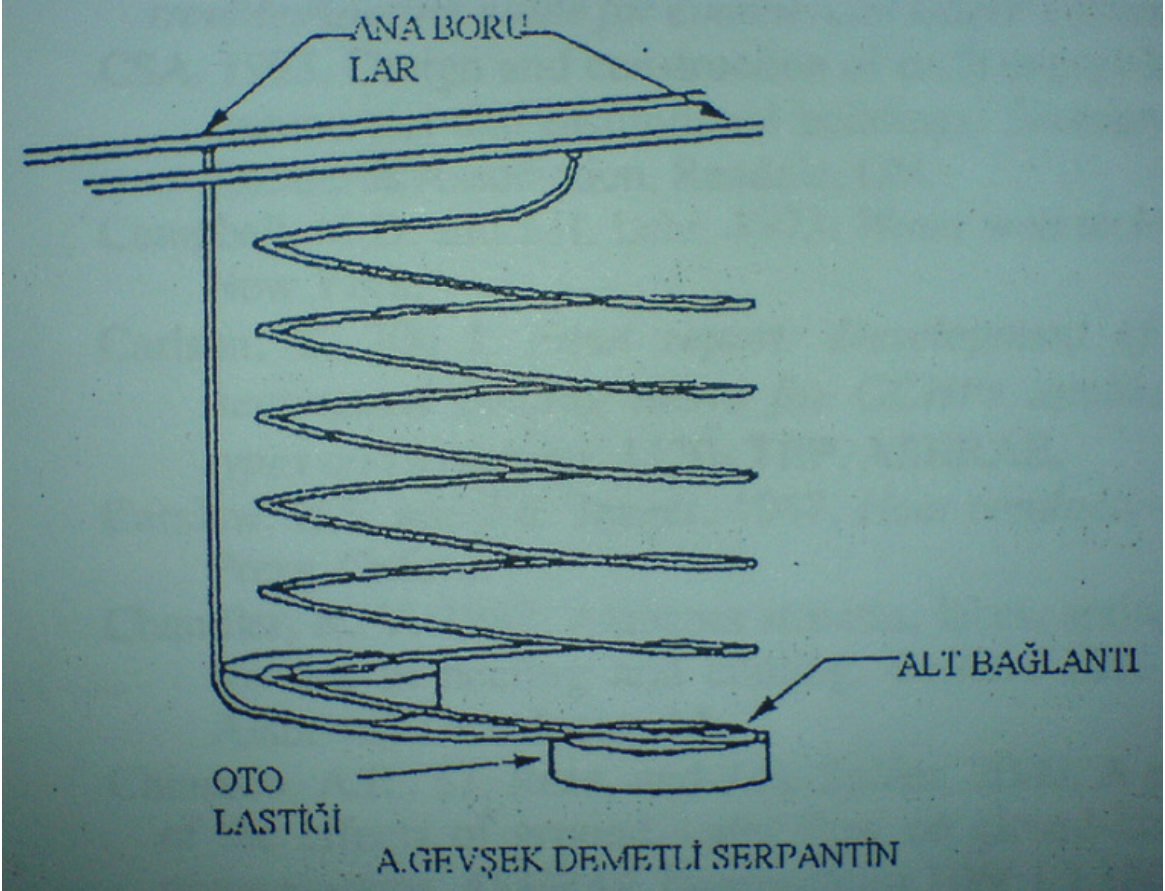
Buna karşılık bakır boru PE 3408'in ya da polibütan'ın sağladığı dayanımı vermez ve eğer kirlenme olasılığı varsa boru uzunluğu önemli bir miktar arttırılmayı gerektirir.

10. ANTİFRİZ GEREKSİNİMLERİ

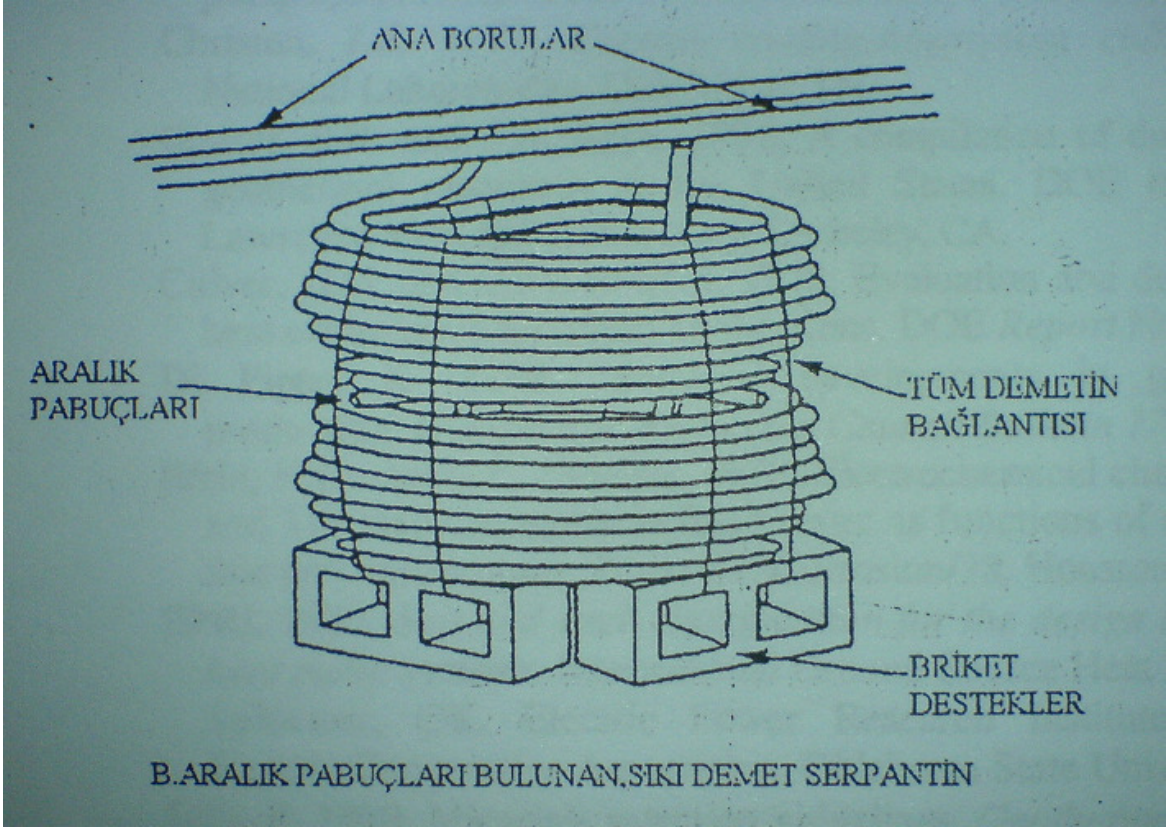
Uzun ve soğuk ısıtma mevsimlerine sahip olan yerlerde, kapalı devre ve yüzeysel su ısı eşanjörlerinde sirküle eden suya antifriz eklenmesi gerekir.

Toprak delgi içerisindeki ısı eşanjörleri, toprak sıcaklığı hemen hemen sabit kaldığından antifriz gerektirmez. Yatay ısı eşanjörleri için tipik bir değer olan 2 m. derinlikten sonra toprak sıcaklığı $\pm 5K$ değişir. Kışın ortalama sıcaklığı $15^{\circ}C$ bile olsa, 2 m. derinlikteki toprak sıcaklığı $10^{\circ}C$ 'ye düşecektir. Isı çekme süreci, ısı eşanjör çevresindeki sıcaklığı belki 5 K daha düşürür. Sirküle eden suya iyi bir ısı transferi ile bile giren suyun sıcaklığı (yer altı eşanjöründen çıkan) $5^{\circ}C$ civarında olacaktır.

Isıyı soğutkana transfer etmek için, ısı pompasının soğutkan-su ısı eşanjörüne ek bir 5 K'lık sıcaklık farkına gerek vardır. Soğutkan su eşanjör serpantininde suyun donma noktasının altında bir sıcaklığa sahip olmak, ısı eşanjörünün su tarafında bir buz tabakasının oluşması riskini taşır. Serpantin buzlanması en iyi durumda, akışı sınırlayıp hatta keserek sistemin durmasına neden olur.



Şekil 10.1 Kapalı devre göl serpantin demeti, gevşek



Şekil 10.2 Kapalı devre göl serpantin demeti, sıkı

En kötü durumda, buzlanma serpentin borularını patlatarak, önemli bir bakım işlemini gündeme getirebilir. Yer altı devresi için antifriz seçerken bir kaç hususun dikkate alınması gereklidir. En önemli düşünceler;

- 1-Sistem yaşam çevrimi üzerine etkileri
- 2-Korozyon
- 3-Kaçak ve sızıntı
- 4-Sağlık riski
- 5-Yangın riski
- 6-Etrafa saçılma ya da atık işlemindeki çevresel risk
- 7-Gelecek kullanımlar için risk (bir antifriz sistemin bütün ömrü boyunca kullanılabilmelidir.)

Çizelge 10.1.-Seçilen YKIP Antifriz Çözeltisinin Uygunluğu

Kategori	Propilen			Potasyum		
	Metanol	Etanol	Glikol	Asetat	CMA	Üre
1	***	***	**1	**1	**1	***
2	**2	**3	***	**	**4	**5
3	***	**6	**6	*7	*8	*9
4	**10,11	**10,12	***10	***10	***10	***10
5	*13	*13	***14	***	***	***
6	**15	**15	***	**15	**15	***
7	*16	**17	***	**18	**19	**19

* Potansiyel

tehlike

** Sorun potansiyeli az

*** Sorun potansiyeli yok ya da çok az

Çizelge 10.2. Seçilen YKIP Antifriz Çözeltilisinin Uygunluğu

Kategori	Notlar
Yaşam çevrimi	1.Ortalama kurulum ve enerji maliyetlerinden yüksek
Korozyon	2.Siyah demir ve dökme demirde yüksek korozyon miktarı 3.Siyah demir, dökme demir, bakır ve bakır alaşımları, yüksek korozyon 4.Siyah demir, bakır ve bakır alaşımlarında orta korozyon 5.Siyah demirde orta,dökme demirde yüksek,bakır ve bakır alaşımlarında son derece yüksek korozyon miktarları
Kaçak/Sızıntı	6.Gözlenen kaçak çok az 7.Gözlenen kaçak orta düzeyde.Kurulu sistemlerde önemli kaçak miktarı rapor edilmiştir. 8.Orta düzeyde kaçak gözlenmiştir. 9.Kütlesele kaçak gözlenmiştir.
Sağlık riski	10.Kullanırken koruyucu önlemler gerekir. 11.Uzun süre maruz kalınırsa baş ağrısı,karaciğer yıpranması, kusma, kontrol kaybı, körkük ve ölüm Doğru ekipman kullanımı ve işlemler riski önemli ölçüde azaltır 12.Kansere neden olduğu saptanmıştır
Yangın riski	13.Sadece saf akışkanda var,suyla seyreltildiğinde çok az risk 14.Yüksek sıcaklıklarda saf akışkanın yanma riski çok az
Çevresel risk	15.Su kirliliği
Gelecekte kullanım riski	16.Zehirlilik ve yangınla ilgili hususlar. Bazı yerlerde kullanımı yasak 17.Zehirlilik,yangın ve çevresel hususlar 18.Kaçak/sızıntı ile ilgili hususlar 19.YKIP antifrizi olarak kullanılmıyor.Kullanım izni almak güç olabilir.

Kaynak:Heinonen ve Tapscott (1996)

Heinonen ve Tapscott (1996) tarafından altı antifriz üzerinde yukarıdaki yedi konuyla ilgili olarak yapılan bir araştırma Çizelge 10.1 ve 10.2’de özetlenmiştir.

Bütün kriterleri karşılayan tek bir madde bulunmamaktadır. Metanol ve Etanol düşük sıcaklıklarda çok iyi viskozite karakteristikleri sergilerken, ortalamanın altında pompalama gücüne gerek gösterir. Konsantre biçimlerde her ikisi de yangın tehlikesi taşır. Metanol, zehirli olduğundan zehirsiz antifrizlerin kullanılmasını gerektiren uygulamalardan soyutlanır.

Propilen glikol için önemle düşünülecek bir husus yoksa da, sadece sızıntı ve pompalamada güç gereksinimleri bir ölçüde üzerinde durulmayı gerektirebilir. Potasyum asetat, kalsiyum magnezyum ve üre, istenen sağlık ve çevresel güvenliğe sahip ise de, bu maddelerin geçmişte kullanımlarını sınırlayan kaçak sorunu sergilerler.

11. MAHAL KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Mahal karakteristikleri belirli bir yer için en uygun YKIP sistem seçimini etkiler.

Mahal karakteristiklerinin belirlenmesi, YKIP üzerindeki etkileri yönünden mahallin jeoloji ve hidrolojisinin araştırılmasıdır.

Önemli hususlar arasında;

Su bulunup bulunmadığı, varsa derinliği,

Su (ya da toprak kaya) sıcaklığı,

Kayalık bölgenin derinliği,

Kaya türü, kayanın altında uzanan gevşek tabakanın türü ve kalınlığı sayılabilir.

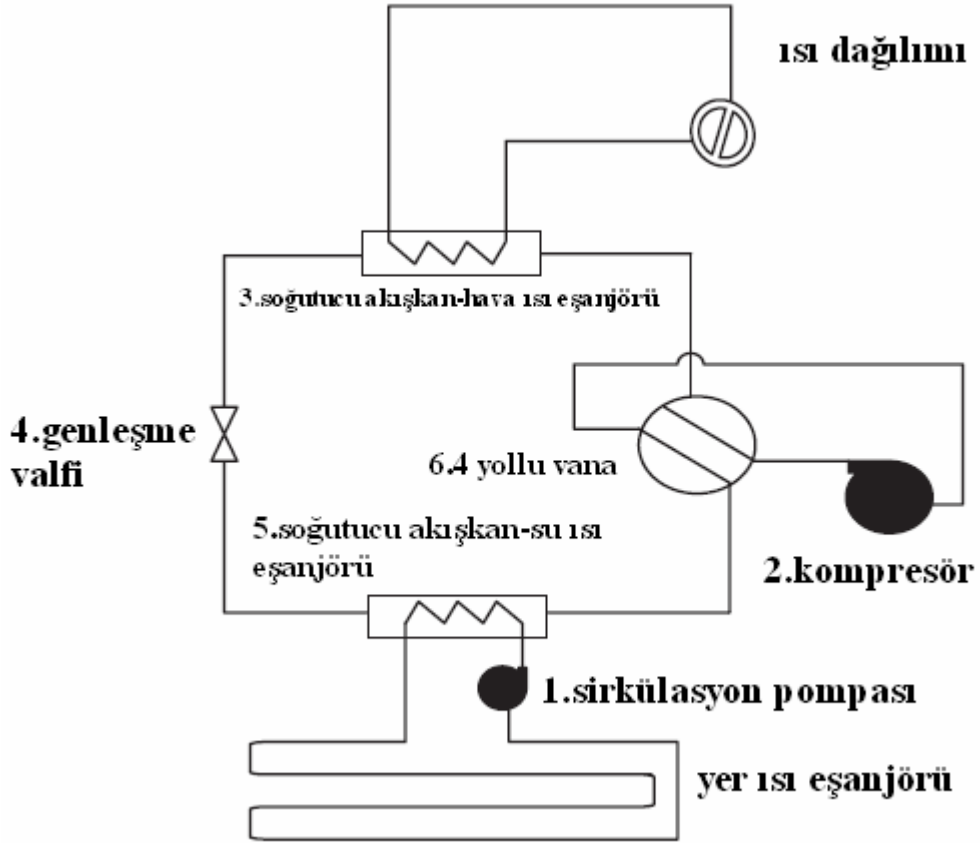
Mahaldeki su kaynağının doğasına ilişkin bilgiler açık ya da kapalı devrelerden hangisinin seçileceği konusunda yardımcı olur. Su derinliği pompalama enerji maliyetleri ile kapalı devre olması halinde delgi ekipmanı maliyetlerini etkiler. Yer altı suyu yaklaşık olarak kazılmamış toprak sıcaklığı ile aynıdır. Bu sıcaklıklar YKIP sistemlerinin tasarımı için anahtar girdilerdir. Toprak kaya türleri, beklenebilecek “ısı iletkenlik difüzivite” için ön değerlendirme yapma olanağı verir.

YKIP sistemi hakkında bir karar verildikten sonra, yüzeyin altındaki malzeme (kaya, toprak), ısı iletkenlik ve difüzivite, kuyu statik ve pompalama yükseklikleri, çekilme uzaklığı gibi sistemin tasarım için gerekli olan özel ayrıntılar belirlenir.

12. ISI POMPASI ÜNİTESİ

Bu cihaz 5 temel bileşenden oluşur

- 1) sirkülasyon pompası
- 2) kompresör
- 3) soğutucu akışkan hava veya su ısı eşanjörü
- 4) genleşme valfi
- 5) soğutucu akışkan ve yer ısı eşanjörü arasındaki ısı dönüştürücüsü
- 6) 4 yollu vana



Şekil 12.1 Isı Pompası Ünitesi

Isıtma modundayken ısı yer ısı eşanjörü tarafından topraktan çekilir. Çekilen ısı soğutucu akışkana ısı dönüştürücüsünde transfer olur. Akışkan ısı pompası döngüsünden geçer. Akışkan üzerindeki ısı soğutucu akışkan-hava ısı eşanjöründe (kondenser) eve pompalanır. Soğutma modunda proses tam tersi çalışarak evdeki ısıyı emer ve toprağa pompalar. En geniş

kullanılan tip sudan havaya ısı pompasıdır. Bu tipte su veya su-antifiriz karışımı soğutucu akışkan borularından ve yer ısı eşanjöründen geçer.

12.1 Yer kaynaklı ısı pompasının performans değerlendirilmesi:

YKIP'nın enerji performansı 3 önemli faktörden etkilenir. ısı pompası, sirkülasyon pompası ve yer ısı eşanjörü. Sistemin dizaynı yapılırken büyük ölçüde yapılan kaynak ve enerji harcamaları yer ısı eşanjörüne yapılır. YIE düzgünce dizayn edilip doğru bir şekilde yerleştirildiği ve yüksek verimli ısı pompası sistemleri ile kullanıldığı takdirde YKIP son derece verimli olur.

12.1.1 Isı Pompası;

Sistemdeki en büyük enerji tüketicisi ısı pompasıdır. Pompanın performansı makinanın veriminin ve yer ısı eşanjörü tarafından oluşturulan su sıcaklığının bir fonksiyonudur .En önemli strateji verimli bir ısı pompası ile işe başlamaktır. Çünkü verimsiz bir sistemi verimli yapabilmek için yer ısı eşanjörünü genişletmeye çalışmak gerekirse bu bizim için çok daha maliyetli olacaktır. Isı pompası sisteminde verimi ön plana çıkarmamızın sebebi kesin bir ısıtma soğutma çıkışı sağlamak için gerekli enerji miktarını göreceli olarak belirtebilmektir. Çok verimli bir donanım aynı işi yapmak için başka bir sisteme göre daha az enerji harcayacaktır. Performansı ve verimliliği ifade etmek için ısıtma, soğutma ve havalandırma endüstrisinde çok çeşitli tanımlar kullanılmaktadır. Özellikle performans katsayısı, enerji verim oranı, mevsimlik enerji verim oranı SEER ve ısıtma mevsimlik performans faktörü HSPF. Diye belirtilen terimler geniş bir şekilde verimi belirtmek amacıyla kullanılmakta ve Amerikan Soğutma Enstitüsü ARI tarafından kabul görmektedir.

Çeşitli kodlar ve standartlar minimum verimi belirtse de bu günün teknolojisiyle üretilen ısı pompalarının verimleriyle tam olarak örtüşmez. Üreticilerin açıklamalarından yola çıkarak ticari olarak ulaşabileceğimiz donanımların soğutma verimleri EER 12 ila 16.8 Btu/Wh ve ısıtma verimleri COP 3 ila 4.3 arasındadır. (EER'yi Cop'a çevirmek için 3.413 ile böleriz.) Amerika birleşik devletlerinde ısı pompaları tonaj ile belirtilir. 1 ton buzdan elde edilen 1 tonluk soğutma gücü 12000Btu/h veya 3.51 kW' tır. Piyasadaki donanımların verimlerini incelerken dikkatli olmak gerekir. Isıtma ve soğutma cihazlarının verimleri uygulamayla, yükte, ısı kaynağıyla ve ısı atılan mahalle bağlantılı olarak değişiklik gösterebilir. Standart verim ifadeleri özel şartlar ve kullanma koşulları altında geçerlidir. Verimi karşılaştırılan cihazların aynı şartlar ve standartlar altındaki verim değerlerinin karşılaştırılması gerekmekte ve buna dikkat etmek gerekmektedir. Sudan havaya ısı pompalarının verimi hava kaynaklı ısı

pompalarınınkiyle karşılaştırılmaz. Hava kaynaklı ısı pompalarının verimleri daha kompleks ve iyimserdir. Donanımın gerçek performansı yer ısı eşanjörü tarafından üretilen su sıcaklığının fonksiyonudur. Bu fonksiyon toprak sıcaklığına, pompa gücüne ve yer ısı eşanjörünün dizayn şartlarına ve tipine bağlıdır. Başka bir deyişle ısı pompasına su giriş sıcaklığı belkide tek başına ısı pompası yükünün en önemli etki parametresidir. Örneğin toprak sıcaklığının 16°C olduğu bir bölgede yer ısı eşanjörü ortalama olarak 11 ila 14°C toprak sıcaklığının üzerinde sıcaklıkta çalışmaya göre dizayn edilmiş ise ve ısı pompası EER değeri olarak 16.8 olarak açıklanmışsa pik yük şartlarında aslında sadece 14.2 EER değeri çıkacaktır. Kötü dizayn edilmiş bir yer ısı eşanjörü ise toprak sıcaklığının 17 derece üzerinde çalışırsa EER değeri olarak 13'ün altında bir değere ulaşılabilir. Bu veriler soğutma işlemine göre örneklenmiştir. Yetersiz kapasite ile dizayn edilmiş yer ısı eşanjörleri haddinden fazla yüksek EWT değerlerine yazın, kışında haddinden fazla düşük EWT değerlerine ulaşır.

12.1.2 Sirkülasyon pompası:

Sistemin enerji performansı yer ısı eşanjörü ile ısı pompası içerisinde sirküle olan suyun pompalanması için gerekli olan harcanan enerjiden de etkilenir. Ticari amaçlı binalarda kullanılan yer kaynaklı ısı pompası sistemleri için pompalama güçleri yer kaynaklı ısı pompası dizaynı için aşağıdaki Çizelge 12.1 önerilmiştir.

Çizelge 12.1 Pompa dizayn kriterleri

Watt (Giriş)		Performans	
Ton Soğutma Başına	Behar kW başına	Verim	Derece
≤50	≤14	Verimli sistem	A:Mükemmel
50-75	14-21	Kabul edilebilir sistem	B:İyi
75-100	21-28	Kabul edilebilir sistem	C:Orta
100-150	28-42	Verimsiz sistem	D:Zayıf
>150	>42	Verimsiz sistem	E:Kötü

Bu çizelgede verilen değerler sonuç verici pompa ve boru sistemi dizaynına hüküm verebilmek için minimum $0.162 \text{ m}^3/\text{kWh}$ soğutma ile 0.162 den $0.192 \text{ m}^3/\text{kWh}$ soğutma aralığı için optimum pompa akış oranı için verilmiştir. Yüksek oranlar haddinden fazla pompa gücü gerektirirken, düşük oranlar ısı pompasını sınırlar. Aslında pompa enerjisi sistemin kullandığı toplam enerjinin %6 ~7 si kadar enerji kullanmalıdır. Tablodaki değerleri incelersek bir ofis binasını örnek olarak ele alalım. 175 kW (50ton) soğutma yükü olan ve pik yükler altında EER değeri 14 olan bir ısı pompası seçelim. 10 W/kW değerinde verimli bir sirkülasyon pompası seçelim. Sirkülasyon pompasının enerji ihtiyacı $175\text{kW} \times 10\text{W/kW} = 1750 \text{ W}$. Isı pompası ihtiyacı ile ısı pompası ünitesi ihtiyacı birleştirilirse sistem EER si 13.5 olur. Aynı bina ve donanım ile çok kötü dizayn edilmiş ve 34 W/kW değerli pompa ünitesi ile ancak 12.2 EER değerine ulaşılır.

12.1.3 Yer Isı Eşanjörü;

Yer ısı eşanjörünün dizaynı çeşitli jeolojik formasyonlar ve termal performansı etkileyen özelliklere bağlıdır. Malzemenin düzgün belirlenmesi, nem miktarı ve su hareketi önemlidir. Bu üç olgu arasındaki etkileşimi dikkatlice ele almak sistem performansı açısından çok önemlidir ve bina sahibinin işletme maliyetlerini minimize etmesi açısından gereklidir. Boru dizaynı aşağıdaki faktörlerden etkilenir;

1. Isı akışına en büyük direnci toprak gösterir. Bu yüzden yüksek iletken boru malzemesi, geniş yüzeyler ve yüksek iç akış hızları düşük değerler gereklidir.

2. Akışkan bina ve yer ısı eşanjörü arasında hareket ettiğinden pas tutucu solüsyonlar kullanımı gerekmektedir. Bu solüsyonların zehirli olmaması gerekmektedir.

3. Dizayn yolları izlendiği zaman yer ısı eşanjöründe iyi bir ısı transferi için yüksek akış hızları gerekli değildir ve sürtünme kayıpları bu sayede nispeten küçük çıkacaktır.

4. Yüksek akış hızları iyi ısı transferi için gereksiz olduğundan, akış düzensizliğini azaltmak ısı değişiminde küçük etkilere neden olur.

5. Yüksek verim, geniş aralık sudan havaya ısı pompalarında kesin bir su akış kontrolü gerektirmez. Su akış oranında $A \pm 33\%$ değişim soğutma kapasitesinde sadece $a \pm 2\%$ değişime sebep olur.

6. Borulardaki ve ısı pompasındaki sürtünme kayıpları toplamı 5.5 mss'dan düşüktür. Ek parçalar (dirsek vs..), boru uzunlukları, vana kayıpları bu hesaba dahildir.

7. Seçilen boru malzemesi ısı artırımlı yüksek yoğunluklu polietilen HDPE ise işçilik maliyetleri azalır, düşük sürtünme kayıplarına sahiptir buda pompa maliyetini ekonomik olarak azaltmamıza olanak verir.

8.Malzemenin korozyona karşı dayanımı ve eklem yerlerinden sızmaya karşı direnci sistem güvenilirliği ve uzun ömrü için gereklidir.

12.1.4 Kompresörler

HVAC sistemlerinde soğuk üretmek üzere kompresör kullanılır. Soğutma yapan bir klima sisteminde en büyük enerji, bu elemanlarda kullanılır. Kompresöre verilen elektrik enerjisiyle soğutma enerjisi üretilir. Birim soğutma için kullanılan elektrik enerjisi miktarı bir kompresörün ısı performansını (verimliliğini) ifade eden ana parametredir. “Beslenen elektrik enerjisi/elde edilen soğutma enerjisi” oranı çeşitli biçimlerde (birimlerde) ifade edilir:

-kW/ton soğutma

-COP (kw/kw)

-EER (Mbtu/kWh veya btu/Wh)

Soğutma kapasitelerine göre tavsiye edilen kompresör Çizelge 12.2 verilmiştir. Burada geçen “ton soğutma” bir enerji birimi olup, 1 ton soğutma =3,56 kW= 3,062 kcal/h değerindedir.

Çizelge 12.3’ de çeşitli tip kompresörler için üretici kataloglarından alınan tipik kW/ton oranı değerleri ASHRAE/IESNA Standart 90.1-1999 birçok HVAC ekipmanının minimum verim değerlerini vermektedir. Cihazlar bu verim değerlerinin altında olamazlar.

Bir su soğutma grubunda, soğutma kompresörü yanında elektrik enerjisi tüketen fanlar ve pompalar da bulunur. Dolayısıyla çiller grubu soğutma enerjisi üretme performansı değerlendirilirken kompresör dışında elektrik enerjisi tüketen diğer yardımcı ekipman tüketimleri de dikkate alınmalıdır. Bu durumda birim soğutma için harcanan elektrik enerjisi değerleri artacaktır.

Çizelge 12.2 Soğutma kapasitelerine göre tavsiye edilen kompresör

SOĞUTMA KAPASİTESİ	KOMPRESÖR TİPİ
25 Ton Soğutmaya Kadar.	Pistonlu ve Scroll
25-80 Ton Soğutma	Pistonlu veya Vidalı
200-800 Ton Soğutma	Vidalı-Santrifüj
800 Ton Soğutmanın Üzerinde	Santrifüj

Çizelge 12.3 Kompresör tiplerinin verim değerleri

Kompresör Tipi	Kondenser Tipi	Kondenser Soğutma Suyu/Havası Sıcaklığı	Soğutulmuş Su Sıcaklığı	Yüksek Verimli	Orta Verimli	Düşük Verimli
Scroll-DX	Sulu	Su Sıcaklığı= 29°C	7°C	0,65	0,75	0,85
Scroll-DX	Havalı	Dış hava= 35°C	7°C	0,78	0,88	0,98
Pistonlu-DX	Sulu	Su Sıcaklığı= 29°C	7°C	0,69	0,78	0,9
Pistonlu-DX	Havalı	Dış hava= 35°C	7°C	0,8	0,9	1

12.1.5 Toprak karakteristiği

Yer ısı eşanjörü tipleri ne şekilde olursa olsun toprak karakteristiği çok önemlidir. Isı eşanjörünün çalışması toprakta sürekli bir ısı ve nem akışına sebep olmaktadır. Yer ısı eşanjörü ile toprak arasındaki ısı transferi büyük oranda iletimle ve bir miktarda nem taşınımıyla olmaktadır. Bu yüzden ısı transferi toprak cinsi, sıcaklık ve nem gradyanına bağlıdır. Yayat yer ısı eşanjörlerinde toprak tipi çok kolay saptanabilir çünkü kazılmış toprak kolayca araştırılıp test edilebilir. Toprak difüzyon katsayısı (α_s) tanımlanmış bir özelliktir ve ısı iletkenlik katsayısının (k_s) ve ısı kapasitesinin ($\rho_s C_s$) oranıdır. Bu yüzden üç toprak karakteristiği k_s , ρ_s , C_s yer ısı eşanjörünün ısı verimini hesaplamak için önceden bilinmek veya hesaplanmak zorundadır. Termal özelliklerin kesin değerlerine ulaşabilmek için detaylı bir alan araştırması yapmak gerekiyor. Tanecikli yapıya sahip toprağın (kum, kil, alüvyon) termal özelliklerini hesaplamak için kum ve kil miktarını tespit etmek, kuru yoğunluk ve nem miktarını saptamak gerekir. Aşağıdaki formüllerin temelinde toprağın kuru yoğunluğu ve nem miktarı olup, bu analitik eşitlikler toprağın ısı özelliklerini hesaplamak için kullanılır.

Toprağın ısı iletkenliği k (w/mK) denklem 12.1 ve 12.2 den hesaplanır;

$$k_s = 0.14423(0.9 \log \omega - 0.2) 10^{0.000624 p_{sd}} \quad (12.1)$$

Alüvyonlu ve killi toprak için;

$$k_s = 0.14423(0.7 \log \omega + 0.4) 10^{0.000624 p_{sd}} \quad (12.2)$$

kumlu toprak için ω ağırlığa bağlı nem miktarını gösterir ve p_{sd} kg/m^3 teki kuru yoğunluğu gösterir. Termal difüzyon katsayısı nem miktarına hassas olarak bağlıdır çünkü suyun özgül ısısı (4.1868 kJ/kgK) toprak ve kayanın değerlerine oranla (0.84 ve 1.05 kJ/kgK) çok büyüktür. Toprağın kuru özgül ısısı ve kuru yoğunluğu C_{psd} ve p_{sd} , α_s değerini belirlemek için doğrulanmak zorundadır.

$$\alpha_s = \frac{k_s}{C_{psc} \rho_{sc}} \quad (12.3)$$

İle

$$C_{psc} = [\omega C_{pw} + (100 - \omega) C_{psd}] / 100 \quad (12.4)$$

$$\text{Ve} \quad \rho_{sc} = [\omega \rho_{pw} + (100 - \omega) \rho_{sd}] / 100 \quad (12.5)$$

C_{psc} ; toprağın doğrulanmış özgül ısısı

ρ_{sc} ; Toprağın doğrulanmış yoğunluğu

C_{pw} ; Suyun özgül ısısı (4.1868 kJ/kgK)

ρ_{pw} ; Suyun yoğunluğu (1000 kg/m^3)

13. ISI DAĞITIMI

Enerjiyi toprak ve sudan ayırmak için 2 ana yol vardır. Bunlar zorlanmış havalı sistemler ve hydronic sistemlerdir.

Havalandırma kanalları ile ısıtma ve soğutmada hava kalitesi sağlık şartları açısından çok önemlidir. Bazı binalarda hasta bina sendromu HBS adı verilen bir durum görülmektedir. İnsanlarda öksürük, üst solunum yolları enfeksiyonları, kaşıntı, baş ağrısı, boğaz kuruluğu gibi şikayetler görülebilmektedir. Bunun sebepleri sigara, ortamın taze havasız kalması, terleme ile oluşan kirlilik, yemek pişirmeden kaynaklı nem vs, kullanılan eşyalardan kaynaklanan organik buharlar, eşya ve kullanılan maddelerden kaynaklanan toz gibi harici nedenler sayılabilsede, sistemden kaynaklanabilecek bakteriyel ve mikrobik enfeksiyonlarında oluşması mümkündür. Bunlardan korunmanın yöntemi olarak filtreleme (Bazen çok pahalı olabilir), havalandırma oranını artırmak ve böylece sisteme taze hava girişi sağlamaktır.

Hydronic sistemler ise su kullanılarak binanın ısıtılması ve soğutulması yöntemidir. Radyatör veya alttan ısıtma sistemi ile bina ısıtılacağı gibi, bir binayı soğutmak için en basit yol bir fan kullanarak havayı su kanallarının içinde sirküle etmektir. Bu sistem ısıtma için uygun olmasada su kaynağının ısınmasına sebep olduğundan sistem çalıştığı sürece kullanım sıcak suyu elde etmemizi sağlar.

14. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deney düzeneği Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Kampüsünde 800 m2 açık alan üzerine kurulmuştur.

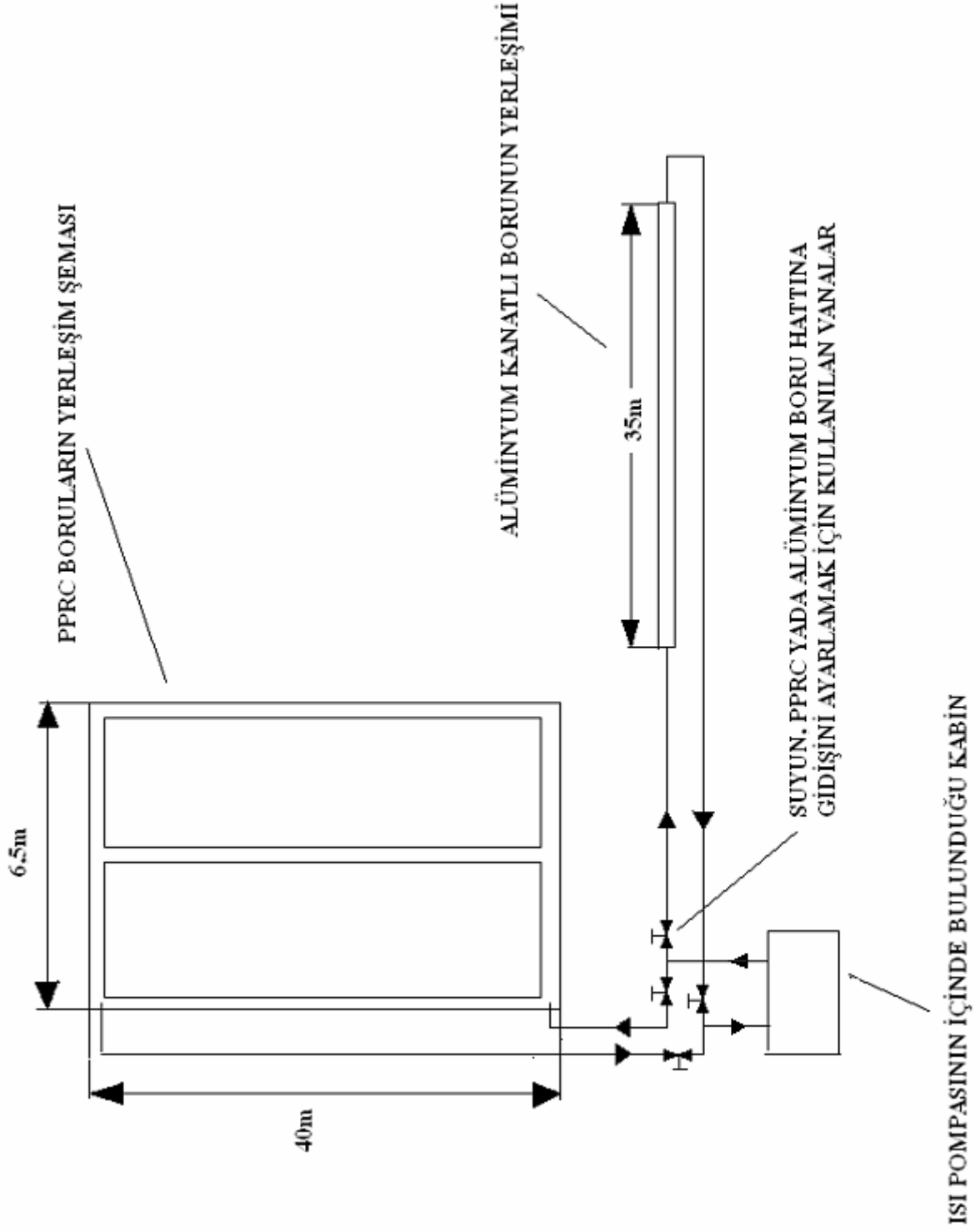
14.1 Sistemin Tanıtılması

Deney düzeneği aşağıdaki bileşenlerden oluşmaktadır.

- 1.Toprak ısı değiştiricisi devresi
- 2.Isı pompası
- 3.Kontrol ve ölçüm sistemi

14.1.1 Toprak ısı değiştiricisi devresi

Sistem PPRC borudan yapılmış paralel borulu toprak ısı değiştiricisi devresi, Alüminyum kanatlı borudan yapılmış tek hatlı toprak ısı değiştiricisi devresi, Pompa ve Su deposundan oluşmaktadır. Şekil 14.1,2,3,4



Şekil 14.1 Toprak ısı değiştirici devresinin şeması



Şekil 14.2 PPRC boruların toprak kapatılmadan önce alınmış görüntüsü



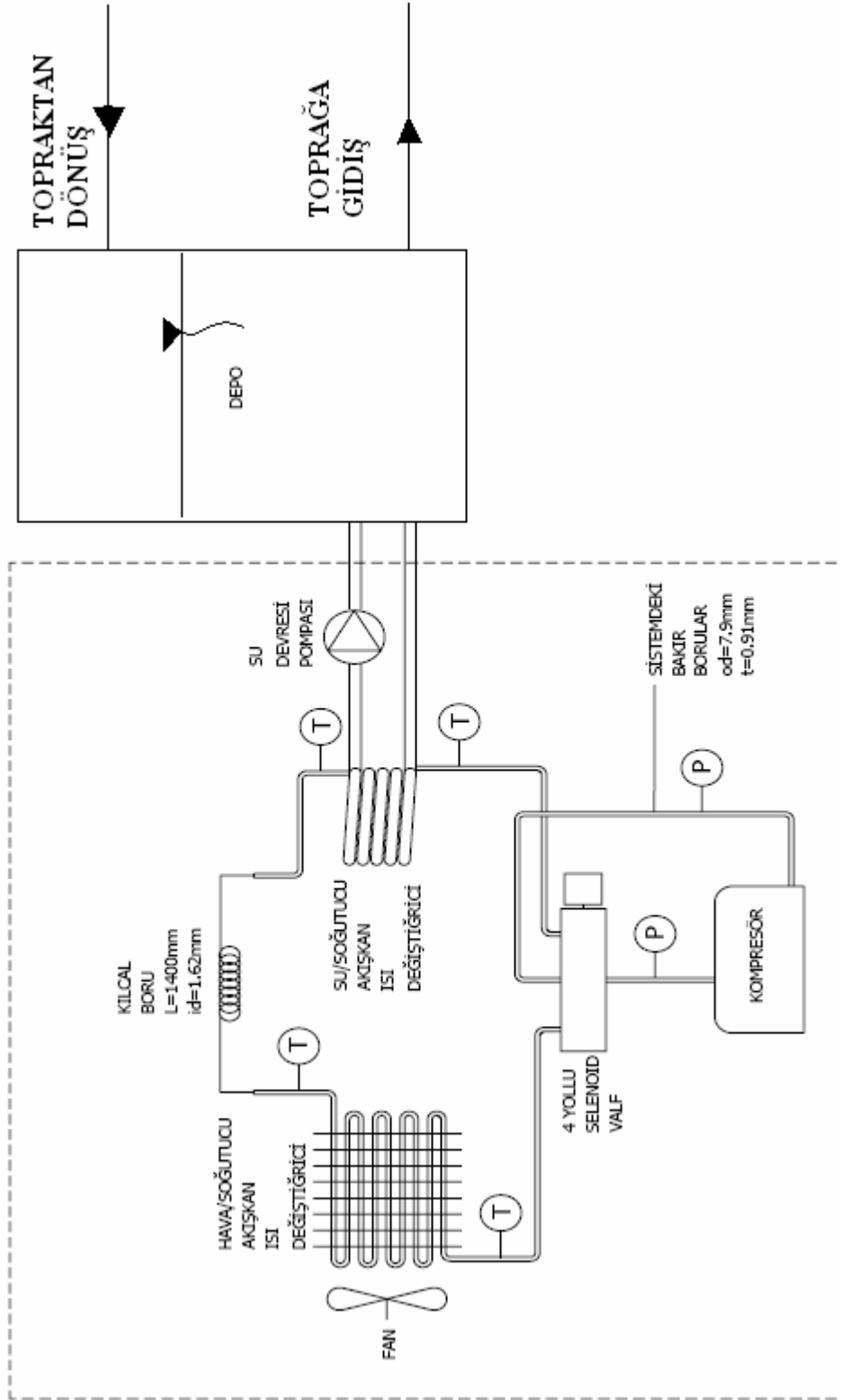
Şekil 14.3 PPRC borular ve kollektör



Şekil 14.4 Alüminyum kanatlı borunun toprak kapatılmadan önceki görüntüsü

Su deposundaki su 4 yollu vanaya sahip olan ısı pompasının evaporatör yada duruma göre kondenser görevi gören ünitesinin etrafında borular içerisinde sirküle olmaktadır. Alüminyum kanatlı boru üzerindeki deneyler 2 Temmuz'dan itibaren yaz ayı içerisinde yapılmış olup, ısı pompası havayı soğutma konumunda çalıştırılmıştır. Bundan dolayı ısı pompası havadan aldığı ısıyı depomuzdan sirküle olmakta olan suya aktarmış, depodaki suyun sıcaklığını artırmaya zorlamıştır. Isı pompasının verimli bir şekilde havayı soğutabilmesi için havadan aldığı ısıyı daha düşük sıcaklıktaki ısı kaynağına atması gerekmektedir. Bundan dolayı ısının atılacak olduğu depodaki su kaynağımızın mümkün olduğunca soğuk olması gerekmektedir

Depodaki suyun soğutulması görevi toprak altındaki alüminyum kanatlı boru ve paralel bağlanmış pprc plastik borularındadır.



Şekil14.5 Isı pompası şeması

Deneye başlandıktan sonra farkedilen olay şudur, 35 metre olan alüminyum kanatlı boru yalnız başına 4 kw. ısı pompasının havadan alıp suya aktardığı ısı enerjisini toprağa aktarabilecek kadar ısı transfer yüzey alanına sahip değildir ve boyu kısa kalmıştır. Bundan dolayı alüminyum kanatlı borunun hattına su saati takılarak, buna binaen pprc borunun hattında su verilmiştir. Bu sayede toprağın su sıcaklığını ısı pompasının çalışabileceği kadar düşük sıcaklıklara çekmesi sağlanmıştır.

Su deposundaki suyu toprak altında sirküle eden 1 adet wilo sirkülasyon pompası kullanılmıştır.0,55 kw 4,5 m³/h 20mss basma kapasiteli bir pompadır.

Su deposu üzerinde toplam su debisini gösteren rotametre bulunmaktadır, ölçebileceği en yüksek debi 2m³/h' dir.Şekil 14.6



Şekil 14.6 Rotametre

Ayrıca alüminyum kanatlı boru hattı üzerinde 1 adet su saati bulunmaktadır. Şekil 14.7

Su deposuna cam elyaf ile ısı yalıtımı yapılmış ve her yeri kaplanmıştır.Şekil 14.8

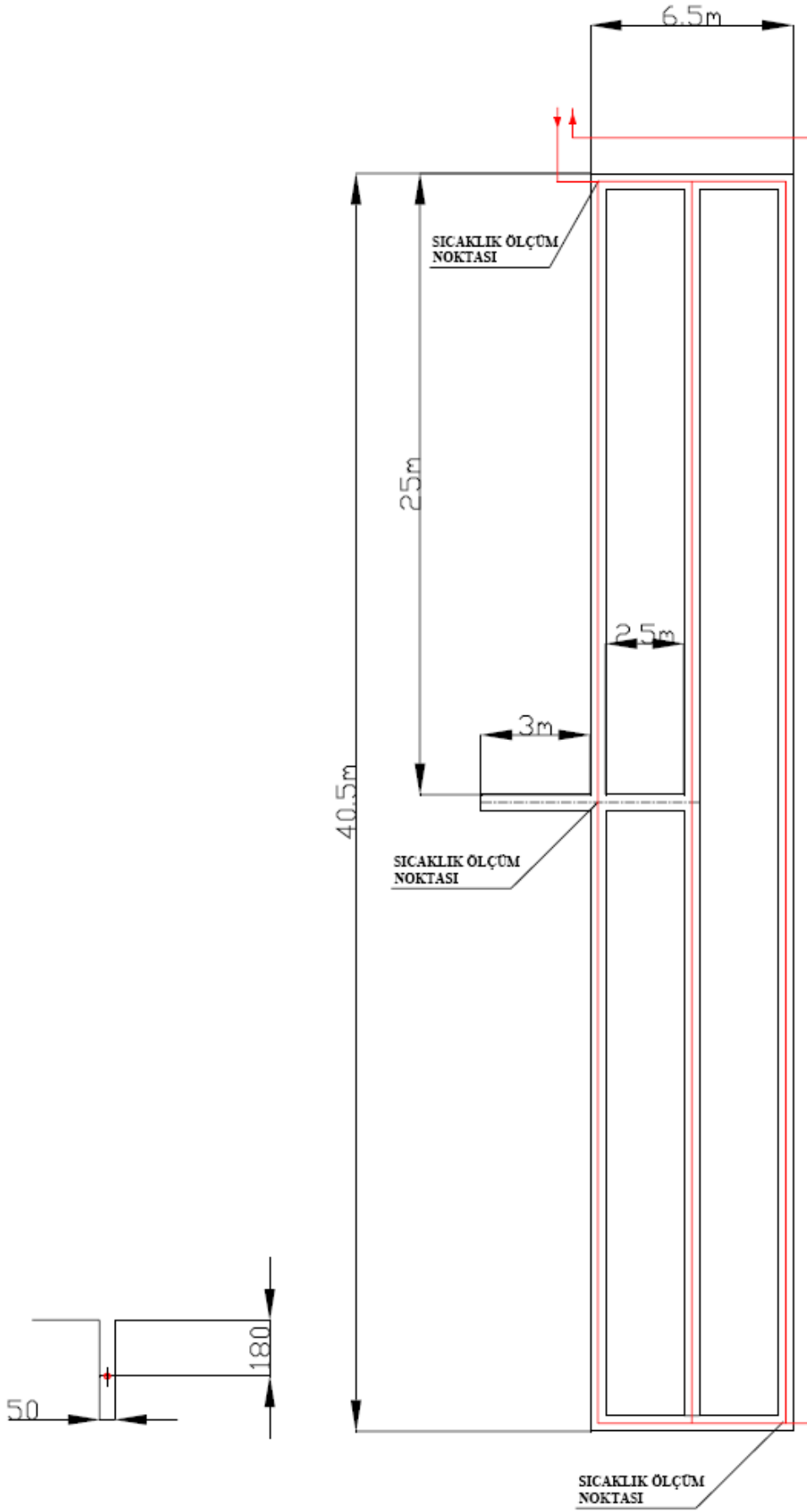


Şekil 14.7 Su sayacı



Şekil 14.8 Su deposu

Kullanılan pprc borular 40 m. Boyunda 3 adet 20/2,7 mm paralel boru ve 50 mm anma çapında pprc kollektörlerden oluşmaktadır. Borular 1,8m derinliğe gömülmüştür. Isı değiştiricisi ile depo arasındaki borular ise 3/4" çapındadır. Seçilen gömme derinliğine deney tesisatını hazırlayan ve ilk kullanan Dr.Hakan Demir, (Doktora tezi) tarafından açıklandığına göre ; matematiksel modeli doğrulamak amacıyla seçilmiştir. Gömme derinliğinin 1,8m. seçilmesindeki amaç yıl boyu toprak sıcaklığındaki salınım miktarının ve hafriyat giderlerinin optimum olduğu noktada olmasıdır. Daha derine indikçe toprak sıcaklığı daha kararlı hale gelmesine rağmen daha derin çukurların kazılması için gerekli işgücü ve hafriyat giderleri artmaktadır. Isı değiştiricisinde dolaşan akışkanın toprak ısı değiştiricisine giriş, çıkış sıcaklıklarını ve topraktaki sıcaklık dağılımını ölçmek üzere deney tesisatında ısıl çiftlerden yararlanılmıştır. Toprak sıcaklığını ölçmekte kullanılan ısıl çiftler toprak ısı değiştiricisini paralel boruların kolektöre bağlantı noktasından 25 m. uzaklıkta ve boruların eksenine dik bir düzlem üzerinde olacak şekilde yerleştirilmiştir.



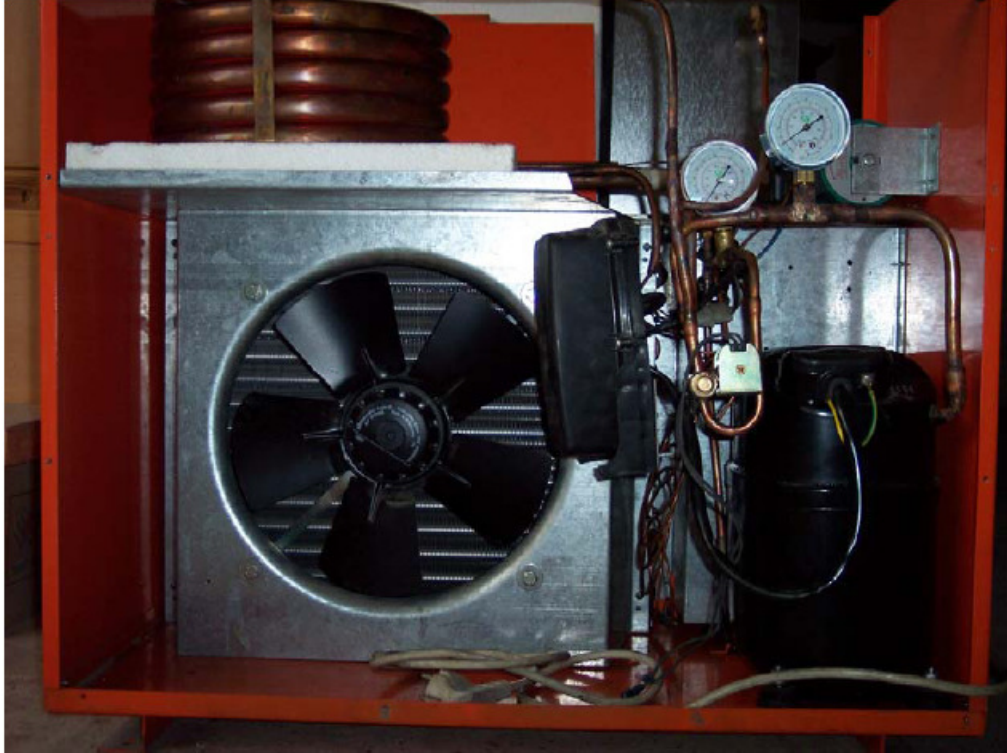
Şekil 14.9 PPRC boru yerleşim şeması, hafriyat detayları

Şekilde pprc borudan olan toprak ısı değiştiricisinin hafriyat detayları görülmektedir. Belirtilen noktalara toprak ve akışkan sıcaklıklarını ölçmek için termokopllar yerleştirilmiştir.* (Dr.Hakan Demir)

14.1.2 Isı Pompası

Sistemde 4 kW. gücünde hava su kaynaklı ısı pompası kullanılmıştır Şekil 14.10. Şekil 14.11’de görüldüğü gibi ısı pompasının içinde bulunduğu kabin ile dışarısı arasında yuvarlak ısı yalıtımlı hava kanalları kullanılmıştır. Bu hava kanalları ile dışardan alınan sıcak havanın ısısı, ısı pompasında alınarak, soğutulmuş hava tekrar hava kanalından geçerek kabinin dışarisına atılmıştır. Isı pompası ise havadan aldığı ısıyı depo ile ısı pompası arasında sirküle olmakta olan suya aktarmıştır. Isınan su depoya gelip toplanmakta, buradan toprak ısı değiştiricisine yollanmaktadır. Topraktan soğuyup gelen su, su deposunda ısı pompasından gelen sıcak su ile karışmakta ve depo su sıcaklığı bu sayede düşürülmektedir. Bu deneyde hava debisi yada hava sıcaklık farkları lmemiştir. Yalnızca su sıcaklığı ve toprak sıcaklıklarını lmştir.

Isı pompası buharlaştırıcısında ortamdan 2,7 kW ısı çekilebilmektedir. Yoğuşturucu tarafında ise ortama 4 kW ısı aktarmaktadır. Toprak ısı değiştiricimiz ile, 4 kW’ lık enerjiyi toprağa aktarmak veya çekmek mümkündür.



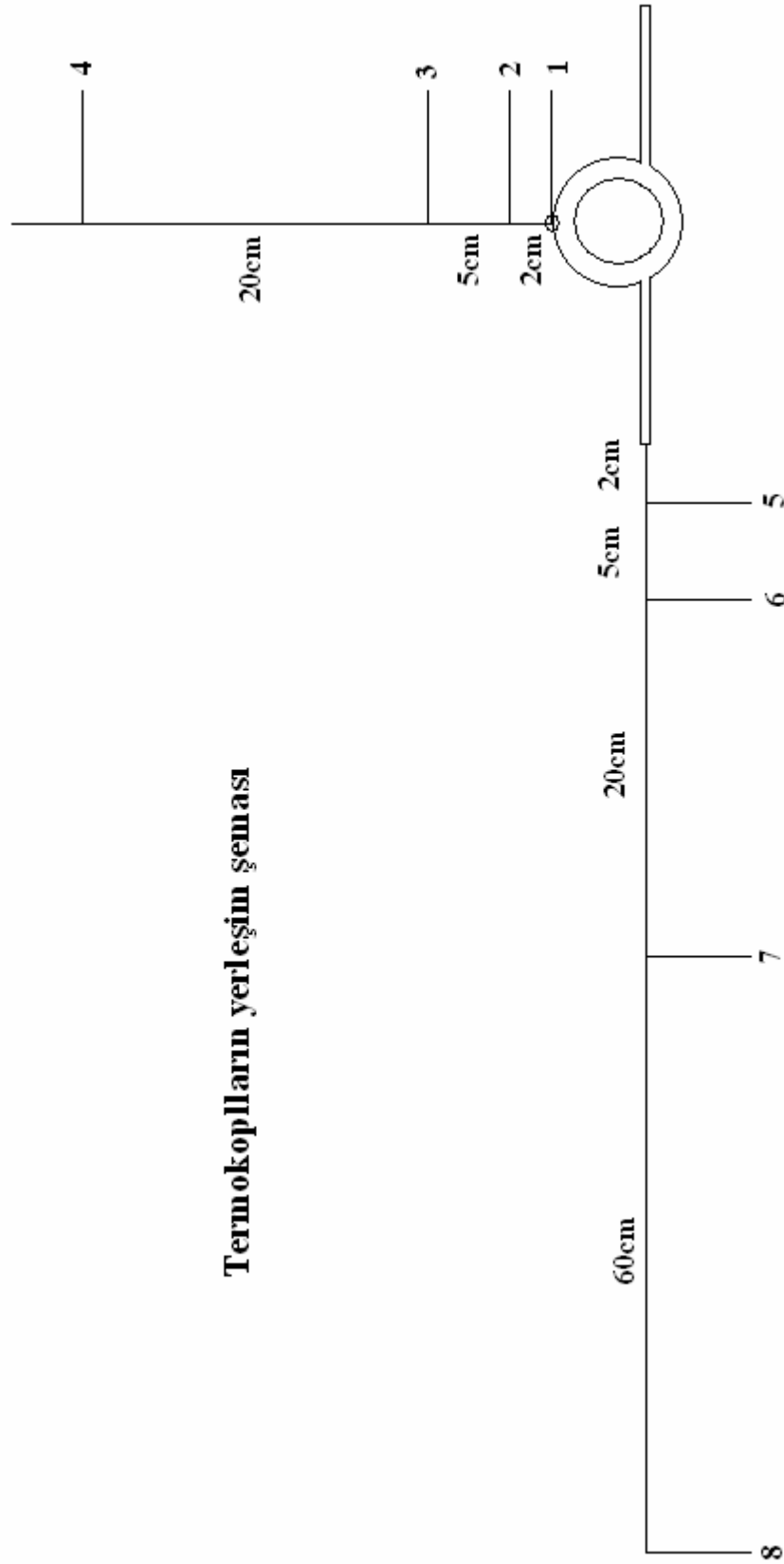
Şekil 14.10 Isı Pompası



Şekil 14.11 Isı Pompası ünitesi, Su deposu ve hava kanalları

14.1.3 Kontrol ve Ölçüm Sistemi

Aşağıdaki şekil 14.12’ de alüminyum kanatlı boru üzerine yerleştirilen termokoplların yerleşim planını görebilirsiniz. T tipi ısıl çiftler kullanılmış olup, kalibrasyonları yapılmış ve ölçümler termokopl uçlarına bağlanan sıcaklık ölçüm aleti Fluke ile yapılmıştır. Şekil 14.13



Şekil 14.12 Termokopl yerleşim şeması, alüminyum kanatlı boru için



Şekil 14.13 Sıcaklık ölçüm cihazı

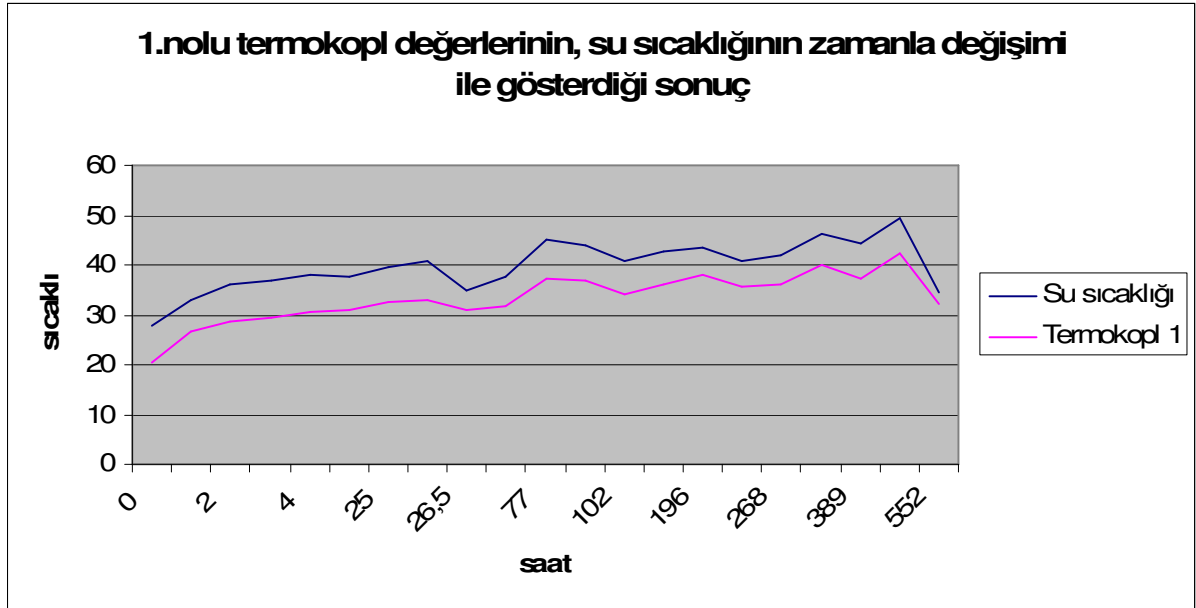
14.2 Deney Verileri

Alüminyum kanatlı boru sistemine 8 adet termokopl yerleştirilmiş olup, 8 numaralı termokopl başlangıçta arıza vererek değer okumamıştır. 4 numaralı termokopl ise 102. saatten sonra verdiği değerler gerçek dışı ve tutarsız olduğundan, arızalandığı anlaşılmaktadır. Çizelge 14.1' de 552 saat süresince, 2 temmuz 2007 tarihinden itibaren alınan toprak altı sıcaklık değerleri ve su giriş sıcaklıkları görülmektedir. Su çıkış sıcaklıkları ileride başka bir Çizelge ile verilecektir.

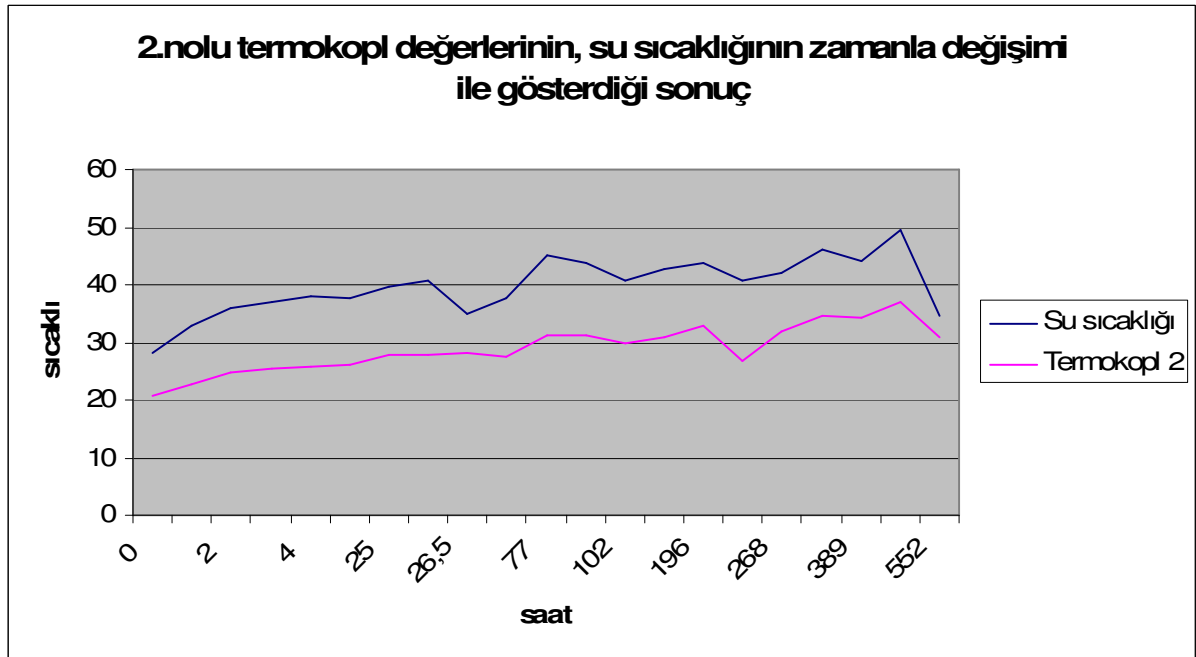
Çizelge 14.1 Deneyden elde edilen değerler

saat	Tk1	Tk2	Tk3	Tk4	Tk5	Tk6	Tk7	Tsu giriş
0	20,4	20,7	21	22	20,3	20,4	20,2	28
1	26,5	22,7	21,5	22	22	20,8	20,2	33
2	28,6	24,6	22,2	22,2	23,2	21,7	20,6	36
3	29,6	25,5	23	22,3	24,3	22,6	20,3	36,9
4	30,4	25,9	23,2	22,3	24,7	22,8	20,3	37,9
5	30,8	26,1	23,6	22,6	25,2	23,3	20,5	37,7
25	32,4	27,9	25,2	23,6	26,6	24,7	21,9	39,7
26	33,1	27,9	25,8	23,6	27,1	24,9	21,6	40,8
26,5	31	28	25,5	23,6	26,8	24,8	21,8	34,8
27	31,8	27,5	25,5	23,6	26,6	25	21,6	37,7
77	37,1	31,2	28,8	25,4	29,6	27,4	23,1	45
78	36,8	31,2	28,2	25,4	29,7	27,4	23,3	43,8
102	34,3	30	27,3	25,5	28,5	26,5	23,6	40,8
126	36	31	27,9	arıza	29,5	27,4	23,7	42,8
196	38,2	33	29,7	54,9	31,5	29,3	25	43,7
244	35,5	26,9	28,6	31,1	29,9	28,4	24,9	40,8
268	36,2	31,9		36,7	30,8	28,5	24,8	42,1
340	40	34,5	30,5	45,9	32,6	30,1	25,9	46,2
389	37,4	34,1	30,9	41	32,6	30,4	26,4	44,2
506	42,5	36,9	32,5	55,3	34,6	31,8	27,5	49,5
552	32,2	30,8	29,7	45,7	30	29	27,2	34,7

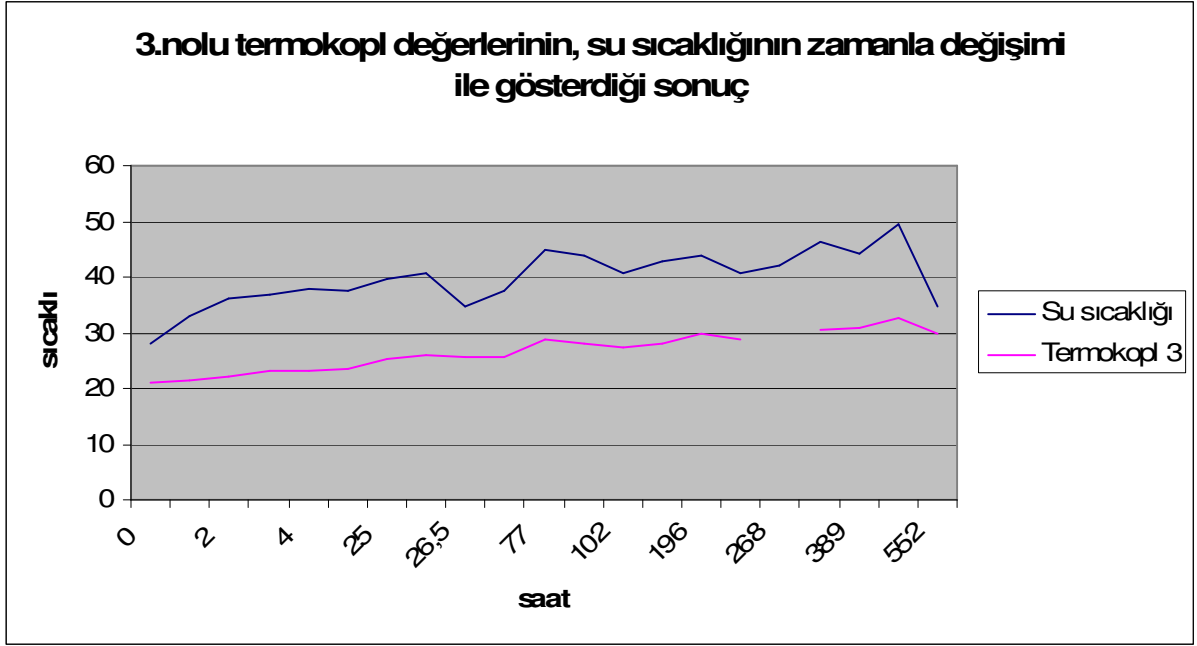
14.3 Deney Verilerinin yorumlanması, grafikler



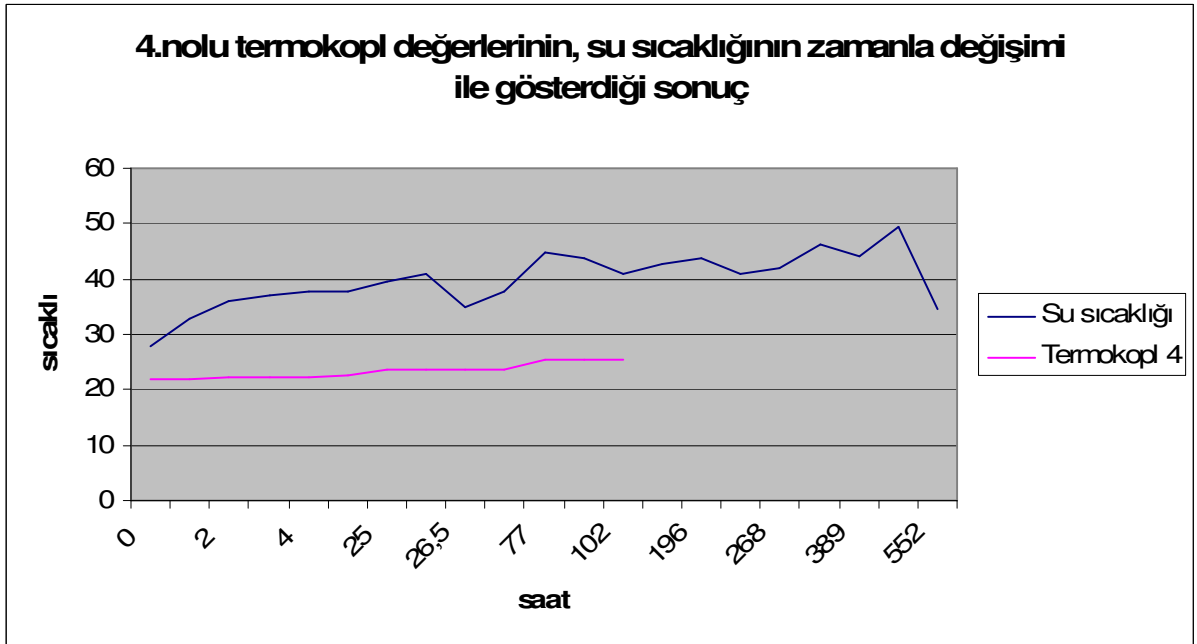
Şekil 14.14 Grafik



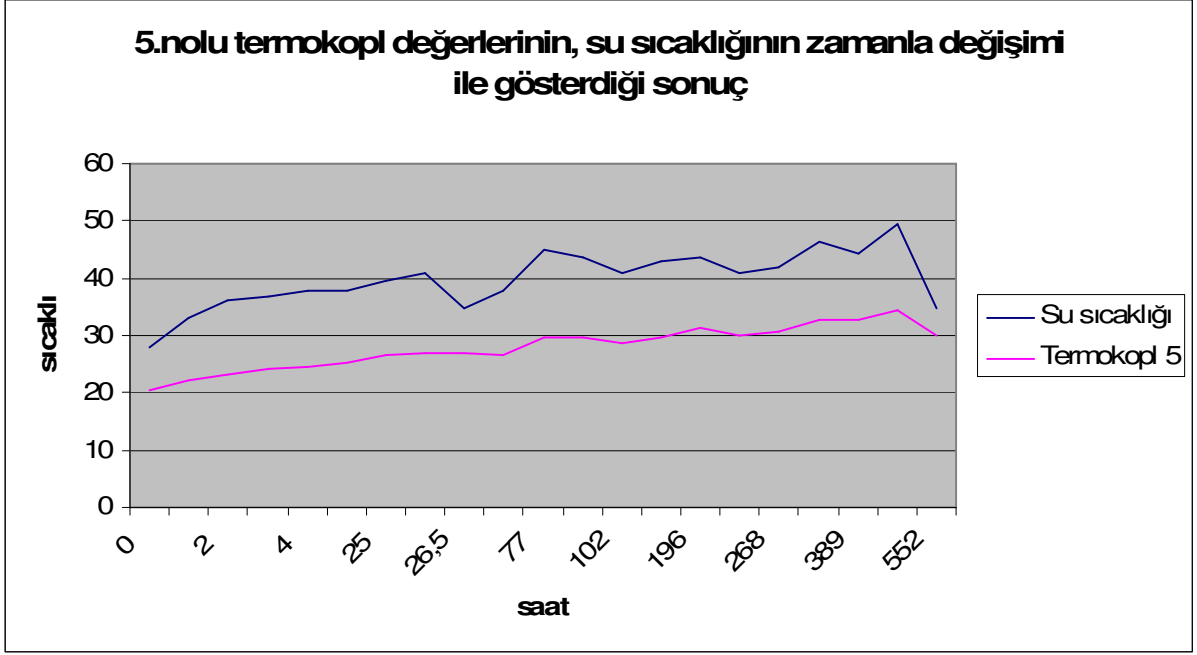
Şekil 14.15 Grafik



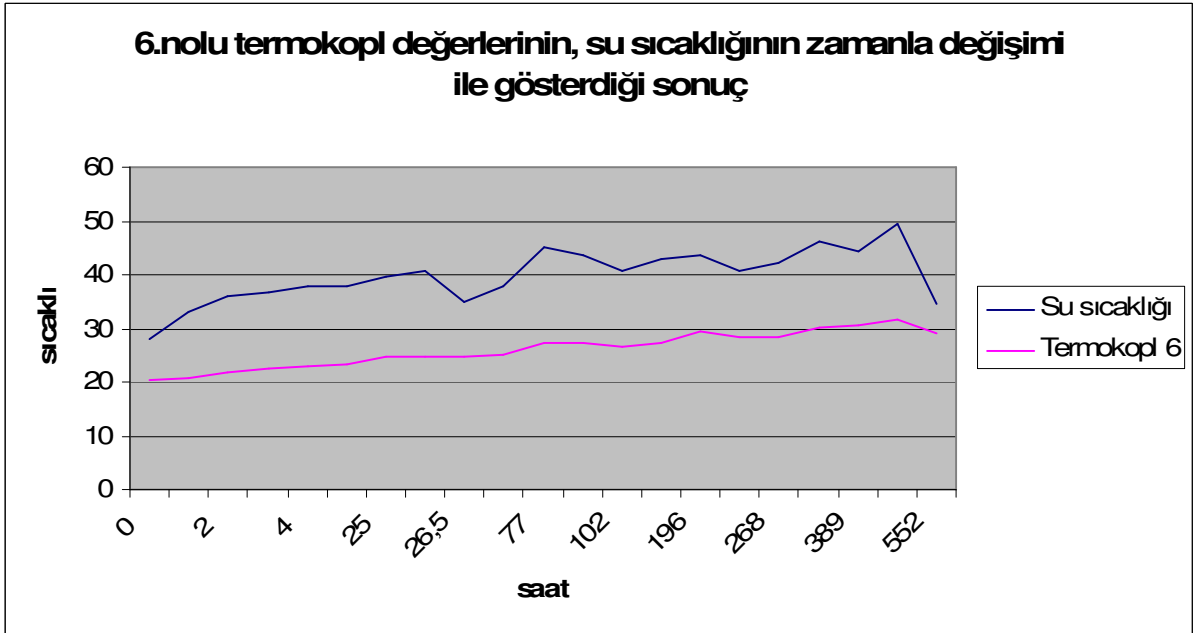
Şekil 14.16 Grafik



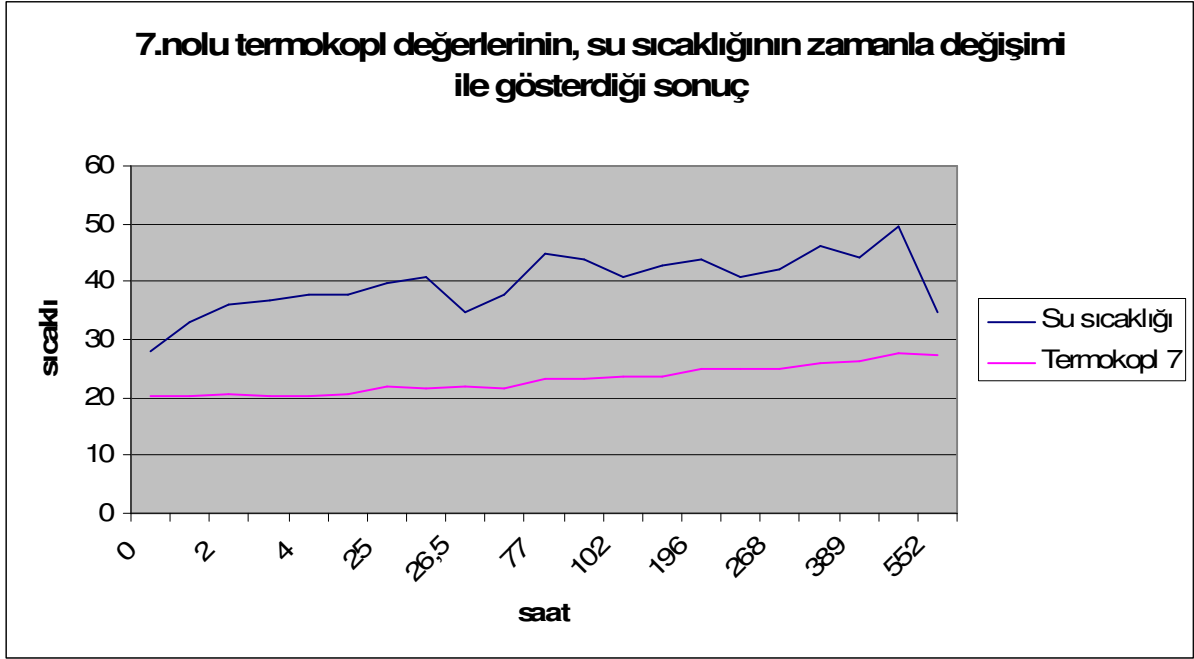
Şekil 14.17 Grafik



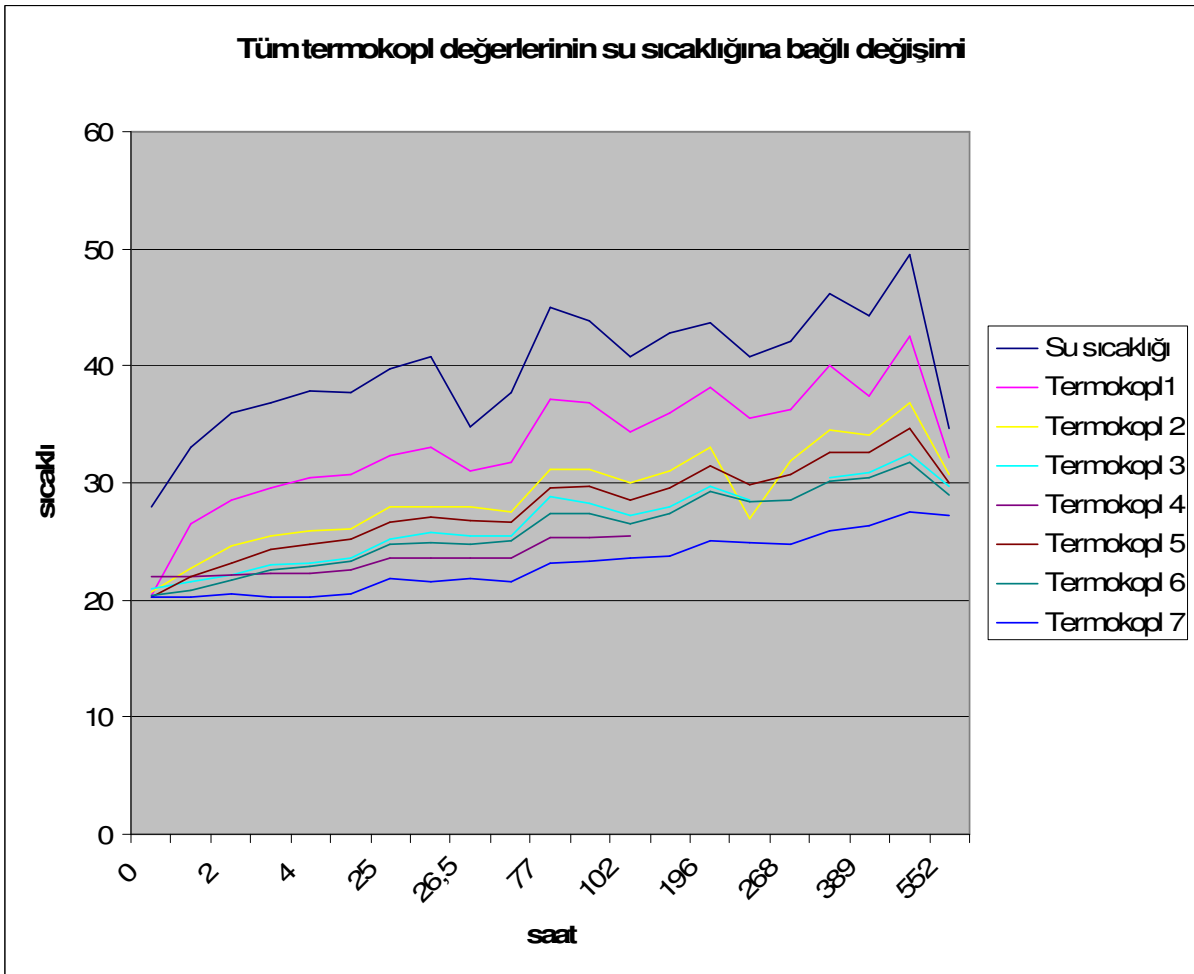
Şekil 14.18 Grafik



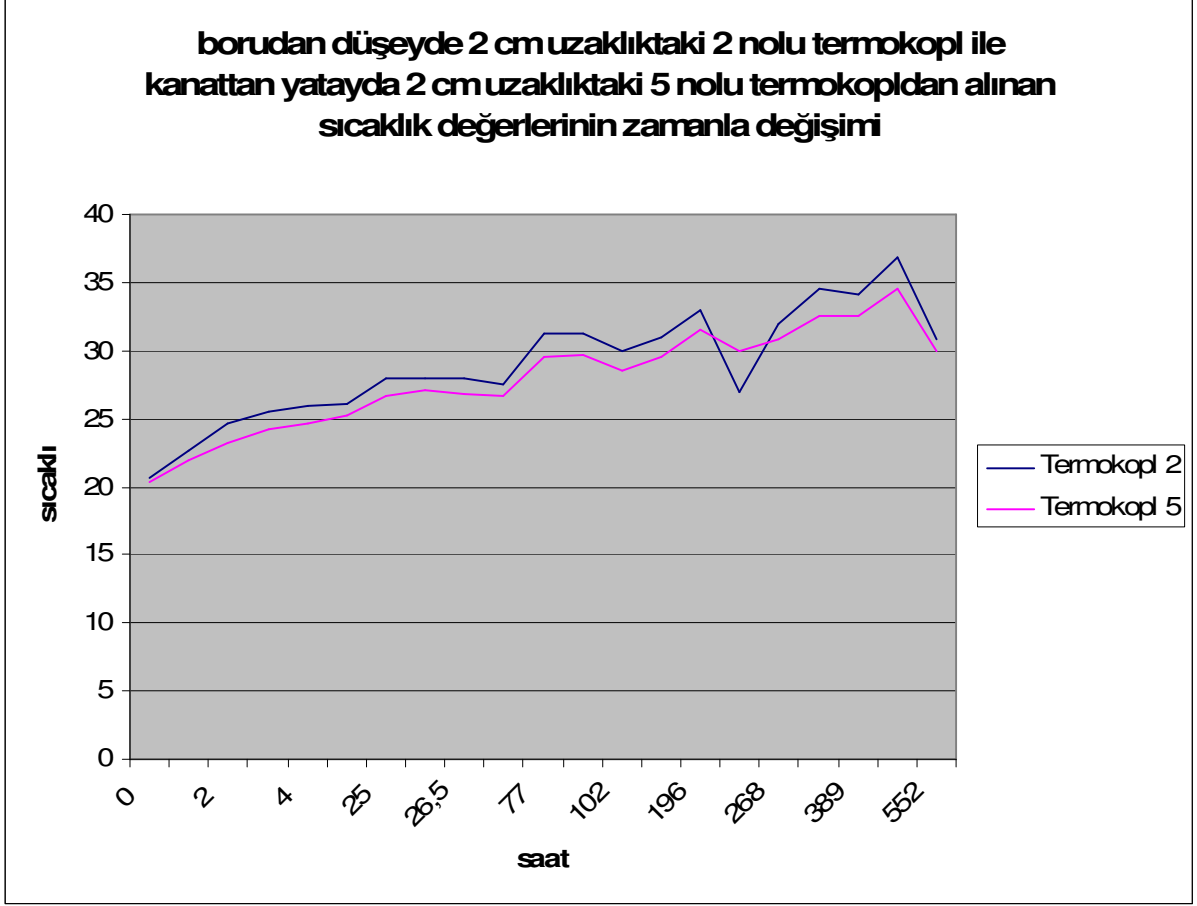
Şekil 14.19 Grafik



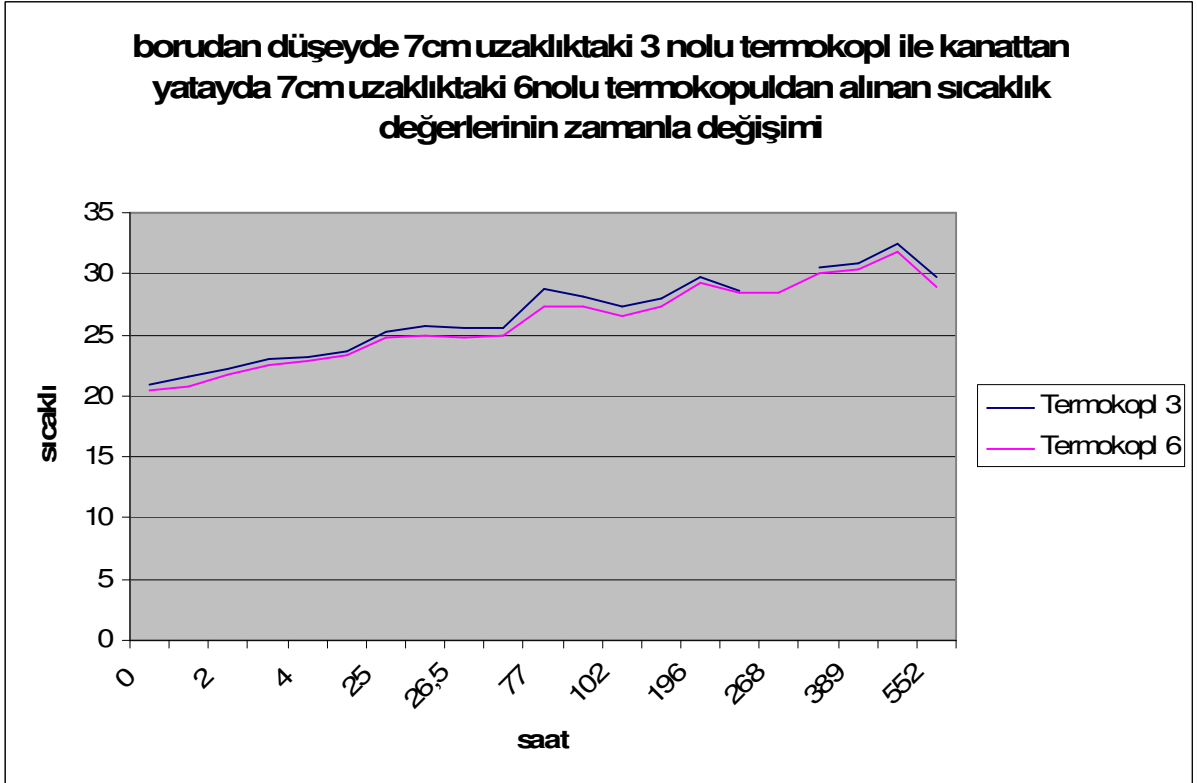
Şekil 14.20 Grafik



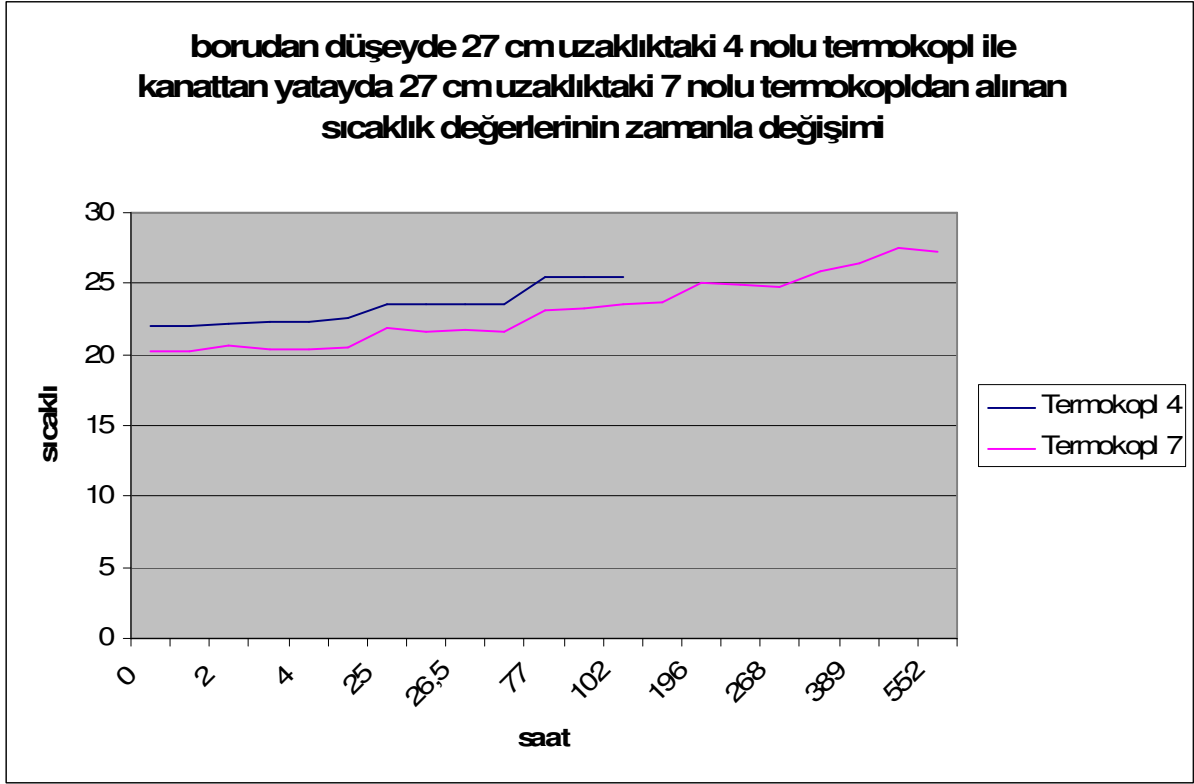
Şekil 14.21 Grafik



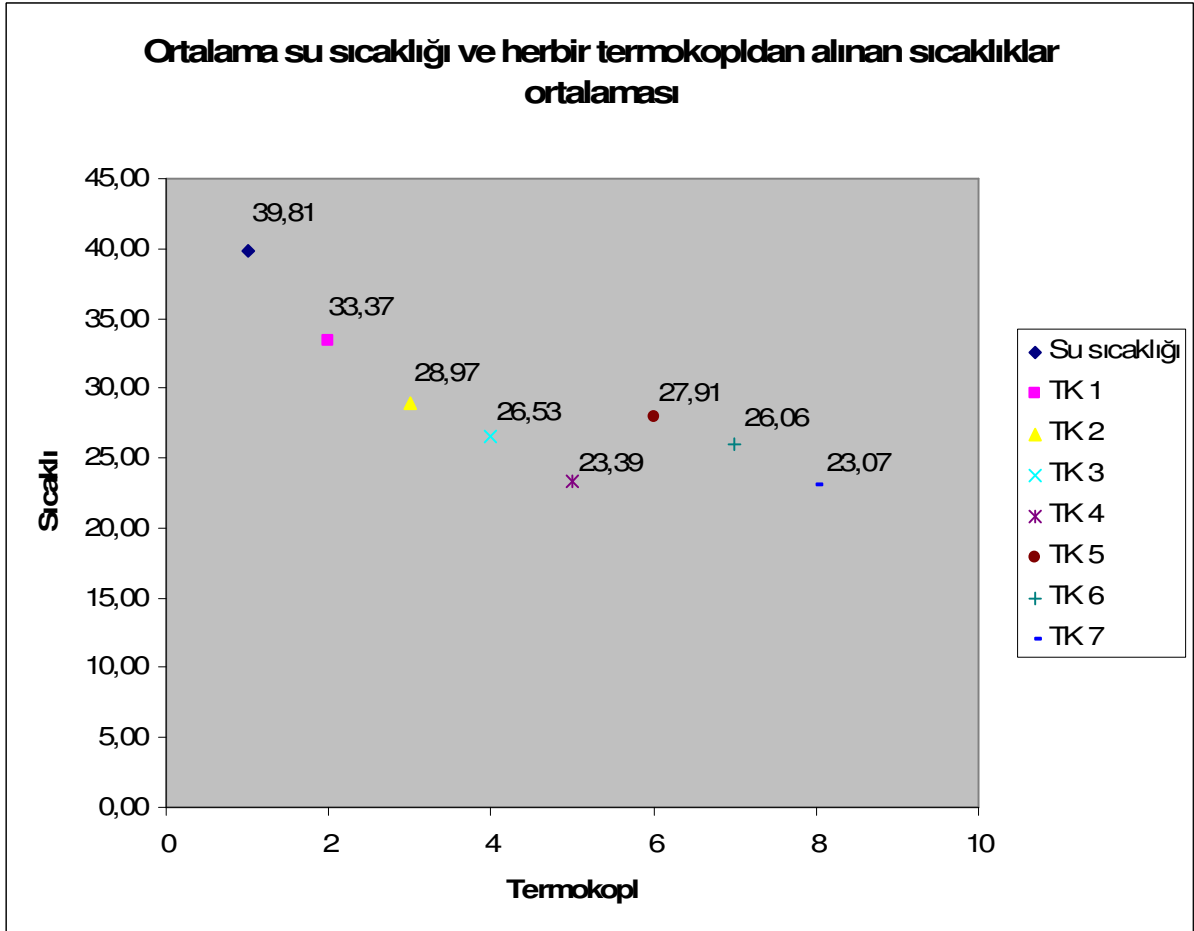
Şekil 14.22 Grafik



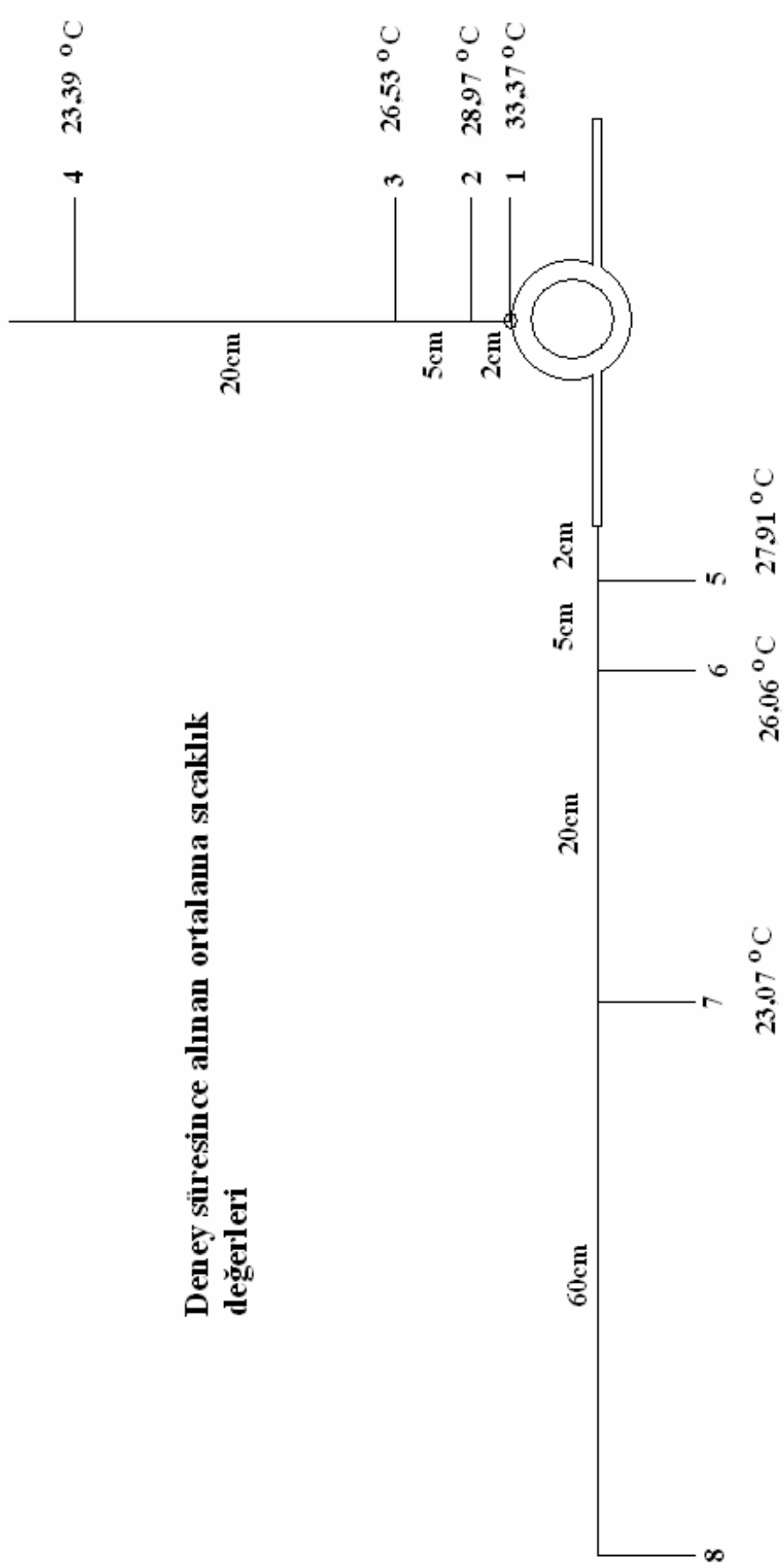
Şekil 14.23 Grafik



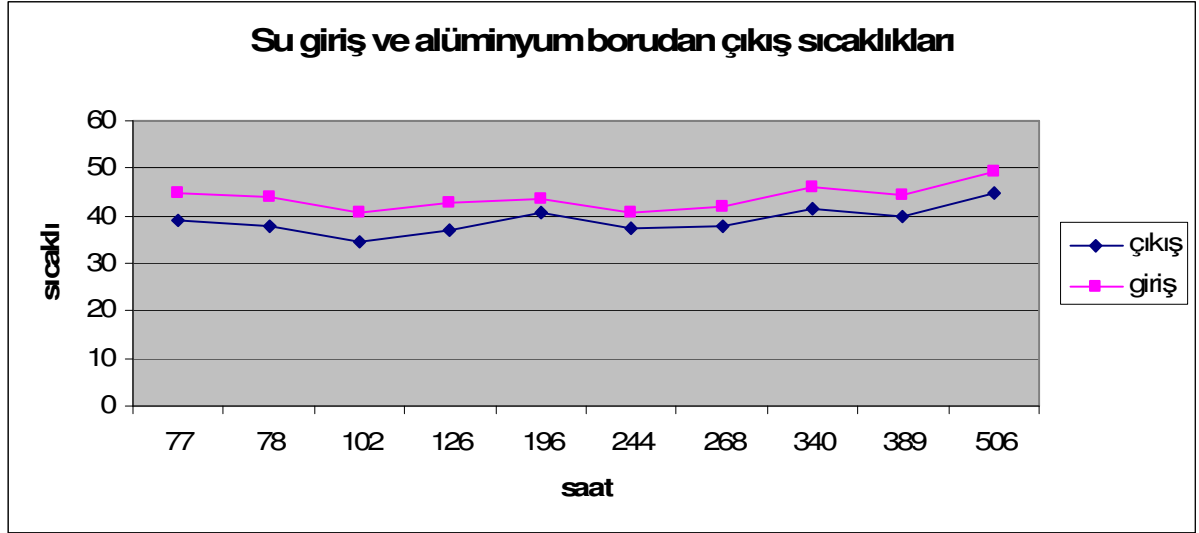
Şekil 14.24 Grafik



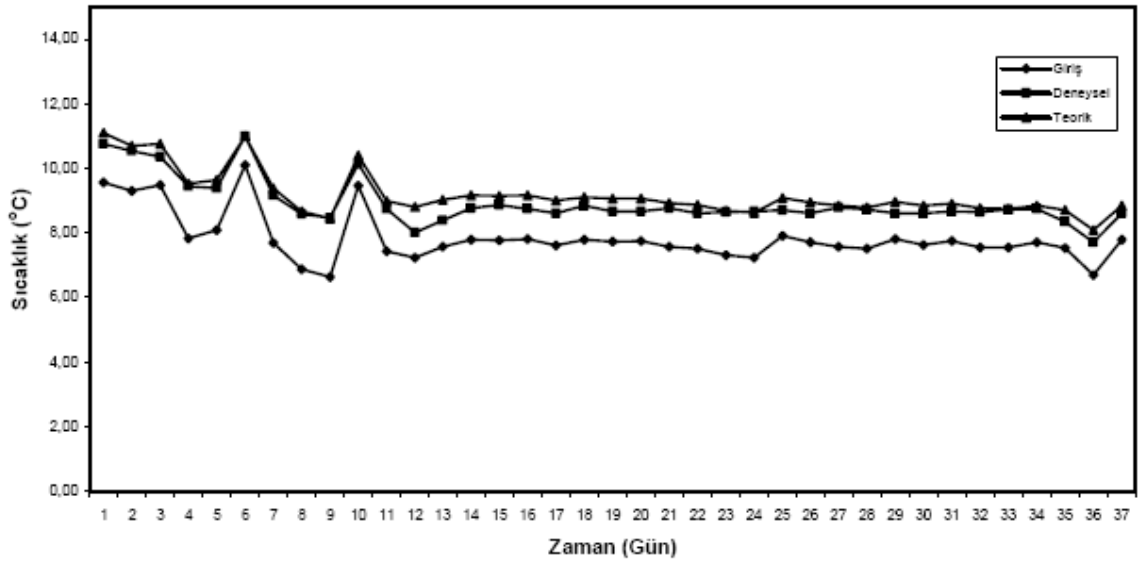
Şekil 14.25 Grafik



Şekil 14.26 Deneyden toplam sürede alınan ortalama sıcaklık değerleri şeması



Şekil 14.27 Grafik



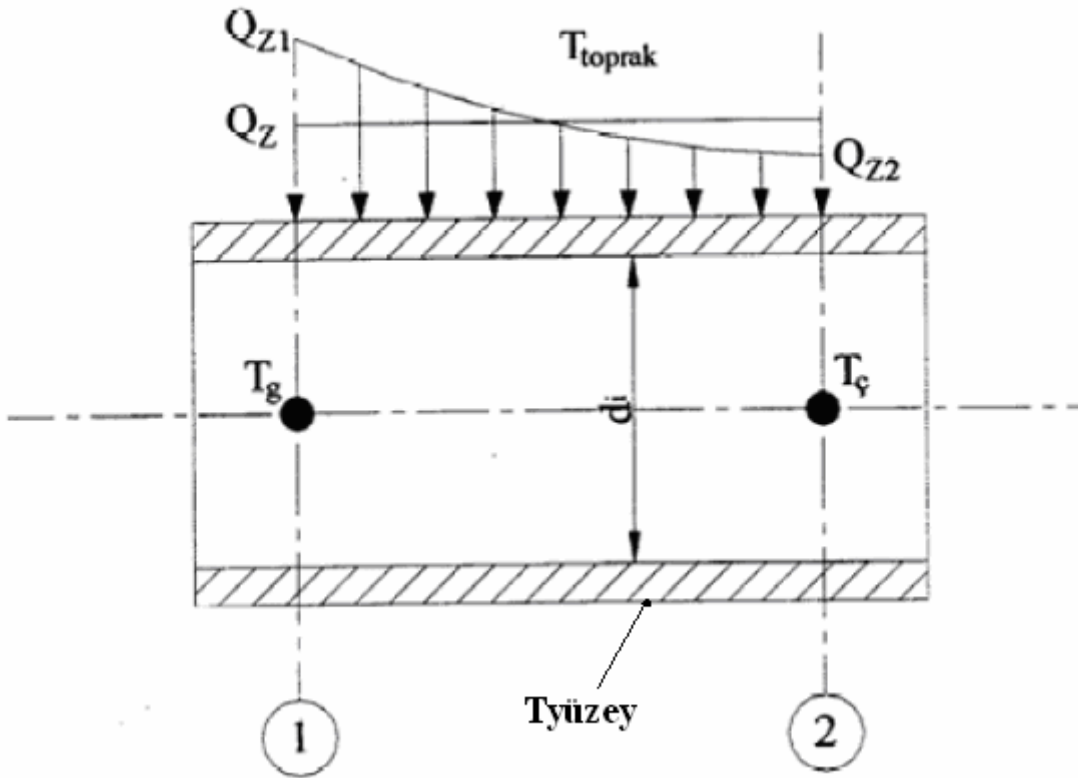
Şekil 14.28 Dr.Hakan Demir tarafından hazırlanan Doktora tezinde kış şartlarında su giriş ve çıkış sıcaklıklarının deneysel ve teorik olarak karşılaştırılması.PPRC boru.

15. TEORİK ÇALIŞMA

Bu bölümde, bilinen girdi değerleri ile bir takım teorileri kullanarak çözümler bulunacak ve deneysel verileri teorik formüllerde kullanarak karşılaştırmalı analiz yapılacaktır.

15.1 Sabit Yüzey Sıcaklığı Kabulü

Sabit yüzey sıcaklığı kabulüne ait teorik altyapı Jaeger ve Carslaw' un çalışmalarından elde edilmiştir. Boru yüzeyinde sabit bir T_y (yüzey) sıcaklığı olduğu varsayılarak Q' ; birim boyda transfer olan ısı miktarı ve w ; ısı akısı, zamana bağlı olarak aşağıdaki ifadelerle bulunur. (Ingersoll ve Plass, 1955).



Şekil 15.1 Boru boyunca meydana gelen ısı transferi

$$Q' = k_t \cdot \Delta T \cdot F(z) \quad (15.1)$$

$$w = \frac{k_t \cdot \Delta T \cdot F(z)}{2 \cdot \pi \cdot r} \quad (15.2)$$

$$Q_z = 0,961519 \cdot k_t \cdot \Delta T \cdot F(z) \quad (15.4)$$

$$q = \frac{Q_z}{2 \cdot \pi \cdot r} \quad (15.5)$$

$$z = a_t \cdot t / r^2 \Rightarrow F(z) = \frac{8}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{e^{-z\beta^2}}{J_0^2(\beta) + Y_0^2(\beta)} \cdot \frac{d\beta}{\beta} \quad (15.6)$$

Burada;

a_t	: toprağın ısı difüzyon katsayısı	(Çizelge 15.3)
t	: Zaman	(h)
k_t	: Toprağın ısı iletkenlik değeri	(Btu/ft.K)
ΔT	: Boru yüzey sıcaklığı ile akışkan sıcaklığı arasındaki fark	(F)
Q'	: Birim boru boyu için transfer olan ısı miktarı	(Btu/ft.h)
Q_z	: Birim boru boyu için transfer olan ısı miktarı	(W/m)
w	: Birim yüzey alanı için transfer olan ısı miktarı	(Btu/ft ² .h)
q	: Birim yüzey alanı için transfer olan ısı miktarı	(W/m ²)
r	: Borunun yarıçapı	(ft)

olmaktadır.

Sabit yüzey sıcaklığı teorisinde aşağıdaki kabuller yapılmıştır;

- 1.Toprak özellikleri üniform ve sabittir.
- 2.Hesap yapılan zaman aralığında birim boydaki ısı geçişi sabit değildir.
- 3.Borunun yüzey sıcaklığı sabit bir değerde tutulmaktadır.
- 4.Borunun içerisindeki akışkan özellikleri, boru cidarından merkezine doğru farklılıklar göstermediği ve tüm kesitte akışkanın ortalama özelliklerinin hüküm sürdüğü kabul edilmiştir.

5.Cisimlerin özgül ısıları ve özgül ağırlıkları sabit

6.İsı iletim katsayısı sabit

7.Cisim homojen yapıda

8.İsı iletim katsayısı cismin her doğrultusunda aynı

9.Maddesel durum değişikli (hal değişimi) yok

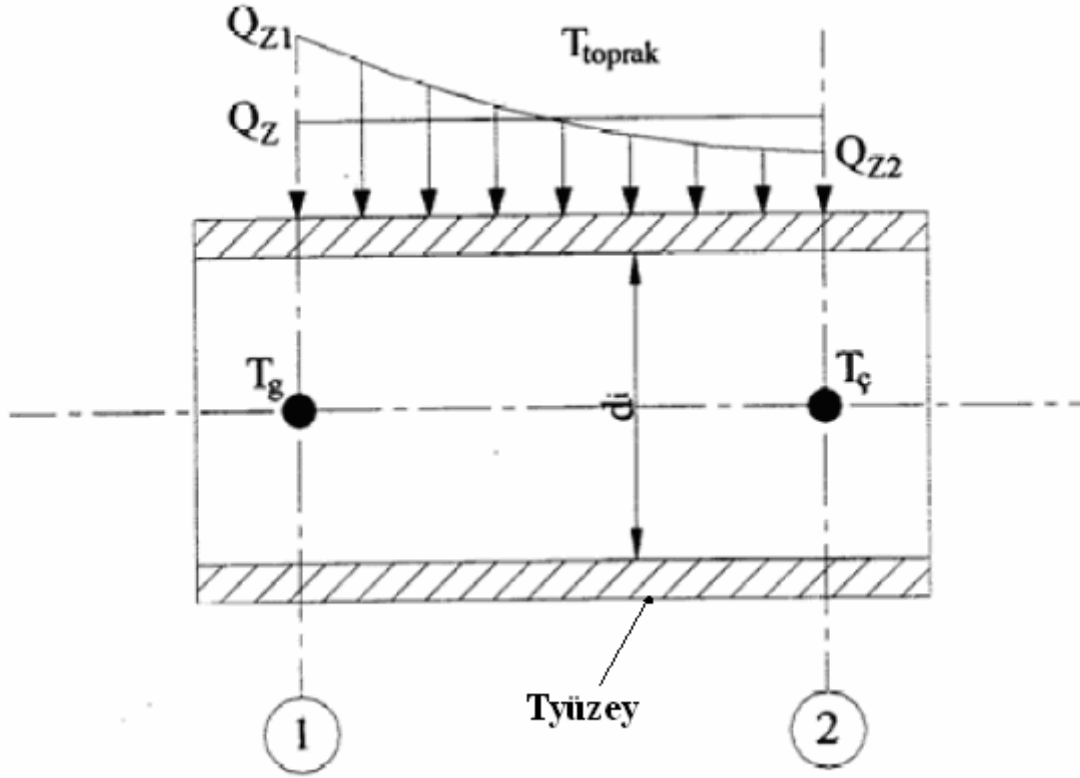
Hesapların kolaylaştırılması amacıyla uzun integral işlemleri ile uğraşmak yerine z' ye bağlı olarak elde edilen $F(z)$ değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Çizelge15.1 $F(z)$ integrali (Ingersoll ve Plass, 1955)

z	F(z)	z	F(z)	z	F(z)
0,01	38,508	0,7	6,926	100	2,172
0,02	28,096	0,8	6,634	120	2,114
0,03	23,474	1	6,18	150	2,042
0,04	20,716	1,2	5,844	200	1,956
0,05	18,829	1,5	5,467	250	1,893
0,06	17,433	2	5,029	300	1,846
0,07	16,351	2,5	4,726	400	1,775
0,08	15,472	3	4,5	500	1,721
0,09	14,744	4	4,174	600	1,683
0,1	14,13	5	3,947	800	1,622
0,12	13,135	6	3,776	1000	1,578
0,14	12,361	8	3,529	1200	1,543
0,16	11,737	10	3,354	1500	1,502
0,18	11,217	12	3,224	2000	1,454
0,2	10,777	15	3,074	2500	1,418
0,25	9,916	20	2,898	3000	1,393
0,3	9,277	25	2,774	4000	1,35
0,35	8,779	30	2,678	5000	1,319
0,4	8,373	40	2,539	7500	1,266
0,45	8,037	50	2,44	10000	1,233
0,5	7,751	60	2,363	15000	1,184
0,6	7,288	80	2,251	25000	1,131

15.2 KOYUN Modeli,2001

Sabit yüzey sıcaklığı teoremi ile sürekli rejimde boru içindeki akışkan sıcaklığının değişiminin incelenmesi ;



Şekil 15.2 Boru boyunca meydana gelen ısı transferi

Boru içerisinde sirküle olan akışkanın boru boyunca sıcaklığındaki değişimi aşağıdaki şekilde belirtilmiştir.

$$T_{a,gç} = T_{a,ç} - T_{a,g} = \frac{q}{m \cdot C_{Pa}} l \Rightarrow dT_{a,gç} = \frac{q}{m \cdot C_{Pa}} dl \quad (15.7)$$

Isı transferinin sebebi toprak ile akışkan sıcaklıkları arasındaki farktır. Yani yazın akışkan sıcaklığındaki azalma toprak sıcaklığındaki artmaya yol açmaktadır, kış mevsiminde de tam tersi yaşanmaktadır.

Bu durumda;

$$T = T_y - T_a \quad (15.8)$$

Şeklinde yazılabilir.

Birim boydan aktarılan ısı miktarı ise;

$$q = k_t(T_y - T_a)F(z) = k_tTF(z) \quad (15.9)$$

Olacaktır. Bu ifade (15.7)' de yerine konulursa

$$dT_{a,g\zeta} = \frac{k_tTF(z)}{m_a C_{Pa}} dl = -dT \quad (15.10)$$

Yukarıdaki ifade düzenlenir,

$$\int_{T_{a,g}}^{T_{a,\zeta}} -\frac{dT}{T} = \frac{k_t F(z)}{m_a C_{Pa}} \int_0^L dl \quad (15.11)$$

Ve integre edilirse aşağıdaki (15.12) eşitliği elde edilir.

$$T_{a,\zeta} = T_y - (T_y - T_{a,g}) e^{\frac{-k_t F(z)L}{m_a C_{Pa}}} \quad (15.12)$$

$$z = \frac{a_t t}{r^2} \quad (15.13)$$

$$F(z) = \frac{8}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{e^{-z\beta^2}}{J_0^2(\beta) + Y_0^2(\beta)} \frac{d\beta}{\beta} \quad (15.14)$$

Burada;

T_{a,ç} : Akışkanın çıkış sıcaklığı (°C)

T_{a,g} : Akışkanın giriş sıcaklığı (°C)

T_t : Toprak sıcaklığı (°C)

T_y : Yüzey sıcaklığı (°C)

L : Boru boyu (m)

k_t : Toprağın ısı iletkenliği (W/mK)

m_a : Akışkanın kütleli debisi (kg/s)

C_{pa} : Akışkanın özgül ısısı (J/kg K)

β : İntegral değişkeni,

F(z) : Toprak ısı yayıcılığı, boru çapı ve zaman faktörünü içeren integral'dir.

Bu ifade yardımıyla *dl* uzunluğundaki boru parçaları için giriş ve çıkış sıcaklıklarını bulabiliriz. Bir parçadan çıkan suyun sıcaklığı diğer boru parçasına giren suyun sıcaklığı olacaktır. Yukarıdaki ifade de zaman ve F(z) ; toprağın zamanla ısı değişimini içeren

fonksiyon bulunmakta olup sabit yüzey sıcaklığı teoreminden, boru yüzeyindeki sabit sıcaklık değeri kullanılarak hesaplama yapılır.

$$T_{a,\zeta} = T_t - (T_t - T_{a,g}) e^{\frac{-k_t L}{m_a C_{Pa}}} \quad (15.16)$$

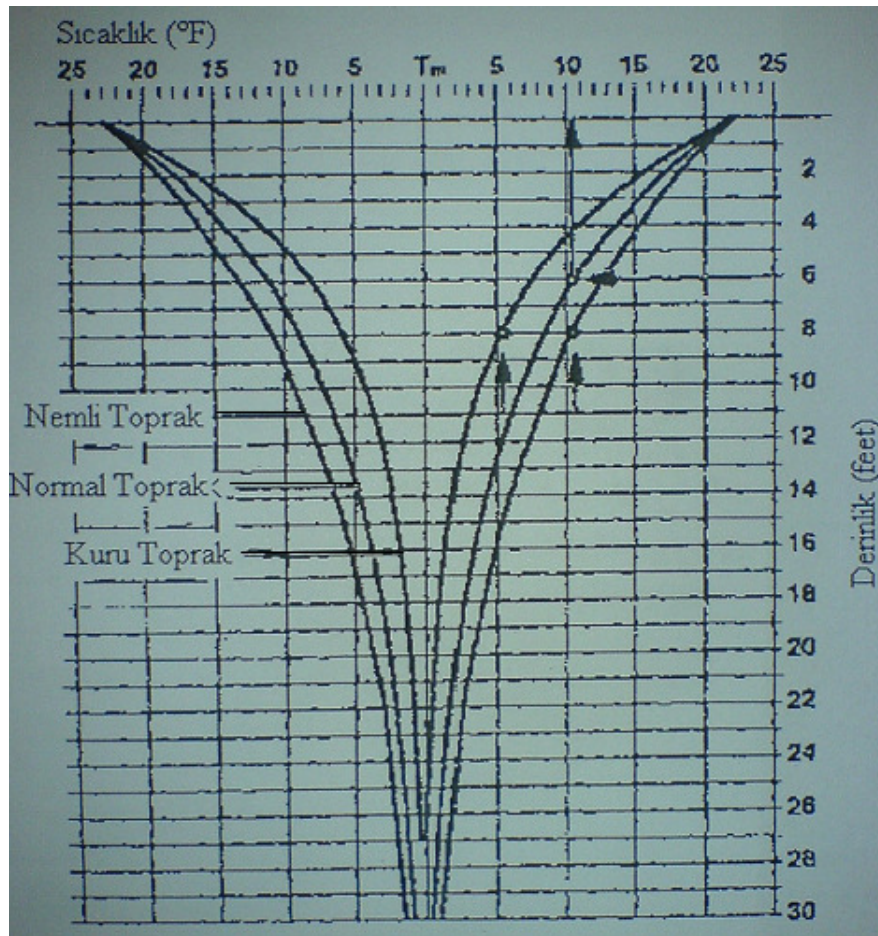
(15.16) ifadesinin (15.12) ifadesinden farkı $F(z)$ terimini içermemesidir. $F(z)$ terimi zamanla toprakta oluşacak sıcaklık değişiminden dolayı birim boydan aktarılan ısıdaki düşüşü öngörmektedir. Buradaki k_t birim boy toprak ısı iletkenliğidir.

Bu ifadede $F(z)$ öngörülmediğinden $T_{yüzey}$ yerine T_{toprak} sıcaklığı referans alınarak hesaplama yapılabilir.

T_{toprak} , borunun yatay döşenmesi halinde kullanılabilir. Çünkü değişik derinliklerde toprak sıcaklığı farklı olduğu için düşey sistemlerde bu formül kullanılamaz.

T_{toprak} değeri aşağıdaki Çizelge 15.2' den borunun derinliğine göre belirlenir.

Çizelge 15.2 Toprak cinsi ve derinliğe bağlı sıcaklıkları dağılımı L.Miles (1994)



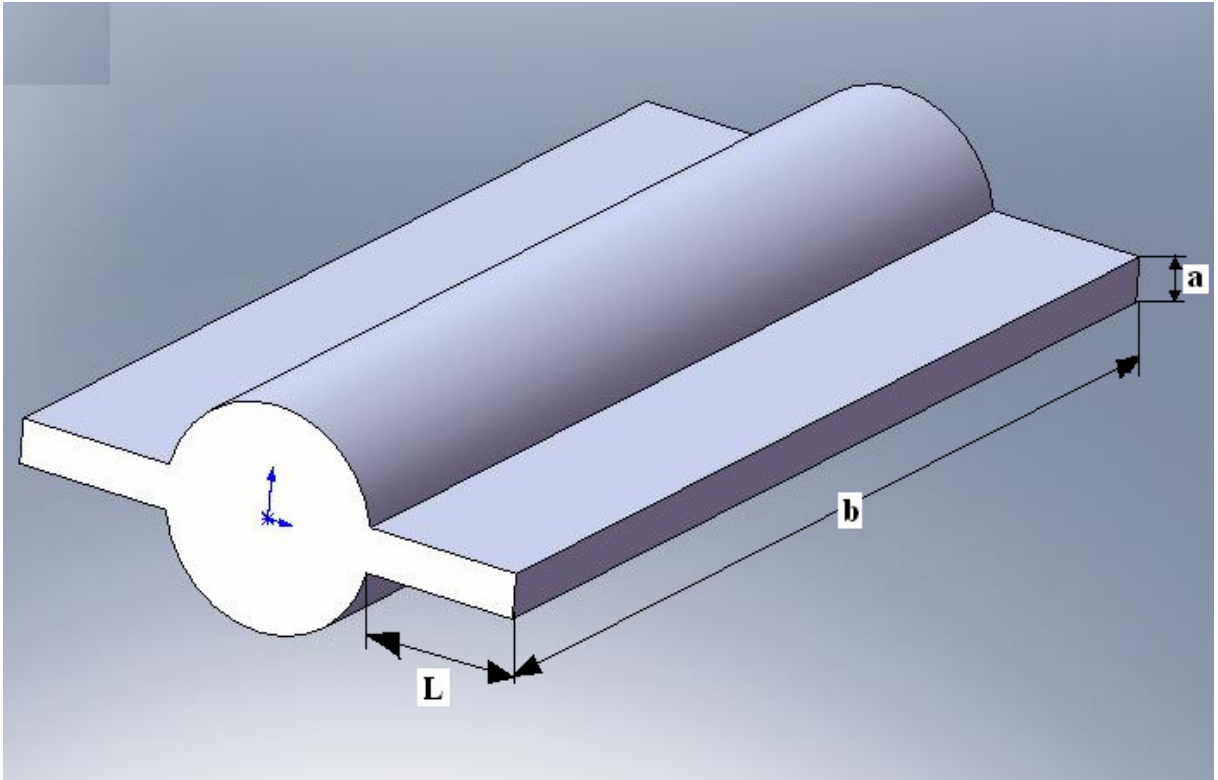
Çizelge 15.3 Değişik toprak tiplerinin fph biriminde fiziksel özellikleri (Plass, 1955)

Malzeme	fph			
	k	c	ρ	a
Toprak;				
%43 sulu kalkerli toprak	0,41	0,53	104	0,007
Kuartzlı, orta derecede iyi, kuru kum	0,15	0,19	103	0,008
Kuartzlı kum (%8,3 nemli)	0,34	0,24	109	0,013
%15 nemli kumlu kil	0,53	0,33	111	0,014
Kuru toprak	0,95-0,2	-	-	0,008-0,012
Nemli toprak	0,8-2,0	-	-	0,02-0,04
Çamur	0,5	0,6	94	0,009

15.3 Çözümler

Yukarıdaki teorik altyapıyı kullanarak hesap yapalım

15.3.1 Alüminyum kanatlı boru için değerler



Şekil 15.3 Alm.borunun kanat hesabı için gerekli kanat ölçüsü referans değerleri

$$P=2.(a+b)$$

$$A=a.b$$

$a=0,0015$ metre

$b=35$ metre

$L= 0,03$ metre

$P=70$ m

$A=0,0525$ m^2

$k_{toprak}: 0,95$ W/mK - (0,987 Btu/ftK) Tablodan, kuru toprak için seçilmiştir.

$w_{toprak} : \frac{0,95}{1} \frac{W / mK}{m}$ Kanat hesabı için kullanılacak w değeri. Toprakta ısı kaynağından 1

metre uzaklıktaki sıcaklığın sonsuzdaki sıcaklığa eşit olduğu varsayılarak;

$w_{toprak}: 0,95$ W/m²K

$k_b: 233$ W/mK Alüminyum malzemenin ısı iletim katsayısı.

$L_b: 35$ metre

$a_t :0,0098$ Çizelge 15.3, kuru toprak için seçilmiştir.

$t : 24$ saat

$r : 16$ mm çaplı boru olup, ($r = 0,0262465$ ft.)

$z : \text{denklem } 15.13\text{'ten hesaplanarak } z = 341$

$F(z) = \text{Çizelge } 15.1 \text{ 'den bakacak olursak } F(z) = 1,81689$

$T_{g,ort} : 43^\circ\text{C}$ (45,4 F) Deney süresince ölçülen giriş sıcaklıkları değerlerinin ortalaması.

$T_{ç,ort} : 39,06^\circ\text{C}$ (38,30 F) Deney süresince ölçülen çıkış sıcaklıkları değerlerinin ortalaması.

$T_t : 21^\circ\text{C}$ (5,8 F) Çizelge 15.2' den 1,8 mt.derinlik ve kuru toprak için.

$h_1 : 43^\circ\text{C}$ deki suyun entalpisi : 178 kJ/kg (Çengel,suyun özellikleri tablosu)

$h_2 : 39,06^\circ\text{C}$ deki suyun entalpisi : 163,41 kJ/kg (Çengel,suyun özellikleri tablosu)

$m' = 0,043$ kg/s suyun debisi

Deneyden elde edilen verilere göre toprağa transfer edilen enerji miktarı Q ;

$$Q = m.(h_2 - h_1) \text{ kW}$$

$$Q = 0,043.(163,41 - 178)$$

$$Q = -627W$$

negatif değer, ısının toprağa geçtiğini göstermektedir.

Kanattan transfer olan ısının teorik hesabı:

$$q = \sqrt{w_t \cdot P \cdot k_b \cdot A} \cdot (T_{a,g} - T_{a,\zeta}) \quad (15.17)$$

[q= Kanattan transfer edilen ısı miktarı (W)] (Incropera)

Bu formül kanat hesabında sonsuz uzunlukta kanat yaklaşımı kabul edildiği takdirde kullanılabilir. Bizim kanadımızın uç noktası ile, toprağın o bölgedeki sıcaklığı arasındaki ısı fark birbirine çok yaklaştığı için, ve bu kanat ucundaki sıcaklığın çevre sıcaklığına yaklaşması durumu ancak ve ancak kanat sonsuz uzunluğa yaklaşırken mümkün olduğu için, kanadın gerçek boyu 3 cm olmasına karşın şartlardan dolayı kanadı sonsuz uzunlukta kabul edebiliriz.

$$q = \sqrt{0,95 \cdot 70 \cdot 233 \cdot 0,0525} \cdot (43 - 39,06)$$

$q = 112,4W$ tek taraftaki kanattan transfer olan ısı, bu değeri borunun her iki tarafında da kanat olduğu için 2 ile çarparsak;

$q = 224,8W$ kanattan toprağa transfer olan ısı miktarı.

Borudan transfer olan ısının hesabı:

Yukarıdaki hesaplara göre 627 watt sudan toprağa aktarılan toplam enerji olup, bu değerden 224,8 watt değerini çıkartırsak kanatlı borunun sadece borusundan transfer olması gereken enerji miktarına ulaşırız.

$$Q = 627 - 224,8$$

$$Q = 402 \text{ Watt}$$

Sabit yüzey sıcaklığı kabulüne göre;

Q_z , birim boru boyu başına transfer olan ısı miktarı W/m olduğuna göre;

Q_{z1} = Boruya giren akışkanın giriş anındaki sıcaklığı ile yüzey sıcaklığı arasındaki fark göz önüne alınarak hesaplanan değer.

Q_{z2} = Boruyu terkeden akışkanın çıkış sıcaklığı ile yüzey sıcaklığı arasındaki fark göz önüne alınarak hesaplanan değer.

$$Q = L \cdot \frac{Q_{z1} + Q_{z2}}{2} \quad (15.18)$$

$$402 = 35 \cdot \frac{Q_{z1} + Q_{z2}}{2}$$

$$Q_{z1} + Q_{z2} = 22,97 \text{ W/m}$$

$$Q_{z1} = 0,961519.k_t.(45,4 - T_y).F(z)$$

$$Q_{z2} = 0,961519.k_t.(38,3 - T_y).F(z)$$

Yukarıdaki denklemler çözüldüğü takdirde ,

$T_y=37,32 \text{ }^\circ\text{C}$ olarak bulunur.

Eğer yüzey sıcaklığı değeri $37,32 \text{ }^\circ\text{C}$ olursa , borudan toprağa transfer olan ısı miktarı 402 Watt olarak bulunacaktır. Bu sayede boru ve kanattan transfer olan toplam ısı miktarıda 627 Watt olacaktır. Bu değerde açık sistemlerde termodinamiğin 2.kanunu enerji dengesi denkleminde elde edilen 627 watt değerine eşit olduğundan hesaplamaların ve deneysel verilerin karşılıklı doğruluğunu teyit edebilmemize olanak verir.

Bulunan değer, deneyde kullanılan 1 nolu termokopl ile karşılaştırılırsa; bu termokopl boru yüzeyinde olup yüzey sıcaklığını ölçmekte idi,

1 nolu termokopl deney ortalaması değeri = $36,92 \text{ }^\circ\text{C}$

Hesaplanan değer = $37,32 \text{ }^\circ\text{C}$

Çizelge 15.4 Ortalama değerler tablosu

Saat	tk1	tk2	tk3	tk4	tk5	tk6	tk7	su giriş	pprc çıkış	almn.çıkış
77	37,1	31,2	28,8	25,4	29,6	27,4	23,1	45	38,3	39,2
78	36,8	31,2	28,2	25,4	29,7	27,4	23,3	43,8	37	38
102	34,3	30	27,3	25,5	28,5	26,5	23,6	40,8	33,3	34,7
126	36	31	27,9	arıza	29,5	27,4	23,7	42,8	36	37
196	38,2	33	29,7	54,9	31,5	29,3	25	43,7	40,6	40,6
244	35,5	26,9	28,6	31,1	29,9	28,4	24,9	40,8	35,7	37,5
268	36,2	31,9		36,7	30,8	28,5	24,8	42,1	36,4	37,7
340	40	34,5	30,5	45,9	32,6	30,1	25,9	46,2	40,6	41,4
389	37,4	34,1	30,9	41	32,6	30,4	26,4	44,2	38,3	39,8
506	42,5	36,9	32,5	55,3	34,6	31,8	27,5	49,5	41,3	44,8
552	32,2	30,8	29,7	45,7	30	29	27,2	34,7	-	-

Ort. değerler	36,92727	31,95455	26,73636		30,84545	28,74545	25,03636	43,05455	37,74	39,06
---------------	----------	----------	----------	--	----------	----------	----------	----------	-------	-------

Hesaplamlarda kullanılan ortalama değerler hesaplanırken ilk 77 saat ve sonrasında ölçülen değerler göz önüne alınmıştır, çünkü başlangıçta toprağın ısı olarak dengeden uzak olduğunun düşünülmesi ve su çıkış sıcaklıklarının ölçülmesinin ilk 77 saat yapılmasının ihmal ile unutulması sebebi ile.

15.3.2 PPRC boru için değerler

k_{toprak} : 0,95 W/mK , 0,987 Btu/ftK Tablodan, kuru toprak için seçilmiştir.

k_b : 0,8999 W/mK PPRC malzemenin ısı iletim katsayısı.

L_b : 40 metre

a_t : 0,0098 Çizelge 15.3, kuru toprak için seçilmiştir.

t : 24 saat

r : 20 mm çaplı boru, ($r = 0,0328084$ ft).

z : denklem 15.13.'ten hesaplanarak $z = 218,5$

$F(z) =$ Çizelge 15.1'den bakacak olursak $F(z) = 1,93269$

$T_{g,\text{ort}}$: 43°C (45,4 F) Deney süresince ölçülen giriş sıcaklıkları değerlerinin ortalaması.

$T_{ç,\text{ort}}$: 37,74 °C (35,93 F) Deney süresince ölçülen çıkış sıcaklıkları değerlerinin ortalaması.

T_t : 21 °C yada 5,8 F çizelge 15.2' den 1,8 mt.derinlik ve kuru toprak için.

h_1 : 43°C deki suyun entalpisi : 178 kJ/kg (Çengel,suyun özellikleri tablosu)

h_2 : 37,74°C deki suyun entalpisi : 155,23 kJ/kg (Çengel,suyun özellikleri tablosu)

m' = 0,031666 kg/s suyun debisi

Deneyden elde edilen verilere göre toprağa transfer edilen enerji miktarı Q;

$$Q = m.(h_2 - h_1) \quad \text{kW}$$

$$Q = 0,031666.(155,23 - 178)$$

$$Q = -721 \text{ W}$$

negatif değer, ısının toprağa geçtiğini göstermektedir.

Borudan transfer olan ısının hesabı:

Yukarıdaki hesaplara göre 721 W sudan toprağa aktarılan toplam enerjidir.

Sabit yüzey sıcaklığı kabulüne göre;

Qz, birim boru boyu başına transfer olan ısı miktarı W/m olduğuna göre;

Qz1= Boruya giren akışkanın giriş anındaki sıcaklığı ile yüzey sıcaklığı arasındaki fark göz önüne alınarak hesaplanan değer.

Qz2= Boruyu terkeden akışkanın çıkış sıcaklığı ile yüzey sıcaklığı arasındaki fark göz önüne alınarak hesaplanan değer.

$$Q = L. \frac{Q_{z1} + Q_{z2}}{2} \quad (15.18)$$

$$721 = 40. \frac{Q_{z1} + Q_{z2}}{2}$$

$$Q_{z1} + Q_{z2} = 36,05 \quad \text{W/m}$$

$$Q_{z1} = 0,961519.k_t.(45,4 - T_y).F(z)$$

$$Q_{z2} = 0,961519.k_t.(35,93 - T_y).F(z)$$

Yukarıdaki denklemler çözüldüğü takdirde ,

Ty=34,9 °C olarak bulunur.

Pprc boru yüzey sıcaklığını ölçmediğim için deney verileri ile karşılaştıramıyoruz, ancak elde edilen sonuç alüminyum borudan elde edilen değerlerle karşılaştırıldığında, sonucun tutarlı olduğu görülmektedir.

15.3.3 Boru içerisindeki akışkan sıcaklığının değişiminin hesaplanması

Koyun modelinden,

$$T_{a,\zeta} = T_t - (T_t - T_{a,g}) e^{\frac{-k_t L}{m_a C_{Pa}}} \quad (15.16)$$

$T_t = 21^\circ\text{C}$ tablodan

$k_{\text{toprak}} = 0,95 \text{ W/mK}$

L: boru boyu, değişken ,

PPRC için; 0-40 metre arası

Alüminyum için; 0-35 metre arası

$m' = 0,031666 \text{ kg/s}$ suyun debisi pprc için

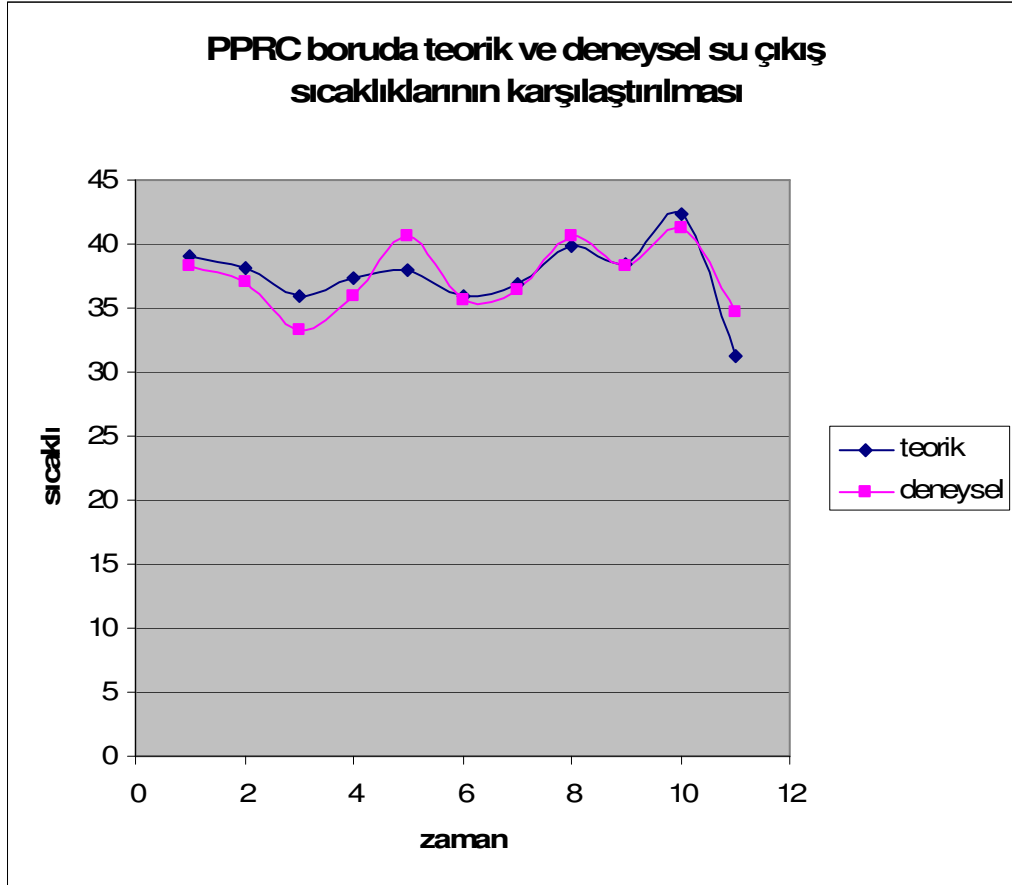
$m' = 0,043 \text{ kg/s}$ suyun debisi alüminyum boru için

$C_{pa} = 4180 \text{ J/kgK}$

Aşağıdaki Çizelge 15.5' deki değerler boruya giren su sıcaklığındaki değişime göre , teorik olarak hesaplanan su çıkış sıcaklığını göstermektedir. Ayrıca tabloya deneyden elde edilen su çıkış sıcaklıkları eklenerek yukarıdaki formül ve deneysel değerlerin tutarlılığının görülmesi amaçlanmıştır.

Çizelge 15.5 Değişik giriş sıcaklıklarında PPRC borudan su çıkış sıcaklığı, teorik ve deneysel sonuçlar.

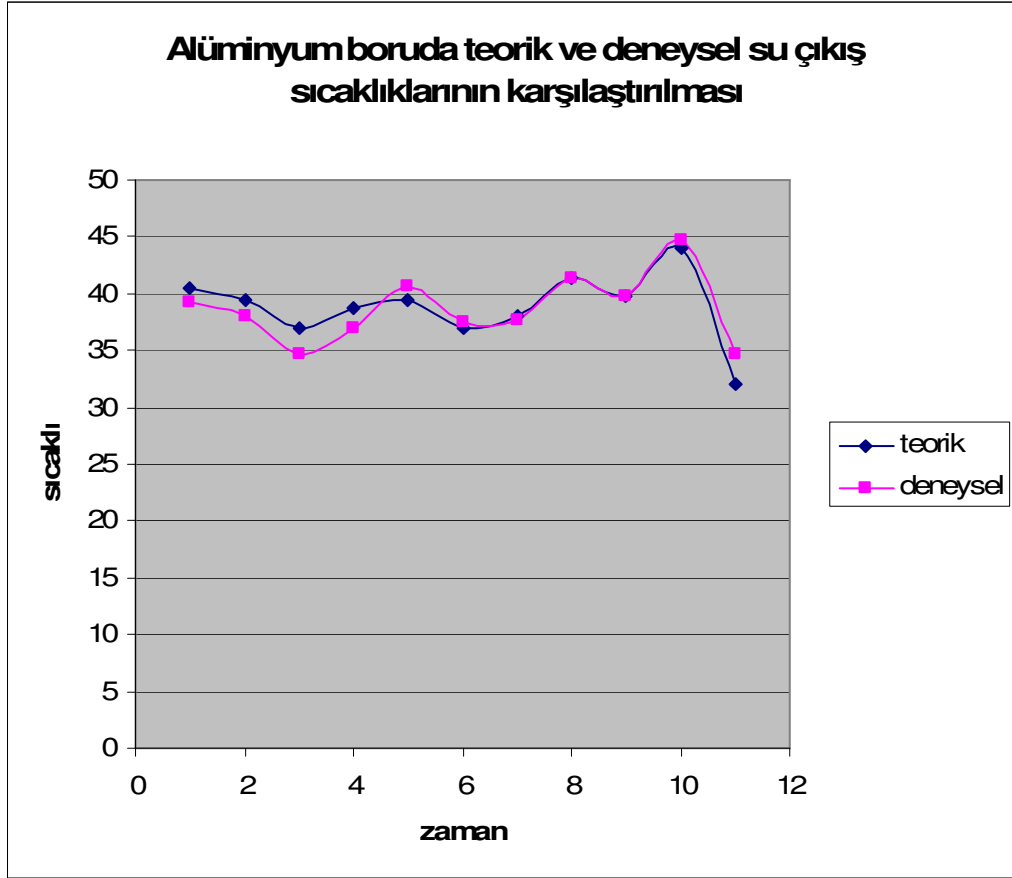
toprak sic.	PPRC boru için hesap değerleri							çıkış deneysel	
	tsg	$\text{EXP}((E4*F4)/(G4*H4))$	kt	m	debi	cp	Tsç teorik	Tplastik	
21	45	0,750677499	-0,949	40	0,031667	4180	39,01626	38,3	
21	43,8	0,750677499	-0,949	40	0,031667	4180	38,11545	37	
21	40,8	0,750677499	-0,949	40	0,031667	4180	35,86341	33,3	
21	42,8	0,750677499	-0,949	40	0,031667	4180	37,36477	36	
21	43,7	0,750677499	-0,949	40	0,031667	4180	38,04038	40,6	
21	40,8	0,750677499	-0,949	40	0,031667	4180	35,86341	35,7	
21	42,1	0,750677499	-0,949	40	0,031667	4180	36,8393	36,4	
21	46,2	0,750677499	-0,949	40	0,031667	4180	39,91707	40,6	
21	44,2	0,750677499	-0,949	40	0,031667	4180	38,41572	38,3	
21	49,5	0,750677499	-0,949	40	0,031667	4180	42,39431	41,3	
21	34,7	0,750677499	-0,949	40	0,031667	4180	31,28428	-	



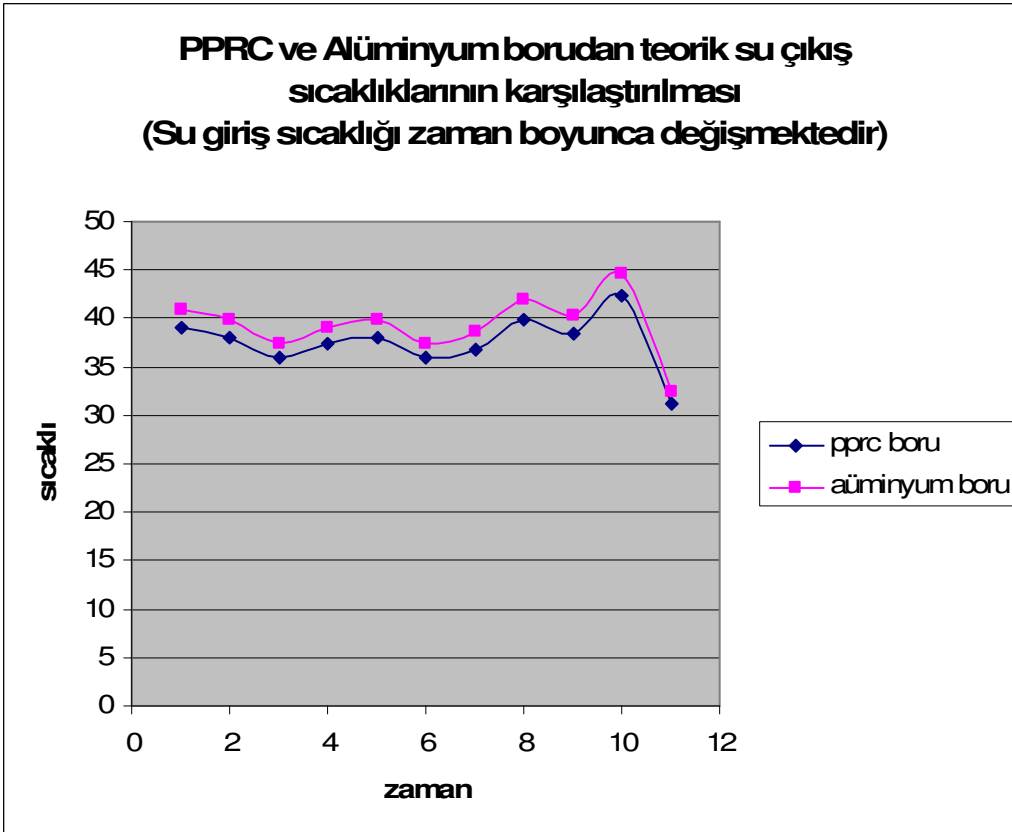
Şekil 15.4 Grafik

Çizelge 15.6 Değişik giriş sıcaklıklarında Al.Kanatlı borudan su çıkış sıcaklığı, teorik ve deneysel sonuçlar

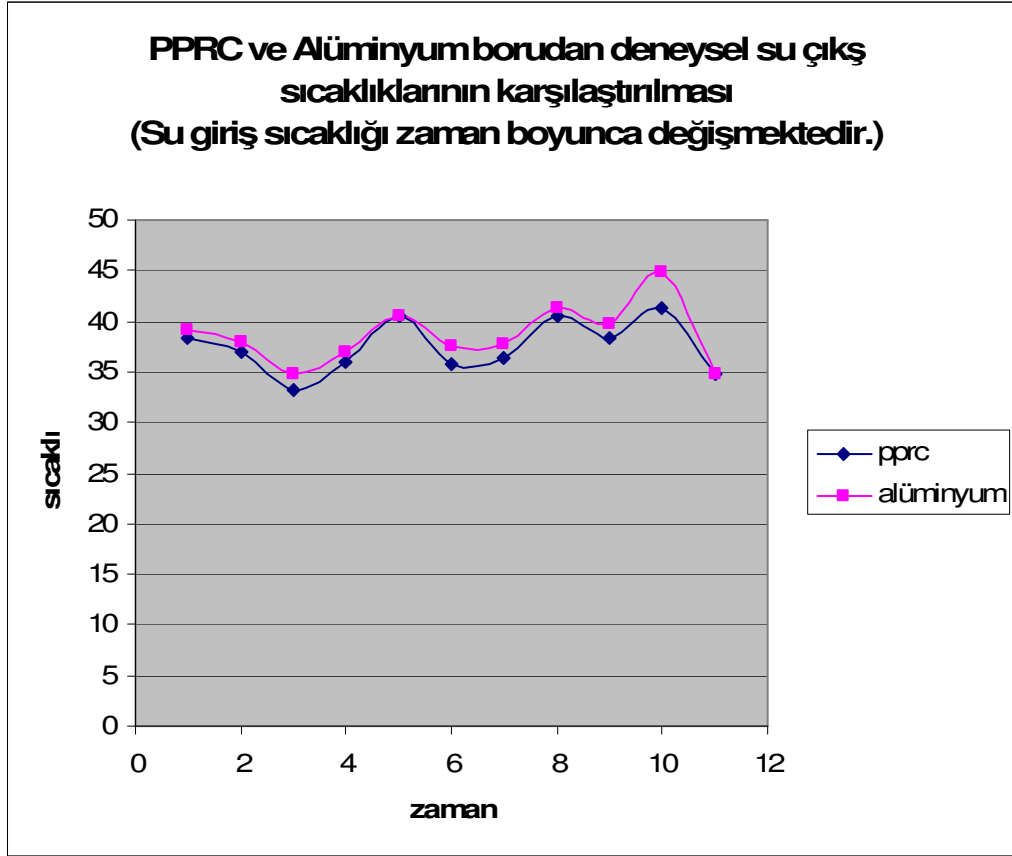
Alüminyum kanatlı boru için hesap değerleri								deneysel
Ttoprak	tsg	$EXP((E4 \cdot F4)/(G4 \cdot H4))$	kt	m	debi	cp	Tsç teorik	çıkış Tal.
21	45	0,831274924	-0,949	35	0,043	4180	40,9506	39,2
21	43,8	0,831274924	-0,949	35	0,043	4180	39,95307	38
21	40,8	0,831274924	-0,949	35	0,043	4180	37,45924	34,7
21	42,8	0,831274924	-0,949	35	0,043	4180	39,12179	37
21	43,7	0,831274924	-0,949	35	0,043	4180	39,86994	40,6
21	40,8	0,831274924	-0,949	35	0,043	4180	37,45924	37,5
21	42,1	0,831274924	-0,949	35	0,043	4180	38,5399	37,7
21	46,2	0,831274924	-0,949	35	0,043	4180	41,94813	41,4
21	44,2	0,831274924	-0,949	35	0,043	4180	40,28558	39,8
21	49,5	0,831274924	-0,949	35	0,043	4180	44,69134	44,8
21	34,7	0,831274924	-0,949	35	0,043	4180	32,38847	-



Şekil 15.5 Grafik



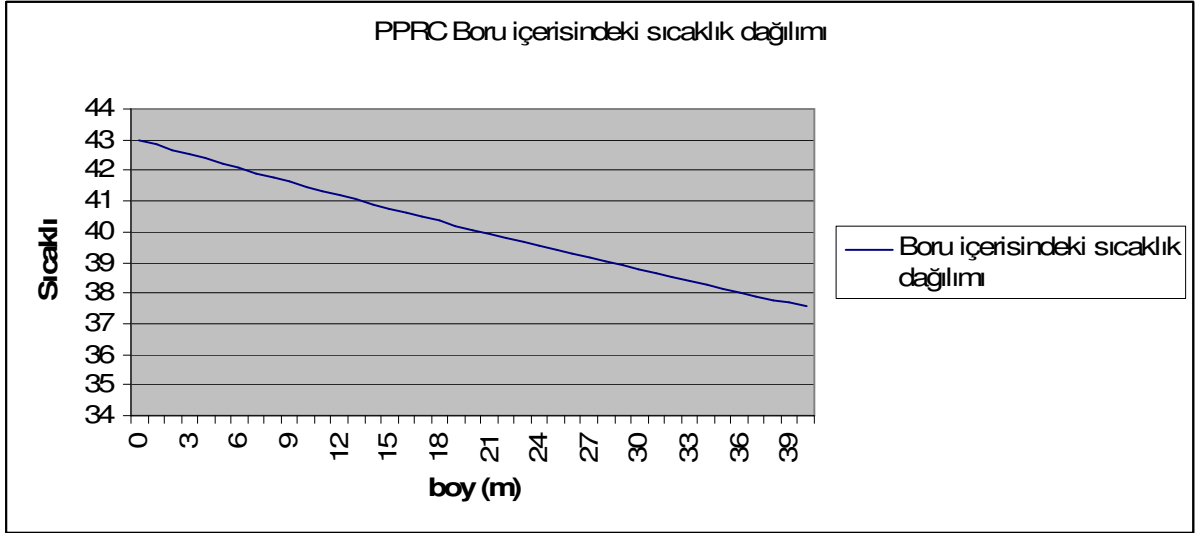
Şekil 15.6



Şekil 15.7

Çizelge 15.7 PPRC Boru boyunca akışkan sıcaklığının değişim değerleri hesap tablosu

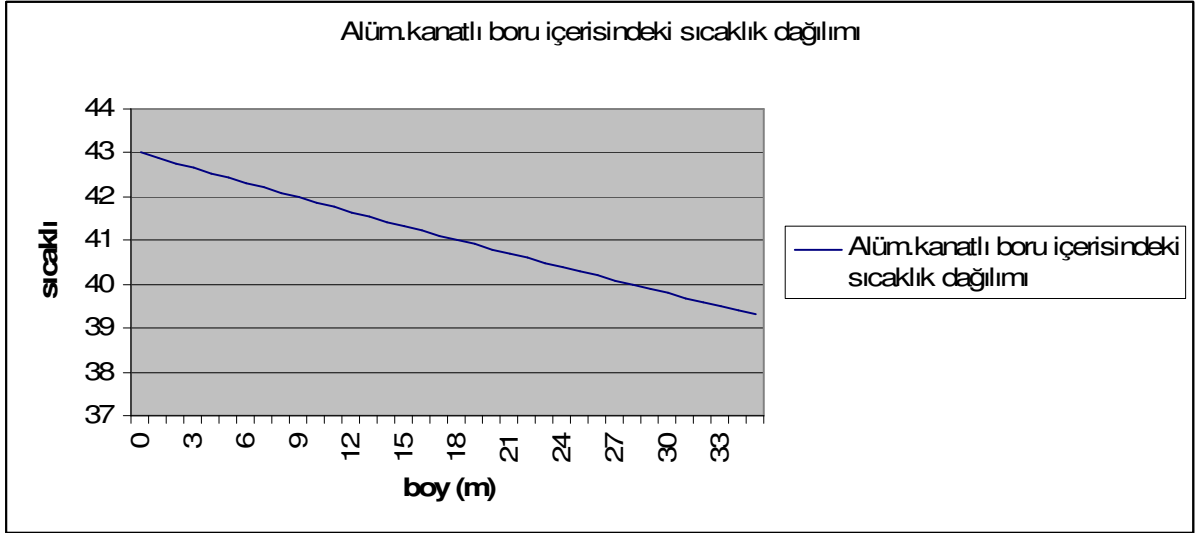
toprak sic.	PPRC boru için hesap değerleri						
	tsg	$\text{EXP}((E4 \cdot F4)/(G4 \cdot H4))$	kt	m	debi	cp	Tsç teorik
21	43	1	-0,949	0	0,031667	4180	43
21	43	0,992856161	-0,949	1	0,031667	4180	42,84284
21	43	0,985763356	-0,949	2	0,031667	4180	42,68679
21	43	0,978721221	-0,949	3	0,031667	4180	42,53187
21	43	0,971729394	-0,949	4	0,031667	4180	42,37805
21	43	0,964787515	-0,949	5	0,031667	4180	42,22533
21	43	0,957895228	-0,949	6	0,031667	4180	42,0737
21	43	0,951052178	-0,949	7	0,031667	4180	41,92315
21	43	0,944258014	-0,949	8	0,031667	4180	41,77368
21	43	0,937512387	-0,949	9	0,031667	4180	41,62527
21	43	0,930814949	-0,949	10	0,031667	4180	41,47793
21	43	0,924165357	-0,949	11	0,031667	4180	41,33164
21	43	0,917563268	-0,949	12	0,031667	4180	41,18639
21	43	0,911008343	-0,949	13	0,031667	4180	41,04218
21	43	0,904500246	-0,949	14	0,031667	4180	40,89901
21	43	0,898038642	-0,949	15	0,031667	4180	40,75685
21	43	0,891623198	-0,949	16	0,031667	4180	40,61571
21	43	0,885253585	-0,949	17	0,031667	4180	40,47558
21	43	0,878929476	-0,949	18	0,031667	4180	40,33645
21	43	0,872650545	-0,949	19	0,031667	4180	40,19831
21	43	0,866416469	-0,949	20	0,031667	4180	40,06116
21	43	0,860226929	-0,949	21	0,031667	4180	39,92499
21	43	0,854081606	-0,949	22	0,031667	4180	39,7898
21	43	0,847980185	-0,949	23	0,031667	4180	39,65556
21	43	0,841922351	-0,949	24	0,031667	4180	39,52229
21	43	0,835907793	-0,949	25	0,031667	4180	39,38997
21	43	0,829936202	-0,949	26	0,031667	4180	39,2586
21	43	0,824007271	-0,949	27	0,031667	4180	39,12816
21	43	0,818120695	-0,949	28	0,031667	4180	38,99866
21	43	0,812276172	-0,949	29	0,031667	4180	38,87008
21	43	0,806473402	-0,949	30	0,031667	4180	38,74241
21	43	0,800712086	-0,949	31	0,031667	4180	38,61567
21	43	0,794991927	-0,949	32	0,031667	4180	38,48982
21	43	0,789312632	-0,949	33	0,031667	4180	38,36488
21	43	0,78367391	-0,949	34	0,031667	4180	38,24083
21	43	0,778075469	-0,949	35	0,031667	4180	38,11766
21	43	0,772517023	-0,949	36	0,031667	4180	37,99537
21	43	0,766998286	-0,949	37	0,031667	4180	37,87396
21	43	0,761518973	-0,949	38	0,031667	4180	37,75342
21	43	0,756078804	-0,949	39	0,031667	4180	37,63373
21	43	0,750677499	-0,949	40	0,031667	4180	37,5149



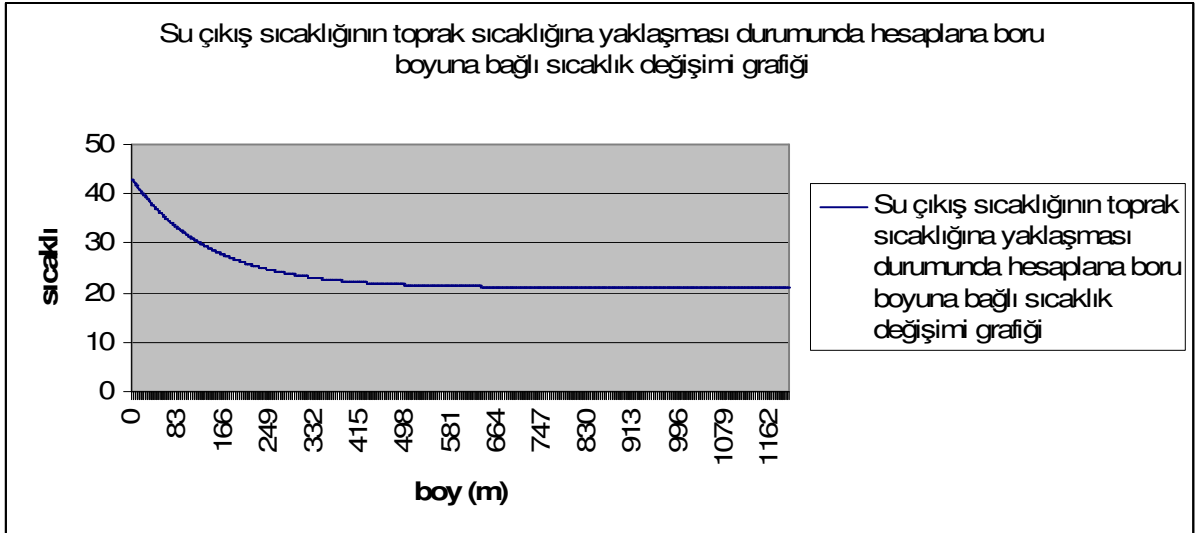
Şekil 15.8 Grafik

Çizelge 15.8 Alüminyum kanatlı Boru boyunca akışkan sıcaklığının değişim değerleri hesap tablosu

toprak sic.	Alüminyum kanatlı boru için hesap değerleri						
	tsg	$EXP((E4 \cdot F4)/(G4 \cdot H4))$	kt	m	debi	cp	Tsç teorik
21	43	1	-0,949	0	0,043	4180	43
21	43	0,994734	-0,949	1	0,043	4180	42,88415
21	43	0,989496	-0,949	2	0,043	4180	42,76891
21	43	0,984285	-0,949	3	0,043	4180	42,65428
21	43	0,979102	-0,949	4	0,043	4180	42,54025
21	43	0,973946	-0,949	5	0,043	4180	42,42682
21	43	0,968817	-0,949	6	0,043	4180	42,31398
21	43	0,963716	-0,949	7	0,043	4180	42,20175
21	43	0,958641	-0,949	8	0,043	4180	42,0901
21	43	0,953593	-0,949	9	0,043	4180	41,97904
21	43	0,948571	-0,949	10	0,043	4180	41,86857
21	43	0,943576	-0,949	11	0,043	4180	41,75867
21	43	0,938607	-0,949	12	0,043	4180	41,64936
21	43	0,933665	-0,949	13	0,043	4180	41,54062
21	43	0,928748	-0,949	14	0,043	4180	41,43246
21	43	0,923857	-0,949	15	0,043	4180	41,32486
21	43	0,918992	-0,949	16	0,043	4180	41,21783
21	43	0,914153	-0,949	17	0,043	4180	41,11136
21	43	0,909339	-0,949	18	0,043	4180	41,00546
21	43	0,904551	-0,949	19	0,043	4180	40,90011
21	43	0,899787	-0,949	20	0,043	4180	40,79532
21	43	0,895049	-0,949	21	0,043	4180	40,69108
21	43	0,890336	-0,949	22	0,043	4180	40,58739
21	43	0,885647	-0,949	23	0,043	4180	40,48424
21	43	0,880984	-0,949	24	0,043	4180	40,38164
21	43	0,876344	-0,949	25	0,043	4180	40,27957
21	43	0,87173	-0,949	26	0,043	4180	40,17805
21	43	0,867139	-0,949	27	0,043	4180	40,07706
21	43	0,862573	-0,949	28	0,043	4180	39,9766
21	43	0,858031	-0,949	29	0,043	4180	39,87667
21	43	0,853512	-0,949	30	0,043	4180	39,77727
21	43	0,849018	-0,949	31	0,043	4180	39,67839
21	43	0,844547	-0,949	32	0,043	4180	39,58003
21	43	0,840099	-0,949	33	0,043	4180	39,48219
21	43	0,835676	-0,949	34	0,043	4180	39,38486
21	43	0,831275	-0,949	35	0,043	4180	39,28805



Şekil 15.9 Grafik



Şekil 15.10 Grafik pprc boru için

15.3.4 Alüminyum kanatlı boru ve PPRC borunun verimlerinin karşılaştırılması

PPRC için;

Birim kütlede birim zamanda transfer olan ısı miktarını hesaplayalım

$$m:0,031666\text{kg/s}$$

$$L:40\text{m}$$

$$\text{İç çap: } 14,6\text{mm}$$

$$A,\text{Alan: } 1,6741 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$V, \text{Hacim: } 0,00669\text{m}^3$$

$$V \cdot 1000 / m = 211,3 \text{ s}$$

$$h_1 : 43^\circ\text{C deki suyun entalpisi} : 178 \text{ kJ/kg} \quad (\text{Çengel,suyun özellikleri tablosu})$$

$$h_2 : 37,74^\circ\text{C deki suyun entalpisi} : 155,23 \text{ kJ/kg} \quad (\text{Çengel,suyun özellikleri tablosu})$$

$$\Delta h = 22,77 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta h/L = 22,77/40 = 0,569 \text{ kJ/kgm}$$

$$H, \text{Hız: } 0,189 \text{ m/s}$$

$$(\Delta h/L) \cdot H = 0,107 \text{ kJ/kg.s}$$

Alüminyum kanatlı boru için;

Birim kütlede birim zamanda transfer olan ısı miktarını hesaplayalım

$$m:0,043 \text{ kg/s}$$

$$L:35\text{m}$$

$$\text{İç çap: } 13\text{mm}$$

$$A,\text{Alan: } 1,3273 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$V, \text{Hacim: } 0,00464 \text{ m}^3$$

$$V \cdot 1000 / m = 108 \text{ s}$$

$$h_1 : 43^\circ\text{C deki suyun entalpisi} : 178 \text{ kJ/kg} \quad (\text{Çengel,suyun özellikleri tablosu})$$

$$h_2 : 39,06^\circ\text{C deki suyun entalpisi} : 163,41 \text{ kJ/kg} \quad (\text{Çengel,suyun özellikleri tablosu})$$

$$\Delta h = 14,59 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta h/L = 14,59/35 = 0,4168 \text{ kJ/kgm}$$

$$H, \text{Hız: } 0,324 \text{ m/s}$$

$$(\Delta h/L) \cdot H = 0,135 \text{ kJ/kg.s}$$

PPRC ve Alüminyum borunun birim zamanda birim kütle başına transfer ettikleri enerji miktarını karşılaştırırsak;

$$\text{Alü} / \text{PPRC} = 0,135/0,107 = 1,26$$

Alüminyum borudaki ısı transferi kabiliyeti PPRC borudakinden %26 daha büyüktür.

15.3.5 Etkilenmiş toprak sıcaklığının hesaplanması

Etkilenmiş toprak sıcaklığını hesaplamak için kullanılabilecek en basit teori “çizgisel kaynak teorisi” dir. Isı kaynağının çok uzun fakat çok küçük çaplı olması durumunda, ısı kaynağı “çizgisel kaynak” olarak kabul edilebilir. Buradan hareketle toprak altındaki borularda ısı geçişi bu yöntem ile incelenebilir. Buna göre aşağıdaki denklem kullanılarak, çizgisel kaynaktan “r” kadar uzakta bulunan bir bölgedeki sıcaklık değişimi ; transfer olan ısı miktarı , zaman ve toprak özellikleri esas alınarak hesaplanabilir.

$$T - T_0 = \frac{Q'}{2.\pi.k_t} \int_{\frac{r}{2.\sqrt{a_t t}}}^{\infty} \frac{e^{-\beta^2}}{\beta} .d\beta \quad (15.19)$$

Hatırlanacağı üzere

$$Q' = k_t .\Delta T .F(z) \text{ idi.}$$

Denklem 15.19’ da $x = \frac{r}{2.\sqrt{a_t t}}$ dönüşümü yapılarak, integralli ifade I(x) olarak

tanımlanmıştır. Dolayısıyla denklem (15.19), aşağıdaki haline dönüşür ve bu ifade “basit çizgisel kaynak denklemi” olarak adlandırılır.

$$I(x) = \int_x^{\infty} \frac{e^{-\beta^2}}{\beta} .d\beta \rightarrow T - T_0 = \frac{Q'}{2.\pi.k_t} I(x) \quad (15.20)$$

a_t : Toprağın ısı difüzyon katsayısı

t : Zaman

k_t : Toprağın ısı iletkenlik değeri

Q' : Birim boy için transfer olan ısı miktarı

T : Etkilenmiş toprak sıcaklığı

T_0 : Etkilenmemiş toprak sıcaklığı

β : İntegral değişkeni

I(x) : İntegralin değerleri x’e bağlı olarak Çizelge 15.9’ da verilmiştir.

Çizelge 15.9 I(x) : İntegralin değerleri x'e bağlı olarak aşağıda verilmiştir.Diz,2001

x	I(x)	x	I(x)	x	I(x)	x	I(x)	x	I(x)
0,0001	8,9217	0,18	1,4423	0,53	0,4774	0,88	0,1627	1,55	0,01417
0,0002	8,2286	0,19	1,39	0,54	0,4634	0,89	0,1575	1,6	0,01151
0,0003	7,8231	0,2	1,3406	0,55	0,4498	0,9	0,1525	1,65	0,009315
0,0004	7,5354	0,21	1,2938	0,56	0,4365	0,91	0,1476	1,7	0,007508
0,0005	7,3123	0,22	1,2494	0,57	0,4237	0,92	0,1429	1,75	0,006027
0,0006	7,13	0,23	1,2072	0,58	0,4112	0,93	0,1383	1,8	0,004818
0,0007	6,9758	0,24	1,1669	0,59	0,399	0,94	0,1339	1,85	0,003837
0,0008	6,8423	0,25	1,1285	0,6	0,3872	0,95	0,1295	1,9	0,003042
0,0009	6,7245	0,26	1,0917	0,61	0,3758	0,96	0,1253	1,95	0,002403
0,001	6,6191	0,27	1,0565	0,62	0,3646	0,97	0,1212	2	0,00189
0,002	5,926	0,28	1,0228	0,63	0,3538	0,98	0,1173	2,05	0,00148
0,003	5,5205	0,29	0,9904	0,64	0,3433	0,99	0,1134	2,1	0,001154
0,004	5,2329	0,3	0,9594	0,65	0,3331	1	0,1097	2,15	0,0008963
0,005	5,0097	0,31	0,9295	0,66	0,3231	1,02	0,10255	2,2	0,000693
0,006	4,8274	0,32	0,9007	0,67	0,3134	1,04	0,09583	2,25	0,0005336
0,007	4,6733	0,33	0,8731	0,68	0,3041	1,06	0,0895	2,3	0,000409
0,008	4,5397	0,34	0,8464	0,69	0,2949	1,08	0,08355	2,35	0,0003122
0,009	4,422	0,35	0,8206	0,7	0,286	1,1	0,07796	2,4	0,0002373
0,01	4,3166	0,36	0,7958	0,71	0,2774	1,12	0,0727	2,45	0,0001795
0,02	3,6236	0,37	0,7718	0,72	0,269	1,14	0,06777	2,5	0,0001352
0,03	3,2184	0,38	0,7487	0,73	0,2609	1,16	0,06313	2,55	0,0001014
0,04	2,9311	0,39	0,7263	0,74	0,2529	1,18	0,05878	2,6	0,00007573
0,05	2,7084	0,4	0,7046	0,75	0,2452	1,2	0,0547	2,65	0,00005629
0,06	2,5266	0,41	0,6836	0,76	0,2377	1,22	0,05088	2,7	0,00004166
0,07	2,3731	0,42	0,6634	0,77	0,2305	1,24	0,0473	2,75	0,00003069
0,08	2,2403	0,43	0,6437	0,78	0,2231	1,26	0,04394	2,8	0,00002251
0,09	2,1234	0,44	0,6247	0,79	0,2165	1,28	0,04081	2,85	0,00001643
0,1	2,019	0,45	0,6062	0,8	0,2098	1,3	0,03787	2,9	0,00001194
0,11	1,9247	0,46	0,5884	0,81	0,2033	1,32	0,03512	2,95	0,000008641
0,12	1,8388	0,47	0,5711	0,82	0,197	1,34	0,03256	3	0,000006224
0,13	1,76	0,48	0,5543	0,83	0,1909	1,36	0,03016	3,05	0,000004462
0,14	1,6873	0,49	0,538	0,84	0,1849	1,38	0,02793	3,1	0,000003184
0,15	1,6197	0,5	0,5221	0,85	0,1791	1,4	0,02585		
0,16	1,5567	0,51	0,5068	0,86	0,1735	1,45	0,02123		
0,17	1,4977	0,52	0,4919	0,87	0,168	1,5	0,01738		

Alüminyum kanatlı boru için hesap;

$$Q' = k_t \cdot \Delta T \cdot F(z)$$

kt : 0,95 W/mK (0,987 Btu/ft.h)

$$F(z) = 1,81689$$

$$\Delta T = (T_y - T_t)$$

Tyüzey= 36,92°C (34,45 F) (Sabit yüzey sıcaklığına göre hesap yaptığımız bölümden)

Ttoprak=21 °C (5,8F)

$$Q_z = 49,4 \text{ W/m} \quad (Q' = 51,38 \text{ Btu / ft.h})$$

$$T - T_0 = \frac{Q'}{2 \cdot \pi \cdot k_t} I(x)$$

$$T_0 = T_{\text{toprak}} = 5,8F$$

$$T - 5,8 = 8,28 \cdot I(x) \text{ olarak bulunur.}$$

$$x = \frac{r}{2 \cdot \sqrt{a_t \cdot t}}$$

r' değerleri 1cm , (0,0328084 ft) ' den başlayarak toprak sıcaklığının 21 °C (5,8F) olduğu değere kadar hesabı yapılır;

at: 0,0098

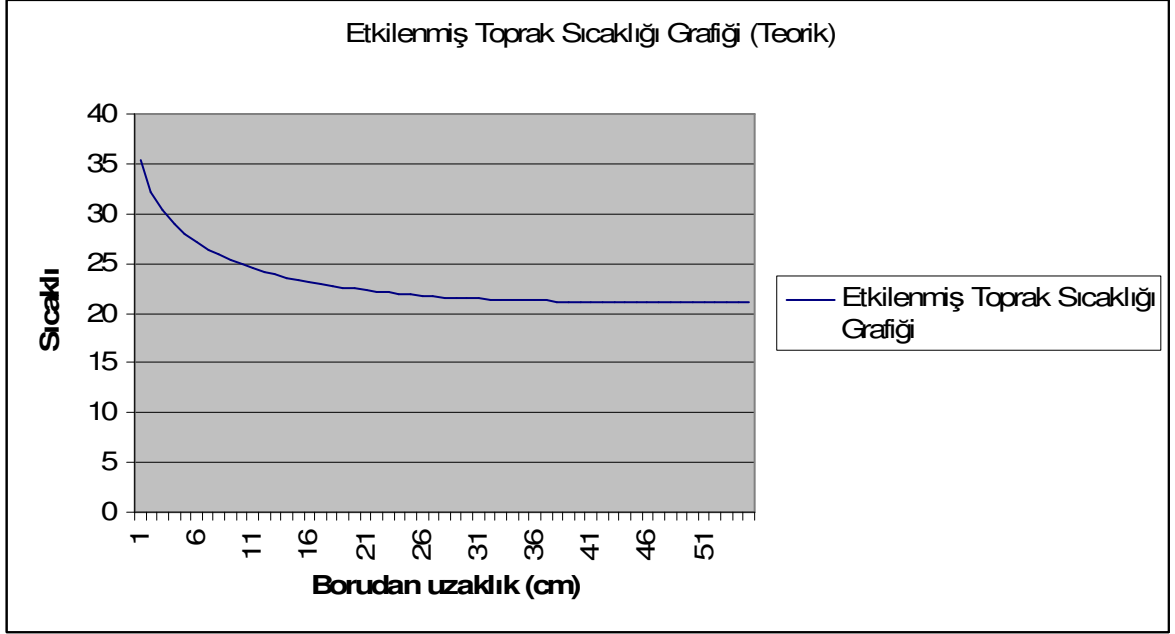
t: 24 h

için x değerleri belirlenir ve Çizelge 15.9'dan I(x) değerleri hesaplanarak yerlerine konur.

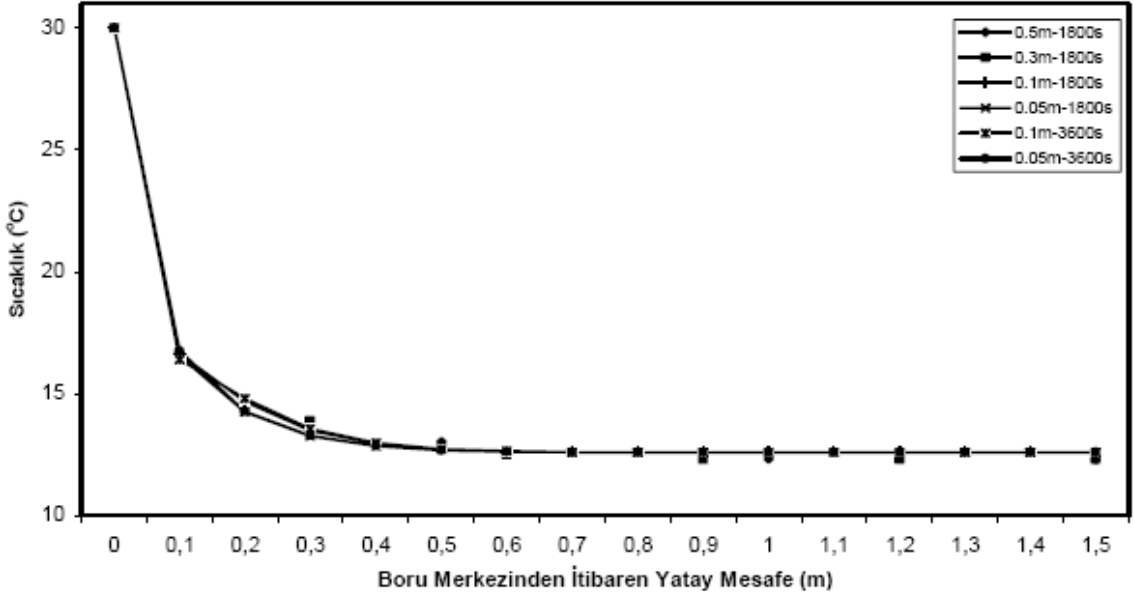
Çizelge 15.10 Al.Kanatlı borudan yatayda uzaklaştıkça toprakta meydana gelen sıcaklık değişimi

	at	t	r	x	$l(x)$	$Q/2\pi kt$	t_0	T (F)	T (C)
1	0,0098	24	0,0328084	0,03382489	3,13	8,28	5,8	31,7164	35,398
2	0,0098	24	0,0656168	0,067649781	2,41	8,28	5,8	25,7548	32,086
3	0,0098	24	0,0984252	0,101474671	2,019	8,28	5,8	22,51732	30,2874
4	0,0098	24	0,1312336	0,135299561	1,7236	8,28	5,8	20,07141	28,92856
5	0,0098	24	0,164042	0,169124452	1,49	8,28	5,8	18,1372	27,854
6	0,0098	24	0,1968504	0,202949342	1,34	8,28	5,8	16,8952	27,164
7	0,0098	24	0,2296588	0,236774232	1,18	8,28	5,8	15,5704	26,428
8	0,0098	24	0,2624672	0,270599122	1,0565	8,28	5,8	14,54782	25,8599
9	0,0098	24	0,2952756	0,304424013	0,9594	8,28	5,8	13,74383	25,41324
10	0,0098	24	0,328084	0,338248903	0,8512	8,28	5,8	12,84794	24,91552
11	0,0098	24	0,3608924	0,372073793	0,7671	8,28	5,8	12,15159	24,52866
12	0,0098	24	0,3937008	0,405898684	0,6941	8,28	5,8	11,54715	24,19286
13	0,0098	24	0,4265092	0,439723574	0,625	8,28	5,8	10,975	23,875
14	0,0098	24	0,4593176	0,473548464	0,56522	8,28	5,8	10,48002	23,60001
15	0,0098	24	0,492126	0,507373355	0,51093	8,28	5,8	10,0305	23,35028
16	0,0098	24	0,5249344	0,541198245	0,462	8,28	5,8	9,62536	23,1252
17	0,0098	24	0,5577428	0,575023135	0,4174	8,28	5,8	9,256072	22,92004
18	0,0098	24	0,5905512	0,608848026	0,3771	8,28	5,8	8,922388	22,73466
19	0,0098	24	0,6233596	0,642672916	0,3406	8,28	5,8	8,620168	22,56676
20	0,0098	24	0,656168	0,676497806	0,3102	8,28	5,8	8,368456	22,42692
21	0,0098	24	0,6889764	0,710322696	0,2774	8,28	5,8	8,096872	22,27604
22	0,0098	24	0,7217848	0,744147587	0,2521	8,28	5,8	7,887388	22,15966
23	0,0098	24	0,7545932	0,777972477	0,2245	8,28	5,8	7,65886	22,0327
24	0,0098	24	0,7874016	0,811797367	0,2022	8,28	5,8	7,474216	21,93012
25	0,0098	24	0,82021	0,845622258	0,182	8,28	5,8	7,30696	21,8372
26	0,0098	24	0,8530184	0,879447148	0,1627	8,28	5,8	7,147156	21,74842
27	0,0098	24	0,8858268	0,913272038	0,1476	8,28	5,8	7,022128	21,67896
28	0,0098	24	0,9186352	0,947096929	0,1308	8,28	5,8	6,883024	21,60168
29	0,0098	24	0,9514436	0,980921819	0,117	8,28	5,8	6,76876	21,5382
30	0,0098	24	0,984252	1,014746709	0,1095	8,28	5,8	6,70666	21,5037
31	0,0098	24	1,0170604	1,0485716	0,09076	8,28	5,8	6,551493	21,4175
32	0,0098	24	1,0498688	1,08239649	0,0829	8,28	5,8	6,486412	21,38134
33	0,0098	24	1,0826772	1,11622138	0,07743	8,28	5,8	6,44112	21,35618
34	0,0098	24	1,1154856	1,15004627	0,06545	8,28	5,8	6,341926	21,30107
35	0,0098	24	1,148294	1,183871161	0,05878	8,28	5,8	6,286698	21,27039
36	0,0098	24	1,1811024	1,217696051	0,0527	8,28	5,8	6,236356	21,24242
37	0,0098	24	1,2139108	1,251520941	0,0458	8,28	5,8	6,179224	21,21068
38	0,0098	24	1,2467192	1,285345832	0,04	8,28	5,8	6,1312	21,184
39	0,0098	24	1,2795276	1,319170722	0,03511	8,28	5,8	6,090711	21,16151
40	0,0098	24	1,312336	1,352995612	0,03156	8,28	5,8	6,061317	21,14518
41	0,0098	24	1,3451444	1,386820503	0,02709	8,28	5,8	6,024305	21,12461
42	0,0098	24	1,3779528	1,420645393	0,024	8,28	5,8	5,99872	21,1104
43	0,0098	24	1,4107612	1,454470283	0,02123	8,28	5,8	5,975784	21,09766
44	0,0098	24	1,4435696	1,488295173	0,01892	8,28	5,8	5,956658	21,08703
45	0,0098	24	1,476378	1,522120064	0,016096	8,28	5,8	5,933275	21,07404
46	0,0098	24	1,5091864	1,555944954	0,01275	8,28	5,8	5,90557	21,05865
47	0,0098	24	1,5419948	1,589769844	0,0121	8,28	5,8	5,900188	21,05566
48	0,0098	24	1,5748032	1,623594735	0,01063	8,28	5,8	5,888016	21,0489
49	0,0098	24	1,6076116	1,657419625	0,00904	8,28	5,8	5,874851	21,04158

50	0,0098	24	1,64042	1,691244515	0,007508	8,28	5,8	5,862166	21,03454
51	0,0098	24	1,6732284	1,725069406	0,0069	8,28	5,8	5,857132	21,03174
52	0,0098	24	1,7060368	1,758894296	0,0058	8,28	5,8	5,848024	21,02668
53	0,0098	24	1,7388452	1,792719186	0,00482	8,28	5,8	5,83991	21,02217
54	0,0098	24	1,7716536	1,826544077	0,0044	8,28	5,8	5,836432	21,02024
55	0,0098	24	1,804462	1,860368967	0,0367	8,28	5,8	6,103876	21,16882



Şekil 15.11 Grafik



Şekil 15.12 Dr.Hakan Demir tarafından yapılan Doktora tezinden alınmıştır. Grafik Matlab ortamında geliştirilen program yardımı ile çizilmiştir.

Çizelge 15.11 Deney verileri ve ortalama değerleri

saat	tk1	tk2	tk3	tk4	tk5	tk6	tk7	su giriş	pprc çıkış	almn.çıkış
77	37,1	31,2	28,8	25,4	29,6	27,4	23,1	45	38,3	39,2
78	36,8	31,2	28,2	25,4	29,7	27,4	23,3	43,8	37	38
102	34,3	30	27,3	25,5	28,5	26,5	23,6	40,8	33,3	34,7
126	36	31	27,9	arıza	29,5	27,4	23,7	42,8	36	37
196	38,2	33	29,7	54,9	31,5	29,3	25	43,7	40,6	40,6
244	35,5	26,9	28,6	31,1	29,9	28,4	24,9	40,8	35,7	37,5
268	36,2	31,9		36,7	30,8	28,5	24,8	42,1	36,4	37,7
340	40	34,5	30,5	45,9	32,6	30,1	25,9	46,2	40,6	41,4
389	37,4	34,1	30,9	41	32,6	30,4	26,4	44,2	38,3	39,8
506	42,5	36,9	32,5	55,3	34,6	31,8	27,5	49,5	41,3	44,8
552	32,2	30,8	29,7	45,7	30	29	27,2	34,7	34,7	34,7
ortalama değerler	36,92727	31,95455	26,73636		30,84545	28,74545	25,03636	43,05455	37,47273	38,67273

Deneyden elde edilen sonuçlarla karşılaştırma;

Boru yüzeyinde tk1 36,92°C deneysel (77.saatten sonraki sıcaklıkların ortalaması) ,
35,4 °C teorik sıcaklık

Borudan 2 cm düşey uzaktaki Termokopl tk2 31,95 °C deneysel,
Borudan 2 cm yatay uzaktaki Termokopl tk5 30,84 °C deneysel
32,08 °C teorik

Borudan 7 cm düşey uzaktaki termokopl, tk3 26,73 °C deneysel ortalama,
Borudan 7 cm yatay uzaktaki termokopl, tk6 28,74 °C deneysel ortalama
26,42 °C teorik

Borudan 27 cm düşey uzaktaki termokopl tk4 bozulduğu için değer alınamadı.
Borudan 27 cm yatay uzaktaki termokopl tk7 25,03 °C deneysel ortalama
21,67 °C teorik

16. BORU BOYUNUN HESAPLANMASI İÇİN TASARIM ve OPTİMİZASYON YÖNTEMİ

16.1 Binanın ihtiyaç duyulan soğutma yükünün hesaplanması.

İlk önce soğutma yükü hesaplanır. Bulunan soğutma yükü, ısı pompasının toprak ısı değiştiricisi yardımı ile toprağa atması gereken enerji miktarıdır. Isı pompası kondenserinde bu enerji soğutucu akışkandan suya transfer olur. Böylece gerekli kondenser kapasitesini belirlemiş oluruz. Biz burada binanın soğutma yükünü 30 kW olarak kabul ediyoruz. Yapılan hesaplamalar Timur Diz tarafından hazırlanan yüksek lisans tezinde yapılmış olan örnek uygulamanın bizim sistemimize uygulanması halinde çıkacak sonuçları karşılaştıracaktır.

16.2 Isı pompasının çalışma koşullarının belirlenmesi

Isı pompasına toprak ısı değiştiricisinden gelecek olan suyun sıcaklığının belirlenmesi gerekmektedir.

Bunun için yazın maksimum toprak sıcaklığının, kışın ise minimum toprak sıcaklığının bilinmesi gerekmektedir. Çünkü yazın soğutma konumunda iken, toprağın maksimum sıcaklığı, bizim toprak ısı değiştiricisine gönderdiğimiz su sıcaklığından düşük olmalıdır. Bu sayede yüksek sıcaklıktaki sudan, toprağa ısı transferi olacaktır.

Kışın ise toprak ısı değiştiricisinde dolaşan suyun sıcaklığının toprak sıcaklığından düşük olması gerekmektedir. Bu sayede topraktan suya ısı transferi gerçekleşecektir.

Maksimum ve minimum toprak sıcaklığı aşağıdaki şekilde hesaplanır

$$T_{mak} = T_m + T_o e^{-x\sqrt{\pi/aP}} \quad 16.1$$

$$T_{min} = T_m - T_o e^{-x\sqrt{\pi/aP}} \quad 16.2$$

Timur Diz bu formülleri kullanarak istanbul göztepe için değişik toprak derinlikleri için aşağıdaki tabloyu oluşturmuştur.

$$T_{mak} = 15,85 + 10,4e^{-100\sqrt{\pi/0,0068.365.24.3600}} = 22,94^{\circ}C$$

$$T_{min} = 15,85 - 10,4e^{-100\sqrt{\pi/0,0068.365.24.3600}} = 8,76^{\circ}C$$

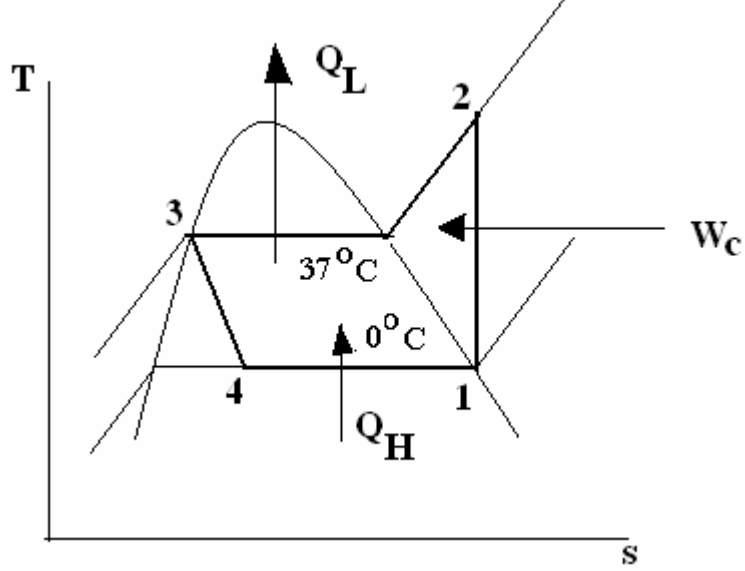
Çizelge 16.1 Çeşitli derinliklerde maksimum ve minimum toprak sıcaklıkları

x(cm)	100	130	150	180	200	225	250
Tmax	22,94	22,17	21,17	21,07	20,69	20,25	19,84
Tmin	8,76	9,53	9,99	10,63	11,01	11,45	11,86

Bizim borumuz 180 cm derinlikte olduğu için yer ısı değiştiricisine ısı taşıyıcı akışkanın giriş sıcaklığını ısıtma mevsiminde 1°C, soğutma mevsiminde ise 30°C olarak seçiyoruz.

16.3 Isı pompasının dizaynı

Soğutma yapılırken su sıcaklığımız 30°C olduğuna göre, ısı pompasının kondenserinde yoğuşma olabilmesi için kondensasyon sıcaklığı 37°C olarak belirlenir. Evaporasyon sıcaklığı ise 0°C olarak belirlenebilir.



Şekil16.1 Isı pompasının T-s diagramı

Isı pompasının 1-2-3-4 noktalarındaki entalpileri belirlenebilir. Freon 12 için 0°C 'de doyma basıncı $P_1=308,6\text{kPa}$ 'dır. $T_1=0^{\circ}\text{C}$ ve $x=1$ için $h_1=187,397\text{ kJ/kg}$ ve $s_1=0,696\text{ kJ/kgK}$ olarak termodinamik tablolardan okunur.

37°C 'de doyma basıncı $P_2=891,47\text{ kPa}$ 'dır. Termodinamik tablolardan; $T_3=37^{\circ}\text{C}$ ve $x=0^{\circ}\text{C}$ için $h_3=203,987\text{ kJ/kg}$ olarak bulunur. Kısılma vanasında ısı geçişi olmadığından, $h_4=h_3=203,987\text{ kJ/kg}$ 'dır.

$P_2=891,47\text{ kPa}$ ve $s_2=s_1=0,696\text{ kJ/kgK}$ için termodinamik tablolardan; $T_2=39,558^{\circ}\text{C}$ ve $h_2=203,987^{\circ}\text{C}$ olarak bulunur.

Birim soğutucu akışkan başına yaşam alanından çekilen ısı miktarı;

$$Q_{evap} / m_R = h_1 - h_4 = 187,397 - 71,461 = 115,936\text{ kJ/kg} \text{ olarak bulunur.}$$

Binanın hesaplanan ısı kazancının 30kW olduğunu kabul edersek çevrimde kullanılması gereken soğutucu akışkan miktarı;

$$Q_C / (h_1 - h_4) = 30 / 115,936 = 0,26\text{ kg/s} \text{ olarak bulunur.}$$

Artık soğutucu akışkanın kütleli debisi belirlendiğine göre, aşağıdaki denklemleri kullanarak yoğuşturucu ve buharlaştırıcı kapasiteleri ile kompresör gücünü belirleyebiliriz.

$$Q_{evap} = m_R (h_1 - h_4) \quad 16.3$$

$$Q_{kond} = m_R (h_2 - h_3) \quad 16.4$$

$$W_C = m_R(h_2 - h_3) \quad 16.5$$

$$Q_{evap} = m_R(h_1 - h_4) = 0,26.(187,397 - 71,461) = 30,143kW$$

$$Q_{kond} = m_R(h_2 - h_3) = 0,26.(203,987 - 71,461) = 34,456kW$$

$$W_C = m_R(h_2 - h_3) = 0,26.(203,987 - 187,397) = 4,3134kW$$

Soğutma performans katsayısı COP,

$$COP = \frac{Q_{evap}}{W_C} = \frac{30,143}{4,3134} = 6,988 \text{ olarak bulunur.}$$

16.4 Yer ısı değiştiricisinden geçen suyun kütlesel debisinin bulunması

Yer ısı değiştiricisine giren akışkan sıcaklığı 30°C olarak seçilmişti.

Sistemin 2°C sıcaklık farkı ile çalıştığını göz önüne alalım.Dolayısıyla topraktan dönüş sıcaklığı 28 °C olsun.

29 °C'lik ortalama sıcaklık için suyun özgül ısısı ve yoğunluğu ,suyun termofiziksel özellikleri tablosundan Cp=4,1785 kJ/kg ve ρ=996,016 kg/m³ olarak okunur. Suyun akış hızı 0,5 m/s olarak alınsın. Dolayısıyla; Almiyum borumuzda

$$m = \rho.A.u = \rho.\frac{\pi.d^2}{4}.u \quad 16.6$$

Almiyum borunun çapı 16 mm, ancak 15. bölümden elde edilen sonuçlara göre, düz borudan elde edilen ısı 402 W, kanattan elde edilen ısı 224 W. Toplam transfer olan ısı 627 W' tır. Buna göre 627/402=1,55 kat, kanatlar borunun etkinliğini artırdığına göre denklem 16.6 daki A, alan değerini 16mm' ye göre hesaplayıp, etkinliğini 1,55 kat artırıyoruz.

$$996,016.\frac{\pi.(1,55.0,016^2)}{4}.0,5 = 0,155kg / s \text{ olarak bulunur.}$$

Timur Diz, 1" boru için hesap yapmış ve diğer verileri aynı olarak, 0,292 kg/s olarak bulmuştur.

Paralel akışlı yer ısı değiştiricisinin ,30/28 °C su sıcaklıklarında çalışması halinde , tüm sistem için gerekli olan su debisi aşağıdaki şekilde bulunur.

$$m_{toplam} = \frac{Q}{C_p.\Delta T} \quad 16.7$$

$$m_{toplam} = \frac{Q_{kond}}{C_p.\Delta T} = \frac{34,456}{4,1785.2} = 4,123kg / s \text{ olarak bulunur. Bu değer Diz ile aynıdır.}$$

Bir borudan geçen suyun kütlesel debisi yukarıda 0,155 kg/s olarak bulunmuştu. Dolayısıyla 2°C'lik sıcaklık düşüşü için gerekli olan boru sayısı;

$$n_{boru} = m_{toplam} / m \quad 16.8$$

$$n_{boru} = m_{toplam} / m = 4,123 / 0,155 = 26,6 \text{ adet olarak bulunur.}$$

Diz , boru sayısını 1” boru için 14,14 adet olarak hesaplamıştır.Yukarıdaki formülde 0,155 yerine 0,292 kg/s’ dir.

Diz, yaptığı hesaplarla elde ettiği sonuçlara göre optimum boru çapını 1”, optimum akış hızında 0,5 m/s olarak elde etmiştir. Diz’in hesaplamaları ile karşılaştırmalar buradan yola çıkılarak yapılmıştır

r : 16 mm çaplı boru (r = 0,0262465 ft).

z : denklem 15.13’ten hesaplanarak $z = 341$

$F(z) =$ Çizelge 15.1 ‘den bakacak olursak $F(z) = 1,81689$ olarak bulunur.

Denklem 15.4’den faydalanarak

$$Q_z = 0,961519 \cdot k_t \cdot \Delta T \cdot F(z)$$

$$Q_{z1} = 0,961519 \cdot 1,2 \cdot ((30 - 22,17) \cdot 1,8) \cdot 1,81689 = 29,54W / m$$

$$Q_{z2} = 0,961519 \cdot 1,2 \cdot ((28 - 22,17) \cdot 1,8) \cdot 1,81689 = 21,99W / m$$

16.5 1 modül için gerekli olan boru boyu L

$$L = \frac{m \cdot C_p \cdot (T_{sg} - T_{sç})}{(Q_{z1} + Q_{z2}) / 2} = \frac{0,155 \cdot 4,1785 \cdot (30 - 28) \cdot 1000}{(27,54 + 21,99) / 2} = 52,3m \text{ olarak bulunur.}$$

Diz, çalışmasında gerekli boru boyunu 141,72 metre olarak bulmuştur.

$m; 0,292$ ve $(Q_{z1} + Q_{z2}) / 2 = 17,19$ olarak hesaplanmıştır.

$$\sum L = n_{boru} \cdot L = 26,6 \cdot 52,3 = 1391,18 \text{ m olarak hesaplanır.}$$

Diz, bu değeri;

$$\sum L = n_{boru} \cdot L = 14,14 \cdot 141,72 = 2003,79m \text{ olarak hesaplamıştır.}$$

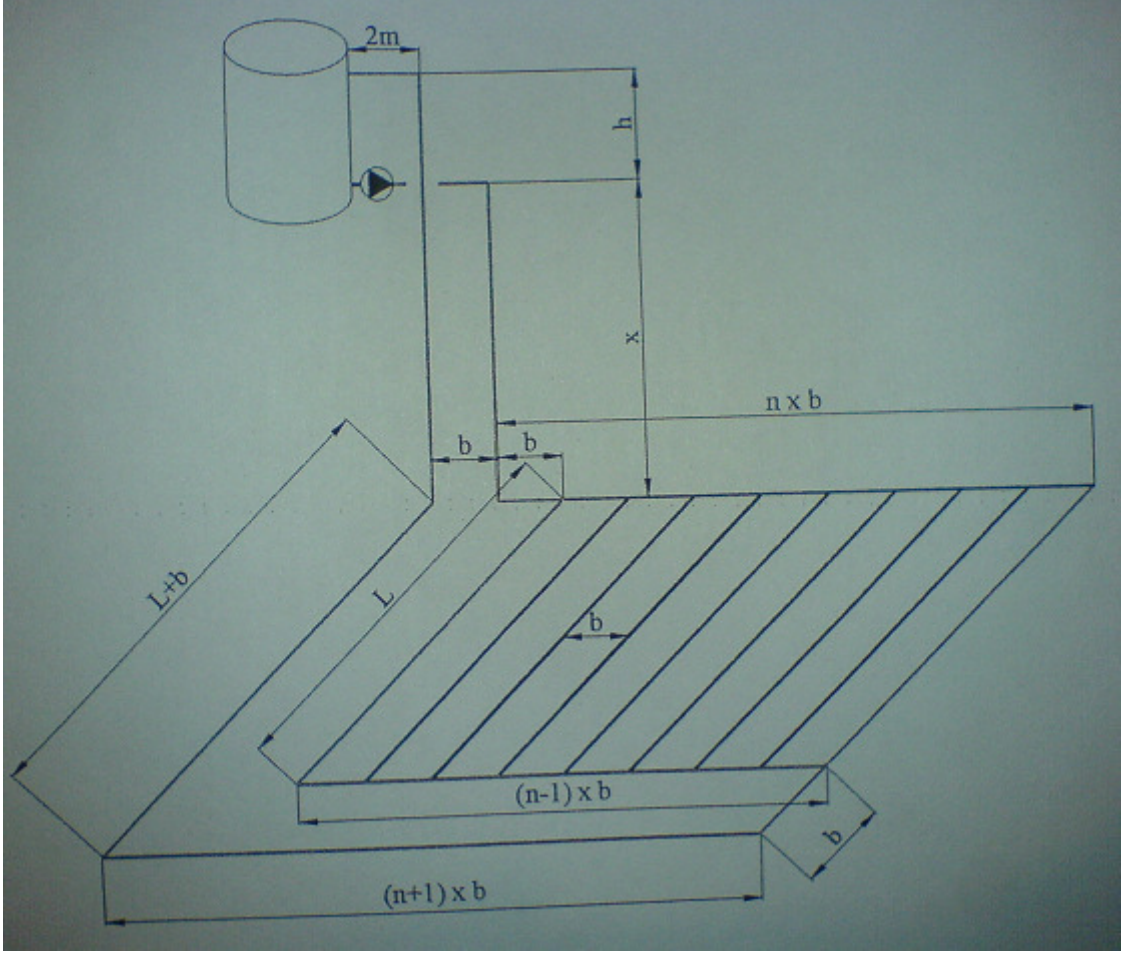
Buradan hareketle aynı miktarda soğutma yükü için, 1,3 metre derinlik ve toprak ısı iletim katsayısı 1,2’ dir.

Alüminyum kanatlı boru yerine Diz, 1” boru kullanmıştır, bu yüzden

$2003/1387=1,44$ kat daha fazla boru gerekmiştir.

16.6 Kayıplar, basma yüksekliği ve pompa gücünün hesaplanması

Paralel akışlı yer ısı değiştiricisinin izometrik şeması gösterilmiştir. Verilen ölçüler boru metrajının bulunmasında kullanılacaktır.



şekil 16.2 Paralel akışlı yer ısı değiştiricisinin izometrik şeması,DİZ

Buna göre modüllerde sıcaklığı düşürülen ısı taşıyıcı akışkan,3" lık kollektörlerde toplanarak, boyler tipi ısı eşanjöründe soğutucu akışkan ile ısı alış verişinde bulunması sağlanır. Isı taşıyıcı akışkan, ısı eşanjöründen çıkarak tekrar 30°C'de yer ısı değiştiricisine girer.

şekil 16.2'de "L" bir modülün boru boyunu, "n" modül sayısını, "x" yer ısı değiştiricisinin gömme derinliğini, "h" boyler tipi ısı eşanjörünün yüksekliğini, "b" iki paralel boru arasındaki yatay mesafeyi temsil eder. Kırmızı renkli hatlar ise kritik devre boru hattını belirtmektedir.

Hesaplamalarımızda boyler tipi ısı eşanjörünün yüksekliği $h=1,5$ m, paralel iki boru arasındaki yatay mesafe $b=1$ m olarak alınmıştır. Buna göre sistemin gereksinim duyduğu kollektör borularının toplam uzunluğu aşağıdaki ifade yardımıyla,

$$\sum L_K = h + 2.x + n.b + (n-1).b + b + (n+1).b + L_{\text{modül}} + b + 4 \quad 16.9$$

$$\sum L_K = 1,5 + 2.1,3 + 26,6.1 + (26,6-1).1 + 1 + (26,6+1).1 + 52,3. + 1 + 4 = 142,2m$$

Olarak bulunur.Diz ,207,4 m olarak bulmuştur.

Şimdi de şekil 16.2’de paralel akışlı yer ısı değiştiricisi için pompanın karakteristik bilgilerini elde etmek amacıyla,kritik devre boru çapı hesabı yapalım. Pompanın basma yüksekliği aşağıdaki ifadeyle bulunur.

$$H_m = H_g + \sum \Delta H_{Lin} + \sum \Delta H_{Lok} \quad 16.10$$

H_g=geometrik basma yüksekliği

$$\sum \Delta H_{Lin} = \text{kritik devre lineer basınç kaybı}$$

$$\sum \Delta H_{Lok} = \text{Kritik devre lokal basınç kaybı}$$

Pompanın lokal basma yüksekliği,ısı eşanjörü yüksekliğine eşittir.

$$\sum \Delta H_{Lin} = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{u^2}{2g} \quad 16.11$$

λ lineer yük kayıp katsayısıdır, ve yer ısı değiştiricisinin içindeki akışın türüne bağlı olarak hesaplanır.Bir ortamdaki akışın türü boyutsuz “Re” sayısı ile belirlenir.

$$Re = \frac{\rho \cdot u \cdot d}{\mu_s} \quad 16.12$$

Re<2320 ise “akış laminerdir” ve λ aşağıdaki ifade ile bulunur;

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad 16.13$$

2320<Re<100000 ise “akış türbülanslıdır” ve λ aşağıdaki ifade ile bulunur;

$$\lambda = \frac{0,316}{\sqrt[4]{Re}} \quad 16.14$$

100000<Re<2000000 ise “akış türbülanslıdır” ve λ aşağıdaki ifade ile bulunur;

$$\lambda = 0,0054 + \frac{0,396}{Re^{0,3}} \quad 16.15$$

$10^5 < Re < 10^8$ ise akış türbülanslıdır ve λ aşağıdaki ifade ile bulunur;

$$\lambda = 0,0032 + \frac{0,221}{Re^{0,237}}$$

Denklem 16.12 'de μ_s suyun dinamik vizkositesidir. 29°C 'lik ortalama sıcaklık için suyun dinamik vizkositesi $0,000812 \text{ Ns/m}^2$ olarak okunur.

Bu bilgiler ışığında bir modüldeki lineer basınç kaybını bulmaya çalışalım. İlk olarak modüldeki basınç kaybını belirlemek amacıyla "Re" sayısını hesaplayalım.

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot u \cdot d}{\mu_s} = \frac{996,016 \cdot 0,5 \cdot (0,016)}{0,000812} = 9813$$

$2320 < \text{Re} < 100000$ olduğundan "akış türbülanslıdır. Ve denklem 16.14 den faydalanarak

$$\lambda = \frac{0,316}{\sqrt[4]{\text{Re}}} = 0,03175 \text{ olarak bulunur.}$$

Buradan hareketle bir modüldeki lineer basınç kaybı denklem 16.11 den faydalanarak bulunabilir.

$$\sum \Delta H_{Lin} = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{u^2}{2g} = 0,03175 \cdot \frac{52,3}{0,016} \cdot \frac{0,5^2}{2 \cdot 9,81} = 1,32m$$

Kollektör borularındaki lineer basınç kaybını bulmak için, önce kollektörde ki akış hızının tespit edilmesi gerekir. Modüllerde dolaştırılan su kollektör vasıtasıyla toplandığından, kollektördeki su debisi, sistemin toplam debisine eşittir. Dolayısıyla kollektörde ısı taşıyıcı akışkanın, akış hızı;

$$u_k = \frac{m}{\rho \cdot A} = \frac{4 \cdot m}{\rho \cdot \pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 4,4,123}{996,016 \cdot \pi \cdot (3,0,0254)^2} = 0,9m/s$$

Kollektördeki akışın türünü belirleyelim;

$$\text{Re}_K = \frac{\rho \cdot u \cdot d}{\mu_s} = \frac{996,016 \cdot 0,9 \cdot (3,0,0254)}{0,000812} = 84121.$$

$2320 < \text{Re} < 100000$ olduğundan "akış türbülanslıdır" ve denklem 16.14 den faydalanarak λ ;

$$\lambda = \frac{0,316}{\sqrt[4]{\text{Re}_K}} = \frac{0,316}{\sqrt[4]{84121}} = 0,0185$$

Buradan hareketle, kollektörlerin lineer basınç kaybı, denklem 16.11 kullanılarak bulunur.

$$\sum \Delta H_{Lin} = \lambda_K \cdot \frac{L_K}{d} \cdot \frac{u_K^2}{2g} = 0,019 \cdot \frac{142,2}{3,0,0254} \cdot \frac{0,9^2}{2 \cdot 9,81} = 1,46m$$

Diz bu değeri 1,95 m. bulmuştur

Yer ısı değiştiricisindeki lokal kayıplar, “ξ” lokal kayıp yük katsayısı olmak kaydıyla, aşağıdaki formülle hesaplanabilir.

$$\Delta H_{Lok} = \xi \frac{u^2}{2.g} \quad 16.16$$

Aşağıdaki çizelgede, yer ısı değiştiricisinde meydana gelen lokal kayıplar, değişik giriş-çıkış sıcaklıkları için gösterilmiştir.

Çizelge 16.2 Yer ısı değiştiricisinde meydana gelen lokal kayıplar,Diz

ΔT	1	2	3	ΔT	1	2	3
ξ	Adet	Adet	Adet	Elemanlar	hL	hL	hL
0,5	6	6	6	Dirsek	0,038	0,038	0,038
0,1	1	1	1	Ayrılma	0,001	0,001	0,001
0,1	28,28	14,14	9,43	Birleşme	0,036	0,018	0,012
2	2	2	2	Vana	0,051	0,051	0,051
				ΣΔH _{Lok}	0,13	0,11	0,1

Çizelge 16.2 de görüldüğü gibi lokal kayıplar, lineer kayıpların yanında çok küçük değerler almaktadır. Dolayısıyla lokal kayıpları ihmal etmek mümkündür. Yukarıda lokal kayıplar hesaplanırken, bütün elemanlardaki hızlar 0,5m/s alınarak işlemleri kolaylaştırma yoluna gidilmiştir.

Tüm lokal ve lineer kayıplar hesaplandığına göre denklem 16.4 kullanılarak artık pompanın basma yüksekliğini belirlemek mümkündür.

$$H_m = H_g + \sum \Delta H_{Lin} + \sum \Delta H_{Lok} = 1,5 + (1,46 + 1,32) + 0,11 = 4,39m$$

Diz bu değeri 5,39m olarak bulunmuştur.

Pompanın manometrik basma yüksekliği bilindiğine göre, pompanın efektif gücünü hesaplamak mümkündür. Pompanın verimi %60 olarak alınmıştır.

$$N_e = \frac{m.g.H_m}{\eta_p} \quad 16.17$$

$$N_e = \frac{m.g.H_m}{\eta_p} = \frac{4,123.9,81.4,39}{0,6} = 295,9W = 3,94HP \text{ olarak bulunur.}$$

Diz’de bu değer 4,85 HP olarak hesaplanmıştır.

Pompa motorunun gücü bulunan efektif pompa gücünün bir emniyet katsayısı ile çarpılmasıyla bulunur. Bu emniyet katsayısı, pompanın efektif gücüne bağlı olarak tespit edilir. Pompanın efektif gücünün 5 HP’den küçük olması durumunda, emniyet katsayısı 1,3’tür. Pompanın efektif gücünün 5 HP’den büyük, 25 HP’ den küçük olması durumunda,

emniyet katsayısı 1,2 pompanın efektif gücünün 25 HP'den büyük olması durumunda ise, emniyet katsayısı 1,1' dir.

$$N_m = \alpha_{emn} \cdot N_e \quad 16.18$$

Ne<5HP olduğundan emniyet katsayısı $\alpha_{emn}=1,3$ olmalıdır. Bu durumda pompa gücü;

$$N_m = \alpha_{emn} \cdot N_e = 1,3 \cdot 295,9 \cdot 10^{-3} = 0,38kW \text{ olarak bulunur.}$$

Diz' de bu değer 0,47 kW olarak hesaplanmıştır.

16.7 Sistemin genel performansı

Sistemin genel performansını; elde edilmesi gereken değer, harcanan gereken değere oranı olarak tanımlayalım. Sisteminiz binanın soğutma ihtiyacını karşılamak üzere ısıyı toprağa ,kompresör ve pompa işlerini vererek attığına göre, sistemin genel performansı aşağıdaki şekilde ifade edilir. Genel performans katsayısı sistemin işletme giderleri hakkında bize fikir verir. Genel performansın düşmesi işletme maliyetlerinin artmasına sebep olur. Bu sebepten ötürü sistemin genel performansının, yatırım maliyetine de bağlı olarak olabildiğince yüksek olması istenir. (Babür,1986)

$$COP_G = \frac{Q_{evap}}{W_c + N_m} \quad 16.19$$

$$COP_G = \frac{Q_{evap}}{W_c + N_m} = \frac{30,143}{4,313 + 0,38} = 6,42$$

Diz,6.30 bulmuştur.

16.8 Yatırım maliyetinin hesaplanması

Sistemin genel performansını bulduktan sonra belli bir işletme süresinde, oluşacak olan işletme maliyetlerini inceleyelim. (Ataman,1985)

J yılı için yıllık işletme maliyetlerinin bugünkü değeri;

$$C_j = E \cdot \left[\frac{1 + F_\theta}{1 + i} \right] + (1 + B_a) \quad 16.20$$

İfadesi ile hesaplanabilir. Projenin bugünkü toplam değeri;

$$C_t = YM + E \cdot \sum_1^n \left[\frac{1 + F_\theta}{1 + i} \right]^j \cdot (1 + B_a) \quad 16.21$$

İfadesi ile verilmiştir. Bugünkü değer faktörü

$$C = \sum_1^n \left[\frac{1 + F_\theta}{1 + i} \right]^j \quad 16.22$$

Olarak düzenlenirse; projenin bugünkü değeri aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$C_t = YM + E.C.(1 + B_a) \quad 16.23$$

n: Proje ömrü (yıl)

i: Faiz oranı

F_θ:Elektrik fiyatının artış oranı

Ba:Bakım masraflarının elektrik giderlerine oranı

E: Bugünkü yıllık harcanan elektriğin maliyetini temsil eder.

Dikkat edilirse denklem 16.23' de ifadenin en sağ tarafı işletme giderlerini belirtmektedir. "E" terimini daha açık yazarak işletme giderlerini sistemin genel performansı cinsinden ifade edebiliriz.

$$E = EBF.(W_c + N_m).t = EBF.(Q_{evap} / COP_G).t \quad 16.24$$

$$\dot{I}G = C.EBF.(Q_{evap} / COP_G).(1 + B_a).t \quad 16.25$$

Diz işletme giderlerini sadece 5 yıllık bir dönem için hesaplamıştır. Faiz oranını i=0,4 , elektirik fiyatının artış oranını F_θ=0,5, bakım masraflarının elektrik giderlerine oranını Ba=%10, birim elektrik fiyatını EBF=5 YKR/kWh olarak almıştır. "C" bugünkü değer faktörünü tabladon almıştır.

Bu tezdeki hesaplamalarda Diz'in sistemi ile alüminyum kanatlı borumuzu aynı şartlarda karşılaştırabilmek için, yukarıdaki girdiler bizim içinde aynen kabul edilmiştir ve Diz'den aynen alınmıştır.

Bu veriler ışığında, 5 yıllık bir dönem için işletme giderleri

$$\dot{I}G = 6,313.0,05.(30,143/6,42).(1 + 0,1).(38.24) = 1486YTL$$

Diz bu değeri kendi sistemi için 1553 YTL olarak bulmuştur.

Yer ısı değiştirici dizaynında kısıtlayıcı bir etki olarak karşımıza çıkan bir diğer etki bahçe alanıdır.Bahçe alanının minimum, elde edilen enerjinin maksimum olması önemlidir.

Boru boyu ve pompa gücü hesaplandıktan sonra şekil 16.2 göz önüne alarak şimdi de, ekonomik analiz yapmak için gerekli olan bahçe alanı ile hafriyat hacmini hesaplayalım.

$$V_{hafri} = [(n.b.G_v) + (L.n.G_v) + (n.b + 3b + L).G_v] .x \quad 16.26$$

$$A_b = n.L.b \quad 16.27$$

Denklem 16.26'da "Gv" vinç kepçesinin ağız genişliğidir. Hesaplamalarımızda, vinç kepçesinin ağız genişliği Gv=0,5m olarak alınmıştır.

$$V_{hafır} = [(26,6.1.0,5) + (52,3.26,6.0,5) + (26,6.1 + 3.1 + 52,3).0,5] \cdot 1,3 = 974m^3$$

Diz’de bu değer 1415 m³ olarak hesaplanmıştır.

$$A_b = 26,6.52,3.1 = 1391 m^2 \text{ olarak bulunur.}$$

Diz’de bu değer 2003,79 m² olarak hesaplanmıştır.

Bahçe alanından optimum faydalanabilmek için borular evin çevresinden dolaştırılabilir. Bu şekilde daha makul bir alan kullanılmış olur.

Diz toplam yatırım maliyetini aşağıdaki şekilde hesaplamıştır;

Yer ısı değiştiricisinin maliyetini ve hafriyat maliyetini esas alarak bunu aşağıdaki şekilde belirtmiştir.

Bina içi tesisat maliyeti ile , ısı pompasının maliyetini, tezimizin ana konusu kullanılan boru sistemi olduğundan burada göz önüne almadık. Ayrıca bina içi tesisatın ve ısı pompasının normal sistemlerde zaten konulması gerekli unsurlar olduğundan, burada gerekli görmedik ve sadece bize ek olarak masraf çıkartacak olan toprak altı sistemini göz önüne aldık.

Alüminyum kanatlı boru ile, Diz’in hesaplamada kullandığı 1” borunun karşılaştırılabilmesi ve sonuçların Diz’in hesaplamaları ile karşılaştırılabilmesi için aşağıdaki değerler Diz ile aynı alınmıştır

Birim hafriyat hacminin maliyeti: 6,5 YTL/m³

3” kollektör borusunun maliyeti :3,15 YTL/m

Alüminyum kanatlı borunun maliyeti: 0,32kg/m için 1kg al= 8ytlolarak ; 2,56 YTL/m

Diz 1” borunun maliyetini hesaplamalarında 0,6 YTL/m almıştır. Ancak hesaplamaların karşılaştırılabilmesi için Diz’in hesaplamalarında Bu borunun bugünkü maliyeti konularak Diz’in hesaplaması güncellenmiştir. 1” PPRC borunun bugünkü maliyeti 2 YTL/m ‘dir.

Bu fiyat Vesbo’nun kasım 2007 iskontolu satış fiyatıdır.

$$YM = V_{hafır} \cdot BHM + L \cdot BBF + L_{kol} \cdot BKM$$

16.28

$$YM = 974.6,5 + 1391.2,56 + 142.2,3,15 = 10340 \text{ YTL}$$

Diz’de bu değer 13850 YTL olarak bulunmuştur.

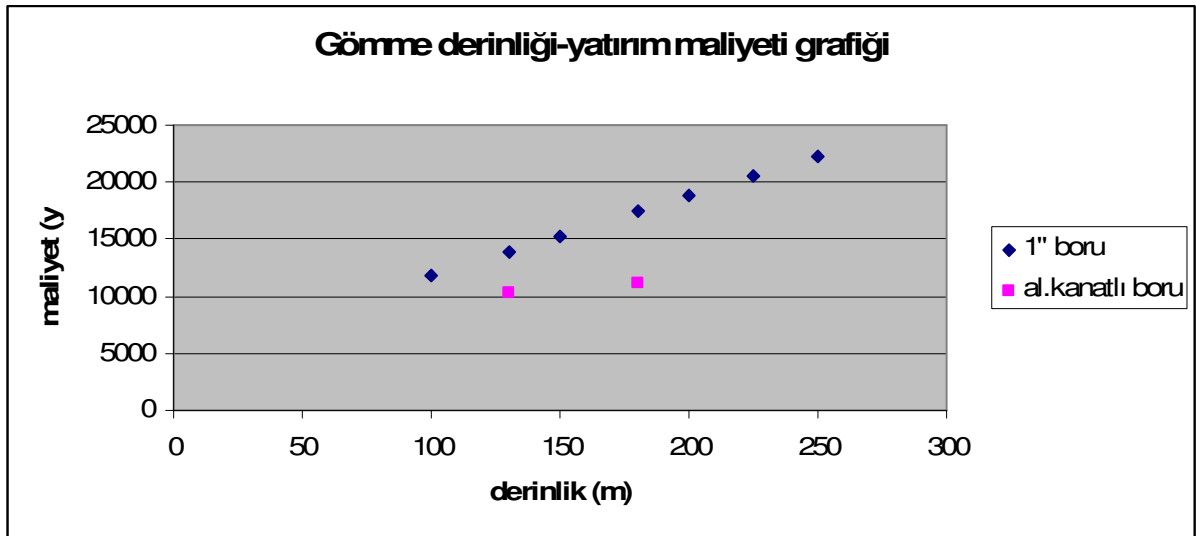
Çizelge 16.3 Diz'in 1" borusu ile, al.kanatlı borunun karşılaştırılması

	DİZ	AL.Kanatlı Boru
N_p	0,47	0,38
COP_G	6,3	6,42
YM	13850	10340
İG	1553	1486
A_b	2003,74	1391

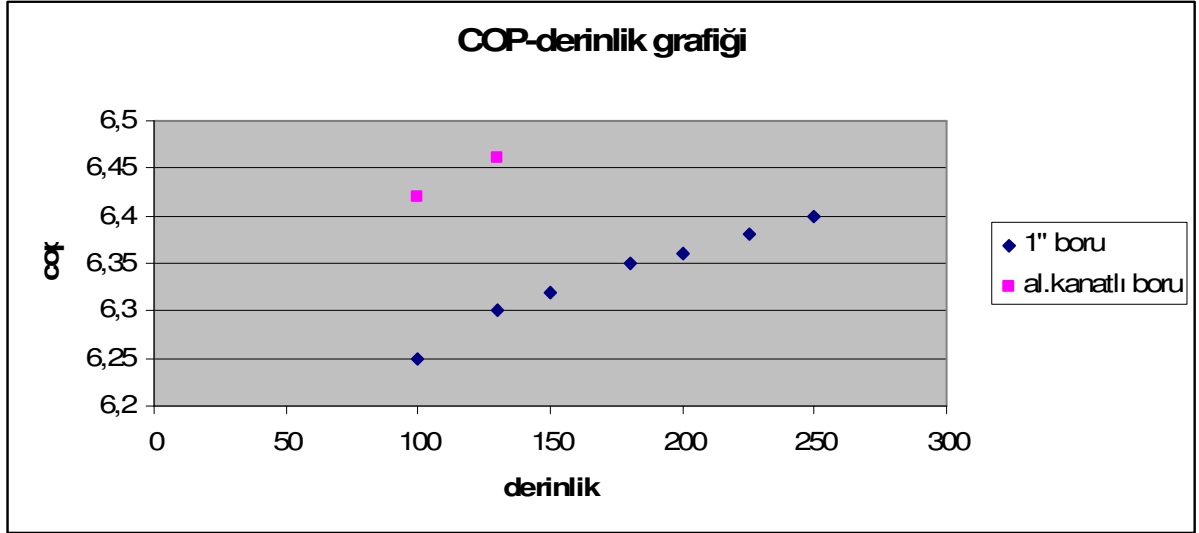
Çizelge 16.4 Değişik toprak derinlikleri için DİZ' in yaptığı hesaplar ve buna ek olarak bizim borumuzdan elde edilen hesap değerleri.

								Al.Kan.Boru	Al.Kan.Boru
Derinlik	100	130	150	180	200	225	250	130	180
COP_G	6,25	6,3	6,32	6,35	6,36	6,38	6,4	6,42	6,46
A_b	2258	2004	1877	1726	1647	1564	1484	1391	1198
YM	11731	13850	15267	17386	18803	20571	22339	10340	11210

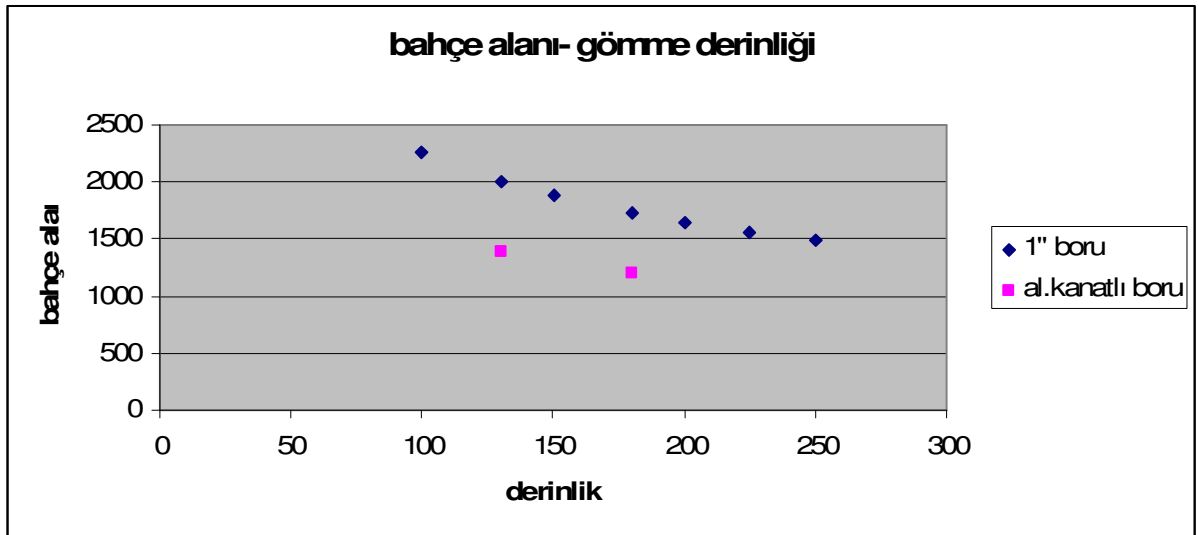
Çizelge 16.4' de görüldüğü üzere alüminyum kanatlı boru 250 cm'de gömülü olan borudan daha efektiftir.



Şekil 16.3 Grafik



Şekil 16.4 Grafik



Şekil 16.5 Grafik

Buraya kadar yapılan hesaplamalarda, Q ve L değerleri hesaplanmış oldu.

$$Q = L \cdot \frac{Q_{z1} + Q_{z2}}{2} \quad 16.29$$

Q ve L 'yi denklem 16.29'da yerine yazarsak ($Q_{z1}+Q_{z2}$) değerini buluruz.

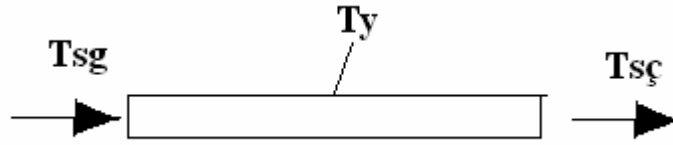
Sabit yüzey sıcaklığı teorisinden, $T_{yüzey}$ değerini bulalım;

$$Q_Z = 0,961519 \cdot k_t \cdot \Delta T \cdot F(z) \quad 16.30$$

$$\Delta T_1 = (T_{sg} - T_y) \quad 16.31$$

$$\Delta T_2 = (T_{sç} - T_y) \quad 16.32$$

T_{sg} ve $T_{sç}$ değerini biliyoruz.



Şekil 16.6 yer altı boru devresi

Q_{z1} ve Q_{z2} için denklem 16.30 kullanılarak ayrı ayrı 2 adet denklem yazılır ve ΔT yerine denklem 16.31 ve 16.32 yazılarak T_y yüzey sıcaklığı hesaplanır.

Buradan T_y , $27,7^\circ\text{C}$ olarak hesaplanmıştır.

Bulunan T_y sıcaklığı için ;

$T_{sg} > T_{sç} > T_y$ olmalıdır.

16.33

$30 > 28 > 27,77'$ dir.

T_y , değerinin $T_{ç}$ değerinden çok küçük olması boru boyunun haddinden fazla kısa olduğunu gösterir,

T_y değerinin $T_{ç}$ değerine yakın veya eşit olması boru boyunun çok uzun olduğunu gösterir.

17. SONUÇ ve ÖNERİLER

- Alüminyum kanatlı boru kullanılması boru boyunu kısaltmakta ve gerekli bahçe alanını azaltmaktadır. Bahçe alanının azalması kazı maliyetlerini düşürmekte, dolayısıyla sistemin ilk yatırım maliyeti düşmektedir.
- Yapılan hesaplamalarda kullanılan teorik ifadelerin, deneysel verilerle olan tutarlılığı görülmektedir. Bu tezde kullanılan teorik ifadelerle boru boyunun hesaplanması mümkündür. Çok karmaşık teoremler kullanmak daha hassas sonuçlar vermesine rağmen uygulamanın pratikliği açısından bakılırsa tezimdeki ifadeleri kullanmak daha hızlı sonuç verecektir.
- Alüminyum kanatlı boru, aynı şartlar altında PPRC boruya göre %26 daha fazla ısı transfer edebilme kabiliyetine sahiptir.
- Alüminyum kanatlı borunun ince bir plastik film tabaka ile kaplanması daha uzun ömürlü olmasını sağlayacaktır.
- Toprak ısı iletkenlik değeri çok önemlidir, bu yüzden bir mahalle uygulama ve hesap yapmadan önce mümkünse deneysel olarak ölçüm yaparak belirlenmelidir. Ölçmek mümkün değilse yapılan hesaplamalar, toprak tipi için verilen olası ısı iletkenlik değerleri aralığından alınan değişik değerlere göre hesaplama yapılmalı, sonuçlar dikkatlice irdelenerek adım atılmalıdır.
- TKIP sistemlerinin kullanımı, konforlu ısınma ve soğuma imkanı sağlamaktadır. Bu sistemler dünyada hızlı bir şekilde yaygınlaşmaktadır. Türkiye’ de de kullanımının artması ve yaygınlaşması çevre kirliliğinin azalması ve milli kaynakların kullanımı açısından faydalı olacaktır.
- Toprak ısı değiştiricisinin maliyetini düşürmek tek başına bu sistemlerin yaygınlaşması için yeterli değil. Yurt dışından getirilen ısı pompası ünitelerinin maliyetleride çok yüksek. Bu sistemlerinde maliyetlerinin düşmesi gerekmektedir.
- Paralel yer altı borulamada optimum derinlik 1,3 ile 1,8 m. arasındır. Bu değer kazı maliyeti ve topraktaki sıcaklık dağılımındaki dalgalanma ile alakalıdır.

KAYNAKLAR

HEPBAŞLI A.(2004) “Ground Source Heat Pumps”, Encyclopedia of energy, volume 3

“ASHRAE El kitabı” 2003,Bölüm 32

Klamath Falls,or,USA 2003 “The USA geothermal country update”, Geo heat center, Oregon institute of technology

Katsunory Nagano, Takao Katsura, Sayaka Takeda 2005 “Development of a design and performance prediction tool for the ground source heat pump system” Hokkaido Univ. Japan

Onder Özgener,A.Hepbaşlı 2005 “A parametrical study on the energetyc and exergetic assessment of a solar-assisted vertical ground-source heat pump system used for heating a greenhouse” Ege Univ.

Burkhard Sanner,Erich Mands, Marc K.Sauer 2003 “Larger geothermal heat pump plants in the central region of germany.” Justus-liebig univ.,Germany

H.Esen,M.İnallı,M.Esen 2005 “Technoeconomic appraisal of a ground source heat pump system for a heating season in eastern Turkey” Fırat unv.

M.E.Başaran 2003 “Toprak kaynaklı soğutma makinesi ve ısı pompasının termoeconomik optimizasyonu” YTÜ

E.Kalafat 2001 “Yer kaynaklı ısı pompası” Mak.Müh.Odası,2.çevre ve enerji kongresi

Guohui Gan,Saffa B. Riffat, CSA Chong 2006 “A novel rainwater-ground source heat pump-Measurement and simulation” Nottingham unv.UK

A.Hepbaşlı,L.Özgener 2003 “Development of geothermal energy utilization in Turkey: a review” Ege unv.

Timur Diz.2001 “Minimum enerjili bina tasarımı (toprak enerjili) YTÜ

TC. Enerji Bakanlığı

Hakan Demir 2006 “TKIP ve toprak ısı değıştiricilerinin optimizasyonu ve geliştirilmesi” YTÜ

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi	01.03.1981	
Doğum yeri	Artvin/ Hopa	
Lise	1996-1999	Kırıkkale Fen Lisesi
Lisans	2000-2004	Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2004-2007	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Müh.Anabilim Dalı, Isı Proses Programı
Çalıştığı Kurum(lar)		
	2004-2005	Aktif Isı Isıtma Klima A.Ş
	2006-	Alarge Ar-Ge Ltd.Şti.