

**TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASI DESTEKLİ
PASİF EV TASARIMININ KARABÜK İLİNDE
UYGULANMASI**

**2015
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

Metin BAYRAKTAR

**TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASI DESTEKLİ PASİF EV TASARIMININ
KARABÜK İLİNDE UYGULANMASI**

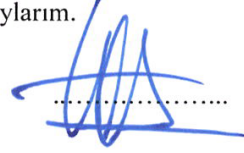
Mete BAYRAKTAR

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Aralık 2015**

Mete BAYRAKTAR tarafından hazırlanan “TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASI DESTEKLİ PASİF EV TASARIMININ KARABÜK İLİNDE UYGULANMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Mehmet ÖZALP



Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 24 /11/ 2015

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan: Doç. Dr. Mehmet ÖZALP (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Ali CAN (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Volkan KIRMACI (BÜ)



...../...../2015

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nevin AYTEMİZ



Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Mete BAYRAKTAR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASI DESTEKLİ PASİF EV TASARIMININ KARABÜK İLİNDE UYGULANMASI

Mete BAYRAKTAR

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Mehmet ÖZALP

Aralık 2015, 123 sayfa

Ülkemiz enerji ihtiyacını karşılama kaynakları açısından ithalat ağırlıklıdır. Konutlarda harcanan enerji miktarı, sanayi harcamalarından sonra ikinci en yüksek orana sahiptir ve enerji üretiminin %30'a yakın kısmı konutlarda kullanılmaktadır.

Ülkemizdeki konutların %70-80'e yakını yalıtımsız ya da yetersiz yalıtımlı olduğu hesaplanmaktadır. Her yıl 5 Milyar \$ dolayında bir para yalıtımsız konutlar nedeni ile israf olmaktadır.

Ülkemiz genelinde, konutların yalıtımının yapılması ve ısıtma işleminde kullanılan enerjinin alternatif enerji kaynaklarından sağlanması halinde önemli ölçüde tasarruf

sağlanacağı öngörülmektedir. Yalıtım açısından Pasif Evler en st seviyedeki konut yalıtım Őeklidir. Ayrıca konut ısıtması için gerekli enerjiyi alternatif kaynaklardan sağlayan en etkin kaynak Isı pompalarıdır. Ülkemizde yapılacak konutların yalıtımının Pasif Ev standartlarına sahip olması ve kaynak olarak ısı pompası kullanılması halinde ciddi tasarruf sağlanması öngörülmektedir.

Ülkemiz için en ideal ısı pompası tipi Toprak Kaynaklı Isı Pompalarıdır (TKIP). TKIP tasarımında en önemli parametre; toprak altı sıcaklık değeridir. Yaygın pratik uygulamalarda bu değer 5 C'dir. Bu alışmada Karabük ili için toprak altı sıcaklık değerleri ölçülmüş ve örnek olarak tasarlanan villa tarzı bir konut için hesaplama yapılmıştır. Ayrıca, toprak altı sıcaklık değerleri tespit edilerek, Pasif evde TKIP uygulamasının seçimi, seçim nedenleri, verimliliği, uygulanabilirliği incelenmiştir.

Anahtar kelimeler : Pasif ev, toprak kaynaklı ısı pompası, toprak altı sıcaklık değer.

Bilim kodu : 914.1.233

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

APPLICATION OF SUPPORT PASSIVE HOUSE DESIGN THAT GROUND SOURCE HEAT PUMP TO THE KARABUK

Mete BAYRAKTAR

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Mehmet ÖZALP

December 2015, 123 pages

Our country is mainly based on import in terms of meeting the energy needs. The amount of energy that spent on housing has the second highest rate than the amount of energy that spent on industry and almost 30% of total amount of energy production has been using on housing.

It is estimated that almost %70-80 of houses in our country are weak-insulated or non-insulated. Every year nearly 5 Billion Dollars have been wasting due to non-insulated houses.

Throughout our country; it is anticipated to provide significant savings, if housing insulation is fulfilled and the energy which used for heating process is provided from alternative energy sources. In terms of insulation; the passive houses are the best types of housing insulation. Additionally, most effective energy sources which

provide the energy from alternative energy sources are Heat Pumps. It is anticipated that there will be significant savings, if housings insulation that will be conduct have the Passive Houses Standards and Heat Pumps is used as energy source.

The best type of heat pump is the ground source heat pump for our country's condition. The most important parameters are the values of underground temperature. In the common practice, this value is 5 °C. In this study, underground temperature values have been measured in the Karabük Province and calculations have been made for villa-style housing that designed as an example.

On the other hand, by assessing values of underground temperature, it has been investigated the ground source heat pump selection, reasons of selection, efficiency and application criteria

Key Word : Passive house, ground source heat pump, underground temperature values.

Science Code : 914.1.233

TEŞEKKÜR

Bu alıŐma sırasında katkılarını, desteklerini ve ilgisini esirgemeyen DanıŐmanım Sn. Doç. Dr. Mehmet ÖZALP'a, Vaillant firmasından destek gördüğüm tüm kişilere ve ilgili firmaya, kuyu ölçümü sırasında bana her türlü desteği veren DSİ 23. Bölge Müdürlüğü yetkililerine, özellikle Sn. Celal ÖZCAN'a, Tez DanıŐmanlarım Sn. Yrd. Doç. Dr. Ali CAN ve Sn. Yrd. Doç. Dr. Volkan KIRMACI'ya tez hazırlıkları aşamasında olumlu eleŐtiri ve danıŐma ihtiyacı duyduğumda gösterdikleri ilgiye teŐekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme sonsuz teŐekkürler.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1. DÜNYADA ENERJİNİN DURUMU	2
1.1.1. Dünyadaki Enerji Üretimi ve Tüketimi	3
1.1.1.1. Petrol	4
1.1.1.2. Kömür	4
1.1.1.3. Doğal Gaz	5
1.1.1.4. Nükleer.....	5
1.1.1.5. Hidrolik-Rüzgar-Yenilenebilir.....	6
1.1.1.6. Güneş	6
1.1.1.7. Jeotermal.....	8
1.1.1.8. Kaya Gazı (Shell Gases / Şeyl).....	10
1.2. DÜNYADA ELEKTRİK TÜKETİMİ.....	13
1.3. ENERJİ ARZ-TALEP GÜVENLİĞİ VE FİYAT POLİTİKALARI.....	14
1.4. ENERJİ ÜRETİMİ VE TÜKETİMİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİ.....	14
1.5. TÜRKİYE'DEKİ ENERJİ ÜRETİMİ-TÜKETİMİNİN GENEL GÖRÜNTÜSÜ	16
BÖLÜM 2	18
ISI POMPASI	18
2.1. ISI POMPASI GENEL TANIMI	18
2.1.1. Hava Kaynaklı Isı Pompası (HKIP)	21
2.1.2. Su Kaynaklı Isı Pompası (SKIP).....	22

	<u>Sayfa</u>
2.1.2.1. Yeraltı Su Kaynakları	23
2.1.2.2. Yerüstü Su Kaynakları.....	24
2.1.3. Toprak Kaynaklı Isı Pompası	24
BÖLÜM 3	26
TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASI	26
3.1. TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPALARI.....	26
3.1.1. Neden Toprak Isı Kaynağı Olarak Kullanılmalı.....	27
3.1.2. TKIP Sistemlerinin Çalışma Şekli.....	29
3.1.2.1. TKIP Soğutma Amaçlı Çalıştırılması	29
3.1.2.2. TKIP Isıtma Amaçlı Çalıştırılması	30
3.2. TKIP SİSTEMLERİNİN GELİŞİMİ	31
3.3. TKIP UYGULAMASI ÖNCESİ BİLİNMESİ GEREKLİ PARAMETRELER.....	34
3.3.1. Toprak Özellikleri	34
3.3.2. Toprak Isı Geçirgenlik Katsayısı Parametreleri	34
3.4. UYGULAMA YÖNÜNDEN TKIP ÇEŞİTLERİ	36
3.4.1. Yatay Sermeli Toprak Kaynaklı Isı Pompaları.....	37
3.4.2. Dikey Sondaj Uygulaması	43
3.5. TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASININ AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI	46
3.5.1. Avantajları	46
3.5.2. Dezavantajları	48
BÖLÜM 4	49
PASİF EV ve TSE 825 YALITIM KRİTERLERİ	49
4.1. PASİF EV (PE) NEDİR?	49
4.1.1. PE Tasarım Şartları	50
4.1.2. PE Uygulamalarında AB ve Türkiye Kıyaslaması	52
4.2. TÜRKİYE'DE BİNALARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ MEVZUATI	53
4.2.1. Binalarda Enerji Verimliliği Kanunu.....	53
4.2.2. BEP Yönetmeliği Uyarınca Binalarda Yenilenebilir Enerji Sistemlerin Kullanımı.....	55
4.2.3. TS 825 Standardı	57

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 5	62
DENEYSEL ÖLÇÜMLER	62
5.1. KUYULARDAN SICAKLIK DEĞERLERİ ÖLÇÜLMESİ.....	62
5.2. SEÇİLEN KUYULARIN ÖZELLİKLERİ	62
5.3. DENEYDE KULLANILAN ÖLÇÜM CİHAZI	63
5.4. SEÇİLEN KUYULARDA YAPILAN ÖLÇÜM ÇALIŞMALARI.....	64
5.4.1. Karıt ve Kapullu İçin Isıtma Yüğü Hesabında Kullanılacak Sıcaklık Değerleri.....	69
5.4.2. Karıt ve Kapullu İçin Isıtma Yüğü Hesabında Kullanılacak Sıcaklık Değer Grafikleri	71
5.5. KUYU SICAKLIK ÖLÇÜM DEĞERLERİNİN YORUMLANMASI.....	74
5.5.1. Seçilen Kuyu Yerleri	75
5.5.2. Ölçüm Değerlerinin Karşılaştırılması.....	76
BÖLÜM 6	80
HESAPLAMALAR	80
6.1. TASARIM PARAMETRELERİ.....	80
6.2. BİNA ÖZELLİKLERİ	81
6.3. TKIP KRİTERLERİ VE ANALİZ DEĞERLERİ.....	82
6.3.1. Isı Kaynağı Sisteminin Özellikleri.....	82
6.3.1.1. Toprak Analizi	83
6.3.1.2. Toprak Altı Sıcaklık Değerleri.....	83
6.3.1.3. Isıtılacak Mahal Yüğülerinin Belirlenmesi.....	84
6.4. SİSTEM TASARIMI ISI ENERJİ İHTİYACI	85
6.4.1. PE Tasarımı Isı Enerji İhtiyacı.....	85
6.4.2. İyi Yalıtımlı Ev (İYE) Tasarımı Isı Enerji İhtiyacı.....	87
6.5. ISI POMPASI SEÇİMİ	87
6.6. TASARIM HESAPLARI.....	88
6.6.1. Gerekli Döşeme Yüzeyi (A)	89
6.6.2. Isı Kaynağı Devresi uzunluğu (L)	90
6.6.3. Serilecek Boru Bilgileri	91
6.6.4. Boru Boyunun Hesaplanması	93
6.6.4.1. Miles Formülüne Göre Boru Boyunun Hesaplanması.....	93

	<u>Sayfa</u>
6.6.4.2. Vaillant Katalog Verilerine Göre Boru Boyunun Hesaplanması	96
6.6.5. Serpantin Devre Sayısı.....	97
6.6.6. Kaynak Devrede Kullanılacak Akışkan Miktarı.....	98
BÖLÜM 7	101
EKONOMİK ANALİZLER	101
7.1. EKONOMİK ANALİZ	101
7.2. İYE TASARIMI MALİYET ANALİZİ.....	103
7.3. PE TASARIMI.....	104
7.4. EKONOMİK KARŞILAŞTIRMALAR.....	105
7.5. AMORTİSMAN SÜRESİ HESAPLAMALARI	106
BÖLÜM 8	108
SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRMELER.....	108
8.1. SONUÇLAR	108
8.1.1. Yalıtım Modellemesi Analiz Değerlendirmesi	108
8.1.2. TKIP Açısından Değerlendirme	110
8.1.3. Kuyu Sıcaklıkları Açısından Değerlendirme	111
8.2. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER.....	114
KAYNAKLAR	119
ÖZGEÇMİŞ	123

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1.	Sıcak kayaç uygulama şekli.	9
Şekil 1.2.	Japonya Hijiori Santrali uygulama örneği.	10
Şekil 1.3.	Kaya gazı elde şekli.	12
Şekil 1.4.	Türkiye’deki formasyon alanları.	13
Şekil 1.5.	Ülkelerin enerji tüketim kaynak oranları	17
Şekil 2.1.	Örnek ısı pompası çevrimi.	19
Şekil 2.2.	Basit ısı pompası çevrim elemanları.	19
Şekil 2.3.	Örnek HKIP sistemi.	21
Şekil 2.4.	Basit SKIP uygulama şekli.	22
Şekil 2.5.	TKIP uygulama şekli.	25
Şekil 2.6.	TKIP ısı çevrimi.	25
Şekil 3.1.	Isı pompası basit çalışma şekli.	27
Şekil 3.2.	Soğutma aşamasında TKIP çalışma şekli.	30
Şekil 3.3.	Isıtma aşamasında TKIP çalışması.	31
Şekil 3.4.	Toprak ısıl direncinin nem ve yoğunluk içeriğine göre değişimi.	34
Şekil 3.5.	TKIP boru uygulama şekilleri.	37
Şekil 3.6.	Klasik ve Slinky tipli borulama tekniği.	39
Şekil 3.7.	Boru mesafeleri ve borulama şekilleri.	41
Şekil 3.8.	Dar alanlarda sık kullanılan borulama şekilleri.	41
Şekil 3.9.	Dikey TKIP uygulamaları.	44
Şekil 3.10.	Dikey TKIP boru uygulamaları.	44
Şekil 4.1.	Pasif Ev tasarım kuralları.	49
Şekil 5.1.	CHY 505 RTD Thermometer ölçme aleti.	63
Şekil 5.2.	Termometrenin ölçü almak üzere kuyuya bağlanması.	64
Şekil 5.3.	Karıt-1 kuyusunun görünüşü.	64
Şekil 5.4.	Termometre podunun kuyuya yerleştirilmesi.	65
Şekil 5.5.	Kapullu-1 kuyusuna çıkılırken.	65
Şekil 5.6.	Termometrenin ölçü almak üzere kuyuya bağlanması.	66
Şekil 5.7.	Ölçme işlemi öncesi termometre ve podun hazırlanması.	66
Şekil 5.8.	Kapullu-2 kuyusunun görünüşü.	67
Şekil 5.9.	Karıt-3 kuyusu giriş ağzı.	67
Şekil 5.10.	Termometrenin kuyu ağzından ölçü alma işlemi.	68

	<u>Sayfa</u>
Şekil 5.11. Termometrenin ölçü almak pada bağlanması.	68
Şekil 5.12. 29/07/2011 Tarihinde yapılan sıcaklık ölçüm sonuçları.	71
Şekil 5.13. 29/12/2011 Tarihinde yapılan sıcaklık ölçüm sonuçları.	72
Şekil 5.14. 29/03/2012 Tarihinde yapılan sıcaklık ölçüm sonuçları.	72
Şekil 5.15. 16/07/2012 Tarihinde yapılan sıcaklık ölçüm sonuçları.	73
Şekil 5.16. 22/11/2012 Tarihinde yapılan sıcaklık ölçüm sonuçları.	73
Şekil 5.17. 24/03/2013 Tarihinde Yapılan Sıcaklık Ölçüm Sonuçları.	74
Şekil 5.18. 27/07/2013 Tarihinde yapılan sıcaklık ölçüm sonuçları.	74
Şekil 5.19. Yapılan kuyu ölçümleri değerleri kıyaslanması.	79
Şekil 6.1. Binanın mimari çizimleri.	81
Şekil 6.2. Isı pompası basit kullanım şekli.	88

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1.	2000 yılı verilerine göre dünyadaki TKIP uygulamaları gösterilmiştir.....	33
Çizelge 3.2.	Topraktaki bazı materyallerin ısı karakteristikleri.....	35
Çizelge 3.3.	Toprak türlerinin ısı karakteristikleri.....	36
Çizelge 3.4.	Boru çapı ve boyu arasında tavsiye edilen değerler.....	42
Çizelge 4.1.	Bölgelere göre en fazla değer olarak kabul edilmesi tavsiye edilen U (W/m ² K) değerleri.....	57
Çizelge 4.2.	Atop/Vbrüt oranları için ısıtma enerjisi değerleri.....	61
Çizelge 4.3.	Bölgelere göre sınırlandırılan Q' nun hesaplanması.....	61
Çizelge 5.1.	Karıt Kuyu-1 ölçüm sonuçları.....	69
Çizelge 5.2.	Karıt Kuyu-2 ölçüm sonuçları.....	69
Çizelge 5.3.	Karıt Kuyu-3 ölçüm sonuçları.....	70
Çizelge 5.4.	Kapullu Kuyu-1 ölçüm sonuçları.....	70
Çizelge 5.5.	Kapullu Kuyu-2 ölçüm sonuçları.....	70
Çizelge 5.6.	Kapullu Kuyu-3 ölçüm sonuçları.....	71
Çizelge 6.1.	Toprak çeşidi ısı karakteristiği, Vaillant Kataloğu, 2005.....	83
Çizelge 6.2.	Hesaplamalarda kullanılacak sıcaklık değerleri.....	84
Çizelge 6.3.	Vaillant sıcak su talebi değerleri, 2005.....	86
Çizelge 6.4.	Seçilen TKIP ve teknik özellikleri.....	88
Çizelge 6.5.	Boru tiplerine göre Rb (yatay) / Rb (düşey) değerleri.....	92
Çizelge 6.6.	Toprak direnci (Miles, 1994).....	92
Çizelge 6.7.	Boru boyu hesaplama tablosu.....	95
Çizelge 6.8.	Vaillant serilecek serpantin mesafeleri, 2005.....	96
Çizelge 6.9.	Miles ve Vaillant boru boyu karşılaştırmaları.....	96
Çizelge 6.10.	Vaillant katalog kriterlerine göre TKIP analiz formu.....	100
Çizelge 7.1.	Ekonomik karşılaştırma.....	105
Çizelge 7.2.	Amortisman karşılaştırmaları.....	107
Çizelge 7.3.	Amortisman karşılaştırmaları.....	107
Çizelge 8.1.	Yalıtım kalınlıklarının karşılaştırmaları.....	109
Çizelge 8.2.	Enerji tüketimi – CO ₂ üretimi dönüşüm katsayıları.....	111
Çizelge 8.3.	Kuyu ölçüm (1-4 metre arası) değerlendirmesi.....	112

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

$Q_{\text{ısıtma}}$:	Isıtma Yüğü
$T_{\text{dış}}$:	Tasarım Dış Hava Sıcaklığı
T_{ot}	:	Ölçülen Derinlikteki Ortalama Toprak Sıcaklığı
T_{h}	:	Ölçüm Noktası Hava Sıcaklığı
T_{d}	:	Ölçülen En Düşük Toprak Sıcaklığı
T_{y}	:	Ölçülen En Yüksek Toprak Sıcaklığı
A_{bina}	:	Tasarım Bina Isıtma Alanı
V_{bina}	:	Tasarım Bina Isıtma Hacmi

KISALTMALAR

PESCH40	:	Polietilen Schedule-40
TKIP	:	Toprak Kaynaklı Isı Pompası
HKIP	:	Hava Kaynaklı Isı Pompası
SKIP	:	Su Kaynaklı Isı Pompası
PE	:	Pasif Ev
İYE	:	İyi Yalıtımlı Ev
PİGM	:	Petrol işleri Genel Müdürlüğü
TPAO	:	Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı
TS	:	Türk Standardı

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Bu çalışmada Karabük ilinde Toprak Kaynaklı Isı Pompası destekli Pasif Ev tasarımının teorik olarak incelenmesi ele alınacaktır. Deneysel olarak elde edilen Karabük ilinde açılan kuyulardan toprak altı sıcaklık değerleri incelenmiştir. Çalışma konusu yalıtım, ısı pompası, toprak altı sıcaklık değerleri gibi çok değişik ve fazla sayıda değişken ve kavramları içermektedir. Konun daha iyi anlaşılması için ülkemizdeki ve dünyadaki enerji kaynaklarının durumunun da bilinmesinde yarar olacaktır. Bu çalışma kendi içinde dokuz bölümden oluşmaktadır. Bölümlerde sırasıyla:

Birinci bölümde; ülkemizde ve dünyada enerji kaynaklarının durumu ele alınmıştır.

İkinci bölümde; ısı pompası ve çeşitleri ele alınmıştır.

Üçüncü bölümde; toprak kaynaklı ısı pompası konusu ele alınmıştır.

Dördüncü bölümde; Pasif ev normu ve TSE-825 Isı Yalıtım Standardı ele alınmıştır.

Beşinci bölümde; yapılan kuyu ölçüm değerleri verilmiştir.

Altıncı bölümde; teorik olarak yalıtım hesabı ve ısı pompası hesapları mukayeseli olarak yapılmıştır.

Yedinci bölümde; seçilen tasarım modellerinin ekonomik analizleri yapılmıştır.

Sekizinci bölümde ise yapılan çalışma sonuçları değerlendirilmiştir.

Dokuzuncu ve son bölümde yapılan çalışma kapsamında ülkemizde yapılabilir eylemler ve alınması gerekli önlemler tartışma ve öneriler çerçevesinde verilmiştir.

Her geçen gün insanoğlu yaşamında, günlük hayatı kolaylaştıran, yaşam kalitesini artıran pek çok teknolojik yeniliklere tanık olunmaktadır. Yaşantımıza giren onlarca

teknolojik yeniliğin sürdürülebilirliği enerji ile mümkün olmaktadır. Genel anlamda sosyal açıdan enerjinin tanımı için; gündelik yaşam kalitesini artıran, ekonomik ve sosyal ilerlemeyi, teknolojik gelişmenin devamlılığını sağlayan kaynak olarak tarif etmek mümkündür.

Bu anlamda ilk enerji kaynakları hayvansal (tarihi süreçte at ve diğer taşıma hayvanları derin etkileri halen sürmekle beraber, insanlar yeni mekanik enerji birimlerini bile onlarla mukayese ederek ölçülendirmişlerdir “BG” gibi.), bio-kütle (odun, tezek, hayvani yağlar vb.) ve esir edilen diğer insanlar olmuşlardır. Günümüzde tarihi süreçle beraber jeotermal, kömür, hidrolik, doğal gaz ve petrol türüleri, nükleer ve yenilenebilir kaynaklar (güneş, rüzgâr, toprak, dalga enerjisi vb.) enerji temini için kullanılmaktadır. Kaynaklar daha çok enerjinin son tüketici formu olan “Elektrik enerjisi” elde edilmektedir.

Değınilen bu sorunlar ülkelerin enerji ihtiyacını yaymak ve kendi kaynaklarından karşılama avantajlarını kullanmak zorunda kalmaları ”yenilenebilir enerji kaynakları” kavramını hayatımızın içine sokmuştur. Toprak Kaynaklı Isı Pompası (TKIP) uygulaması bu kaynaklardan biridir ve bu sistemin temel çalışma mantığı toprak altındaki ısı enerjisinin bir pompa marifeti ile yazın soğutmada kışın ısıtmada kullanılmasından ibarettir.

Bu kısımda yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırımın gerek dünya gerekse de ülkemizde zorunluluk olduğunun daha iyi görülebilmesi için enerji sektörü üretim-tüketim ve kaynak çeşitleri itibari ile ele alınmıştır.

1.1. DÜNYADA ENERJİNİN DURUMU

Günümüz dünyasında enerji özellikle de “elektrik enerjisi” yaşamımızın bir parçası haline gelmiştir. Bu enerjiden dünyadaki tüm insanlar aynı oranda yararlanamamaktadır. Günümüzde dünya nüfusunun %20’sine yakını (1.4 milyar insan) elektriğe kavuşmuş değildir. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA)

projeksiyonlarına göre 2030 yılında dünyadaki gelir seviyesi düşük halkın 1.2 milyarının halen elektriksiz olacağı (özellikle de Orta-Güney Afrika, Hindistan ve gelişmekte olan Asya ülkeleri) tahmin edilmektedir. Enerji konusunda eşit paylaşımlı, barışçıl kullanımın yaygınlaştırılması için 2030 yılına kadar yıllık 36 Milyar\$ yatırıma ihtiyaç duyulmaktadır [1].

Mevcut birincil enerji kaynaklarının (özellikle fosil bazlı kaynaklar) üzerindeki aşırı talep baskısı, artan enerji fiyatları, en yaygın kullanılan (fosil kaynaklar) kaynakların tükenir olması, yeni teknoloji gelişmelerin artan enerji ihtiyacını karşılamaya yetmemesi, enerji kaynakları kullanımının belli ülkelerin egemenliğinde olması, kullanılan kaynakların çevresel etkileri, enerji arz- talep güvenliği gibi konular üzerindeki kaygılar her geçen gün artmaktadır. Bu durum ülkeler üzerindeki baskıları artırarak enerji temini ve güvenliği konusunda dünyamızda yeni kamplaşmalar doğurmaktadır.

1.1.1. Dünyadaki Enerji Üretimi ve Tüketimi

Artan teknolojik gereksinimler ve özellikle gelişmekte olan ülkelerde görülen büyük ekonomik gelişmeler son kullanıcı formu olan “elektrik enerjisine” olan talebin artmasına neden olmuştur. Bu durum her geçen yıl dünyadaki enerji üretimi kapasitesinin artırılmasına neden olmaktadır.

IEA 2010 çalışmasına göre elektrik üretiminde 2035 yılına kadar 18.240 TWh’lik bir artış beklenmektedir. Bu artışın büyük kısmı (%83’ü) 2008-2035 yılları arasında yıllık %3.6 artış oranıyla OECD dışı ülkelerde, %0.9 artış oranıyla OECD ülkelerince gerçekleştirilecektir. Bu durum IEA tarafından hazırlanan Yeni Enerji Politikaları senaryosuna göre 2010-2035 yılları arasında enerjiye 32.8 trilyon \$ yatırım yapılacağı ve bunun 16.6 trilyon \$’lık kısmının elektrik enerjisi üretimine, 8 trilyon \$’lık kısmının Petrole, 7.1 Trilyon \$’lık kısmının doğal gaz, 0.7 Trilyon \$’lık kısmının ise kömür sektörüne olacağı hesaplanmaktadır [1].

1.1.1.1. Petrol

Petrolün, 2020 yılına kadar birincil enerji arzındaki en büyük paya (%29.8) sahip olacağı, daha sonraki yıllarda ilk sıradaki yerini kömüre devredeceği öngörülmektedir [1].

Ocak 2012 itibari ile petrol rezervleri dağılımına bakıldığında, kanıtlanmış petrol rezervlerinin (1,669 milyar varil) %48'sine yakını Ortadoğu'da bulunmaktadır [2]. En büyük rezervlere sahip olan ve üretimi aktif olarak yönlendiren 8 ülke sırasıyla S. Arabistan, Rusya, Kanada, İran, Irak, Kuveyt, Venezüella ve Birleşik Arap Emirlikleri (BAE)'dir (Bu ülkeler Kanada ve Rusya hariç OPEC üyesidir). Bu ülkeler dünya rezervinin yaklaşık %70.9'una sahiptirler [3].

2012 sonu itibari ile revize edilen rakamlara göre hazırlanan raporda küresel petrol rezervlerinin 52.9 yıl ömrü kalmıştır [4].

1.1.1.2. Kömür

Kömür 2020'li yıllara kadar petrolün arkasında ikinci sırada yer alırken, bu yıllardan sonra birincil enerji arzında %29.1'lik payla ilk sıraya geçecektir [1].

2008–2035 yılları arasında elektrik enerjisi üretiminde ki payı da %41'den %42.8'lere çıkararak, ana kaynak olacaktır. Kömür kaynaklı elektrik üretiminin 2035 yılına kadar yıllık %2.5 oranında artması beklenmektedir [1,3].

Kömür üretimi dünya da geniş alanlara yayılmasına rağmen 2014 sonu itibari ile toplam kömür rezervlerinin %75'i, 5 ülke de bulunmaktadır: ABD (%27), Rusya (%18), Çin (%14), Avustralya (%9), Hindistan (%7) [5].

2012 sonu itibari ile revize edilen rakamlara göre hazırlanan raporda mevcut kömür rezervlerinin 142 yıl ömrü kalmıştır [6].

1.1.1.3. Doğal Gaz

Doğal Gaz son 20 yılda kullanımı yaygınlaşan 3. Ana kaynak olup, sanayi de elektrik enerjisi üretiminde ve konutlarda ısıtma amaçlı kullanılmaktadır. Doğal gazın elektrik enerjisi üretimindeki yerini koruması beklenmektedir (%21.4). IEA verilerine göre 2008–2035 döneminde elektrik üretiminde kömürden sonra ikinci kaynak olacaktır (%21.3-%21.7 aralığı) [1].

2012 verilerine göre küresel 3,364 trilyon m³ doğal gaz rezervlerinin yaklaşık %74'ü Rusya, Türki Cumhuriyetler ve Ortadoğu ülkelerinde bulunmaktadır. Rusya, İran, Katarın rezervleri bu rezervin %55'ine denk gelmektedir [7].

2012 sonu verilerine göre dünya doğal gaz rezervinin ömrü 55.7 yıldır [5].

1.1.1.4. Nükleer

Birçok gelişmiş ülkede kullanılan nükleer enerji, yapısındaki tehlike ve caydırıcı güç olması nedeni ile ana kaynak gruplar içinde en tartışılan kaynaktır. Günümüzde %13.5'lük payını 2035 de %10.8'e düşeceği beklenmektedir [1].

Buna rağmen 2008 de gerçekleşen 2,731TWh üretim değerini 2035 yılında 4,147 TWh çıkarması beklenmektedir. 2008 de 391GW kurulu güç değeri, 2035 de 551 GW' çıkması beklenmektedir. 2035 de Avrupa da ki kurulu güç değerinin (139 GW'den 106 GW'e) düşmesi beklenirken, Çin (83 GW) başta olmak üzere OECD dışı Asya ülkelerinde 108GW'lik, Rusya'da 13GW, ABD'de 14GW'lik bir artış beklenmektedir [1,6].

1.1.1.5. Hidrolik-Rüzgar-Yenilenebilir

2008 de üretilen enerji payı içinde %15.9 olan hidrolik enerji üretimi 2035 de %13.3'e düşeceği beklenmektedir [1].

2035 yılına kadar hidrolik enerji üretiminin yıllık %3'lük bir artış beklenmektedir. OECD dışı ülkelerde özellikle Çin, Brezilya, Hindistan, Vietnam, Malezya'da inşa edilen ve edilecek orta ve büyük ölçekli projelerle; OECD ülkelerinden Türkiye ve Kanada haricinde büyük projeler öngörülmemektedir [1].

Hali hazırda %1.1 olan rüzgar enerjisi üretimi, toplam üretim içindeki yerini 2035 de %5' çıkaracağı öngörülmektedir [1].

Hidrolik dışı yenilenebilir enerji grubu kurulu güç değerini 2008'de %4'ten, 2035'de %10'lara çıkarması beklenirken en büyük artışın rüzgâr enerjisinde yaşanması beklenmektedir [1]. Rüzgâr enerjisine yapılan yatırımlar özellikle Çin'de artmaya devam etmektedir [2].

1.1.1.6. Güneş

Isıtma ihtiyacının az olması nedeni ile. Bu konudaki görüşler güneş kolektörünün üretim maliyetinin azaldığı zamanlar da direk kullanılacak bir kaynak olarak kullanıma alınacaktır.

Güneş yeryüzüne sürekli olarak dev enerji miktarları ışıır, öyle ki yazın öğlen zamanı bu enerji miktarı 1000 W/m^2 , kışın yeryüzünde sadece $50\text{--}200 \text{ W/m}^2$ 'dir. Bu enerjiden alışlagelmiş güneş kolektörleri ile %50 yararlanılabilir. Güneş enerjisinden tek başına veya diğer kaynaklarla birlikte yararlanılır.

Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmış, güneş enerjisi sistemleri teknolojik olarak ilerleme ve maliyet bakımından düşüş göstermiş, çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir. Güneş enerjisi teknolojileri yöntem, malzeme ve teknolojik düzey açısından çok çeşitlilik göstermektedir.

Güneşten dünyamıza saniyede yaklaşık olarak $1,7 \times 10^{17}$ Joull'lük enerji (170 milyar MW) ulaşmaktadır. Bu enerji dünyada kullanılan toplam enerjinin yaklaşık 15-16 bin katıdır. Güneş değişmezi olarak adlandırılan ve dünyanın yani hava kürenin dışında güneş ışınlarına dik, bir metrekare alana bir saniyede gelen güneş enerjisi miktarı 1357 Joul'dür [8]. Bu değer yıl boyunca sabit olarak varsayılmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan ve kaynak olarak güneş ışınlarını kullanan güneş enerjisi ile ilgili bilimsel çalışmalar, dünya üzerinde özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmıştır. Dünya üzerinde güneş enerjisinden elektrik üretimi, hala diğer enerji kaynakları arasında cüzi bir miktarda paya sahip olsa da, kaynağın büyüklüğü, bu tablonun gelecekte güneş enerjisi lehine değişeceğini göstermektedir. Bir yılda güneşten gelen enerji miktarının bilinen kömür rezervlerinin 50, petrol rezervlerinin ise 800 katına tekabül etmesi, güneş enerjisinin potansiyel açısından değerini vurgulamaktadır. Bununla beraber, Uluslararası Enerji Ajansı'nın, 2050 yılında küresel elektrik enerjisi üretiminin %11 gibi önemli bir oranının güneş enerjisinden sağlanacağını öngörmesi kalkınma politikaları açısından da önemli bir veri teşkil etmektedir. Dünya güneş enerjisi kapasitesinde öne çıkan ilk 10 ülke değerlendirildiğinde, Avrupa ülkelerinin ve özelde Almanya'nın bu alanda ağırlığı olduğu görülmektedir. Almanya %43,5 oranındaki payı ve kendisinden sonra gelen 7 ülkenin güneş enerjisinden elektrik üretme kapasitesinden daha fazla olan elektrik üretimi kurulu gücü ile liderliği elinde bulundurmaktadır [8].

Kaynak olarak güneş enerjisinden yararlanıldığında iki sistem söz konusudur. Bunlar direkt ve en direkt sistemlerdir. Direkt sistemlerde buharlaştırıcılar doğrudan güneş kolektörüne yerleştirilir.

En direkt sistemlerde ise kolektörlerden su veya su buharı geçirilerek kaynak olarak bunlardan yararlanılır. Ancak hava kaynağında olduğu gibi, ısı ihtiyacı bulunan günlerde güneş enerjisi de az olduğundan; ek bir ısıtma tesisatına veya ısının depolanmasına ihtiyaç vardır ki bu da, zaten pahalı olan sistemin maliyetinin artmasına neden olur.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından Güneş (CSP ve PV), dalga enerjisi, ısı pompaları aracılığı ile hava-su-toprak kullanımı henüz ticarileşme sürecinin başındadır. 2035 de güneş enerjisi için 530 TWh'lik bir elektrik enerjisi üretimi kapasitesi, dalga enerjisinden ise 39 TWh'lik bir üretim beklenirken, ısı pompaları ile konut ısıtmalarında fayda sağlanması beklenmektedir [1].

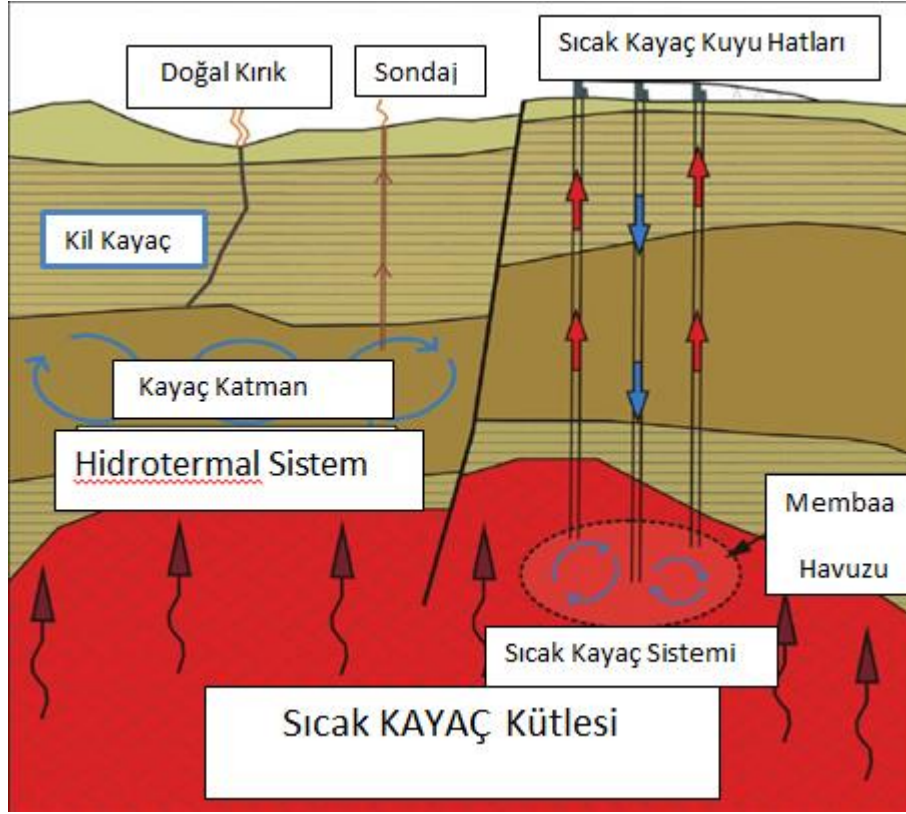
Türkiye güneş potansiyeli haritasından görüleceği üzere, Türkiye'nin güneyinde kalan tüm kesimlerinin güneş enerjisi potansiyeli yüksektir. Bu potansiyel çerçevesinde, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2023 hedefi olarak güneş enerjisinden 3.000 MW'lık elektrik üretme hedeflenmektedir [9].

1.1.1.7. Jeotermal

Diğer bir yenilenebilir enerji kaynağı da yer altında ısınan sıcak suyun artezyen ya da kuyu açılması ile ısınma da ve elektrik üretiminde kullanılmasıdır. Jeotermal enerji kaynağı özellikle yeni dağ yapısının olduğu ve fay hatlarına yakın yerlerde bulunmaktadır. Ülkemiz jeotermal enerji potansiyeli konusunda zengin kapasiteli bir ülke durumundadır. İlgili konu hakkında birçok çalışma yapıldığı için detaylı anlatıma girilmeyecektir.

Jeotermal sistemler dört ana başlık altında sınıflandırılabilirler: buhar ağırlıklı (kuru buhar); sıvı ağırlıklı (sıcak su); jeo-basınçlı sıcak oluşumlar (geopressured) ve HDR 'dir ((Hot Dry Rock – HDR) – kızgın kuru kaya) [9].

Sıcak Kayaç (HOT ROCK) Uygulaması

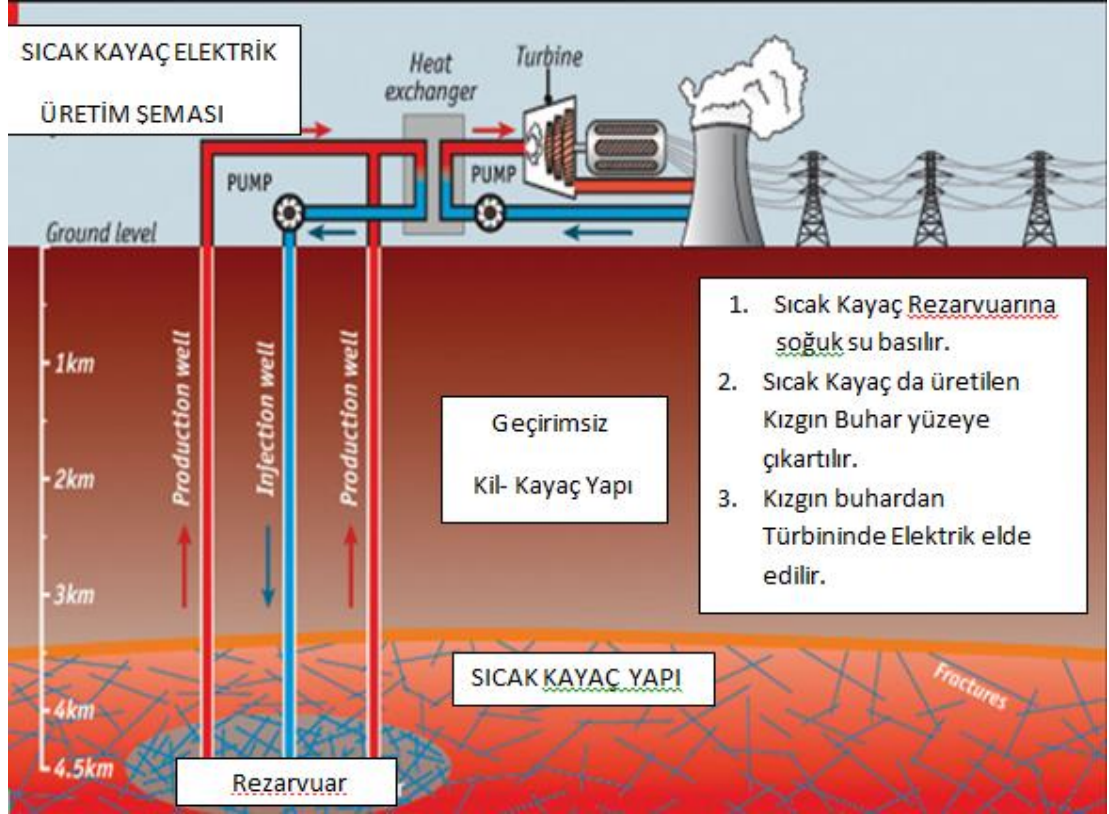


Şekil 1.1. Sıcak kayaç uygulama şekli.

Özellikle gelişmiş ülkelerde ABD, Japonya, Norveç, Avustralya gibi ülkelerde uygulama örneklerinin görüldüğü Sıcak Kayaç (Hot-Rock) uygulaması şöyledir.

Şekil 1.1’de görüldüğü üzere uygulama şekli derin kuyular açarak çok yüksek sıcaklıktaki yer altı kayaçları bulunarak bu kayaçlara açılan ilk kuyularla yeryüzünden soğuk su enjekte edilmekte elde edilen yüksek sıcaklıktaki buhar yeryüzündeki tesisler de öncelikle elektrik enerjisi üreten tribünlerden geçerek elektrik enerjisi, daha sonra da ısı eşanşörlerden geçerek ısı enerjisi elde ederek ısıtma amaçlı kullanılabilir. İlk maliyetinin yüksek olması ve ileri teknoloji gereksinimi nedeni ile belli ülkeler haricinde yaygın olarak kullanılmayan bu sistemin çevre etki değerleri de halen tartışma konusudur.

Bu uygulama bir örnek (Şekil 1.2’de gösterilmiştir) olarak Japonya Hijiori de yapılan uygulama da üst kuyu derinliği 1800 m alt kuyu derinliği 2200 m olan sondaj kuyuları olan tesis neticesinde 10000 konut ihtiyacını karşılayacak elektrik enerjisi üretilmektedir [10].



Şekil 1.2. Japonya Hijiori Santrali uygulama örneği.

1.1.1.8. Kaya Gazı (Shell Gases / Şeyl)

Tez çalışmasına başlanıldığı süreçte (kuyu ölçümleri öncesi) sadece gelişmiş bazı ülkelerde uygulanan (uygulanma şekli hakkında pek bilgiye haiz olunmamasına rağmen süreç içerisinde duyulup bilinir hale gelen) “Kaya Gazı” konusuna son yıllarda enerji politikalarını değiştirecek önemli bir potansiyele sahip yeni bir uygulamadır. Temelinde doğalgaz üretimi olmasına rağmen kendine dünya enerji piyasasında özel bir yer bulan bir kaynak olarak ele alınmıştır. Bu çalışma süreci

içerisinde “Kaya Gazı” konusu o kadar gelişmiştir ki dünya çapında enerji politikası belirleyici duruma gelmiştir.

Kuyu ölçümleri başlangıcında detaylı bilgi araştırmasını sadece yapılan çalışmaların teorik ve bilimsel etkileri bilgilerine ulaşılabilirken; özellikle ABD’nin kaya gazı sayesinde ürettiği birim üründe ki enerji maliyetini 0.73 cent azalttığı bilinmektedir [11]. 2014 senesi itibari ile ABD Kaya Gazı üretimi sebebi ile hem doğalgaz hem de petrol ihracat etme potansiyeline sahip olmuştur. Dünyamızdaki en büyük enerji ihtiyacı olan bir ülkenin, enerji ihracı kapasitesine ulaşması kendi içinde detaylı incelenmesi gerekli bir konudur. Petrol fiyatlarının inme yönündeki ve 50 \$ civarında çapalaması ABD-Rusya çekişmesi ile başlayan bir senaryo olsa da ABD enerji konusunda gösterdiği bu direnç “Kaya Gazı” ile kazandığı enerji ihraç potansiyel gücüdür. Şematik gösterim Şekil 1.3.’de gösterilmiştir.

Basitçe Kaya gazı, şeyl (shale) adı verilen, kil ile kuvars ve kalsit minerallerinden oluşan kerojen adı verilen organik madde ince taneli tortul kayacın küçük gözeneklerinde bulunan ve konvansiyonel olmayan enerji sınıfına giren bir tür. Petrol ve doğalgaz, oluştuğu ana kayayı terk ederek farklı kayalar içerisine yerleşir. Ancak bu göç sırasında oluşan petrol veya doğalgazın bir bölümü ana kayada kalır. Sözü edilen kaya gazı, oluştuğu ana kayayı terk etmeyen ve kayacın gözeneklerinde kalan doğalgazdan elde edilir [12].

1970 li yıllar da ABD devletlerinde başlayan Kaya Gazı araması, toprak katmanları arasında kalan tek başlarına ekonomik değeri olmayan gaz kütlelerinin, fraction (çatlatma) tekniği ile ekonomik değer kazandırılmasıdır. Mevcut teknoloji ABD de olmak üzere Çin, AB ülkeleri, Brezilya, Hindistan, Avustralya, Kanada gibi ülkelerde ekonomik katma değer olarak kullanılmaktadır. Özellikle OPEC ülkeleri, Rusya ve Orta Doğu bölgesinde yeni gelişmeler yaşanması kaçınılmazdır.



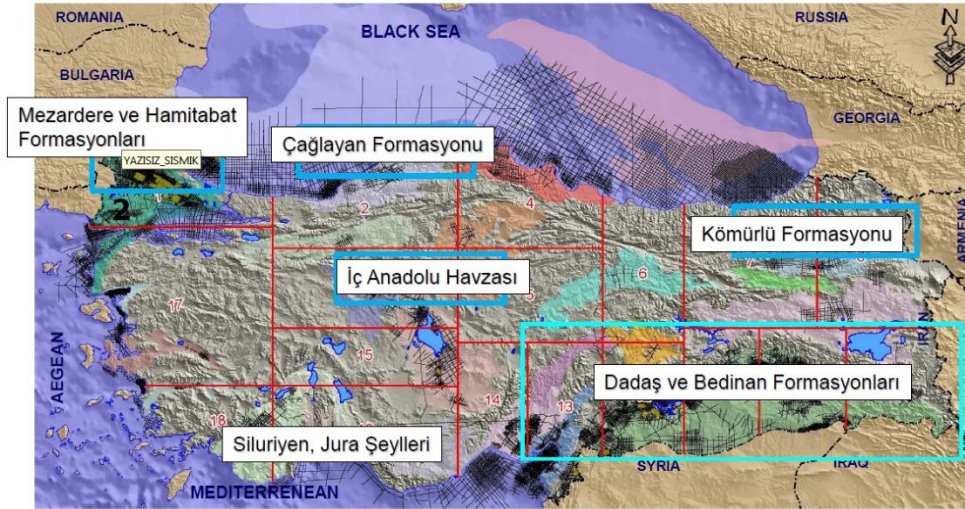
Şekil 1.3. Kaya gazı elde şekli.

PİGM (Petrol işleri Genel Müdürlüğü) verilerine dayanarak Kaya gazının mevcutta uygulanan üretim şekli aşağıdaki gibidir.

- İstenen formasyona kadar geleneksel yöntemle dikey sondaj yapılır.
- Daha sonra gaz ihtiva eden şeyler içinde hidrokarbon üretim kalınlığını arttırmak için ortalama 1000 – 1500 m. yatay sondaj yapılır. (Şekil-4) Çatlatma yöntemi ile dikey çatlaklar oluşturulur. 1000 m. yatay bir kuyuda 20–30 tane ayrı çatlatma operasyonu yapmak gerekebilir.
- Her bir çatlatma kalınlığı en fazla 40 m. civarında olmalıdır.
- Sondaj kuyusu içine indirilen perfore (delikli) boru sayesinde basınçlı olarak kaya tabakasının içine belirli oranda ve yüksek basınçlı kum ve jel bulunan su veya diğer sıvılar enjekte edilir (Fracking Yöntemi).

- Kum kullanılmaktaki amaç çatlakları açık tutmak ve akışın devamını sağlamaktır Böylece kuyunun gaz üretmesi sağlanır. Her bir çatlama operasyonu fiyatı kuyunun derinliğine ve formasyon basıncına göre değişir. Ayrıca kuyular arası mesafe çok kısa olmalıdır. Her 0.5 km² ye bir kuyu açılabilir. Her bir çatlama maliyeti 200.000–500.000 ABD \$ arasında olabilir.

Türkiye'nin kaya gazı rezervleri ile ilgili 500 milyar ile 1,8 trilyon metreküp arasında tahminler yapılıyor. Bu rezerv Türkiye'nin 30 yıllık enerji ihtiyacına karşılık gelmektedir. Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) ve Shell, Diyarbakır Silvan'da kaya gazı aramaktadır. Sarıbuğday-1 kuyusundaki pilot proje kaya gazı rezervlerinin belirlenmesi açısından önemli. 12,5 kilometrekarelik bir alanda rezerv tespiti için ölçümlerin devam etmektedir.



Şekil 1.4. Türkiye'deki formasyon alanları.

1.2. DÜNYADA ELEKTRİK TÜKETİMİ

Özellikle gelişmekte olan ülkelerdeki büyük ölçekli ekonomik gelişmeler nedeniyle artan kişi başı gelirin etkisi ile beraberinde gelen taşıt sayısı artışı, teknolojik alet edevatın yoğun şekilde günlük hayata girmesi son 10 yılda kişi başı elektrik tüketimini oldukça artırmıştır. Mevcut politikaların devamı ve teknolojik gelişmelerin artması ile

enerji tüketiminin Doğalgazda yıllık %1.7'lik artışla 2008 verilerine kıyasla 2035 yılında %55.6, petrol ürünlerin tüketiminde %0.8'lik artışla %23.8, kömür tüketiminde %1.7'lik artışla %59.3 artacağı ve de hidrolik ve yenilenebilir enerji kaynaklarında %3.6'lık artışla %89.6 oranında artacağı tahmin edilmektedir [3].

1.3. ENERJİ ARZ-TALEP GÜVENLİĞİ VE FİYAT POLİTİKALARI

Dünyamızdaki son gelişmeler sonunda duyulan aşırı enerji talebini, tükenir ana kaynaklar olan fosil yakıtlardan karşılanması beraberinde reel bazda fiyat artışları getirmiştir. 2009 yılındaki dünyadaki mali krizi saymazsak bu fiyat artışı genelde yükselen yönde olmuştur. Bazı durumlarda İhracatçı ülkelerin oluşturdukları politik baskılar ve dünyaya yön veren büyük ülkelerin ana kaynaklarda (ABD ve Rusya hariç) ithalatçı olması enerji arzında güvenlik temin konusunda ülkeler üzerinde yüksek baskı oluşturmaktadır.

Özellikle Türki Cumhuriyetler, Kuzey Afrika ve Latin Amerika'da çıkan yeni rezervlerin dünya piyasasına arzı konusunda yeni güzergâhların gündeme gelmesi ve mevcut güzergâhların korunma çalışmaları birçok ülkeyi karşı karşıya getirmektedir (Buna en güzel örnek BTC ve Nabucco hatlarının Mavi Akım Hattı ile olan çatışması verilebilir).

2000–2009 yılları arasında petrol fiyatları %76, doğal gaz %114, kömür fiyatları ise %136'lık artışlar yaşanmıştır. 2009 yılında dünyayı sarsan mali kriz nedeni ile %20'ler civarında gerilen fiyatlar IEA göre 2035 yılına kadar petrolde %87.1, doğalgaz da %79.7, kömür fiyatlarında da %9.5 artması beklenmektedir.

1.4. ENERJİ ÜRETİMİ VE TÜKETİMİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİ

Dünyadaki artan enerji ihtiyacının karşılandığı ana kaynak olan fosil bazlı kaynakların yakılmasında yapısındaki Karbon, Azot, Kükürt elementlerinin O ile yaptıkları bileşikler neticesinde CO-CO₂-SO₂ vb. tabanlı çevresel felaket etkileri oluşturan

bileşikler bugün gerek sera etkisi ile dünya ısısını artırarak gerekse de asit yağmurları ve Ozon tabakasını tahrip ederek canlı yaşantısı üzerinde zararlara neden olmaktadır.

Diğer bir ana kaynak olan nükleer enerjinin oluşan kazalarda çevresel etkilerinin geniş ölçekli olması ayrı bir sıkıntı konusudur (Ülkemiz ve Karadeniz Kıyısı ülkeleri için Çernobil iyi bir örnektir. 2011 yılının Mart ayında Japonya açıklarında meydana gelen 9.0 şiddetindeki deprem sonunda oluşan tsunami, Fukusima Daiichi’de yer alan 4 nükleer santralin hasar görmesi sonucu oluşan radyasyon sızıntısı ve serpintilerin rüzgar ve yağmur bulutları ile ABD kıyılarına gitme ihtimali bir çok devleti endişeye düşürmüştür).

Enerji kaynaklarının çevresel etkisi denilince akla ilk gelen küresel ısınmadır. Çünkü çok hassas olan doğa dengesini atmosfere saldıığımız CO₂ ile günden güne bozarak dünya genelinde mevsimsel anormallikler yaşanmasına neden olmaktadır. Japonya’nın eski imparatorluk başkenti Kyoto’da Nisan 1997’ de imzalanan ve bugüne kadar 181 ülke tarafından onaylanan Uluslararası Kyoto Protokolü İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi, 16 Şubat 2005 tarihinde resmen yürürlüğe girmiştir [6].

Küresel ısınmaya karşı alınacak önlemleri içeren uluslararası Kyoto Protokolü, taraf ülkelerin sera etkisine yol açan gazların havaya karışmasını engelleyecek ya da azaltacak önlemler almasını gerektiriyor. Ülkemizin de 2009 yılında TBMM de kabul edilen Protokole dahil olmuştur. İmzalanan bu Protokol dünyada beklenen etkiyi oluşturmamıştır. Bundaki en büyük etken gelişmiş ülkelere ABD ve gelişmekte olan Çin, Hindistan ve Asya ülkelerinin yaptırımları uygulama isteksizliğidir. IEA verilerine göre enerji sektöründen kaynaklı atmosfere salınan sera etkisi yapıcı gaz emisyonları 2008-2012 yılları arasında 29.3 milyar tondan yıllık ortalama %1.4’lük artışla 2035’de 42.6 milyar tona çıkması hesaplanmaktadır. Tahminler 2035 yılında sıcaklık seviyesinin 6°C den fazla artacağı yönündedir [13].

1.5. TÜRKİYE'DEKİ ENERJİ ÜRETİMİ-TÜKETİMİNİN GENEL GÖRÜNTÜSÜ

Ülkemizin son zamanlarda yaptığı ekonomik gelişmeler oldukça dikkat çekici olmuştur. 2011 yılı verilerinde %9'luk büyüme ile Çin'in arkasından 2. olmuştur. Büyüme dünyadaki ekonomik gelişmeler çerçevesinde azalsa da 2014 verilerine göre %2.9 artışla devam etmiştir [TUİK 2009/2014 verileri]. Ülkemizin jeopolitik etkisi ve genç nüfusunun kaldıraç etkisi ile doğru politikalarla bu büyümenin devam edeceği beklenmektedir.

Benzer şekilde ülkemizdeki kalkınma hedeflerinin gerçekleşmesi, toplumsal refahın devamlılığı, sanayinin güçlenip uluslararası rekabet gücünün artırılmasının zorunluluğu beraberinde hızlı bir şekilde artan enerji talebini doğurmuştur. 2012 yılında 119.2 milyon ton tep olan yıllık enerji arzının dünya genelinde 21. olmuştur, 2015 de 170 milyon tep, 2020 yılında ise 222 milyon tep olması beklenmektedir. Bu artış enerji arzında yıllık %6'lık bir artış demektir. 2014 yılı verilerine göre enerji arzı %29.2 ile kömür, %32.7 ile doğal gaz, %28.8 ile petrol, %9.3 ile de hidrolik ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmıştır [6].

Maalesef ülkemiz enerji kaynakları (Hidrolik harici) da kanıtlanmış rezervler bakımından fakir bir konumdadır. Hidrolik enerji açısından DSI verilerine fena sayılmayacak konumda olan ülkemiz, mevcut enerji barajlarının çoğunluğunun sulamada da kullanılması nedeni ile bu kaynaklardan tam verimle yararlanamamaktadır.

Mevcut kaynaklar ve rezervler ülkemizi tam anlamı ile ithalatçı konuma sokmaktadır. Türkiye'de 2014 yılı enerji arzında doğalgazda %90, petrolde %98 olmak üzere toplamda %71.8'lik bölümü kaynak ithali ile gerçekleştirmiştir [4].

Enerji Bakanlığı açıklamasında bu konuya dikkat çekilmiş ve ülkemiz 2023 yılı projeksiyonlarında enerji verimliliğinin artırılması ve yenilenebilir enerji kaynakların

azami oranda kullanılması için gerekli desteklemelerin yapılması zorunluluğu vurgulanmıştır [6].

Mevcut gelişmenin devamlılığı için elektrik enerjisi üretimi arasında doğrusal yakın bir ilişki vardır. Gelişme düzeyi ile elektrik enerjisinin nihai enerji tüketimindeki pay arasındaki ilişki artık bilinen bir gerçektir. Ülkemizde elektrik enerjisi üretiminde kullanılan iki ana kaynak doğalgaz ve kömürdür. Bu kaynaklardan doğalgaz konusunda ülkemiz neredeyse tamamen dışa bağımlıdır.

2009 yılında ithal edilen doğalgazın yaklaşık %51'i Rusya, %16' İran, %15'i Azerbaycan, %14'i Cezayir, %3'ü de Nijerya'dan ithal edilmiştir. İthal edilen gazın %52.9'u elektrik üretiminde, %25.4'ü konutlarda, %19.5'i de sanayide kullanılmıştır. 2002 yılında 17.4 milyar m³ olan tüketim, 2009 yılında 32.4 milyar m³ seviyelerine çıkmıştır [1-2,6].

2020 yılında tahmini tüketimin 61.5 milyar m³ seviyelerinde olacağı beklenmektedir [2]. 2010 yılında ise kaynaklar açısından baktığımızda; toplam elektrik üretiminin %45.9'u doğalgazdan, %18.4'ü yerli kömür kaynaklarından, %6.9'u ithal kömür kaynaklardan, %24.5'i hidrolik kaynaklardan, %2.5'i sıvı yakıtlardan, %1.35'i rüzgardan, %0.47'si jeotermalden karşılanmıştır [2]. Şekil 1.5'de Türkiye'deki Enerji İhtiyaçlarının karşılandığı kaynakları ve kullanıldığı alanların oranları gösterilmiştir [14].

Enerji Tüketim Dağılımı (%)				
Ülke	Konut	Endüstri	Ulaştırma	Diğer
ABD (2004)	39	33	28	-
AB (2006)	39	28	30	3
TÜRKİYE (2008)	36	32	20	12

Şekil 1.5. Ülkelerin enerji tüketim kaynak oranları [14].

BÖLÜM 2

ISI POMPASI

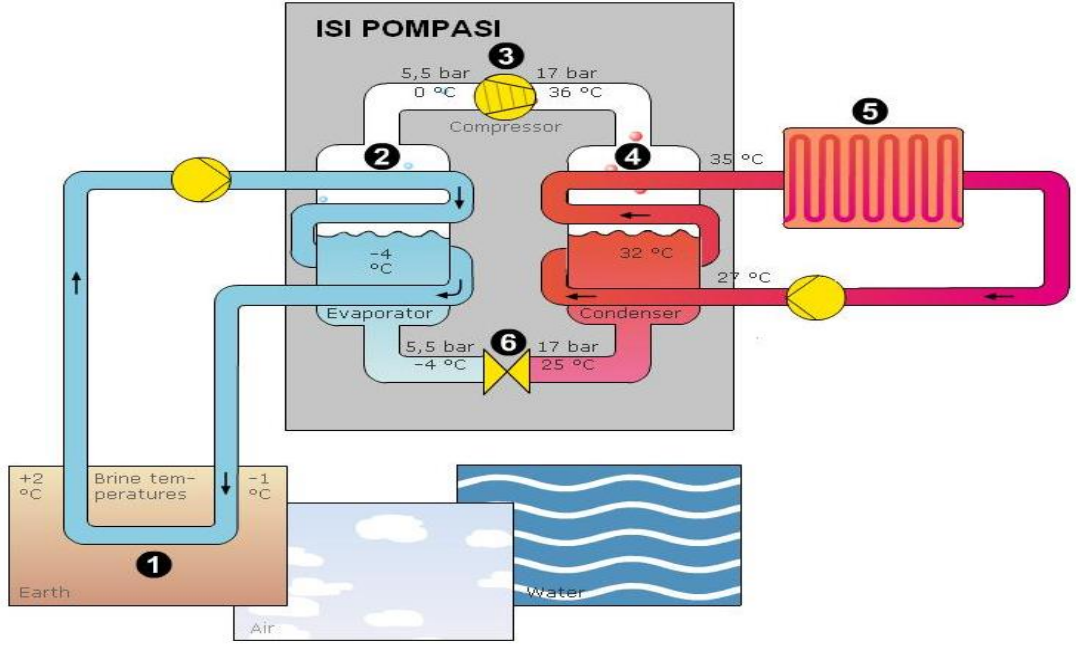
2.1. ISI POMPASI GENEL TANIMI

Termodinamiğin 1. Kanunu çerçevesinde enerji vardan yok edilemez, yoktan da var edilemez. Mevcut kaynaklar içinde enerji formu değiştirmektedir ya da başka bir kaynaktan diğer bir kaynağa taşınabilmektedir.

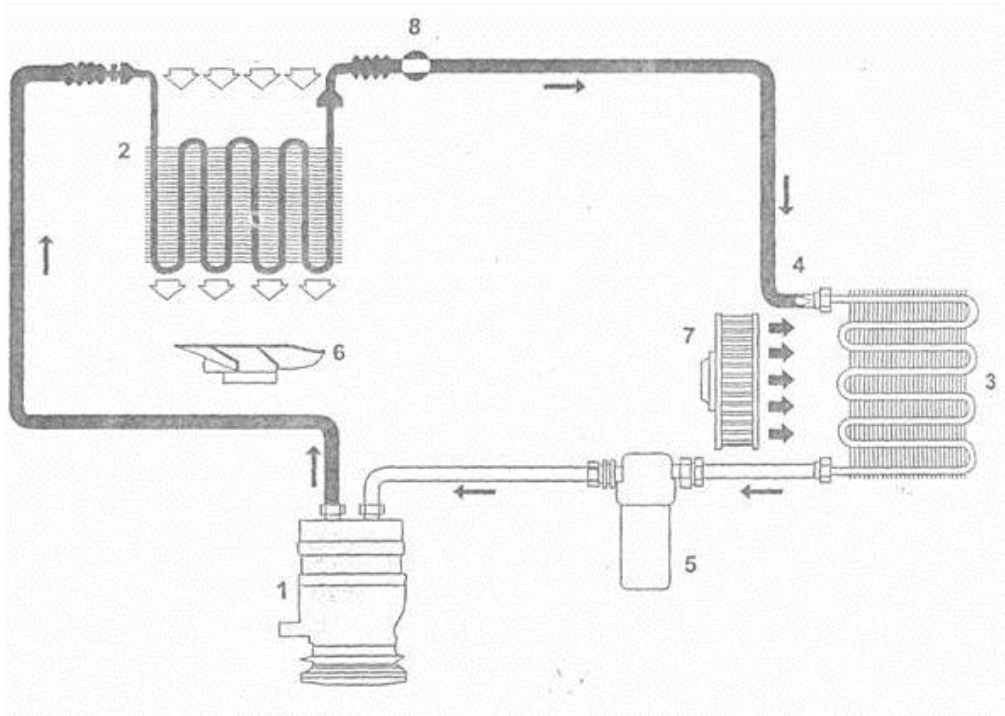
Isı pompalarının çalışma prensibinin temelinde ısı enerjisinin taşınmasına dayanır. Bu taşınma işlemi yüksek enerji kaynağından düşük enerji kaynağına doğru doğal yollar ile olurken (iletim, yayılım, ışıma şeklinde), bir itici güç vasıtasıyla zayıf kaynaktan güçlü kaynağa doğru olabilmektedir.

Bu işlemi gerçekleştiren makineler ısı pompaları olarak adlandırılmaktadır. Bu pompalar, derin kuyularda kullanılan dalgıç pompalar gibi çalışmaktadır. Dalgıç pompalar akışkanı kaynağından başka bir noktaya belli bir enerji kullanarak taşıyorsa; ısı pompası da ısı kaynağını aldığı noktadan başka bir yere taşımak için kullanılan basit taşıyıcı makinelerdir. Isı pompaları çalışabilmek için belli bir ısı kaynağına ve iletimini yapabilmek için belirli bir enerjiye ihtiyaç duyarlar.

İlk ısı pompası kullanımı soğutma çevrimini esas makineler şeklinde insanoğlunun günlük yaşantısına girmişlerdir. Isı transferinde Carnot çevrimi disiplini kullanan bu makineler buzdolabı, soğutucu sistemler olarak günlük hayatımıza girmişlerdir. Bu çevrimde ki ana elemanlar kompresör, yoğuşturucu, kısılma vanası, buharlaştırıcı ve akışkandır. Basit ısı pompası elemanları ve çalışma çevrimi Şekil 2.1, 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Örnek ısı pompası çevrimi.



Şekil 2.2. Basit ısı pompası çevrim elemanları.

Isı pompaları, ısının çekildiği ve atıldığı kaynakların aynı sıcaklıkta olmaları halinde, maksimum verimde çalışır. Dolayısıyla mümkün olan en sıcak kaynak ısı pompası için en uygun kaynaktır. Aynı zamanda, kaynak sıcaklığının direkt olarak kullanılmayacak bir sıcaklıkta olması gerekmektedir. Aksi takdirde ısı pompasına ihtiyaç olmaz.

Isı pompası tasarımında karşılaşılan en önemli problem, kullanılacak kaynaklar ile ilgili verilerin elde edilmesidir. Isı pompası için önemli olan bu kaynakların ısı pompası ile uyum sağlayabilmesi, aşağıda belirtilen şartlara bağlıdır [15].

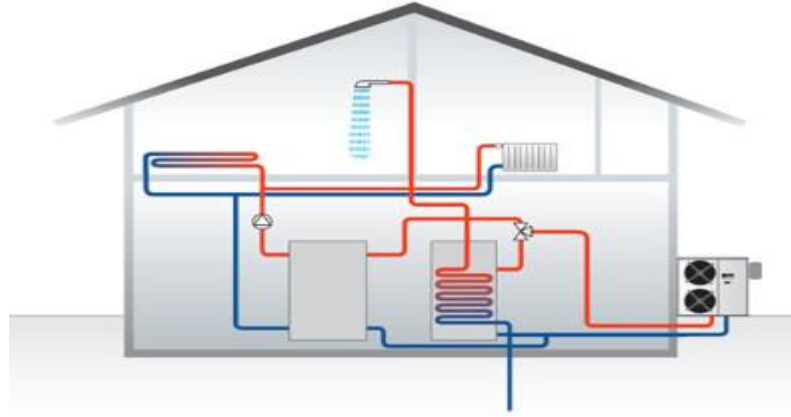
- Kaynak sıcaklığının fazla değişmemesi
- Kaynak sıcaklığının mümkün olduğu kadar yüksek olması
- Kaynağın bol bulunabilir olması ve coğrafi koşullardan mümkün olduğu kadar az etkilenmesi
- Kaynağın kirli olmaması
- Korozyona sebep olmaması

Isı pompası kullanım kaynaklarını seçerken coğrafi durum, iklim şartları, maliyet, uygunluk gibi ana kısıtlayıcı unsurlar çerçevesinde tasarım esnasında ki başlıca zorluklardan biri de kullanılacak kaynaklardan elde edilecek veriler çerçevesinde verim değerleridir.

En yaygın kullanılan ısı pompası kaynakları hava, su, toprak olarak 3 ana gruba ayırabilir. Ayrıca güneşi de yardımcı kaynak olarak bu sistemlere eklemek mümkündür. Bunların dışında oluşan uygun şartlar sonucunda ısı değeri olan tüm kaynakları da kullanabilir, örneğin fabrikalardaki atık su, şehir şebekelerindeki lağım lar gibi.

2.1.1. Hava Kaynaklı Isı Pompası (HKIP)

Isı pompaları için hava; her yerde bulunabilen, parasız ve tükenmez bir kaynaktır. Devamlı bulunmasının yanında en büyük yararları, her ortamda kullanılması; kullanılan ekipmanların makul boyutlarda olması, düşük işletme ve tesis maliyeti gerektirmesidir. Şekil 2.3. HKIP uygulaması gösterilmiştir.



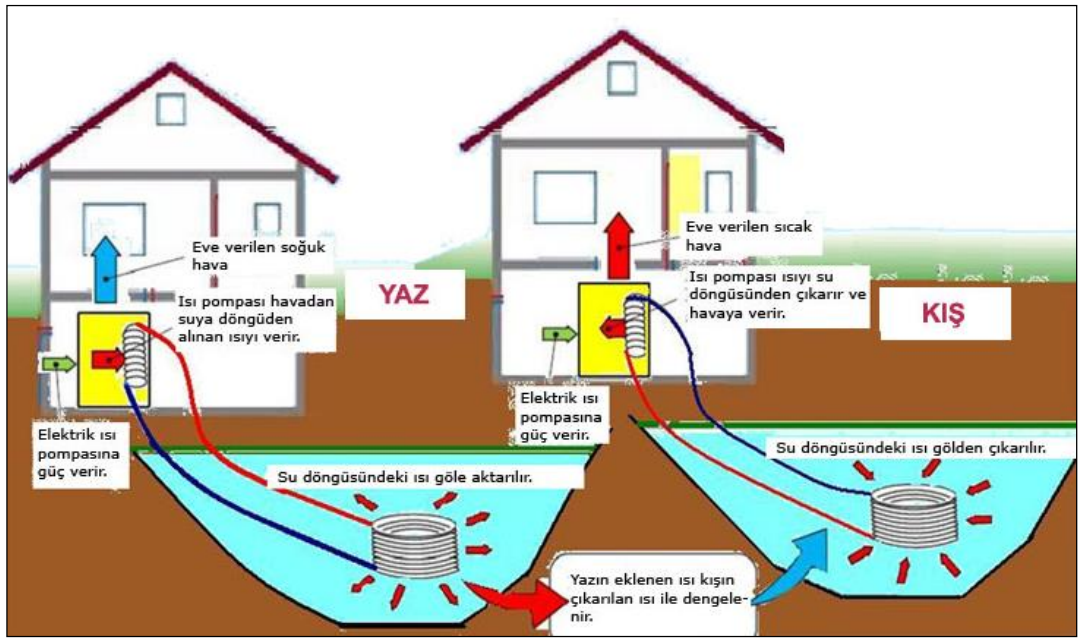
Şekil 2.3. Örnek HKIP sistemi.

Hava kullanılan ilk ısı pompası kaynağı olması nedeni ile oldukça fazla kaynak ve uygulama örneği olan bir ısı pompası uygulamasıdır. Bu büyük bir avantajdır.

HKIP tasarımı hava sıcaklığı değişimi ile doğru orantılıdır. Birçok yerde günlük hava sıcaklığının değişimi büyüktür. Dolayısıyla ısıtma yükü, hava sıcaklıklarının düşük olduğu zamanlarda yüksek olmaktadır. HKIP sistemlerinin en büyük dezavantajı, dış hava sıcaklığının 0°C ve daha düşük sıcaklıklarda ısı değiştirici yüzeylerinde don oluşma meydana gelir. Periyodik olarak donun çözülmesi önemli bir sorun teşkil eder.

2.1.2. Su Kaynaklı Isı Pompası (SKIP)

SKIP tasarımında, nehirlerden, göllerden, kuyulardan, şehir şebekesinden su ve üretim işlerinden elde edilen atık su, ısı kaynağı olarak kullanılabilir. Bunun için yıl boyunca kurumayacak bir su kaynağına ihtiyaç vardır. Şekil 2.4.'de SKIP uygulama biçimleri gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Basit SKIP uygulama şekli.

SKIP tasarımında, nehirlerden, göllerden, kuyulardan, şehir şebekesinden su ve üretim

Genel yaklaşımlara göre su kaynakları yer üstü ve yer altı su kaynakları olarak ikiye ayrılır. SKIP uygulamalarını da ısı enerjisi çekilen kaynaklara ikiye ayırmak uygun bir yaklaşımdır.

SKIP uygulamalarında, kullanılan suyun kalitesi çok önemli olmaktadır. Tasarım öncesi, su kalite testi kesinlikle yapılmalı ve içerdiği mineraller korozyon problemi

oluşturmaması için önceden incelenmelidir. Ayrıca sistemin olabilecek aşırı soğuklar nedeni ile donmaya karşı daha dirençli hale getirilmesi gerekmektedir.

Suyu kaynak olarak kullanmanın başka bir yararları, ısı değiştiricilerinde ısı geçişinin daha yüksek olması (Ancak ısı değiştiricilerinin daha verimli ve kompakt yapılmaları gerekmektedir.) ve sistem ihtiyaçlarının hızlıca aratılabilmesidir [9].

Kaynak çeşitlerinde olabilecek sıcaklık farkı nedeni ile SKIP kaynaklarını iki başlıkta inceleyebiliriz.

2.1.2.1. Yeraltı Su Kaynakları

Yeraltı suyu güneş ısını depolamak için uygun bir ortamdır. Soğuk kış günlerinde dahi +7 ile +12°C arasında sabit bir sıcaklıkta olması oldukça avantajlıdır. Isı kaynağının sıcaklık seviyesinin sabit kalması nedeniyle ısı pompasının performans katsayısı bütün yıl boyunca yüksektir. Her topografyada yeterli miktarda yeraltı suyu bulmak mümkün değildir. Fakat şartların uygun olduğu yerlerde kullanılması oldukça faydalıdır [16].

10 metre ve daha fazla derinliklerde yeraltı suyunun sıcaklığının yıl boyunca çok az değişmesi önemli bir avantajdır. Kuyu suyundan yararlanıldığında, sıcaklığı düşmüş olarak buharlaştırıcıyı terk eden suyun kaynak sıcaklığını düşürmemesi için genellikle ikinci bir borulama ile deşarj kuyu açılarak buraya basılır. Ayrıca sondaj ve bakım maliyetinin yüksek olması kullanımı zorlaştırmaktadır. Yer altı suları uygun derinlikte, yeterli miktar ve kalitede bulunduğu takdirde sıcaklığının nispeten sabit kalması nedeniyle ısı pompaları için uygun gösterilebilir.

2.1.2.2. Yerüstü Su Kaynakları

Su kaynağı olarak göller, nehirler gibi yerüstü sularından yararlanıldığında ise, sıcaklık kuyu sularına göre daha fazla değişmekle beraber, hava kadar değişmemektedir.

Ilıman iklim kuşağı ülkelerde, yerüstü suları genellikle 0 °C'nin altına düşmemesi de ayrıca önemli bir avantajdır. Ayrıca denizlerde 25-50 metre derinlikte sıcaklık 5-8°C civarında uygun bir sıcaklığa sahiptir. Yerüstü suyundan yararlanma, kaynağın dış etkenlerden etkilenmesi ve zamanla oluşacak aşındırıcı ve zehirli maddelerin buharlaştırıcıda ısı geçiş katsayılarının kötüleşmesine neden olur. Bu yüzden boru demetli ısı değiştiricileri kullanılmaz. Ayrıca buharlaştırıcı kısa zaman aralıklarında temizlenmelidir [17].

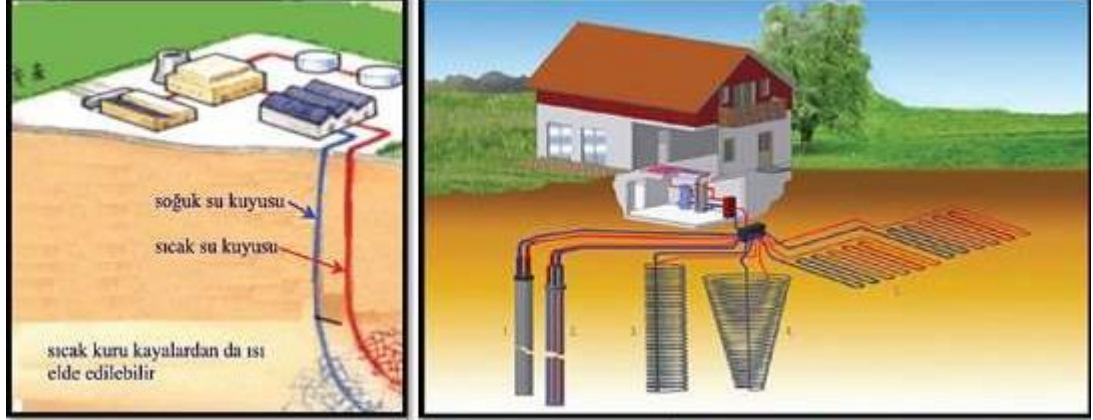
2.1.3. Toprak Kaynaklı Isı Pompası

Toprağın bir yıl boyunca az değişen (1-2 m derinlikte) bir sıcaklığı vardır. Isı küçük derinlikler için (1-10 m) bir yıl boyunca güneşin yeryüzüne ısıdığı ve toprağın depoladığı güneş enerjisinden kaynaklanmaktadır. Güneş yazın öğle zamanlarında 1000 W/m², kışın 50-200 W/m² miktarınca yeryüzüne enerji yayar. Toprağın içinden yeryüzüne akan ısı akısı sadece 0,042-0,063 W/m²-toprak alanı tutmaktadır. Bu nedenle pratikte uygulamalarda ihmal edilebilir [18].

Toprak, sıcaklık sabiti, sıcaklık durumu, yerel ve zamansal varlığı ve de depolama imkânı açısından çok elverişli bir ısı kaynağıdır. Şekil 2.5.'de TKIP uygulama şekilleri gösterilmiştir.

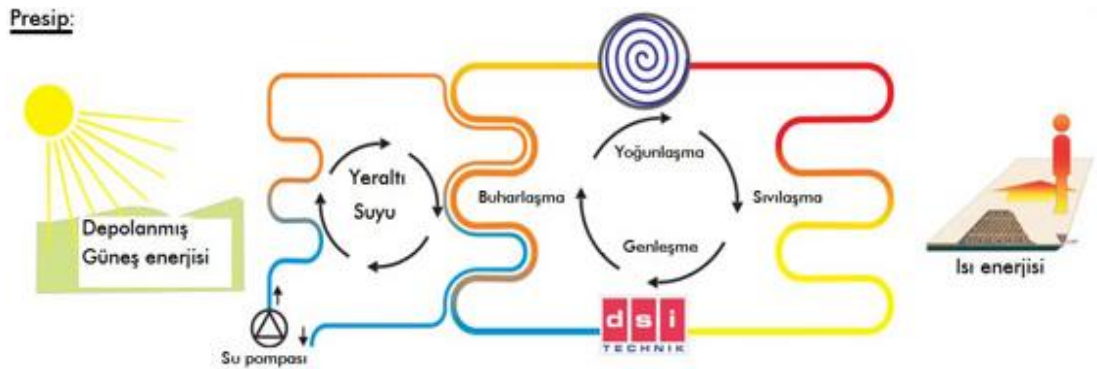
Sakıncaları ise; ısı çekilen elemanların yüksek masrafı, toprağın bünyesinden ve yerel ile zamansal değişimlerinden dolayı ölçülmesinin emniyetsizliği, boş toprak alanına olan ihtiyaç, yerleştirilmesindeki güçlükler, tamir veya değişimlerdir. Bu mahsurların yanında sistematik denenmesi ve pratik deneyimlerin değerlendirilmesine dayanarak,

bugün hala mevcut emniyetsizlikleri ortadan kaldırmak ve uygun metotlarla toprağı küçük taban alanı ihtiyacıyla yetinerek kullanmak uygundur.



Şekil 2.5. TKIP uygulama şekli.

Toprak altına gömülen borulardan doğrudan soğutucu akışkan veya daha ucuz olması bakımından, genellikle, salamura geçirilir. Bu ısı geçişini sağlayan yüzeyler (toprak ısı değıştiricileri), yatay ve dikey olmak üzere iki şekilde yerleştirilir. Toprağın bileşimi, yoğunluğu, içerdiği nem miktarı ve ısı çekilen derinlik, toprak ısı değıştirici seçimini ve boyutlandırılmasını etkiler. TKIP ısı çevrimi Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. TKIP ısı çevrimi.

BÖLÜM 3

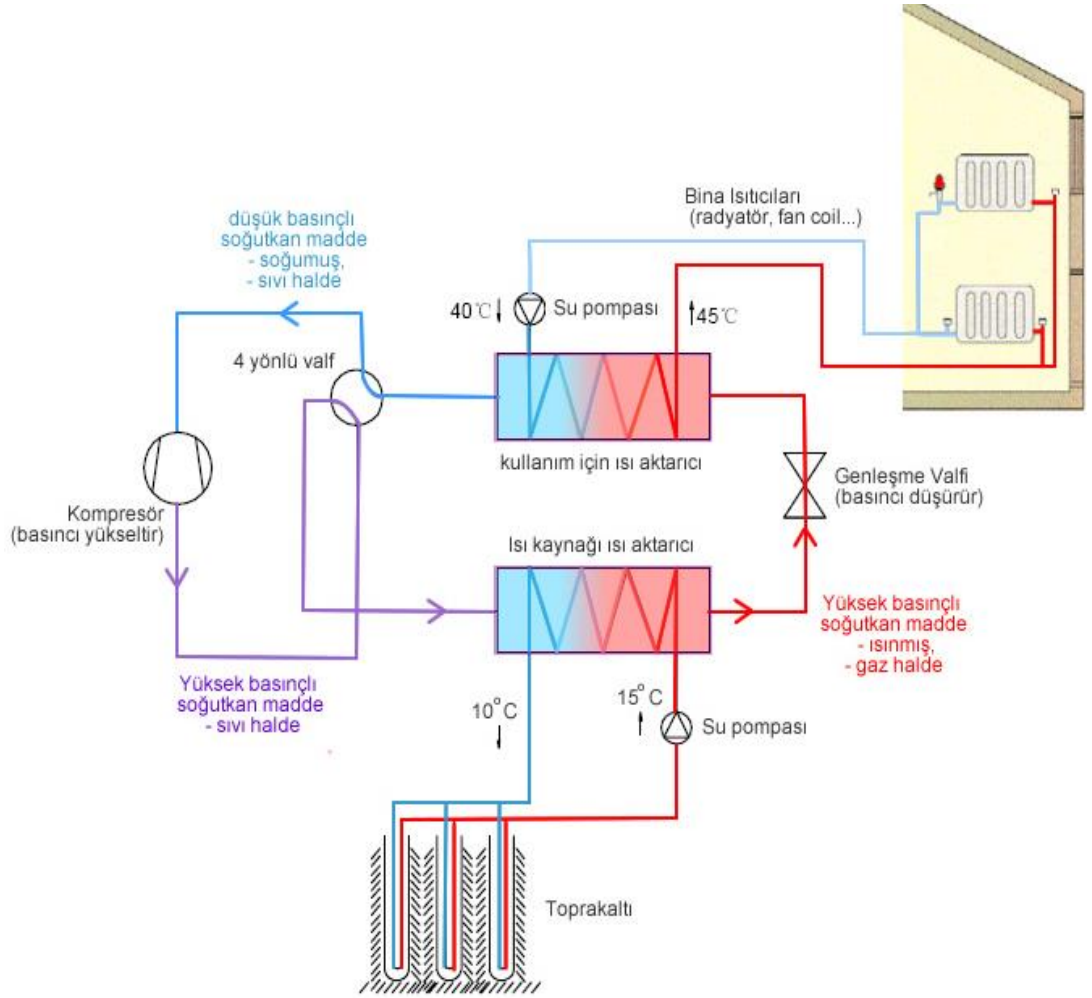
TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASI

3.1. TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPALARI

Günümüzde enerji ihtiyacını karşılamak için ülkelerin kısa-orta-uzun vadeli politikalarla yenilenebilir enerji kaynaklarından her alanda ve olabilecek en yüksek verimle faydalanmaları artık bir zorunluluktur.

Temel yenilenebilir enerji kaynakları; su, rüzgâr, güneş ve yeraltı sıcaklığı temelinde oluşan enerjilerdir. Bu enerji kaynaklarını gelişen teknoloji ile ya elektrik enerjisine dönüştürerek ya da ısıtma veyahut soğutma amaçlı kullanılması artık mümkündür. İşte bu enerji kaynaklarından biri Güneşin ve Dünya çekirdeğinin ısıttığı toprak ısısının alınması prensibine dayanan TKIP sistemidir. Toprak üstündeki rüzgâr, gece-gündüz gibi sıcaklık değişiminden etkilenmez belli bir derinlikte yaz-kış sıcaklık değeri sabit kalmaktadır. Bu derinlikten sonra dünya çekirdeğine doğru inildikçe de bu sıcaklık değeri artmaktadır. TKIP sisteminin basit kullanımını Şekil 3.1’de gösterilmiştir.

Bilindiği üzere “enerji vardan yok edilemez; yoktan da var edilemez”, enerji sadece form değiştirebilir. Burada da asıl enerji kaynağı toprağın (yer kabuğu) güneşten emdiği ve dünya çekirdeğinden aldığı ısı enerjisidir. İşte bu enerjinin faydalı enerjiye çevrimi için insanların yardımına ısı pompaları cevap vermiştir.



Şekil 3.1. Isı pompası basit çalışma şekli.

3.1.1. Neden Toprak Isı Kaynağı Olarak Kullanılmalı

Mevcut şartlarda ısıtma/soğutma sektörünün bir başka deyişle enerji sektörünün geleceğini iki temel unsur belirleyecektir. Birincisi klasik enerji kaynakları olarak adlandırılan fosil yakıtlarının hızla tükenmekte oluşu, fosil yakıt türevleri olan Karbon (C) esaslı enerji kaynakları arz-talep dengesizliği nedeni ile türlerine göre 30-100 yıl arası bir ömre sahiptirler. Klasik enerji kaynağı olan fosil yakıtlar tükenmektedir. Karbon esaslı enerji kaynaklarındaki azalma ve buna bağlı olarak bu enerji kaynaklarının fiyatının gittikçe artması bizleri yeni ucuz ve çevreyi koruyan enerji kaynaklarını bulmaya itmiştir. Bir dönem, varili 9 \$ olan petrol, bugün 50-60 \$

aralığında seyretmektedir ve bu fiyatın 150\$ sınırına yaklaştığı dönemlerde olmuştur. Bu nedenle de enerji maliyetlerinin ısıtma-soğutma sistemlerinin seçimini ve kullanımını etkileyen en önemli parametrelerden biri olduğu söylenebilir. Özellikle enerji kaynakları olarak dışa bağımlı ülkelerde, enerji maliyetlerindeki artış daha verimli cihaz (daha az enerji ile verim elde edilen) ve sistemlerin kullanılması gerekliliğini doğurmuştur. İkinci olarak, Fosil yakıtların kullanılması sonucu ortaya çıkan çevre kirliliği ve küresel ısınma (Fosil yakıtların yakılması sonucu ortaya çıkan ürünler (CO₂, CO, NO_x, SO₂,...) insan sağlığını ve doğayı tehdit etmektedir. Kyoto Protokolü gereğince CO₂ seviyelerini düşürmek isteyen ülkeler CO₂ emisyon değerlerinin düşürülmesi için tedbirler almaktadır.

İlk toprak kaynaklı ısı pompasının patenti 1912 yılında İsveç'te alındı ve 1940'ların ikinci yarısı itibaren de Amerika'da kullanıldı. İlk olarak şehirlerden uzak yapılan yapılarda kullanılması ile başlayan sistem zamanla yüksek binalarda da kullanılmaya başlandı. İlk uygulamalar da her ne kadar yüksek verimli olsa da ısı pompalarının pahalı olması nedeniyle özel bir müşteri kitlesi olan bu sistem, son 20 yılda sağladığı enerji tasarrufu nedeniyle, artan kullanım ve ucuzlayan fiyatlarıyla hızla artan birçok farklı bir kullanıma sahip oldu. Bugün bazı Avrupa Birliği ülkelerinde gelecek 25 yıllık programlarda ülke genelinde %30-50 oranında ısı pompası kullanılmış yapının olması konusunda politik hedefler atılmıştır. Türkiye'nin AB ile uyum çerçevesinde en son yayımlanan 2009/28/EC Avrupa Birliği Direktifi'nde, her bir üye ülkenin 2020 yılında brüt nihai enerji tüketimindeki yenilenebilir enerji payınının AB'nin 2020 yılındaki ortak hedefi olan 20-20-20 hedefi ile uyumlu olacağı, ayrıca ulaşım sektöründeki yenilenebilir enerji kaynakları payının sektörteki nihai enerji tüketiminin en az %10'u olması gerektiği belirtilmektedir [19].

Yine ülkemizin de dahil olduğu Kyoto Protokolü de bu çalışmalardan bir tanesi olup sera gazı emisyonlarının azaltılması en önemli hedef olarak ortaya konulmuştur.

Bugün toprak kaynaklı ısı pompaları Avrupa ve Amerika'da enerji tasarruf amaçlı olarak devlet ve çevre örgütlerince tavsiye edilen bir sistem niteliğine kavuştu. Genel

kullanımda ve imalatçılarda bu 2 kıta arasında ciddi yaklaşım farkı mevcuttur; Avrupa'da ısıtma amaçlı, genelde doğal soğutma yapan, şık tasarımda, sudan suya ağırlıklı, daha yüksek maliyetli cihazlar, Amerika'da ise soğutma amaçlı, ısıtmada yapan, sudan havaya ağırlıklı, yüksek adet nedeniyle daha ekonomik, görsel amaçlı olmayan cihazlar yapılmaktadır. Türkiye'de ise toprak kaynaklı ısı pompalarının kullanımı daha ziyade enerji tasarrufuna ve soğutmaya yöneliktir. Cihazlar soğutma ve ısıtma amaçlı kullanılmaktadır. Kullanım alış veriş merkezleri (ticari uygulamalar) ve villa uygulamaları şeklindedir. Son üç yıl boyunca AVM deki kullanımında yoğun bir artış olmuştur. Bu çalışmada toprak-su kaynaklı ısı pompalarının öncelikle çalışma şekilleri, farklılıklarına ve montajına ilk olarak ele alınıp TKIP özellikleri ve uygulama şekilleri hakkında detaylı bilgi verilmeye çalışılacaktır.

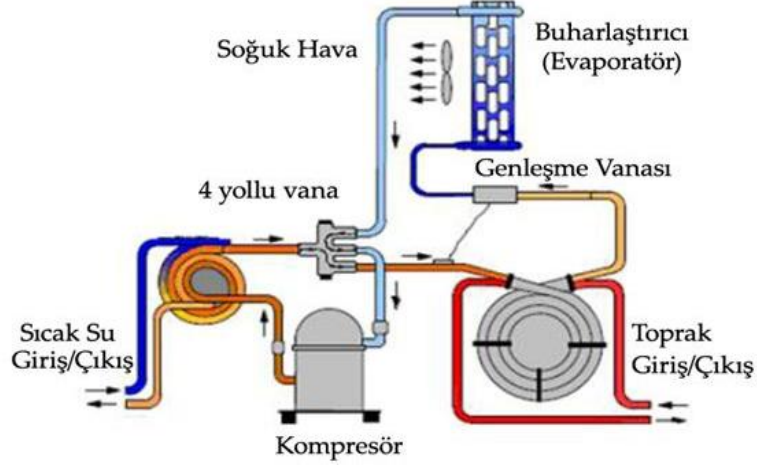
3.1.2. TKIP Sistemlerinin Çalışma Şekli

Toprak-su kaynaklı ısı pompalarının (Buradaki su kaynağı yer altı su kaynağıdır, harici olarak yüzey su kaynaklarında da ısı pompası uygulaması olmaktadır) klasik hava kaynaklı bir ısı pompasından çalışma olarak bir farkı yoktur. Tüm ünitelerde; direk genleşmeli evaporatör ve fanı, kompresör, elektrik panosu, hava filtresi ve su soğutmalı (kondenser) serpantini mevcuttur. Fark kondenser ünitesinin hava soğutmalı bir kondenser olmayıp, su soğutmalı bir kondenser olmasıdır.

3.1.2.1. TKIP Soğutma Amaçlı Çalıştırılması

TKIP bir ortamı soğutmak için çalıştırılması durumunda kondenser devresine kaynak (toprak, su kaynağı) tarafından soğutulmuş olarak giren su ısınarak kondenseri terk eder. Kondenser de toprak veya su kaynağı tarafından ısısı alınmış olan soğutucu akışkan, kısılma vanasından geçerek basıncı düşürülür ve evaporatöre gönderilir. Evaporatör üzerinden bir fan veya pompa yardımıyla geçirilen hava veya su soğutulur. Soğutulan hava direk olarak veya mahale kanallar vasıtasıyla gönderilir. Soğutulmuş olan akışkan hava değil su ise bir hava bir klima santraline veya mahal içerisindeki bir fancoil ünitesine gönderilerek soğutma işlemi gerçekleştirilir.

Evaporatör içindeki gaz kompresör vasıtasıyla tekrar emilir, basıncı ve sıcaklığı artırılarak tekrar kondansere gönderilir (Şekil 3.2.).



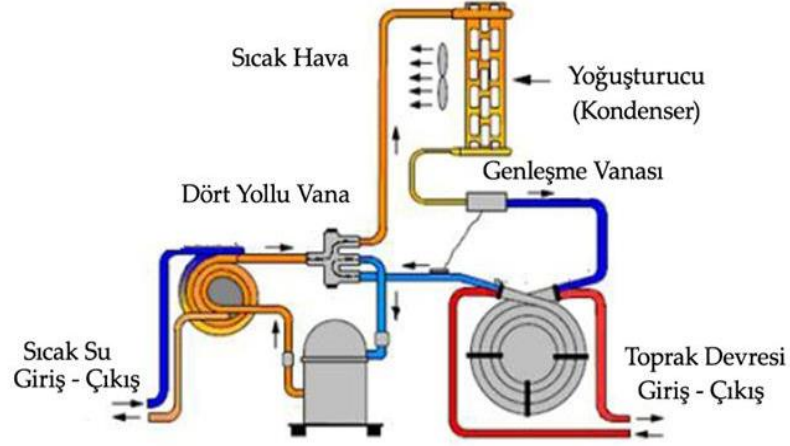
Şekil 3.2. Soğutma aşamasında TKIP çalışma şekli.

3.1.2.2. TKIP Isıtma Amaçlı Çalıştırılması

Isıtma amaçlı kullanımda ise TKIP cihazında ki bir dört yollu soğutucu gaz vanası ile kondansere ile evaporatörün yerleri (görevleri) değiştirilerek işlem gerçekleştirilir. Örneğin soğutma uygulamasında kondansere ısıtma amaçlı kullanılırken ısıtma uygulamasında evaporatör görevi üstlenir. Dolayısıyla kaynaktan gelen su bu durumda ısıtılmayıp soğutulmuş olarak geri gönderilir (Şekil 3.3).

Isı pompası cihazlarının çalışma şartları yıl boyunca aşağıdaki şekilde değişir; genel yaklaşım prensibi çerçevesi ile kaynaklara göre ısı pompası sıcaklık çalışma değerleri;

- Hava - 20 den + 50 e kadar değişir,
- Su + 8 den + 30 a kadar değişir,
- Toprak + 10 dan + 20 ye kadar değişir.



Şekil 3.3. Isıtma aşamasında TKIP çalışma şekli.

Çevre şartları seçilen cihazın çalışma şeklini (verimini, ömrünü, bakım sıklığını vb.) direk olarak etkiler. Örnek verecek olursak 30 ° C dış ortam sıcaklığına göre seçilmiş bir cihaz 40 ° C dış şartlarda çalıştığında istenilen kapasiteyi sağlayamama (konforsuzluk), planlanandan daha fazla enerji tüketilmesi, arızaların çoğalması ve cihaz ömrünün azalması kullanım sorunu oluşabilir. Buna benzer örnekler düşük dış sıcaklık şartları içinde verilebilir.

Unutulmamalıdır ki; ısı pompası tasarımı doğru ve gelecekte olması ihtimal ihtiyaçlara en uygun adapte olacak şekilde tasarlanması hayattır. Isı pompa sistemlerinde toprak ya da su kaynağına gömülen ısı taşıma borularına sonradan müdahale etmek yüksek maliyetlidir; ayrıca tasarım hatası olması durumunda kullanılan kaynakta donma tabiri edilen ve çözülmesi imkansız olan sıkıntılı durumlar vardır. Ayrıca ihtiyaç duyulan enerji miktarının sistem ömür süresince değişebilecek olmasından dolayı, yüksek seçilmesi faydalı olacaktır.

3.2. TKIP SİSTEMLERİNİN GELİŞİMİ

İlk toprak kaynaklı ısı pompasının patenti 1912 yılında İsveç'te alındı ve 1940'ların ikinci yarısı itibaren de Amerika'da kullanılmaya başlanmıştır.

TKIP'e olan ilgi, Oklahoma Eyalet Üniversitesi'nde, güneş enerjisi takviyeli ısı pompası sistemleri üzerine yapılan araştırmalar sırasında ortaya çıktı. Yüzey alanı/hacim oranı büyük olan sistemlerin (uzun ve ince bir tank ya da bir boru) en iyi olduğunu anlamak uzun sürmedi. Enerjinin, kolektörler yerine topraktan daha kolay ve daha ucuza elde edilebileceği görülünce, güneş enerjili sistemlere olan ilgi azaldı. TKIP üzerinde ticari ürüne yönelik ilk çalışmalar ikinci dünya savaşından sonra başlamış ve son 20 yıl içerisinde bu konu üzerindeki çalışmalar iyice yoğunlaşmıştır. 1950'lerde, önce Ingersoll daha sonra Penrod topraktan, borular vasıtası ile ısı çekilmesinin matematik olarak modellenmesi üzerinde çalışmış ve topraktaki sıcaklık dağılımlarının analizlerini elde etmişlerdir.

TKIP uygulamaları, ilk olarak yerleşim yeri dışlarında yapılan müstakil konut projelerinde başlamış, zamanla yüksek binalarda da kullanılmaya başlanmıştır. İlk uygulamalar da her ne kadar yüksek verimli olsa da ısı pompalarının pahalı olması nedeniyle özel bir müşteri kitlesi olan bu sistem, son 20 yılda sağladığı enerji tasarrufu ve ucuzlayan ekipman fiyatlarıyla hızlı bir artış göstermiştir. Bugün TKIP Avrupa ve Amerika'da enerji tasarruf amaçlı olarak devlet ve çevre örgütlerince tavsiye edilen bir sistem niteliğine kavuşmuştur.

Genel kullanımda ve imalatçılarda bu 2 kıta arasında ciddi yaklaşım farkı mevcuttur; Avrupa'da ısıtma amaçlı, genelde doğal soğutma yapan, şık dizaynda, sudan suya ağırlıklı, daha yüksek maliyetli cihazlar, Amerika'da ise soğutma amaçlı, ısıtmada yapan, sudan havaya ağırlıklı, yüksek adet nedeniyle daha ekonomik, görsel amaçlı olmayan cihazlar yapılmaktadır.

Son yıllarda bu konuda özellikle Amerika Birleşik Devletleri, İsveç ve Kanada'da çalışmalar yapılmıştır. ABD'de Kavanaugh dikey toprak ısı değiştiricilerinde ısı geçişini incelemiş, ayrıca U-tüp ve eş eksenli dikey ısı değiştiriciler üzerinde çalışmalar yapmıştır. Eş eksenli dikey ısı değiştiricileri üzerinde, ayrıca Oklahoma Eyalet Üniversitesi, Kuzey Carolina Eyalet Üniversitesi ve Louisiana Eyalet

Üniversitesi'nde araştırmalar yapılmıştır. İsvetç'te ise çalışmalar, bölünmüş tip ısı değiştircileri üzerinde yoğunlaşmıştır.

Yine ABD'de, Bose çeşitli şekillerde yerleştirilmiş yatay toprak ısı değiştircileri üzerinde çalışmıştır. Bose toprak kaynaklı ısı pompalarının, güneş enerjisinden kaynak olarak faydalanan ısı pompalarıyla birlikte çalışmalarını da incelemiştir. Yine bu konu üzerinde Avrupa Ekonomik Topluluğu Komisyonu, bir fizibilite çalışması yaptırarak, sistemin Kopenhag, Paris ve Marsilya'da uygunluğunu araştırmıştır [20].

Ülkemizde yeni tanınan TKIP uygulamaları özellikle alışveriş merkezi, otel, niversite gibi büyük yapılı binalarda uygulanırken, dünyada daha yaygın bir uygulama alanı elde etmiştir. Çizelge 3.1'de 2000 yılı verilerine göre dünyadaki TKIP uygulama durumu gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. 2000 yılı verilerine göre dünyadaki TKIP uygulamaları gösterilmiştir.

lke	Kurulu G MW	Enerji Tüketimi		Uygulanan Adet	12 kW Eğdeğer Adet
		TJ/Yıl	GWh/Yıl		
Avustralya	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
ek Cum.	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	33
Macaristan	3,8	20,2	5,6	317	317
İzlanda	4	20	5,6	3	333
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
Polonya	26,2	108,3	30,1	4000	2183
Sırbistan	6	40	11,1	500	500
Slovakya	1,4	12,1	3,4	8	117
Slovenya	2,6	46,8	13	63	217
İsvet	377	128	1146,8	55000	31417
İsviçre	500	1980	550	21000	41667
Türkiye	0,5	4	1,1	23	43
İngiltere	0,6	2,7	0,8	49	53
ABD	4800	12000	3336,8	350000	400000
Toplam	6875,5	23286,9	6453,1	512678	572949

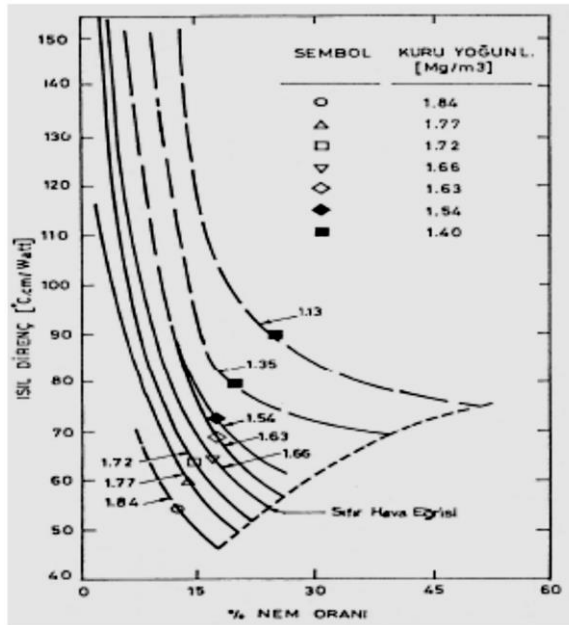
3.3. TKIP UYGULAMASI ÖNCESİ BİLİNMESİ GEREKLİ PARAMETRELER

3.3.1. Toprak Özellikleri

Toprağa ait yoğunluk, nem oranı, toprağı oluşturan malzemeler ve onların tanecik yapısı, toprağın ısı geçirgenlik katsayısını belirlemedeki en önemli parametrelerdir. Toprak ısı geçirgenlik katsayı değeri ise TKIP tasarımının en temel hesaplama verisidir. Kısaca bu değişkenlere kısaca değinmek gerekmektedir:

3.3.2. Toprak Isı Geçirgenlik Katsayısı Parametreleri

Toprak yoğunluğu, topraktaki organik ve inorganik bileşenlere, coğrafi konumunda, güneşlenme miktarına göre değişmektedir. Isı iletim katsayısını belirlemek için, kuru yoğunluk (g) ve nem oranı (ψ) belirlenmelidir. Toprak Özellikleri Ölçüm Standartları American Society for Testing Materials (ASTM)' de mevcuttur (Şekil 3.1).



Şekil 3.4. Toprak ısı direncinin nem ve yoğunluk içeriğine göre değişimi [33].

Şekil 3.4’de değişik yoğunluklarda ve buna karşı gelen nem oranlarında, toprağın ısı direnci gösterilmektedir. Sıfır hava eğrisi, verilen yoğunlukta topraktaki en düşük ısı direnci göstermektedir. Nem oranı artışı, toprak yoğunluğun da nem miktarı artışı, toprak ısı direncinin düşmesine sebebiyet vermektedir. Çünkü sabit kuru yoğunlukta, nem oranı arttıkça, daha düşük ısı iletim katsayısına sahip olan hava, yerini suya bırakır. Bunlara ek olarak; tanecik yapısı için, toprağın ısı geçirgenlik kapasitesini, toprak içindeki katı tanecik malzemeler önemli ölçüde etkiler. Çizelge 3.2’de toprakta bulunan bazı materyallerin ısı karakteristikleri verilmiştir [21].

Çizelge 3.2. Topraktaki bazı materyallerin ısı karakteristikleri.

Materyal	Isı direnç (mC°/W)	Isı İletim Katsayısı (W/ mC°)
Kuartz	0,11	9,2
Granit	0,25-0,28	4,0-3,6
Kireç Taşı	0,45	2,2
Kum Taşı	0,58	1,7
Mika	1,70	0,59
Organik Materyaller Islak/Kuru	4/7	0,25/0,14
Su	1,65	0,6
Hava	41,00	0,025
Buz	0,78	2,23

TKIP tasarımında borulama işlemi esnasında yüksek yoğunluğu ile kuartz eklemek tercih edilen bir işlemdir. Bu materyal nem tutucu özelliğe sahip olduğundan ve kil bağlantılı olarak bulunmasından ötürü; killi topraklar tercih edilen topraklar arasında ilk sırayı alırlar [22]. Toprak özelliklerinin tipik karakteristikleri AIEE tarafından belirlenmiştir. Bu değerler Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Toprak türlerinin ısı karakteristikleri.

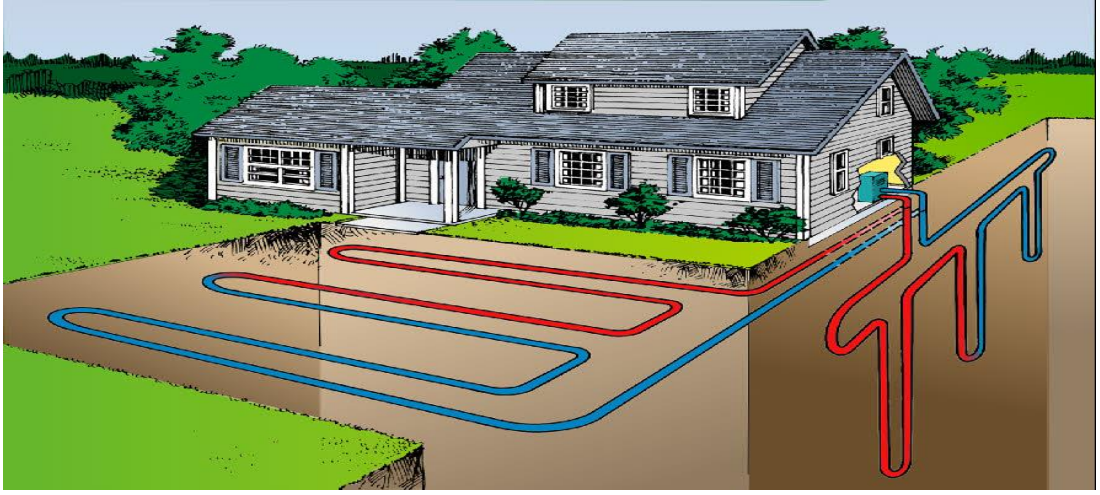
Materyal	Isıl direnç (mC°/W)	Isı İletim Katsayısı (W/ mC°)
Gevşek Kuru Kum	1,75	0,57
Nemli Kil	0,8-0,9	1,25-1,11
Nemli Kumlu Kil	0,8-0,9	1,25-1,11
Sıkı Kum	0,8-0,9	1,25-1,11
Kül Dolgu	2,00	0,50

3.4. UYGULAMA YÖNÜNDEN TKIP ÇEŞİTLERİ

Uygulama çeşidi, kaynak alandan ısı enerjisi çeken borulamanın uygulamasına göre ikiye ayrılır. TKIP tasarımı yapılırken, toplam ısı yükü ihtiyacı belirlendikten sonra boru serme tipi ve sistem tasarımı şeklinin seçmeden önce belirlenmesi gerekli başlıca kriterler aşağıdadır:

- Sistemin ısıtma/soğutma kapasitesi
- Yıllık ortalama toprak sıcaklığı
- COP değerleri (Isıtma/Soğutma için ayrı ayrı)
- Soğutma için sisteme giren su sıcaklığı
- Isıtma için sisteme giren su sıcaklığı
- Toprak direnci
- Boru direnci
- Isı değiştirici tipi
- Soğutma için çalışma faktörü
- Isıtma için çalışma faktörü

Genel olarak; TKIP ısı kaynağı olarak toprak kullanılırken ısıyı çeken su-antrifiz karışımı (soğutucu diğer gazlarda kullanılmaktadır R410A,R407C,REf134 vb.), ısı enerjisi taşıyıcısı olarak borular kullanılmaktadır. İşte kullanılan bu boruların serimine göre TKIP sistemleri ikiye ayrılmaktadır. Yatay ve dikey serme olarak. Yer yüzeyine göre paralel olarak katmanlı serişe “yatay”, dik bir açı ile açılan sondaj deliklerine yapılan borulama tekniğine de “dikey” serme uygulaması denmektedir. Yatay ve dikey boru serme tekniği basitçe Şekil 3.5 gösterilmiştir.



Şekil 3.5. TKIP boru uygulama şekilleri.

3.4.1. Yatay Sermeli Toprak Kaynaklı Isı Pompaları

Toprak altına inildiğinde sıcaklık yaz – kış çok az bir farklılık göstermekte ve sonsuz bir kaynak sağlamaktadır. Özellikle soğuk hava şartlarının yoğun olduğu ülkelerde ısıtma ihtiyacı için toprağın kaynak olarak kullanılması fikri ile Toprak Kaynaklı Isı Pompası fikri yaşantımıza girmiştir. Bundan önce gerek ülkemizde gerekse de yakın coğrafyalarda (özellikle İç Anadolu da kullanılan erzak-su-kar gibi ihtiyaç malzemelerini saklamak için kullanılan dehlizler)kullanılan bir teknik olsa da bilimsel ilk uygulamalar İskandinav ülkelerde başlamıştır.

İskandinav ülkelerinde, Kanada ve Amerika da toprak altına yatay veya dikey döşenmiş borular ile enerji temini, 80 yıla yakın süredir kullanılmakta olan ve binlerce ünitenin çalışır vaziyette olduğu örnekler içermektedir. Genel uygulama, kullanılacak üniteler için gerekli olan toplam enerji atımına ve toprak yapısına uygun olarak hesaplanan polietilen boruların toprak altına yerleştirilmesi ve bunun içinden sistem suyunun devir-daim edilmesidir.

Toprağa gömülü boruların içinde doğrudan soğutucu akışkan kullanmak, soğutucu akışkan ihtiyacının artmasına neden olur. Bu nedenle soğutucu akışkanın pahalı olmasından dolayı genellikle ısı taşıyıcı akışkan olarak boru içerisinde su-antifriz karışımı kullanılmaktadır. Toprak altında depolanmış olan enerji, genellikle donma sıcaklığı yaklaşık -15°C olması gereken bir antifriz-su karışımı ile taşınır. Böylece bu karışımın işletme sırasında donması önlenmiş olur [8].

Özellikle ısıtılacak ya da soğutulacak mahal alanı küçük olan yapılarda, ev villa ve benzeri gibi yapılarda kullanılan TKIP uygulamasıdır. Bilindiği üzere dış hava sıcaklığından, toprak altındaki sıcaklık değeri kışın daha yüksek yazın ise daha düşük olmaktadır. Bunun için ısı enerji miktarı düşük uygulamalarda toprağın açılması ya da belli derinliklerde hendekler açılarak içine ısı taşıyıcı boru döşenerek kapatılması şeklinde uygulanan bu sistemin ilk maliyeti de oldukça düşüktür. Özellikle TKIP montajı ile bina inşaatı ile aynı anda olması durumunda kazı ve uygulama maliyeti yok denecek kadar az olmaktadır.

Isı değiştiricisinin kapasitesi borular arasındaki mesafeye bağlıdır. Yatay ısı değiştiricileri, su-antifrizin akış yönüne göre seri ve paralel olarak sınıflandırılır. Bununla beraber toplam kazı uzunluğunu kısaltmak amacıyla tek bir hendek içerisine birkaç boru yerleştirilebilir. Her kanala birden çok borunun yerleştirildiği çok borulu sistemde, toplam kanal uzunluğu azalırken; aynı kanalda birden çok boru olması ve bu borular arasında birbirlerine ısıl engelleme yapmaları nedeniyle toplam boru uzunluğu artırmaktadır.

Bu sistemde topraktan ısıyı çekmek için borular toprağın altına yatay olarak döşenir. Yatay boruların toprağa gömülmesi için tavsiye edilen derinlik, toprağın don hattının altında en az 1,4-2 m arasında değişmektedir. Boruları fazla derine gömmek, güneşin topraktan kısmen çekilen enerjiyi yenileme kabiliyetini azaltır. Borular fazla derine yerleştirilemediği için özellikle karasal iklimlerde yer altı boru devresinde donmayı önlemek ve ısı pompasının performansını artırmak için donmaya dayanıklı antifriz-su çözeltileri kullanılmalıdır [23].



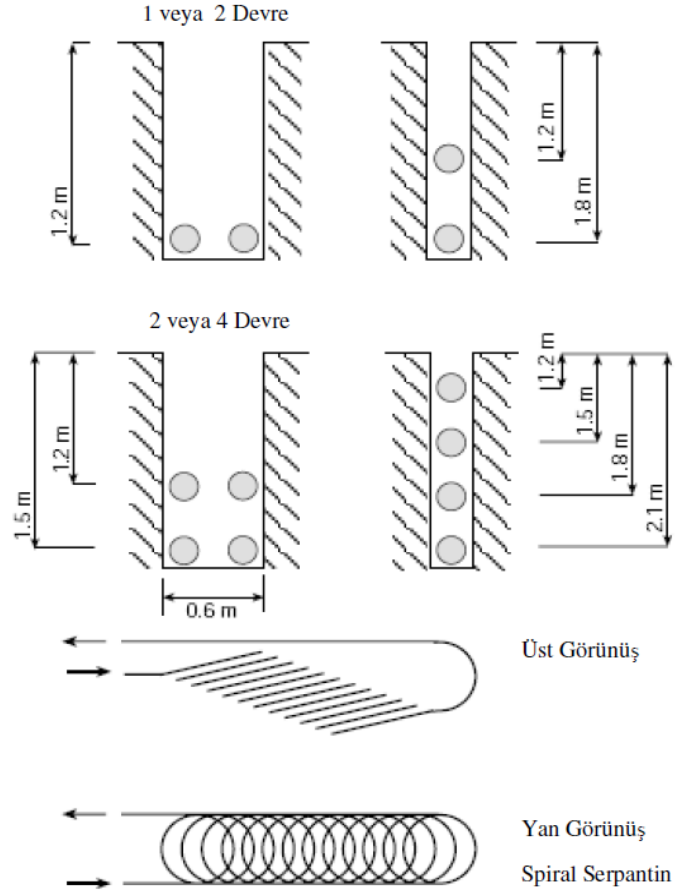
Şekil 3.6. Klasik ve Slinky tipli borulama tekniği.

Hendek kazılması durumunda hendek genişliği en az 1 m civarında olmalıdır.

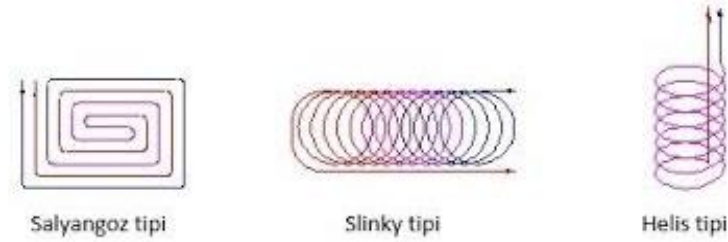
Yatay serme uygulamalarında serim yapılacak alan çok önemli olduğundan, alandan daha verimli faydalanmak için çeşitli boru serme şekli uygulanmaktadır. Döşemede kullanılan Plastik borular (PE) toprak altında en az 1.2 – 2 m en çok derinlik hesabı için toprak altı sıcaklık değerleri ölçülmelidir, derinliğe ve seçilen boru çapına bağlı olarak yaklaşık 0.5 – 0.7 m mesafe ile birbirlerine paralel olarak döşenirler. Böylece her m² alan için yaklaşık 1.43 ile 2.00 m arasında boru döşenir [24].

Helezon (silinky) yöntemiyle (Bobin Tipi serpantin tipi) yer ısı değiştiricisi aynı verimde daha ucuza mal olarak toprağın verebileceği ısı miktar hesaplanarak borunun belli bir alana yayılması prensibi ile kullanılmaktadır. Helezon yatay serme, klasik yatay serme yöntemi kadar fazla kazının yapılmadığı fakat sondajla yatay serme arası bir boru uzunluğu kullanarak enerjinin alındığı bir yöntemdir. Yerleşim yerlerinde gittikçe yaygınlaşan bir uygulamadır. Avantajı ısı transferi alanını küçük hacme sığdırmasıdır. Daha az yer ve daha sığ hendek istemesi ev sahipleri için en büyük avantajdır. Toplam kanal uzunluğu, tek borulu sistemin %20-30'u arasındadır. Ancak bu sistemde de görülen ısı engelleme nedeniyle toplam boru boyu artmaktadır. Klasik ve helezon tipi boru serimi örneği Şekil 3.6.'da gösterilmiştir.

Toprak ısı değiştirici yüzey alanından tasarruf etmek amacıyla, aynı hacimde daha az alan kaplayan özel ısı değiştiriciler geliştirilmiştir. Bunlardan birisi sarmal tip ısı değiştiricilerdir. Sarmal tip ısı değiştiriciler Amerika'da yaygın olarak kullanılmaktadır ve yatay olarak geniş veya dikey olarak dar bir aę seklinde yerleştirilirler [24]. Pratikte en fazla kullanılan yatay ısı değiştirici sistemi aynı hendek içerisine yan yana yerleştirilen yatay 2 borulu sistemdir. Kısıtlı arazi koşullarında kullanılan bir başka yatay boru dizaynı ise her bir hendeğin içinde 4 veya 6 borunun bulunduğu boru dizaynıdır. Bu dizayn Őekillerini artırmak mümkündür. Şekil 3.7., 3.8.'de uygulamalarda sıklıkla kullanılan boru serim Şekilleri gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Boru mesafeleri ve borulama şekilleri.



Şekil 3.8. Dar alanlarda sık kullanılan borulama şekilleri.

Borular, yüzey şartlarında en az düzeyde etkilenmeleri amacıyla, genellikle 0.5-2.5 m derinlikte döşenirler. Bu mesafe arttıkça, ısı değiştiricisinin COP değeri ve toprak sıcaklıklarının daha uygun olması, gerekse boruların yüzey şartlarından daha az etkilenmesi sebebiyle verimlilik artar. Ancak hafriyat masrafları da artacağından gömme derinliğine ekonomik analiz sonucu karar verilmelidir. Şayet tek bir hendek içerisinde

birkaç kat boru döşenecekse borular arası kot farkı genellikle 0.3-0.5 m olmalıdır [25]. Ancak bu değer pratik uygulama örneklerinde en az 0.5 m alınır [16,26].

Borular döşendikten sonra, dikkat edilecek bir başka husus da, toprak ve boru arasındaki ısı geçişini iyileştirmek amacıyla çıkarılan toprağın yerine yerleştirilirken yoğunluğunu artırmak ve ısı iletim verimini artırmak için dikkatlice (borulara zarar vermeden) sıkıştırılması gerekir. Literatürde sıklıkla kullanılan boru ölçüleri 1” den başlayarak 2” çapına kadar gider. Üreticiler yatay serme tipli toprak ısı değiştiricilerinde, 700 m boru boyu, 2” boru çapı ve 1 l/s akışkan debisi kullanılabilir üst sınır değer olarak kabul edilir (bu kısıtlamanın en büyük nedeni mevcut kullanılan ısı pompası güçlerinin yatay serme de oluşacak basınç kayıplarını karşılayamamasıdır).

Çizelge 3.4. Boru çapı ve boyu arasında tavsiye edilen değerler.

Boru Çapı(inç)	Boru Uzunluğu(m)
¾	≤ 150
1	≤ 230
1-1/4	≤ 900
1-1/2	≤ 1200
2	≤ 2500

Borular genelde; yüzeyden 0,9-1,8 m derinlikte ve 0,9-1,8 m aralıklarla yerleştiriliyordu. Yeraltı konstrüksiyonlu ısı sistemlerinde, toprak türüne bakılmaksızın, yüzeyden 2 m derinliklerde, dış ortam şartlarının sistem performansı üzerinde etkisinin olmadığı gözlenmiştir [27]. Ancak, hendeğin derinliği arttıkça kazı maliyetinin; dolayısıyla ısı sistemin ilk yatırım maliyetinin arttığı da göz ardı edilmemelidir.

Literatürde, en yaygın yatay ısı değiştiricilerinin ¾ , 1”, 1 ½” ölçülü tek borulu 0,5-2,5 m derinliğe ve birbirinden 0,6-2,5 m aralıklarda döşenmiş yatay ısı değiştiricileri olduğunu belirtilmiştir [21]. Bu tip ısı değiştiriciler, genelde temel kabul edilir ve diğer ısı değiştiricilerinin iyilik dereceleri bunlara göre mukayese edilir. Yatay toprak

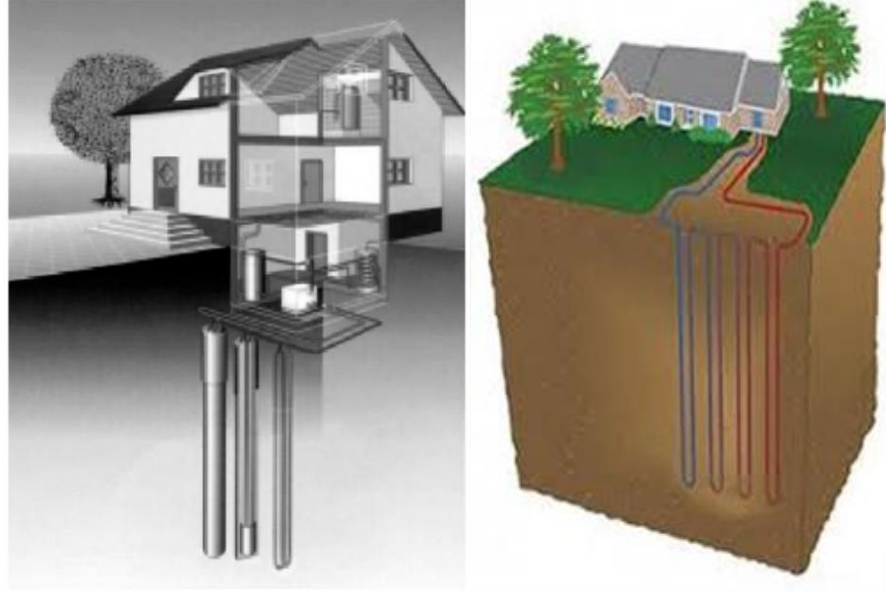
ısı değiştircilerinde, 700 m boru boyu, 2" boru çapı ve 1 lt/s akışkan debisi kullanılabilir st sınır değerleri olarak kabul edilir [22]. Çizelge 3.4 de boru çaplarına göre pratikte uygulanan uzunluk sınırları verilmiştir [21].

3.4.2. Dikey Sondaj Uygulaması

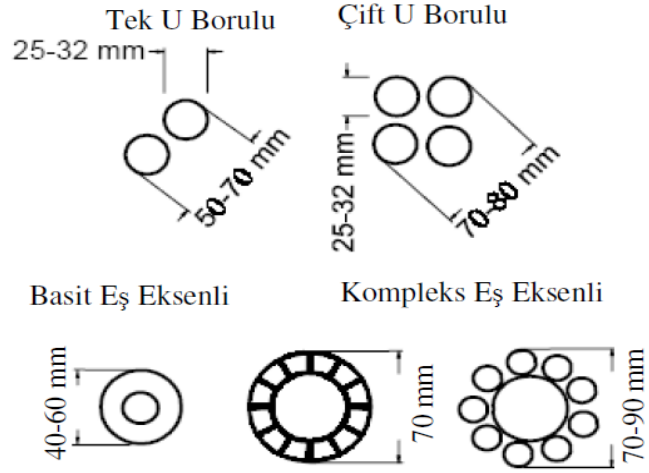
Sondaj makineleri ile açılan kuyulara borular dikey olarak sarkıtılır. Kuyu apı 10 cm -20 cm arasındadır. Kullanılan boruların çapı 3/4" ile 1 1/2" arasında değişir. Kuyu derinlikleri kuyu açma sırasında karşılaşılan toprak tabakalarına bağlı olarak 30 m - 150 m arasında değişebilir. Açılan kuyular arasında sağlıklı bir ısı transferi için minimum 3.5 m, tercihen 6 m bırakılmalıdır. Borulama sonrasında kuyuların üzerine bina yapılabilir, beton veya asfalt dökülebilir. Dikey borulamanın yatay borulamaya göre boru maliyeti daha düşük ancak işçilik maliyeti daha yüksektir. Soğutma ncelikli sistemlerde tercih edilir.

Bu sistemde topraktan ısı çekmek için kullanılan borular toprağa dikey olarak yerleştirilmektedir. Özellikle arazinin kısıtlı, toprağın jeolojik yapısının ise uygun olduğu yerlerde dikey borulama tesisatı uygulanmaktadır. Nötr bölgenin altındaki sıcaklık yıl boyunca sabit olduğundan ve sınırlı bir yüzey alanında yeterli ısı değişim kapasitesi sağlamak gerektiğinden dikey toprak ısı değiştircileri yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Standart dikey toprak ısı değiştircilerinde, plastik borular (polietilen veya polipropilen) dikey olarak açılan bir kuyuya yerleştirilir ve boruların etrafı ısı iletim katsayısı yüksek olan bir dolgu malzemesi ile doldurulur. Sondaj deliğinin derinliği toprak koşullarına ve sistemin kapasitesine bağlı olarak 15 m ile 185 m arasında değişmektedir [24].

Dikey toprak ısı değiştircileri de tıpkı yatay ısı değiştirciler gibi salamuranın akış yönüne göre seri veya paralel tiplerde olabilirler. Dikey toprak ısı değiştircileri yerleştirme şekilleri ve kesit geometrilerine göre U borusu, bölünmüş boru ve es eksenli boru olarak sınıflandırılırlar. şekil 3.9'da TKIP uygulama şekil 3.10'da Boru uygulaması görülmektedir.



Şekil 3.9. Dikey TKIP uygulamaları.



Şekil 3.10. Dikey TKIP boru uygulamaları.

Dikey toprak ısı değiştiricilerin yatay toprak ısı değiştiricilere göre temel avantajı çok daha küçük bir alana yerleştirilmeleridir. Bu sayede çevresinde kısıtlı toprak alanı bulunan yapılar için yatay sistemlere göre daha fazla uygulanabilirliğe sahiptirler.

Örneğin 150 m²'lik bir evi ısıtmak için 9 m²'lik bir alanda açılan 4 adet kuyu yeterli olmaktadır. Ancak dikey borulama sisteminde sondaj kuyusu açma ve boruları

yerleştirme işleminin maliyeti, yani ilk yatırım maliyeti yatay borulama sisteminden çok daha pahalıdır. Ayrıca ciddi bir ön çalışma gerektirmektedir.

Yatay veya dikey sistemin seçilmesi kolaylıkla karar verilecek bir konu değildir. Dikey sistemin temel avantajı, çevrimin ısı olarak daha kararlı bölgeye yerleştirilmesidir. 30 m derinliğindeki toprak, 1 veya 2 m derinliğindeki toprakla aynı sıcaklık çalkantılarına sahip değildir. Bu nedenle, dikey dizayn ısı pompasının kış mevsiminde daha yüksek, yaz mevsiminde ise daha düşük sıcaklıklar vermesini sağlar. Dikey sistemlerin yatay sistemlere olan üstünlüğü ılıman iklimlerde çok önemli değildir. Buna karşın, iklim ne kadar sert olursa, dikey sistemin avantajı o kadar artar [28].

TKIP sistemlerinde kullanılan sondaj deliklerinin sayısı ve derinliği çok geniş bir aralıkta değişmektedir. Bu hususta deneyimli mühendis ve müteahhitlerin varlığı önemlidir. Avrupa’da tek bir sistem için en yüksek sondaj delik sayısı, her biri 70 m derinlikte 154 sondaj deliğine sahip olan The German Air Traffic Control (Deutsche Flugsicherung) merkez binasıdır. New Jersey’de 69 Richard Stockton Kolej’inde bulunan ve her birisi 130 m derinliğinde 400 sondaj deliğine sahip olan sistem, dünyada bulunan en büyük sistemdir. Açılan sondaj deliklerinin çapı 10–12 cm civarındadır. Sondaj deliklerine yerleştirilen boruların çapları da 3/4” ile 2” arasındadır. Genellikle her 1 tonluk (=3.5 kW) ısı pompası kapasitesi için 80 ile 110 m arasında borunun yerleştirilmesi gerekmektedir [24].

Yer ısı değiştiricili ısı pompası sistemlerinin tasarımında, ısı değiştiricisinin döşenmesi gereken alanın azaltılmasının bir amaç olduğu düşünülürse, dikey yer ısı değiştiricili ısı pompası sistemlerinin diğer sistemlerden en büyük avantajı ortaya çıkar. En az boruya ihtiyaç duyma, pompalama enerji ihtiyacının diğer sistemlere nazaran daha az olması, tüm sistemler içinde en az yüzey alanına ihtiyaç duyan sistem olması, toprak sıcaklığının mevsimlik değişimlerinden etkilenmemesi dikey toprak ısı değiştiricilerinin diğer avantajlarıdır. Delme makineleri ve ekipmanları gerektirmesi, delme işleminin hendek açma işleminden pahalı olması dikey ısı değiştiricilerin dezavantajlarından [29].

3.5. TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASININ AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI

3.5.1. Avantajları

Yüksek Etkinlik ve Kararlı Kapasite; Toprak kaynaklı ısı pompaları uygun bir şekilde tasarlandığı zaman, alışagelmış hava kaynaklı ısı pompası ve fosil yakıtlı düzeneklerden daha fazla yüksek bir etki katsayısıyla ve ekonomik olarak işletilir. Çevrim sıcaklıkları dış hava sıcaklıklarıyla çok az değişir. Bu yüzden kapasitesi kararlıdır.

Konfor Kalitesi; Toprak kaynaklı ısı pompaları, gizli soğutma kapasitesini içermeden, yüksek etki katsayısı sağlarlar. Yüksek etki katsayısı, kompresörün basma basıncının emme basıncına oranının azaltılmasıyla elde edilmektedir. Dış hava sıcaklığı, basma basıncının daha düşük limitini gösterdiği için bazı imalatçılar etkinliği yükseltmek için emme basıncını artırır. Bu, konfor ve iç hava kalitesi sorunlarını bir bütün haline getiren zayıf nem almaya yol açar.

Basit Kontroller ve Ekipman; Karmaşık kontroller, konforu ve kısmi yükteki etkinliği sağlamak için gerekli değildir. Toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin giderini düşürmek için pahalı ve özel cihazların kullanılmaması önerilir. Hava debisi, sabit hacimde olup; merkezi kontrol sadece su pompasındaki isteğe bağlı değişken hızlı sürücüdür.

Düşük Bakım Gider; Toprak kaynaklı ısı pompaları, dış ünite olmadan kurulabilirler. Tüm ısı pompası ekipmanı iç ünite seklindedir. Ekipmanda, alışlagelmış ekipmanlar da ortaya çıkan yüksek ve düşük soğutucu akışkan basınçlarıyla karşılaşmaz.

Çevre Dostu; EPA (Environmental Protection Agency) raporuna göre, toprak kaynaklı ısı pompaları, “analiz edilen tüm teknolojilerin en düşük CO₂ emisyonları ve en düşük toplam çevre giderleri” olarak tanıtılmaktadır. İyi tasarlanan ve kurulan

toprak kaynaklı ısı pompalarının etkinliğinin artması, gerekli olan enerji miktarını azaltır. Böylece bundan kaynaklanan kirleticiler ve diğer emisyonlar azaltılır.

Mükemmel Ömür Gideri; Toprak kaynaklı ısı pompalarının ilk yatırım maliyeti yüksek olmasına rağmen, yapım-kullanım ömrü gider hesabı yapıldığı zaman toprak kaynaklı ısı pompalarını belirgin olarak öncü kılan üç karakteristik ortaya çıkar: enerji ve bakım giderlerinin düşük olması ve donanım ömrünün uzun olması

Bunların dışında diğer avantajları da şöyledir;

- Bedelsiz termal enerjinin değerlendirilmesi
- Konvensiyal (sınırlı) enerji kaynakları tüketiminin minimuma indirilmesi
- Kullanılan enerjinin yalnız 1/3'ü bedel ödenerek satın alınır. Kompresör ve sirkülasyon pompalarının çalışmasını sağlayan elektrik enerjisi dışındaki kısım topraktan bedelsiz olarak sağlanır
- Karbondioksit atığı oluşturmaması %100 çevreci
- Baca ve yakıt deposu gibi diğer ısıtma sistemlerinde var olan unsura gerek kalmayışı ve bunların yaratacağı bakım giderlerinin bulunmayışı
- Yakıt depolama ihtiyacı olmadığından enerjiyi kullanmadan önce ödeme gereğinin olmayışı
- Kullanım basitliği
- Sulu ve kuru sistemlerin her ikisinden de mükemmel uyum sağlamaktadır. Radyatör sistemi yerine fan-coil sistemi uygulandığında düşük bedelli soğutma imkanının ancak çalıştığı sıcaklık aralığı diğer sistemlere göre düşük olduğundan yerden ısıtmalara uygundur.
- Isı pompası teknolojisi sayesinde 1997 yılı süresince İsveç'te 12 TW yani 1.700.000 m³ motorin tasarrufu yapılmıştır [30].

3.5.2. Dezavantajları

- İlk Yatırım Maliyetinin Yüksek Olması;
- Yatırım gideri günümüzde standart merkezi ekipmanın giderinin iki katıdır.
- Performansın, Toprak Isı Değiştiricisine Ve Ekipmana Bağlı Olması;
- Nitelikli (Ehliyetli) Tasarımcıların Sayısının Sınırlı Olması;
- HVAC tasarımcıları, daralan konstrüksiyon bütçeleri, artan standart istemleri ve giderek ç Nitelikli Müteahhitlerin Sayısının Sınırlı Olması;
- Ekipmanı Satıcı Karının Az Olması;
- TKIP satıcılar bakımından çekiciliği düşüktür.
- Mevcut yönetimlerce uygulanacak teşvikler olmadan şehir merkezli daire ve küçük binalarda uygulanacak sistemin ilk maliyetinin, diğer kaynaklardan yüksek olması.
- Toprak özelliklerinin zamana bağlı olarak değişmesi projelendirmede güçlük yaratan sebeplerden birisidir. Aynı şekilde ısı pompası çalıştırıldığı andan itibaren toprağın özelliklerini değiştirir. Örneğin; ısı pompası ile ısıtma yapıldığı takdirde, toprak ısı değiştiricisine yakın yerlerde toprak sıcaklığı düşer. Dolayısıyla bu bölgede nem miktarı ve toprak özellikleri değişir. Geri dönüş suyu sıcaklığı da aynı sebeple düşer ve bu da, ısı pompasının gerek kapasitesini gerekse ısıtma tesir katsayısını doğrudan etkiler. Soğuk yörelerde, ısıtma yapıldığı süre içinde toprağa yeteri kadar ısı girişi olmazsa; kış aylarında topraktan sürekli çekilen ısı nedeniyle, toprağın donması tehlikesi de mevcuttur [9],

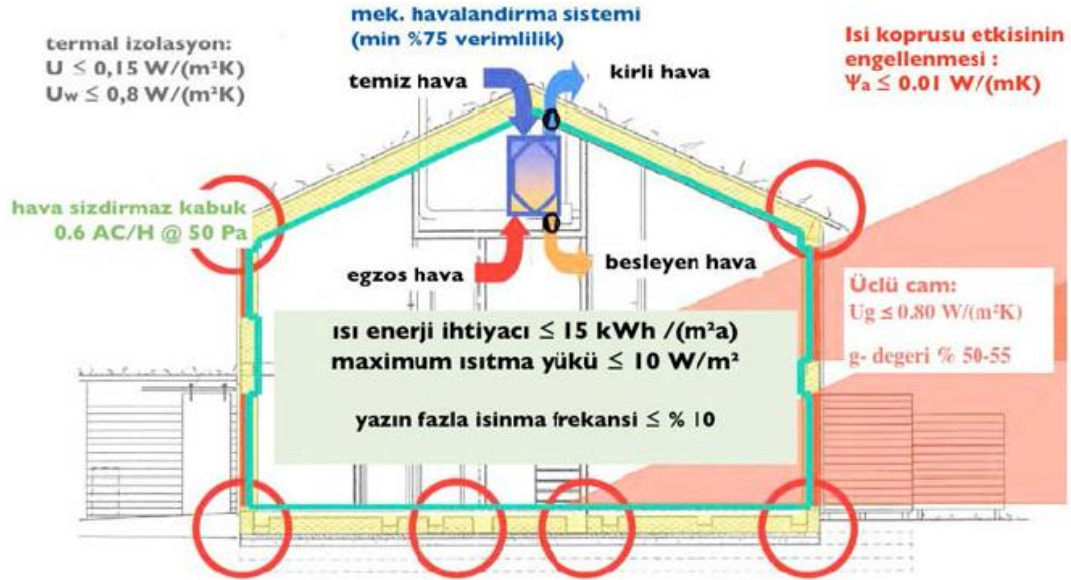
diye sıralanabilir.

BÖLÜM 4

PASİF EV ve TSE 825 YALITIM KRİTERLERİ

4.1. PASİF EV (PE) NEDİR?

Pasif Ev (Passivehaus) herkese açık olan bir yapı tasarımıdır. Bina tasarım ve imalat aşamasında belirli kurallar çerçevesinde yüksek kapasiteli yalıtım tekniklerinin uygulanması ile enerjiyi bina içerisinde tutabilen (enerjiyi tutma kapasitesi dizayn kapasitesi %90'lar ölçüsünde olan) ilave eklentilerle kendi enerjisini üretebilen, ısı enerjisi konusunda bilinçli bina teknolojilerinin kullanılması ile elde edilmiş yüksek kapasiteli ısı tasarruflu binalardır. PE uygulama kuralları Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Pasif Ev tasarım kuralları.

Şekil 4.1'de görüldüğü üzere PE ısı köprüsü oluşmaması şartı ile termal izolasyon katsayılarını duvar için $U \leq 0.15 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ olması ilkesine dayandırılmaktadır [31].

Kavramsal olarak doğuşu Almanya'da olmuştur. Şu an PE uygulamaları özellikle enerjide kaynak olarak dışa bağımlı Avrupa ülkeleri ve İskandinav ülkelerindedir. Dünyada 25 000–50 000 civarında olduğu tahmin edilen PE uygulaması yaygın olarak Almanya, Avusturya ve İskandinav ülkelerindedir.

PE standardı, 1988 yılında Almanya'da Prof. Dr. Wolfgang Feist ve Prof. Dr. Bo Adamson tarafından hazırlanmıştır. İlk standartta uygun PE 1990 yılında Darmstadt/Almanya'da inşa edilmiştir. Aynı ülkede gerekli teşvikler ve kontrol için Passive House Institute kuruldu.

Amerika'da 2003 yılında yapılan bir pasif ev uygulaması Minnesota bina şartnamesine göre yapılan standart yalıtımlı bir binaya göre %85 oranında daha düşük enerji, %75–90 oranda daha düşük karbon emisyonu oluşturmuştur.

4.1.1. PE Tasarım Şartları

Bir yapının PE olarak tanımlanması için gerekli donanım şartlarına haiz olması gerekmektedir. Yüksek düzeyde yalıtım ($U_d < 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$)

- Son derece yüksek performanslı ve yalıtımlı kapı ve pencere sistemleri ($U_p < 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- Hava sızdırmaz bina kabuğu ($< 0,6 \text{ AC/h@50 Pa}$)
- Isı köprülerinin oluşmasına engel mimari detay çözümleri ($\psi \leq 0,01 \text{ W/mK}$)
- Yüksek verimli, ısı geri kazanımlı mekanik havalandırma sistemi ($\geq \%80$ verimli)

PE standardını yeni projelerde uygulamak kolay olurken günümüz teknolojik gelişmeleri yardımı ile mevcut yapılarda da uygulamak mümkün olabilmektedir (Bu uyum oranı binanın ısı yalıtımı kalitesi ile doğru orantılı değişmektedir).

Günümüzde Almanya Pasive House Institute bu konuda enerji etkin renovasyon projeleri için EnerPHit standardını geliştirmiştir.

EnerPHit standart kriterleri;

- Isınmak için harcanan enerji ($QH \leq 25 \text{ kWh/m}^2$)
- Toplam primer enerji maksimum (ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma, sıcak su..) $Q_p \leq 120 \text{ kWh/m}^2 + 2 (QH - 15) \text{ kWh/m}^2$
- Hava sızdırmazlık oranı 1 AC/h@50 Pa

PE'ler direk etki olarak iklimlendirme üzerine modellenmiş yapı tarzlarıdır. Primer enerjiyi minimum düzeyde kullanan, aktif bir ısıtma ve soğutma yapılan yapı modellemesidir. Benzer şekilde sadece ısıtma esaslarına dayalı bir dizaynda bile %40 lara yakın tasarruf sağlanması mümkündür.

PE uygulamasında ana temel ısı transfer noktaları olan eklenti, cam, kapı ve bağlantı noktalarında iyi bir tasarım modeli ve uygulaması yapılmalıdır. Pasif evlerde havalandırma merkezi sistem üzerinde olup açılır pencereler kaldırılmış veya yüksek oranlarda kısıtlanmıştır.

Dünyada yaygın olarak kullanılmaya başlayan ve belirli uygulama disiplini kazanan PE uygulamaları halen tanınma aşamasındadır. 10-20 arasında değişen (bu projelerin çoğunluğu araştırma kurumları ve üniversitelerin ortak projeleri ile tanıtım ya da araştırma örnekleridir) proje uygulaması ile ülkemizde yok denecek kadar az bir uygulamadır. Ülkemizde 19 milyon konutun halen ısı yalıtımı olmadığı düşünülmektedir. Isınmak ihtiyacı olarak ülkemizden daha fazla enerjiye ihtiyaç Almanya enerji ihtiyacı aynı ölçekte ülkemizdeki yapıların 10 katı az orandadır. Bir binanın m^2 başına ihtiyaç olunan enerji miktarı Almanya'da 30-60 kW/h iken bu rakam ülkemizde 300-350 kW/h aralığında değişmektedir. Almanya'da konutlarda %27, ticari binalarda %30 oranında tasarruf sağlayacak bir potansiyel bulunmaktadır.

Ülkemizde binalardaki tasarruf oranı %90'ları geçmektedir. Karbon emisyon oranlarında da aynı oranlar geçerlidir.

4.1.2. PE Uygulamalarında AB ve Türkiye Kıyaslaması

Günümüzde enerji kaynaklarının tükenmeye başlaması, küresel ısınma gibi çevre sorunlarının artması sonucu son yıllarda dünyada tasarruf politikaları öne çıkıyor ve bunlar büyük önem taşıyor. AB ülkeleri, 2020 yılından itibaren inşa edilecek olan tüm binaları PE olarak yapmak için bir anlaşma yaptı kadar enerji üretmesi zorunluluk haline geliyor. PE ilk yapıldığı yer olarak bu alanda en gelişmiş ülke olan Almanya'da Pasif Ev sayısı 13 bini buluyor. Almanya'dan sonra en fazla PE inşa eden ülkeler; İskandinav ülkeleri ve Avusturya'dır [42]. Almanya Darmstadt'a 1993 yılında yapılan ilk PE, o dönemdeki standartlara göre, yüzde 90 daha az enerji kullanıyordu. Bugün aynı konsept ile ABD'de Minnesota'da yapılan bir PE, 2003 yılı Minnesota bina kodlarına göre yapılan bir evden yüzde 85 daha düşük miktarda enerji tüketmektedir.

Türkiye'de PE kavramı yeni yeni gelişmeye başlamıştır. Maalesef bu konuda Avrupa'nın çok gerisinde kalan Türkiye, hala yalıtımsızlık sorununu çözmeye çalışıyor. Ülkemizde 19 milyon konutun yüzde 85'i hala yalıtımsız ve bu yüzden bu binaları ısıtmak ve soğutmak için yüzde 50 daha fazla enerji tüketiyoruz. Yalıtımsızlık yüzünden her yıl ortalama 9 milyar 265 milyon doları havaya savuruyoruz. Çevreyi de hızlı bir şekilde kirletiyoruz. Buna karşın AB ülkeleri yüzde 95'lere varan oranda düşük enerjiyle sıfır emisyon salınımını yakalayan Pasif Evlere geçmiş durumda... Yani biz henüz yalıtım eksikliği sorununu çözememişken, Avrupa ülkeleri neredeyse hiç enerji harcamayan, çevreci binalar inşa ediyor.

Ülke olarak ısınmak için bizden çok daha soğuk bir iklime sahip olan Almanya'nın 10 katı kadar enerji tüketiyoruz. Ülkemizde binaların metrekare başına enerji tüketimi yılda 300-350 kilowatt saat arasında değişirken, Almanya'da bu rakam 30-60 kWh dır. Ülkemizdeki mevcut yönetmeliklerle bu rakamın 120 kWh inmesi

öngörülüyor. Teknolojik olarak minimum enerji tüketmek söz konusuysen ülkemizdeki yalıtımsız ve malzeme kalitesi düşük konutlarda enerji kaybı çok fazladır. Yalıtımsız bir evde, PE ye göre 20 kat daha fazla enerji harcanıyor.

Avrupa'daki evlerde yüzde 27, ticari binalarda ise yüzde 30 tasarruf potansiyeli bulunuyor. Türkiye'deki yalıtımsız bina stokunun yüzde 85 olduğu düşünüldüğünde ülkemizdeki tasarruf potansiyelinin çok yüksek boyutlarda olduğu görülüyor. Ülkemizde yalıtım yapılması halinde bile tasarruf konusunda AB normlarının 10 katı oranında fazla enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun için daha iyi çözümler sunan mimari düzenlemelere geçilmelidir [43].

4.2. TÜRKİYE’DE BİNALARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ MEVZUATI

Ülkemizde enerji verimliliği adına son yıllarda önemli gelişmeler olmuştur. Bu kapsamda Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından 18.04.2007’de resmi gazetede yayınlanan 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu, ülkemizde enerji verimliliği adına atılmış önemli bir adımdır ve enerji verimliliğinin temelini oluşturmaktadır. Ardından 05.12.2008 tarihinde resmi gazetede yayınlanan Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği (BEP), Bayındırlık ve İskân Bakanlığı tarafından yürütülen ve yayınlanmasını takiben bir yıl sonra yürürlüğe girmiştir. Binalarda Enerji Performansı yönetmeliği ile ayrıca “Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği” yürürlükten kaldırılmıştır. Binalarda ısı yalıtımı ilgili kurallar BEP yönetmeliği ile ilgili TSE standartlarından (TS 825) takip edilecektir. Mayıs/2008 tarihli “Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları” isimli TS 825 standardı halen yürürlüktedir.

4.2.1. Binalarda Enerji Verimliliği Kanunu

Binalarda Enerji Verimliliği Kanununun amacı; enerjinin etkin kullanılması, israfının önlenmesi, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi ve çevrenin korunması için enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılmasıdır.

Enerji verimliliğinin artırılması amacıyla birtakım uygulamaların gerçekleştirilmesi planlanmıştır. Bu uygulamalardan binalarla ilgili olanlar şöyle özetlenebilir;

Toplam inşaat alanı en az yirmi bin metrekare (20.000 m²) veya yıllık enerji tüketimi beş yüz (500) TEP ve üzeri olan ticarî binaların, hizmet binalarının ve kamu kesimi binalarının yönetimleri, yönetimlerin bulunmadığı hallerde bina sahipleri, enerji yöneticisi görevlendirir veya enerji yöneticilerinden hizmet alır. Enerji Yöneticisi, binalarda enerji yönetimi ile ilgili faaliyetleri yerine getirmekle sorumlu ve enerji yöneticisi sertifikasına sahip kişiyi ifade eder [36].

Merkezî ısıtma sistemine sahip binalarda, merkezî veya yerel ısı veya sıcaklık kontrol cihazları ile ısınma maliyetlerinin ısı kullanım miktarına bağlı olarak paylaşımını sağlayan sistemler kullanılır. Buna aykırı olarak hazırlanan projeler ilgili mercilerce onaylanmaz.

Toplam inşaat alanı yönetmelikte belirlenen mesken amaçlı kullanılan binalarda, ticarî binalarda ve hizmet binalarında uygulanmak üzere mimarî tasarım, ısıtma, soğutma, ısı yalıtımı, sıcak su, elektrik tesisatı ve aydınlatma konularındaki normları, standartları, asgarî performans kriterlerini, bilgi toplama ve kontrol prosedürlerini kapsayan binalarda enerji performansına ilişkin usul ve esaslar, Türk Standartları Enstitüsü ve Genel Müdürlük ile müştereken hazırlanarak Bayındırlık ve İskân Bakanlığı tarafından yürürlüğe konulacak bir yönetmelikle düzenlenir. Yönetmelik hükümlerine aykırı hareket edilmesi halinde ilgili idare tarafından yapı kullanma izni verilmez.

Bayındırlık ve İskân Bakanlığı tarafından yürürlüğe konulacak yönetmeliğe göre hazırlanan yapı projeleri kapsamında enerji kimlik belgesi düzenlenir. Enerji kimlik belgesinde binanın enerji ihtiyacı, yalıtım özellikleri, ısıtma ve/veya soğutma sistemlerinin verimi ve binanın enerji tüketim sınıflandırması ile ilgili bilgiler asgarî olarak bulundurulur. Belgede bulundurulması gereken diğer bilgiler ile belgenin yenilenmesine ve mevcut binalar da dâhil olmak üzere uygulamaya ilişkin usul ve

esaslar, Bakanlık ile müştereken hazırlanarak Bayındırlık ve İskân Bakanlığınca yürürlüğe konulacak yönetmelikle belirlenir. Mücavir alan dışında kalan ve toplam inşaat alanı bin metrekareden az olan binalar için enerji kimlik belgesi düzenlenmesi zorunlu değildir.

Yakma tesislerinde yer alan kazanlardan, brülörlerden, kat kaloriferi ve kombilerden Genel Müdürlük ile müştereken hazırlanarak Sanayi ve Ticaret Bakanlığı tarafından yürürlüğe konulacak yönetmelikte belirlenen asgarî verimlilik değerlerini sağlamayanların satışına izin verilmez.

Elektrik motorlarının, klimaların, elektrikli ev aletlerinin ve ampullerin sınıflandırılmasına ve asgarî verimlerinin belirlenmesine ilişkin usul ve esaslar Genel Müdürlük ile müştereken hazırlanarak Sanayi ve Ticaret Bakanlığı tarafından yürürlüğe konulacak yönetmelikle düzenlenir ve asgarî sınırları sağlamayanların satışına izin verilmez.

Enerji Verimliliği Kanunu, yukarıda sıralanan önlem ve uygulamalara ilave olarak onu takip edecek diğer yönetmeliklerle de desteklenerek ülkemizde enerji verimliliği çalışmalarının öncüsü olmuştur.

4.2.2. BEP Yönetmeliği Uyarınca Binalarda Yenilenebilir Enerji Sistemlerinin Kullanımı

Yönetmeliğin gerektirdiği en önemli yenilik ise yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına teşvik şeklinde olmuştur. Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği'nde yenilenebilir enerji sistemlerinin kullanılması hususu şu şekilde açıklanmıştır;

- Yeni yapılacak olan ve yapı ruhsatına esas kullanım alanı yirmi bin metrekarenin üzerinde olan binalarda ısıtma, soğutma, havalandırma, sıhhi sıcak su, elektrik ve aydınlatma enerjisi ihtiyaçlarının tamamen veya kısmen

karşılanması amacıyla, yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı, hava, toprak veya su kaynaklı ısı pompası, kojenerasyon ve mikrokojenerasyon gibi sistem çözümleri tasarımcılar tarafından projelendirme aşamasında analiz edilir. Bu uygulamalardan biri veya birkaçı, Bakanlık tarafından yayımlanan birim fiyatlar esas alınmak suretiyle hesaplanan, binanın toplam maliyetinin en az yüzde onuna karşılık gelecek şekilde yapılır.

- Yeni yapılacak binalarda yenilenebilir enerji sistemleri için belirtilen raporda tespit edilen ilk yatırım maliyeti enerji ekonomisi göz önünde bulundurulmak suretiyle, inşaat alanı 20.000 m²'ye kadar olan binalarda 10 yıl, inşaat alanı 20.000 m² ve daha büyük binalarda 15 yılda geri kazanılması durumunda bu sistemlerin yapılması zorunludur.
- Yeni yapılacak binalarda hava, toprak ve su kaynaklı ısı pompası sistemleri için birinci fıkrada belirtilen raporda tespit edilen ilk yatırım maliyeti enerji ekonomisi göz önünde bulundurulmak suretiyle, inşaat alanı 20.000 m² ve üstündeki binalarda 15 yılda geri kazanılması durumunda, bu sistemlerin yapılması zorunludur.
- Yeni yapılacak olan ve kullanım alanı 1.000 m²'nin üzerindeki oteller, hastaneler, yurtlar ve benzeri konaklama amaçlı konut harici binalar ile spor merkezlerindeki merkezi ısıtma ve sıhhi sıcak su sistemlerinde güneş enerjisi toplayıcıları ile sistemin desteklenmesi zorunludur.
- Güneş enerjisi toplayıcıları kullanımında TS EN 12975-1 ve TS 3817'e uyulur.
- Konut harici ve merkezi havalandırma ve iklimlendirme sistemlerine sahip binalarda, doğal havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinin de tasarlanarak bu sistemlerin daha verimli çalışmalarının sağlanması gerekir.
- Jeotermal enerji kaynakları ile merkezi ısıtma yapılan binalarda, ısıtma hattı dönüş suyunun bölgedeki jeotermal ısı kaynağına dönüşünün sağlanması gerekir şeklindedir [43].

4.2.3. TS 825 Standardı

TS 825 standardı, binalarda net ısıtma enerjisi ihtiyaçlarını hesaplama kurallarını ve binalarda izin verilebilir en yüksek ısıtma enerjisi değerlerinin belirlenmesi ait hesaplama metod ve usullerini anlatan standarttır.

Bu standart, yeni inşa edilecek binaların ısıtma enerjisi ihtiyacını hesaplama kurallarını, izin verilebilecek en yüksek ısı kaybı değerlerini ve hesaplama ile ilgili bilgilerin sunuş şeklini kapsar. Bu kurallar pasif güneş enerjisi sistemlerini ihtiva eden binalarda kullanılamaz.

Mevcut binaların tamamına veya bağımsız bölümlerinde yapılacak olan esaslı tamir, tadil ve eklemelerdeki uygulama yapılacak olan bölümler için bu standart da Şekil 4.3'de verilen ısıl geçirgenlik kat sayılarına eşit ya da daha küçük değerlerin sağlanması bakımından uyulmalıdır. Bu standart, binalarda ısıtma enerjisi ihtiyacının hesabına yönelik bir metod belirlemektedir. Diğer amaçlarla olan enerji ihtiyaçları bu standardın kapsamı dışındadır.

Çizelge 4.1. Bölgelere göre en fazla değer olarak kabul edilmesi tavsiye edilen U (W/m^2K) değerleri [44].

	U_D Dış Duvar (W/m^2K)	U_T Tavan (W/m^2K)	U_t Taban (W/m^2K)	U_P Pencere (W/m^2K)
1. Bölge	0,70	0,45	0,70	2,4
2. Bölge	0,60	0,40	0,60	2,4
3. Bölge	0,50	0,30	0,45	2,4
4. Bölge	0,40	0,25	0,40	2,4

Bu standardın amacı, ülkemizdeki binaların ısıtılmasında kullanılan enerji miktarlarını sınırlamayı, dolayısıyla enerji tasarrufunu artırmayı ve enerji ihtiyacının hesaplanması sırasında kullanılacak standart hesap metodunu ve değerlerini belirlemektir. Ayrıca

yeni yapılacak bir binaya ait çeşitli tasarım seçeneklerine bu standartta açıklanan hesap metodunu ve değerlerini uygulayarak, ideal enerji performansını sağlayacak tasarım seçeneğini belirlemek, mevcut binaların net ısıtma enerjisi tüketimlerini belirlemek, mevcut bir binaya yenileme projesi uygulamadan önce, uygulanabilecek enerji tasarruf tedbirlerinin sağlayacağı tasarruf miktarlarını belirlemek, bina sektörünü temsil edebilecek muhtelif binaların enerji ihtiyacını hesaplayarak, bina sektöründe gelecekteki enerji ihtiyacını milli seviyede tahmin etmektir.

Bu standart; konutlar, yönetim binaları, iş ve hizmet binaları, otel, motel ve lokantalar, öğretim binaları, tiyatro ve konser salonları, kışlalar, ceza ve tutuk evleri, müze ve galeriler, hava limanları, hastaneler, yüzme havuzları, imalât ve atölye mahalleri, genel kullanım amaçları dolayısıyla iç sıcaklıkları asgari 15 °C olacak şekilde ısıtılan iş yerleri ile endüstri ve sanayi binaları veya bunlara benzer amaçlar için kullanılan binaları kapsar [44].

İnsanların barındığı veya çalıştığı binalarda, sıcaklık etkilerinden korunma, insan sağlığı, onarım giderleri, yakıt ekonomisi ve ilk yapım giderleri yönlerinden önemlidir. Sıcaklık etkilerinden yeterli olarak korunma, sağlığa uygun, bir iç iklimsel çevrenin sağlanmasının temel şartıdır. Hacimlerin ısıtma enerjisi ihtiyacı ve bunu sağlamak için yapılan ısıtma giderleri hacmi çevreleyen bileşenlerin ısı yalıtım ve ısı depolama özelliklerine bağlıdır. Sıcaklık etkilerinden yeterince korunma hacmi çevreleyen yapı bileşenlerinin yüzeylerinde su buharı yoğunlaşmasını önler. Bileşenlerde sıcaklık değişimlerinin oluşturduğu hareketleri küçültür ve böylece yapıda bu olaydan ileri gelebilecek zararları önleyerek, yakıt giderlerini azaltmakla birlikte, binanın bakım ve onarım giderlerini de azaltır. Binanın projelendirme döneminde alınacak önlemler (örneğin, bina yerinin doğru seçilmesi) ısıtma enerjisi ihtiyacını etkileyebilir. Rüzgâr etkisi altındaki bir binada ısı kaybı, komşu binalar, bitki ve ağaçlarla korunmuş olanlara oranla daha çoktur. Bina dış yüzeylerini büyütmenin ısı kaybını da o oranda artıracığı, projelendirme döneminde göz önünde tutulmalıdır. Ayrık bir binadaki ısı kaybı, aynı büyüklük ve inşaat biçiminde yapılan bitişik düzendeki başka bir binaya göre daha fazladır. Bir bina içindeki odaların

birbiri ile olan ilişkisi (örneğin, ısıtılan hacimlerin yan yana veya üst üste yerleştirilmesi) büyük önem taşır. Isı kaybını önlemek için, bina girişlerinde rüzgârlık yapılmalıdır (dış kapıdan ayrı olarak kendiliğinden kapanan ikinci bir kapı düzeni). Büyük pencere yüzeyleri, (çift yüzeyli pencere, bitişik pencere, özel birleştirilmiş çok katlı camlı pencere bile olsa) ısı kaybını çoğaltır. Köşe odalarda, pencerelerin binanın dış duvarlarından yalnız birinde olması, ısı etkilerinden korunma yönünden daha doğrudur. Bacalar ve tesisat boruları dış duvarlar üzerinde bulunmamalıdır. Bu önlem yakıttan tam yararlanma, baca gazlarının soğumasını, bacanın kurum tutmasını, tesisat borularının donmasını önleme bakımlarından önemlidir. Duvar ve döşemelerin ısı depolama özelliği, kışın ısıtmanın durması hâlinde çabuk bir soğumayı, yazın da özellikle güneş etkisi altında bulunan hacimlerde, iç ortam hava sıcaklığının gündüz saatlerinde aşırı yükselmesini önlemek bakımından gereklidir. Isı depolama özelliği, yapı bileşeninin kütlesi ve yapıldığı malzemenin özgül ısı ile doğru orantılıdır.

Bu standartta belirtilen hesap metodunda, iletim, taşınım ve havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kayıpları ile iç ısı kazançları ve güneş enerjisi kazançları dikkate alınmıştır. Bu standartta, yapı elemanını oluşturan malzemelerin su buharı geçişine gösterdikleri dirence ve malzemelerin sırasına bağlı olarak su buharının gaz hâlden sıvı hâle geçmesi, yani yoğuşması ihtimali olduğundan malzemelerin ısı iletkenlik değerlerindeki kötüleşme tahkik edilmeli, yoğuşma varsa, belirli sınırların içerisinde kalması sağlanmalıdır.

Bir yapı elemanının iki yüzü arasında, sıcaklıkların ve bağıl nemin farklı olması dolayısıyla farklı kısmi buhar basınçları meydana gelir. Bu basınç farkı nedeniyle havadaki buhar molekülleri ısı akımı ile aynı yönde hareket ederek yapı elemanı gözeneklerinden geçer ve dış ortama ulaşmaya çalışır. Su buharı bu geçişi sırasında yapı elemanı içerisinde, doyma sıcaklığında veya daha düşük sıcaklıkta bir yüzeyle temas ederse, bir kısmı yoğuşarak su hâline geçer ve yapı elemanı içerisinde veya yüzeyinde birikerek yapıya zarar verir. Yapı elemanı yüzeyindeki yoğuşma kendisini siyah lekeler, küf, mantar vb. organizma oluşumu ile göstererek, insan sağlığı ve

ortamın konfor şartlarını olumsuz etkiler ve yapı malzemesinde hasarların oluşmasına neden olur. Yapı elemanları arasında meydana gelen yoğuşma ise; özellikle yapıların taşıyıcı kısımlarındaki donatıların paslanarak işlev ve dayanımlarının zamanla azalması neticesinde yapı ömrü ve deprem dayanımının olumsuz yönde etkilenmesine neden olmaktadır. Ayrıca yoğuşma; yapı elemanlarının çürümesi, bütünlüklerinin bozulması ve ısı kayıplarının artmasına da neden olur. Yukarıda bahsedilen olumsuz sonuçların ortadan kaldırılması için, bu standartta tarif edilen hesap metoduna göre yapı elemanlarından buhar geçişinin tahkiki, sınırlandırılması ve neticelerin raporlanması gerekmektedir. Böylece sağlıklı ve konforlu bir yaşam ile uzun ömürlü binaların yanı sıra önemli oranda enerji tasarrufu da elde edilmiş olacaktır.

Isıtma enerjisi ihtiyacı ile ısıtma sisteminin net çıktısı kastedilmektedir. Isıtma sisteminin dönüşüm verimi 1.00'den küçük olacağı ve dağıtım sırasında bir miktar ısı kayıpları meydana gelebileceği için, sistemin enerji girdisi bu değerden büyüktür. Hesap metodunda net iç ısı kazançları ve net güneş enerjisi kazançları dikkate alınmıştır. Bu sebeple kazançların toplamı, "ısı kazancı kullanım faktörü" ile çarpılır [44].

Bu standart, bina özellikleri, ısıtma sisteminin karakteristikleri, iç ve dış iklim şartları, iç ısı kazanç kaynakları ve güneş enerjisi etkenlerinin hesaba katılmasıyla binaların ısıtma enerjisi ihtiyacının hesaplandığı bir metodu belirlemektedir. Bu metodla hesaplanan binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı $A_{top}/V_{brüt}$ oranına göre; Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'de verilen değerleri aşmamalıdır. Yeni binaların tasarımı aşamasında, bu standartta verilen hesap metodu kullanılarak, binanın enerji ihtiyacı bu standartta verilen sınırları aşmayacak şekilde hesaplanmalı ve malzeme seçimi, eleman boyutlandırılması ve ayrıntılı çözümlerinin de belirtildiği bir ısı yalıtım projesi hazırlanmalıdır.

Çizelge 4.2. Atop/Vbrüt oranları için ısıtma enerjisi değerleri [35].

		A/V < 0,2 için	A/V > 1,05 için	
1. Bölge	A_n ile ilişkili $Q'_{1.DG} =$	19,2	56,7	kWh/m ² ,yıl
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q'_{1.DG} =$	6,2	18,2	kWh/m ³ ,yıl
2. Bölge	A_n ile ilişkili $Q'_{2.DG} =$	38,4	97,9	kWh/m ² ,yıl
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q'_{2.DG} =$	12,3	31,3	kWh/m ³ ,yıl
3. Bölge	A_n ile ilişkili $Q'_{3.DG} =$	51,7	116,5	kWh/m ² ,yıl
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q'_{3.DG} =$	16,6	37,3	kWh/m ³ ,yıl
4. Bölge	A_n ile ilişkili $Q'_{4.DG} =$	67,3	137,6	kWh/m ² ,yıl
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q'_{4.DG} =$	21,6	44,1	kWh/m ³ ,yıl

Çizelge 4.3. Bölgelere göre sınırlandırılan Q^1 nun hesaplanması.

1. Bölge	A_n ile ilişkili $Q'_{1.DG} = 44,1 \times A/V + 10,4$	[kWh/m ² ,yıl]
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q'_{1.DG} = 14,1 \times A/V + 3,4$	[kWh/m ³ ,yıl]
2. Bölge	A_n ile ilişkili $Q'_{2.DG} = 70 \times A/V + 24,4$	[kWh/m ² ,yıl]
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q'_{2.DG} = 22,4 \times A/V + 7,8$	[kWh/m ³ ,yıl]
3. Bölge	A_n ile ilişkili $Q'_{3.DG} = 76,3 \times A/V + 36,4$	[kWh/m ² ,yıl]
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q'_{3.DG} = 24,4 \times A/V + 11,7$	[kWh/m ³ ,yıl]
4. Bölge	A_n ile ilişkili $Q'_{4.DG} = 82,8 \times A/V + 50,7$	[kWh/m ² ,yıl]
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q'_{4.DG} = 26,5 \times A/V + 16,3$	[kWh/m ³ ,yıl]

Merkezi sistemle ısıtılan binalardaki sıcak akışkanı ileten ana dağıtım (tesisat) boruları, ekonomik yalıtım kalınlığı hesaplanarak uygun şekilde yalıtılmalıdır. Kolon kalınlıklarının hesaplanmasında, kolonun bağlı bulunduğu kiriş ile birleştiği yerdeki betonarme kiriş kalınlığı aynı zamanda kolon kalınlığı olarak alınacak olup, kolon kalınlığının kiriş kalınlığından daha fazla olması dikkate alınmaz. Dış yüzeylerde yer alan bütün betonarme elemanlar (kolon, kiriş, hatıl ve perde duvar vb.) mutlaka yalıtılması gerektiği bu standart ile net bir şekilde ifade edilmektedir.

BÖLÜM 5

DENEYSEL ÖLÇÜMLER

5.1. KUYULARDAN SICAKLIK DEĞERLERİ ÖLÇÜLMESİ

TKIP sistemlerinin tasarımında toprak altı derinlikleri güncel uygulamalarda genelde 1-2 m arası alınmakta ve toprak altı sıcaklık değeri en fazla 5°C olarak kabul görmektedir. Uygulamada kabul edilen bu değerlerin ana nedeni toprak altı sıcaklık değerlerinin bilinmemesi ve öğrenilmesi için uzun süren ölçmeler gerektirmesidir.

Bu bölümde verilen değerler Karabük ili baz alınarak toprak altı sıcaklık ölçümlerinden elde edilen değerlerdir. Bu ölçmeler yardımı ile tasarlanan TKIP'ler için daha hassas hesaplamalar yapılabilecektir. Söz konusu değerlerin elde edilmesi için Karabük ili içinde ölçüm yapılacak kuyular tespit edilmiştir: Karıt ve Kapullu bölgelerinde 3'er adet olmak üzere toplam 6 adet kuyudan ölçümler alınmıştır.

5.2. SEÇİLEN KUYULARIN ÖZELLİKLERİ

Toprak altındaki sıcaklık değişimlerinin ölçülmesi için en az 1m-10 m derinlik gerekli olduğundan ve kuyu açma maliyetlerinin yüksek bedelli olması nedeni ile DSİ 23. Bölge Müdürlüğü tarafından Karabük ilinde kurulacak sel kaparı yapılarından önce açılan etüt sondaj kuyularından faydalanılmıştır. DSİ tarafından açılan bu kuyular kayaç yapı bulununcaya kadar delinen kuyular olup, toprak yapısına göre değişmekle beraber, ortalama 10 m ve üzeri derinliklerdeki kuyulardır. DSİ 23. Bölge Müdürlüğü tarafından Karabük ili şehir merkezi doğu girişi Karıt Köyü Mevkii ve Karabük ili şehir merkezi batı tarafında yer alan Kapullu Mevkiinde açılan sondaj kuyuları bu çalışma kapsamında yapılan deneylere oldukça uygun

kuyular olması nedeni ile ölçüm alınan kuyular olarak belirlenmiştir. Bu kuyuların avantajları derin olmaları, şehir merkezlerinde yer alması ve uzun etüd süreleri boyunca kuyuların kapatılmayacak olmalarıdır.

Belirlenen bu kuyular bu bölgelerdeki 18 adet kuyu içerisinde, her iki mevki için; 1 adedi devamlı güneş gören güney cephe, 1 adedi gölgede kalan kuzey cephe, 1 adedi de ormanlık ve dere kenarı mevkide olanlardan seçilmiştir. 21 ay boyunca, her mevsim iklim şartları altında, yılda 4 defa olmak üzere toprak altı sıcaklığı ölçümü yapılarak, her kuyu için toplamda 7 adet ölçüm değeri elde edilmiştir. Ayrıca sıcaklık ölçümü her 50 cm mesafede 5 dk. beklenerek sıcaklık değerinin sabitlenmesi sağlanmıştır.

5.3.DENEYDE KULLANILAN ÖLÇÜM CİHAZI

Deneyimizde DSİ 23. Bölge Müdürlüğü Laboratuvar Şube Müdürlüğüne beton deney ölçümleri için kullanılan (dökümü yapılan beton kütleinin iç sıcaklık değerini ölçmek için), TÜRKAK tarafından kalibreli **CHY 505 RTD Thermometer** (Şekil 5.1.) ölçüm aleti olarak kullanılmıştır. Sıcaklık ölçüm poduna kablo eklenerek ilgili pod 10 m uzunluğa getirilmiştir. Bu işlem sırasında başka bir ölçüm aleti ile kalibre edilen ölçüm aletimizde bir sapma olmadığı görülmüştür (ilgili ölçme aletimizde en fazla %0.3 oranında bir sapma olmuştur ve bu değer önemsizmeyecek kadar küçük olduğu için dikkate alınmamıştır).



Şekil 5.1. CHY 505 RTD Thermometer ölçme aleti.

5.4. SEÇİLEN KUYULARDA YAPILAN ÖLÇÜM ÇALIŞMALARI

Karıt-Kapullu Kuyularında yapılan ölçme çalışmalarındaki resimler Şekil 5.2 - 5.11 arasında verilmiştir.



Şekil 5.2. Termometrenin ölçü almak üzere kuyuya bağlanması.



Şekil 5.3. Karıt-1 kuyusunun görünüşü.



Şekil 5.4. Termometre podunun kuyuya yerleştirilmesi.



Şekil 5.5. Kapullu-1 kuyusuna çıkılırken.



Şekil 5.6. Termometrenin ölçü almak üzere kuyuya bağlanması.



Şekil 5.7. Ölçme işlemi öncesi termometre ve podun hazırlanması.



Şekil 5.8. Kapullu-2 kuyusunun görünüşü.



Şekil 5.9. Karıt-3 kuyusu giriş ağızı.



Şekil 5.10. Termometrenin kuyu ağzından ölçü alma işlemi.



Şekil 5.11. Termometrenin ölçü almak podaya bağlanması.

5.4.1. Karıt ve Kapullu İçin Isıtma Yüğü Hesabında Kullanılacak Sıcaklık Değerleri

Çizelge 5.1 - 5.6 arasında Karıt ve Kapullu Kuyularında yapılan sıcaklık ölçme sonuçları verilmiştir. Hem Karıt hem de Kapullu mevkilerinde yer alan kuyulardaki en düşük sıcaklık değeri kış sonu bahar ayı başında, en yüksek sıcaklık değeri ise yaz sonu sonbahar ayı başında ulaşılmıştır.

Çizelge 5.1. Karıt Kuyu-1 ölçüm sonuçları.

KARIT KUYU-1 ÖLÇÜM SONUÇLARI													
Ölçüm Tarihi:	Sıcaklık	Ölçüm Tarihi:	Sıcaklık	Ölçüm Tarihi:	Sıcaklık	Ölçüm Tarihi:	Sıcaklık	Ölçüm Tarihi:	Sıcaklık	Ölçüm Tarihi:	Sıcaklık	Ölçüm Tarihi:	Sıcaklık
29.07.2011	Değeri °C	28.12.2011	Değeri °C	29.03.2012	Değeri °C	18.07.2012	Değeri °C	22.11.2012	Değeri °C	24.03.2013	Değeri °C	27.07.2013	Değeri °C
Dış Hava	37	Dış Hava	7,7	Dış Hava	13,2	Dış Hava	36,9	Dış Hava	17,4	Dış Hava	16,1	Dış Hava	37,3
50 cm	28,7	50 cm	5,7	50 cm	11,5	50 cm	27,2	50 cm	12,9	50 cm	14,7	50 cm	27
100 cm	24,9	100 cm	8,2	100 cm	12,6	100 cm	24,2	100 cm	15	100 cm	14,6	100 cm	24,1
150cm	22,5	150cm	10	150cm	13,3	150cm	22,1	150cm	17	150cm	15,3	150cm	22,1
200cm	20,1	200cm	11,7	200cm	14,6	200cm	20,4	200cm	17,8	200cm	15,9	200cm	20,4
250cm	18,4	250cm	13,5	250cm	14,7	250cm	19	250cm	19,4	250cm	16,1	250cm	19,1
300cm	17,5	300cm	15,3	300cm	14,7	300cm	17,5	300cm	19,9	300cm	16,6	300cm	17,4
350 cm	17,3	350 cm	16,2	350 cm	14,7	350 cm	16,3	350 cm	20,1	350 cm	16,7	350 cm	16,4
400 cm	17	400 cm	16,9	400 cm	14,8	400 cm	15,5	400 cm	21,7	400 cm	16,8	400 cm	15,5
450 cm	16,7	450 cm	17,1	450 cm	14,8	450 cm	15,2	450 cm	19,1	450 cm	16,9	450 cm	15,1
500 cm	16,6	500 cm	17,4	500 cm	15	500 cm	15	500 cm	18,4	500 cm	17,1	500 cm	14,9
550 cm	16,6	550 cm	17,3	550 cm	15,1	550 cm	15	550 cm	17,8	550 cm	17,2	550 cm	14,9
600 cm		600 cm	17,1	600 cm	15,1	600 cm	600 cm	600 cm	17,3	600 cm	17,3	600 cm	14,9
650 cm		650 cm	16,6	650 cm	15,2	650 cm	650 cm	650 cm	17,2	650 cm	17,3	650 cm	
700 cm		700 cm	16,6	700 cm	15,3	700 cm	700 cm	700 cm	17,2	700 cm	17,3	700 cm	
750 cm		750 cm		750 cm	15,3	750 cm	750 cm	750 cm	750 cm	750 cm	17,3	750 cm	
800 cm		800 cm		800 cm	15,3	800 cm	800 cm	800 cm	800 cm	800 cm	17,3	800 cm	

Çizelge 5.2. Karıt Kuyu-2 ölçüm sonuçları.

KARIT KUYU-2 ÖLÇÜM SONUÇLARI													
Ölçüm Tarihi:	Sıcaklık	Ölçüm Tarihi:	Sıcaklık	Ölçüm Tarihi:	Sıcaklık	Ölçüm Tarihi:	Sıcaklık	Ölçüm Tarihi:	Sıcaklık	Ölçüm Tarihi:	Sıcaklık	Ölçüm Tarihi:	Sıcaklık
29.07.2011	Değeri °C	28.12.2011	Değeri °C	29.03.2012	Değeri °C	18.07.2012	Değeri °C	22.11.2012	Değeri °C	24.03.2013	Değeri °C	27.07.2013	Değeri °C
Dış Hava	33	Dış Hava	1,6	Dış Hava	11	Dış Hava	36,1	Dış Hava	15,2	Dış Hava	12,3	Dış Hava	35,1
50 cm	23	50 cm	3,3	50 cm	8,1	50 cm	23,8	50 cm	11,2	50 cm	9,2	50 cm	23,7
100 cm	21,4	100 cm	5,9	100 cm	8,8	100 cm	20,4	100 cm	12,4	100 cm	8,8	100 cm	21,2
150cm	20,7	150cm	8,5	150cm	9,6	150cm	18,3	150cm	13,6	150cm	9,6	150cm	18,4
200cm	20,5	200cm	10,7	200cm	10,5	200cm	16,7	200cm	14,6	200cm	10,4	200cm	16,6
250cm	20,9	250cm	11	250cm	10,8	250cm	15,4	250cm	15,3	250cm	10,7	250cm	15,5
300cm	20,6	300cm	13,4	300cm	11,9	300cm	14,7	300cm	16,1	300cm	11,9	300cm	14,7
350 cm	20,6	350 cm	13,6	350 cm	13,5	350 cm	14,3	350 cm	16,3	350 cm	13,6	350 cm	14,2
400 cm	20,3	400 cm	15,4	400 cm	13,9	400 cm	14,3	400 cm	16,4	400 cm	13,9	400 cm	14,2
450 cm	19,4	450 cm	15,5	450 cm	14,1	450 cm	450 cm	450 cm	16,5	450 cm	14,1	450 cm	14,2
500 cm	19,4	500 cm	16,3	500 cm	14,4	500 cm	500 cm	500 cm	16,5	500 cm	14,4	500 cm	
550 cm		550 cm	16,3	550 cm	14,5	550 cm	550 cm	550 cm	14,5	550 cm	14,5	550 cm	
600 cm		600 cm	16,5	600 cm	14,5	600 cm	600 cm	600 cm	600 cm	600 cm	14,5	600 cm	
650 cm		650 cm	16,4	650 cm	650 cm	650 cm	650 cm	650 cm	650 cm	650 cm	650 cm	650 cm	
700 cm		700 cm	16,3	700 cm	700 cm	700 cm	700 cm	700 cm	700 cm	700 cm	700 cm	700 cm	
750 cm		750 cm		750 cm	750 cm	750 cm	750 cm	750 cm	750 cm	750 cm	750 cm	750 cm	
800 cm		800 cm		800 cm	800 cm	800 cm	800 cm	800 cm	800 cm	800 cm	800 cm	800 cm	

Çizelge 5.3. Karıt Kuyu–3 ölçüm sonuçları.

KARIT KUYU-3 ÖLÇÜM SONUÇLARI													
Ölçüm Tarihi:	Sıcaklık	Ölçüm Tarihi:	Sıcaklık	Ölçüm Tarihi:	Sıcaklık	Ölçüm Tarihi:	Sıcaklık	Ölçüm Tarihi:	Sıcaklık	Ölçüm Tarihi:	Sıcaklık	Ölçüm Tarihi:	Sıcaklık
29.07.2011	Değeri °C	28.12.2011	Değeri °C	29.03.2012	Değeri °C	18.07.2012	Değeri °C	22.11.2012	Değeri °C	24.03.2013	Değeri °C	27.07.2013	Değeri °C
Dış Hava	32,1	Dış Hava	1,3	Dış Hava	12,2	Dış Hava	33,2	Dış Hava	14,7	Dış Hava	14,1	Dış Hava	33,2
50 cm	27,5	50 cm	1,6	50 cm	10,2	50 cm	28	50 cm	12,1	50 cm	11,3	50 cm	27,4
100 cm	25,5	100 cm	3,8	100 cm	9,9	100 cm	25,6	100 cm	11,7	100 cm	10	100 cm	23,7
150cm	21,2	150cm	6,2	150cm	10	150cm	23,4	150cm	10,8	150cm	10,1	150cm	22,4
200cm	18,9	200cm	9,1	200cm	10,3	200cm	21,3	200cm	10	200cm	10,4	200cm	19,4
250cm	17,7	250cm	11,3	250cm	10,7	250cm	19,6	250cm	10,6	250cm	10,7	250cm	18,5
300cm	16,5	300cm	11,8	300cm	11,2	300cm	18,3	300cm	11,8	300cm	11,4	300cm	17,5
350 cm	16,1	350 cm	12,7	350 cm	11,2	350 cm	17,2	350 cm	12,5	350 cm	11,5	350 cm	15,8
400 cm	16,1	400 cm	13,1	400 cm	11,2	400 cm	16,3	400 cm	14,6	400 cm	11,5	400 cm	15,1
450 cm		450 cm	13,2	450 cm	15,6	450 cm	15,6	450 cm	15,3	450 cm	11,5	450 cm	14,1
500 cm		500 cm	13,2	500 cm		500 cm	15,6	500 cm	16,2	500 cm		500 cm	13,9
550 cm		550 cm		550 cm		550 cm	15,5	550 cm	17,1	550 cm		550 cm	
600 cm		600 cm		600 cm		600 cm		600 cm	17,1	600 cm		600 cm	
650 cm		650 cm		650 cm		650 cm		650 cm		650 cm		650 cm	
700 cm		700 cm		700 cm		700 cm		700 cm		700 cm		700 cm	
750 cm		750 cm		750 cm		750 cm		750 cm		750 cm		750 cm	
800 cm		800 cm		800 cm		800 cm		800 cm		800 cm		800 cm	

Çizelge 5.4. Kapullu Kuyu–1 ölçüm sonuçları.

KAPULLU KUYU-1 ÖLÇÜM SONUÇLARI													
Ölçüm Tarihi:	Sıcaklık	Ölçüm Tarihi:	Sıcaklık	Ölçüm Tarihi:	Sıcaklık	Ölçüm Tarihi:	Sıcaklık	Ölçüm Tarihi:	Sıcaklık	Ölçüm Tarihi:	Sıcaklık	Ölçüm Tarihi:	Sıcaklık
29.07.2011	Değeri °C	29.12.2011	Değeri °C	29.03.2012	Değeri °C	16.07.2012	Değeri °C	20.11.2012	Değeri °C	20.03.2013	Değeri °C	01.08.2013	Değeri °C
Dış Hava	37,5	Dış Hava	7	Dış Hava	15,9	Dış Hava	41,1	Dış Hava	12,1	Dış Hava	16,8	Dış Hava	38,7
50 cm	26,3	50 cm	5,3	50 cm	5,3	50 cm	24,8	50 cm	13,4	50 cm	5,3	50 cm	24,8
100 cm	23,2	100 cm	7,8	100 cm	7,8	100 cm	23,7	100 cm	15	100 cm	7,8	100 cm	22,7
150cm	29,8	150cm	9,8	150cm	9,8	150cm	22,8	150cm	16,6	150cm	9,8	150cm	21,4
200cm	16,8	200cm	10,5	200cm	9,9	200cm	21,5	200cm	17,3	200cm	9,9	200cm	20
250cm	15,6	250cm	10,8	250cm	10,1	250cm	21,1	250cm	17,8	250cm	10,1	250cm	19,4
300cm	14	300cm	10,9	300cm	10,3	300cm	19,2	300cm	17,9	300cm	10,3	300cm	18,8
350 cm	12,8	350 cm		350 cm	10,4	350 cm	18,6	350 cm	17,9	350 cm	10,4	350 cm	18,1
400 cm	12,3	400 cm		400 cm	10,4	400 cm	17,3	400 cm		400 cm	10,4	400 cm	17,4
450 cm	12,3	450 cm		450 cm	10,4	450 cm	16,9	450 cm		450 cm	10,4	450 cm	16,9
500 cm	12,3	500 cm		500 cm		500 cm	15,9	500 cm		500 cm		500 cm	16,6
550 cm		550 cm		550 cm		550 cm	15,7	550 cm		550 cm		550 cm	16,1
600 cm		600 cm		600 cm		600 cm	14,9	600 cm		600 cm		600 cm	15,7
650 cm		650 cm		650 cm		650 cm	14,6	650 cm		650 cm		650 cm	15,9
700 cm		700 cm		700 cm		700 cm	14,6	700 cm		700 cm		700 cm	
750 cm		750 cm		750 cm		750 cm		750 cm		750 cm		750 cm	
800 cm		800 cm		800 cm		800 cm		800 cm		800 cm		800 cm	

Çizelge 5.5. Kapullu Kuyu–2 ölçüm sonuçları.

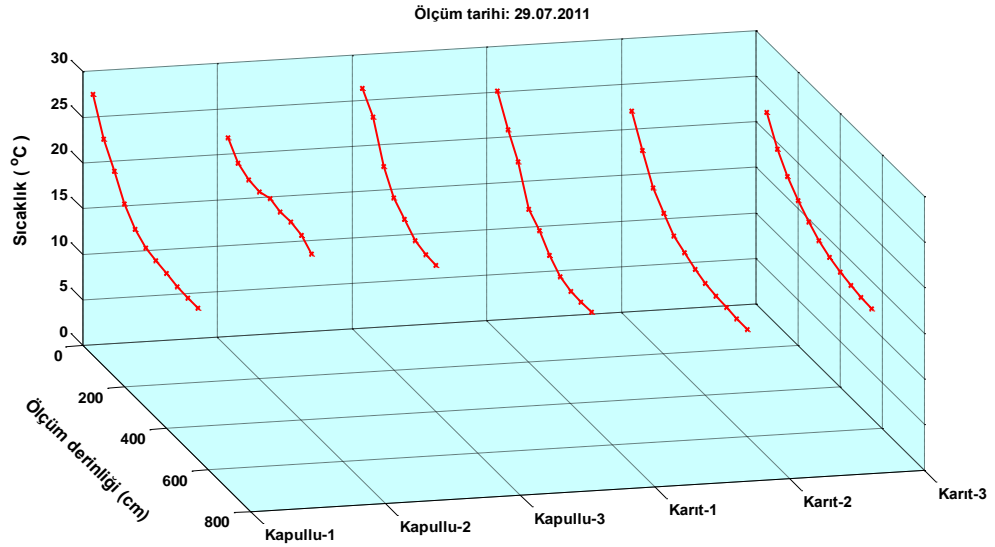
KAPULLU KUYU-2 ÖLÇÜM SONUÇLARI													
Ölçüm Tarihi:	Sıcaklık	Ölçüm Tarihi:	Sıcaklık	Ölçüm Tarihi:	Sıcaklık	Ölçüm Tarihi:	Sıcaklık	Ölçüm Tarihi:	Sıcaklık	Ölçüm Tarihi:	Sıcaklık	Ölçüm Tarihi:	Sıcaklık
29.07.2011	Değeri °C	29.12.2011	Değeri °C	29.03.2012	Değeri °C	16.07.2012	Değeri °C	20.11.2012	Değeri °C	20.03.2013	Değeri °C	01.08.2013	Değeri °C
Dış Hava	32,9	Dış Hava	2,7	Dış Hava	6,3	Dış Hava	38,4	Dış Hava	10,3	Dış Hava	5,9	Dış Hava	36,3
50 cm	23,2	50 cm	4,2	50 cm	4,9	50 cm	28,9	50 cm	8,9	50 cm	5	50 cm	23,8
100 cm	20	100 cm	4,5	100 cm	4,5	100 cm	26	100 cm	10,5	100 cm	4,5	100 cm	25,9
150cm	17,1	150cm	4,9	150cm	4,6	150cm	21,7	150cm	13,2	150cm	4,5	150cm	21,7
200cm	15,4	200cm	5,6	200cm	4,5	200cm	18,1	200cm	13,3	200cm	4,6	200cm	18,3
250cm	14,1	250cm	6,2	250cm	5,2	250cm	17,2	250cm	13,6	250cm	5,1	250cm	16,9
300cm	13,4	300cm	6,6	300cm	5,4	300cm	15,5	300cm	14	300cm	5,4	300cm	15,5
350 cm	12,7	350 cm	7,7	350 cm	6,3	350 cm	14,4	350 cm	14	350 cm	6,2	350 cm	14,4
400 cm	12,3	400 cm	9,1	400 cm	6,5	400 cm	14,4	400 cm	13,7	400 cm	6,4	400 cm	13,6
450 cm	12	450 cm	10,5	450 cm	7,8	450 cm	13,1	450 cm	13,5	450 cm	7,6	450 cm	12,5
500 cm	11,9	500 cm	10,6	500 cm	7,8	500 cm	12	500 cm	13,3	500 cm	7,9	500 cm	12,1
550 cm	11,8	550 cm	11,4	550 cm	7,9	550 cm	11,3	550 cm	13,2	550 cm	8,8	550 cm	12,1
600 cm	11,8	600 cm	11,4	600 cm	9	600 cm	11,1	600 cm	13	600 cm	9,3	600 cm	12,1
650 cm		650 cm		650 cm	9,4	650 cm	11,1	650 cm	12,9	650 cm	10,2	650 cm	
700 cm		700 cm		700 cm	10,5	700 cm		700 cm	12,7	700 cm	10,3	700 cm	
750 cm		750 cm		750 cm	10,6	750 cm		750 cm	12,7	750 cm	10,3	750 cm	
800 cm		800 cm		800 cm	10,7	800 cm		800 cm		800 cm	10,3	800 cm	

Çizelge 5.6. Kapullu Kuyu-3 ölçüm sonuçları.

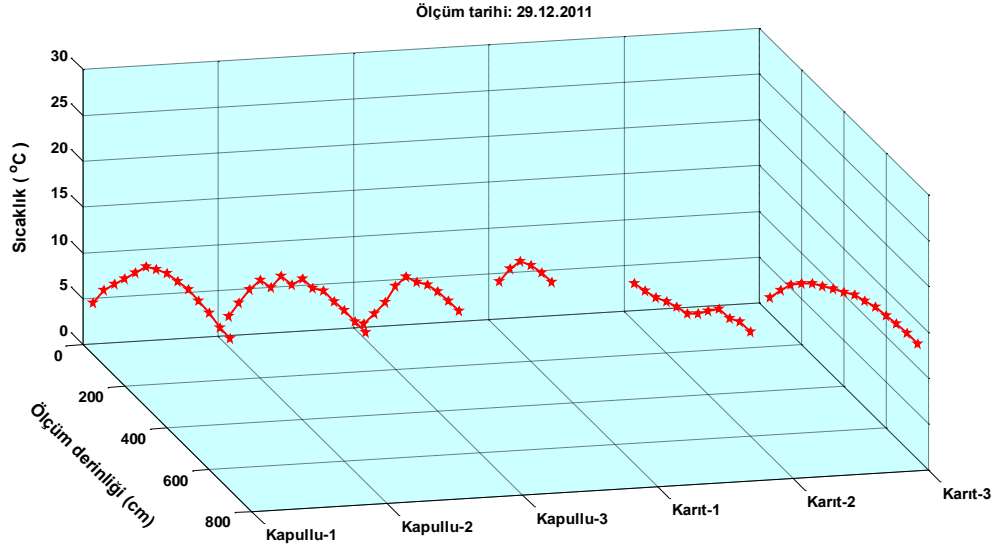
KAPULLU KUYU-3 ÖLÇÜM SONUÇLARI													
Ölçüm Tarihi:	Sıcaklık	Ölçüm Tarihi:	Sıcaklık	Ölçüm Tarihi:	Sıcaklık	Ölçüm Tarihi:	Sıcaklık	Ölçüm Tarihi:	Sıcaklık	Ölçüm Tarihi:	Sıcaklık	Ölçüm Tarihi:	Sıcaklık
29.07.2011	Değeri °C	29.12.2011	Değeri °C	29.03.2012	Değeri °C	16.07.2012	Değeri °C	20.11.2012	Değeri °C	20.03.2013	Değeri °C	01.08.2013	Değeri °C
Dış Hava	27,5	Dış Hava	1,3	Dış Hava	12,6	Dış Hava	35,8	Dış Hava	6,8	Dış Hava	11,3	Dış Hava	34,4
50 cm	22,2	50 cm	1,7	50 cm	7,9	50 cm	26,8	50 cm	7,2	50 cm	7,9	50 cm	28,1
100 cm	19,3	100 cm	3,7	100 cm	6,9	100 cm	23,4	100 cm	9,3	100 cm	6,9	100 cm	23,1
150cm	17,4	150cm	5,4	150cm	5,1	150cm	20,8	150cm	10,9	150cm	5,1	150cm	20,7
200cm	15,9	200cm	6,7	200cm	5,1	200cm	18,7	200cm	12,5	200cm	5,1	200cm	18,6
250cm	14,7	250cm	7,8	250cm	5,3	250cm	17	250cm	13,6	250cm	5,3	250cm	17,3
300cm	13,8	300cm	8,7	300cm	5,7	300cm	15,7	300cm	14	300cm	5,7	300cm	16,2
350 cm	13,1	350 cm	9,5	350 cm	6,8	350 cm	14,6	350 cm	14,1	350 cm	6,8	350 cm	15
400 cm	12,6	400 cm	10,3	400 cm	7,6	400 cm	13,7	400 cm	14	400 cm	7,6	400 cm	13,1
450 cm	12,3	450 cm	11,1	450 cm	7,8	450 cm	13,1	450 cm	14	450 cm	7,8	450 cm	12,2
500 cm	12,1	500 cm	11,6	500 cm	7,9	500 cm	13,1	500 cm	500 cm	7,9	500 cm	12,1	
550 cm	12	550 cm	12,1	550 cm	8,5	550 cm	12,2	550 cm	550 cm	8,5	550 cm	12,1	
600 cm	12	600 cm	12,3	600 cm	8,7	600 cm	12,1	600 cm	600 cm	8,7	600 cm		
650 cm		650 cm	12,5	650 cm	9,5	650 cm	12,1	650 cm	650 cm	9,5	650 cm		
700 cm		700 cm	12,6	700 cm	10,8	700 cm		700 cm	700 cm	10,8	700 cm		
750 cm		750 cm	12,6	750 cm	10,8	750 cm		750 cm	750 cm	10,9	750 cm		
800 cm		800 cm		800 cm		800 cm		800 cm	800 cm		800 cm		

5.4.2. Karıt ve Kapullu İçin Isıtma Yüğü Hesabında Kullanılacak Sıcaklık Değer Grafikleri

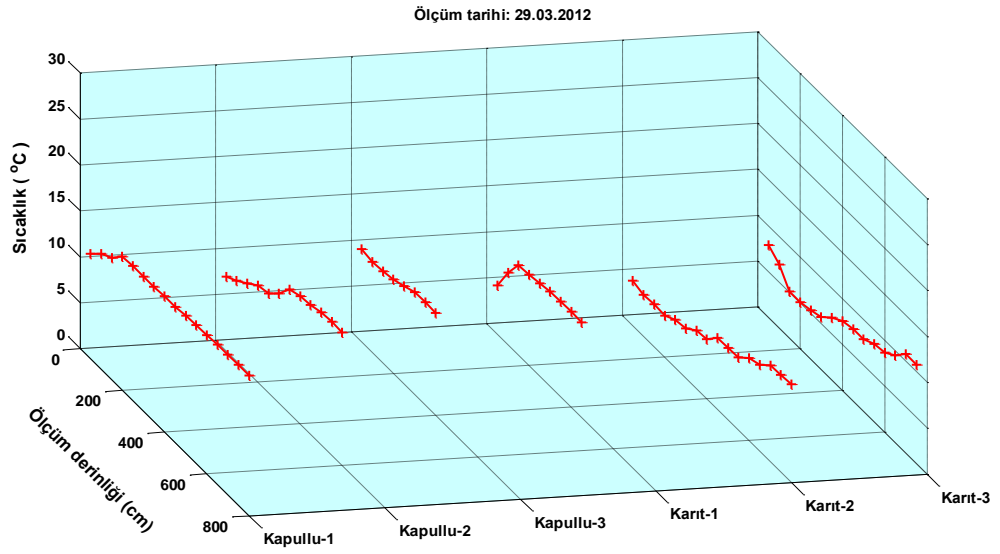
Yapılan ölçmeler sonucu elde edilen sıcaklık değerlerinin Şekil 5.12-5.18. arasında gösterilmiştir.



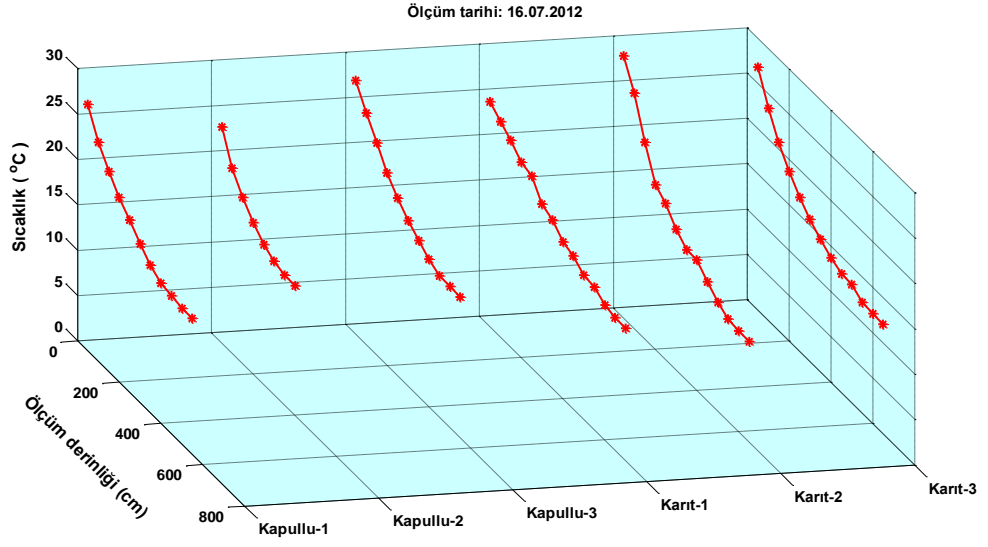
Şekil 5.12. 29/07/2011 Tarihinde yapılan sıcaklık ölçüm sonuçları.



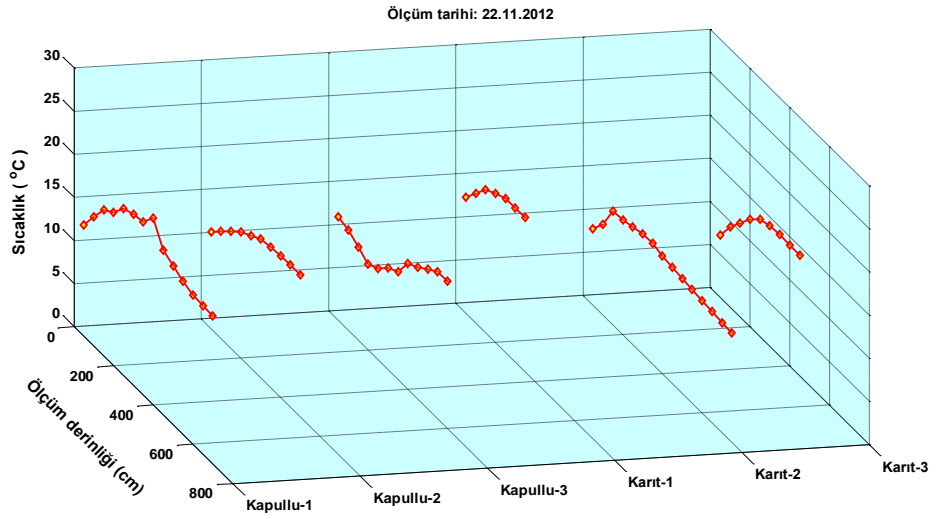
Şekil 5.13. 29/12/2011 Tarihinde yapılan sıcaklık ölçüm sonuçları.



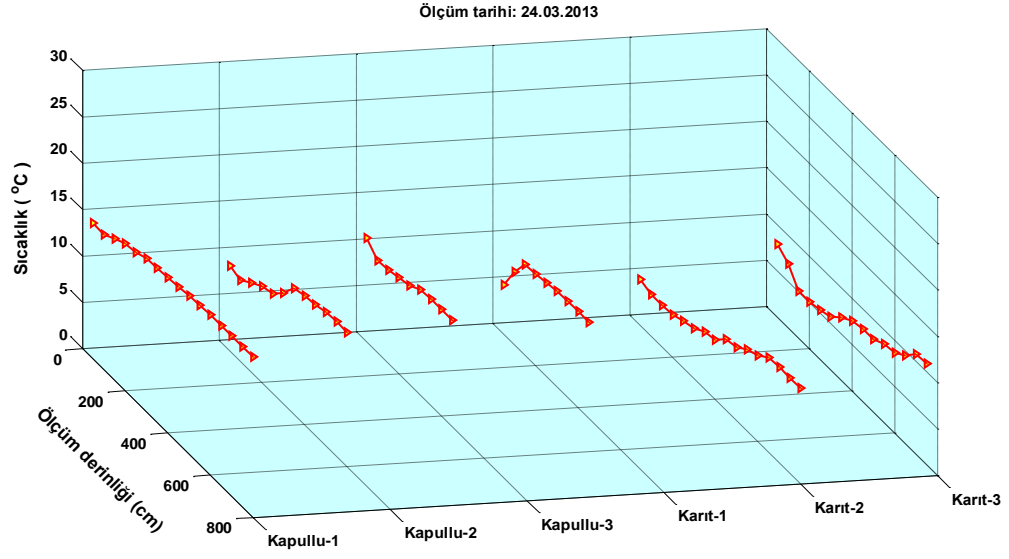
Şekil 5.14. 29/03/2012 Tarihinde yapılan sıcaklık ölçüm sonuçları.



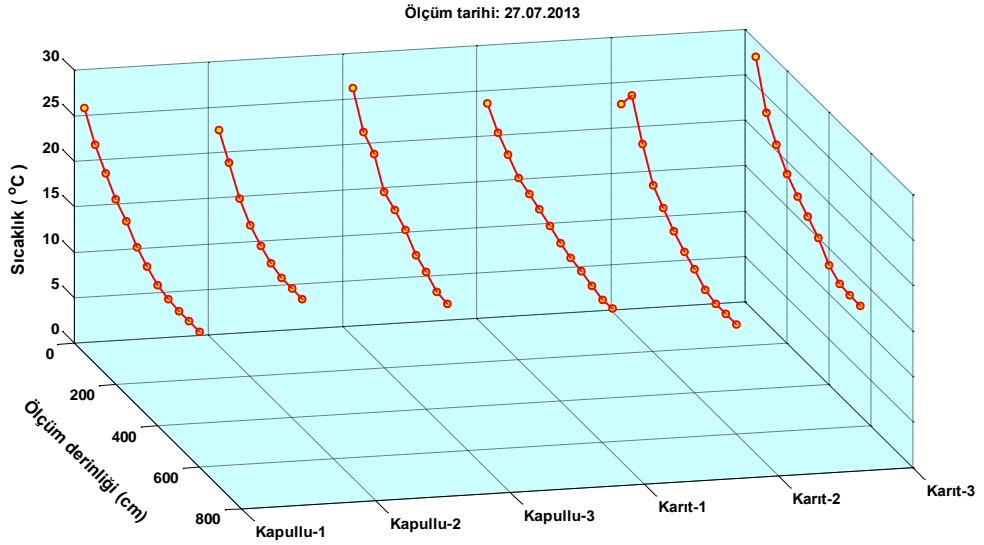
Şekil 5.15. 16/07/2012 Tarihinde yapılan sıcaklık ölçüm sonuçları.



Şekil 5.16. 22/11/2012 Tarihinde yapılan sıcaklık ölçüm sonuçları.



Şekil 5.17. 24/03/2013 Tarihinde Yapılan Sıcaklık Ölçüm Sonuçları.



Şekil 5.18. 27/07/2013 Tarihinde yapılan sıcaklık ölçüm sonuçları.

5.5. KUYU SICAKLIK ÖLÇÜM DEĞERLERİNİN YORUMLANMASI

Yapılan kuyu ölçümlerinin sonuçlarını değerlendirmek için, seçilen kuyu yerleri ve şartları, mevsimlerin etkileri, coğrafik koşullar, toprak özelliği gibi birçok etkene dikkat edilmeli ve bu değişkenlerin bilinmesi faydalı olacaktır.

5.5.1. Seçilen Kuyu Yerleri

Kuyu ölçümlerinin uzun süre alacak olması, ≤ 5 m derin olması, birbirine yakın ve benzer toprak yapısında olması, güneşlenme süreleri açısından farklı koşullarda olması çalışma öncesi ölçüm yapılacak kuyular için belirlenen ana özelliklerdir. DSİ 23. Bölge Müdürlüğüne Karabük İlinde yapılması planlanan Karıt ve Kapullu Sel Kapanı ön incelenmesi esnasında açılan jeolojik sondaj inceleme kuyuları belirlenen şartları sağlaması nedeni ile bu çalışmamızda yapılacak ölçümlerde kullanılmak üzere belirlenmiştir. Karıt sondaj kuyuları Karabük İli Kuzey-Batı, Kapullu sondaj kuyuları Karabük İli Kuzey-Doğu mevkiinde yer alan ve her iki sondaj kuyuları il merkezine 5 km mesafededir.

Seçilen kuyu noktaları birbirine yakın yerlerde olup benzer toprak yapısına haiz kuyulardır. Belirlenen her iki yerde 6'şar adet kuyu ölçüm yapmak için seçilmiştir. Bu kuyular ikişer olarak; devamlı güneş alan (belirlenen yerde güneşlenme zamanı en fazla olan kuyu), ağaçlık alanda yer alan ya da gölgede kalan (güneşlenme zamanı en az olan kuyu), dere yatağında yüzey ve yüzey altı suyu olan kuyular içerisinde seçilmiştir. En sağlıklı ölçüm alınan kuyu değerleri bu çalışmada kullanılmıştır (açılan bu sondaj kuyuları uzun süreli açık kalan kuyular olması nedeni ile zamanla içlerine malzeme akması, göçük olması vb. nedenlerle tıkanabilmektedir).

Toprak sıcaklık kaynağı güneş (özellikle ilk 10m derinliğe kadar) ve yer çekirdeği sıcaklığıdır. Ölçümlenen kuyulardan 1 numaralı olanları (Karıt Kuyu 1 – Kapullu Kuyu -1) güneşlenme miktarı en fazla genelde güney cephede olan kuyulardır. 2 numaralı olanları (Karıt Kuyu 2 – Kapullu Kuyu -2) dere yatağında yer alan yüzey ve yer altı suyu içerisinde olan kuyulardır. 3 numaralı olanları (Karıt Kuyu 3 – Kapullu Kuyu -3) kuzey cephede yer alan güneşlenme miktarı en az ve ağaç ve diğer çalılıklar ile güneşlenmesi en az olan kuyulardır.

Kuyuların bu şekilde seçilmesindeki amaç güneşlenme süresi ve suyun toprak altı sıcaklık değerleri üzerine etkisini görebilmek içindir.

Kuyu ölçümlerinde mevsim şartlarının belirlenmesi için ölçümler mevsim şartlarına uygun olacak şekilde (her mevsimin şartını gösteren zaman ve hava şartı sağlanarak) yıl içerisinde 4 defa yapılmıştır. Burada mevsim şartlarının toprak altı sıcaklık değeri üzerine etkisi incelenmiştir. Diğer ölçümlerde ilk ölçüm tarihi veya ona yakın olan tarihlerde yapılmaya çalışılmıştır.

5.5.2. Ölçüm Değerlerinin Karşılaştırılması

Yukarıda belirtilen şartlara dikkat edilerek yapılan toprak altı sıcaklık değeri ölçümleri sonucunda elde edilen veriler şu şekildedir:

Karıt Kuyuları için:

- Ölçümler 2011-2013 seneleri içerisinde Temmuz, Kasım-Aralık, Mart, aylarında olmak üzere her kuyuda toplam 7 ölçüm yapılmıştır.
- Karıt 1 kuyusunda en düşük sıcaklık değeri 5.7 °C ile 50 cm derinlikte 28.12.2011 de ölçülmüştür.
- Karıt 1 kuyusu için 3 m derinlik değerinde toprak altı sıcaklık değeri yatay değişim grafiği izlemeye başlayarak yıl boyunca 14-19 °C sıcaklık değeri arasında seyretmiştir.
- Karıt 2 kuyusunda en düşük sıcaklık değeri 3.3 °C ile 50 cm derinlikte 28.12.2011 de ölçülmüştür.
- Karıt 2 kuyusu için 4 m derinlikte toprak altı sıcaklık değeri yatay değişim grafiği izlemeye başlayarak yıl boyunca 14-19 °C sıcaklık değeri arasında seyretmiştir.
- Karıt 3 kuyusunda en düşük sıcaklık değeri 1.6 °C ile 50 cm derinlikte 28.12.2011 de ölçülmüştür.

- Karıt 3 kuyusu için 3.5 m derinlikte toprak altı sıcaklık değeri yatay değişim grafiği izlemeye başlayarak yıl boyunca 11-17 °C sıcaklık değeri arasında seyretmiştir.
- En dūřuk (soğuk) toprak altı sıcaklık değeri ilkbahar başı Mart ayında ölçülmüştür. En yüksek (sıcak) toprak altı sıcaklık değeri güneşlenme süresi uzun olan kuyuda sonbaharda Kasım-Aralık ayında, güneşlenme süresi az olan ya da su kaynağına yakın olan kuyularda yaz mevsimi Temmuz ayında ölçülmüştür.
- Toprak altı sıcaklık değeri 3-4.5 m derinlikte yatay bir grafik izleyerek mevsim şartlarına göre 11-19 °C sıcaklık değerleri arasındadır (güneşlenme süresi uzun olan kuyuda yatay seyir 3 m derinlikte başlayıp 14-19 °C arasındayken, su kaynağına yakın kuyuda 4 m derinlikte 14-19 °C, güneşlenme süresi en az olan kuyuda 3.5 m derinlikte yatay değişim gösteren sıcaklık değerleri 11-17 °C arasında değişmektedir.).

Kapullu Kuyuları için:

- Ölçümler 2011-2013 seneleri içerisinde Ağustos-Temmuz, Kasım-Aralık, Mart, aylarında olmak üzere her kuyuda toplam 7 ölçüm yapılmıştır.
- Karıt 1 kuyusunda en dūřuk sıcaklık değeri 5.3 °C ile 50 cm derinlikte 29.12.2011 de ölçülmüřtür.
- Karıt 1 kuyusu için 3.5 m derinlik değerinde toprak altı sıcaklık değeri yatay değişim grafiği izlemeye başlayarak yıl boyunca 10-18 °C sıcaklık değeri arasında seyretmiştir.
- Karıt 2 kuyusunda en dūřuk sıcaklık değeri 4.2 °C ile 50 cm derinlikte 29.12.2011 de ölçülmüřtür.
- Karıt 2 kuyusu için 4.5 m derinlikte toprak altı sıcaklık değeri yatay değişim grafiği izlemeye başlayarak yıl boyunca 7-13 °C sıcaklık değeri arasında seyretmiştir.

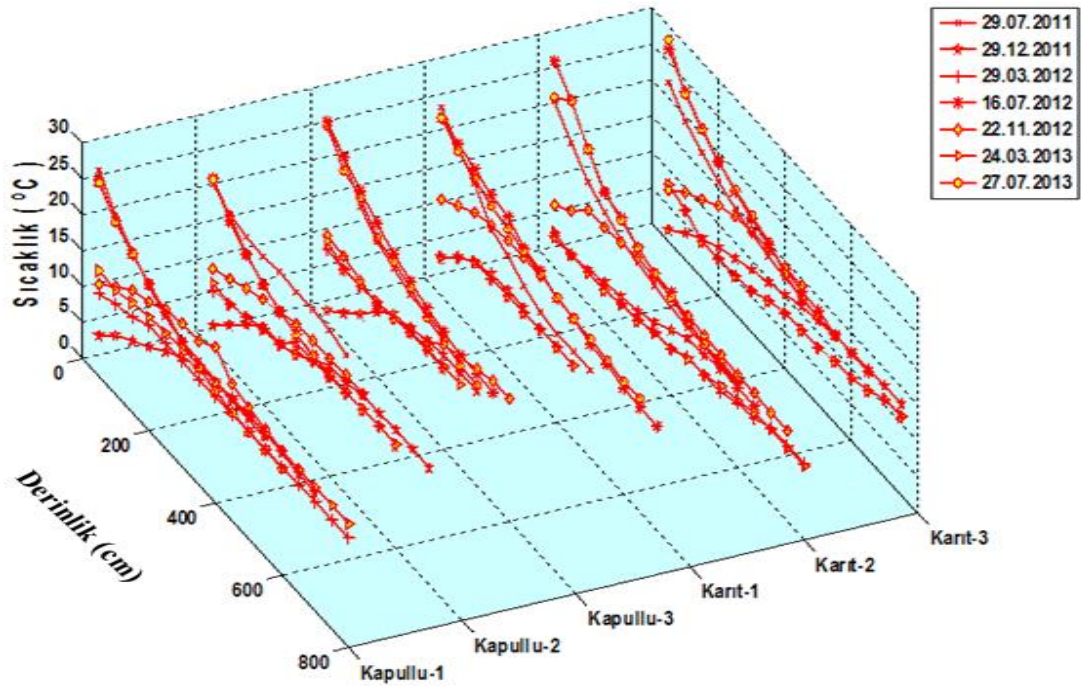
- Karıt 3 kuyusunda en düşük sıcaklık değeri 1.7 °C ile 50 cm derinlikte 29.12.2011 de ölçülmüştür.
- Karıt 3 kuyusu için 4.5 m derinlikte toprak altı sıcaklık değeri yatay değişim grafiği izlemeye başlayarak yıl boyunca 7-13 °C sıcaklık değeri arasında seyretmiştir.
- En düşük (soğuk) toprak altı sıcaklık değeri ilkbahar başı Mart ayında ölçülmüştür. En yüksek (sıcak) toprak altı sıcaklık değeri güneşlenme süresi uzun olan kuyuda sonbaharda Kasım-Aralık ayında, güneşlenme süresi az olan ya da su kaynağına yakın olan kuyularda yaz mevsimi Temmuz ayında ölçülmüştür.
- Toprak altı sıcaklık değeri 4-4.5 m derinlikte yatay bir grafik izleyerek mevsim şartlarına göre 7-18 °C sıcaklık değerleri arasındadır (güneşlenme süresi uzun olan kuyuda yatay seyir 3.5 m derinlikte başlayıp 10-18 °C arasındayken, su kaynağına yakın kuyuda 4.5 m derinlikte 7-13 °C, güneşlenme süresi en az olan kuyuda 4.5 m derinlikte yatay değişim gösteren sıcaklık değerleri 7-13 °C arasında değişmektedir.).

Toprak altı sıcaklık değerleri ölçümlerinde mevsimlere göre etki incelendiğinde; elde edilen ölçüm sonuçlarına göre en düşük sıcaklık değeri Şubat-Mart arasında, en yüksek kuyu sıcaklık değeri de Eylül-Ekim ayları arasında ölçülmüştür. Bunun en temel nedeni, yaz boyunca güneşlenen toprağın yaz sonu sıcaklık değerinin artması ve kış ayları boyunca güneşlenme miktarı azalan toprağın enerji yükünü kış sonuna doğru kaybetmesi olarak açıklanabilir.

Toprak altı sıcaklık değerleri ölçümlerinde coğrafi koşullara göre etki incelendiğinde; en yüksek ve düzenli sıcaklık değerleri, güney cepheli devamlı güneşlenen toprakta, en düşük ve kararsız sıcaklık değerleri ise su kaynağına yakın kuzey cepheli az güneş alan ağaçlık arazi şartında ölçülmüştür.

Bu ölçüm sonuçlarına ve yukarıda yapılan değerlendirmelere göre; 0-2 m derinlikte toprak altı sıcaklık değerlerinde mevsimsel ve coğrafi şartlara göre büyük değişimler olmaktadır. 2-5 m arası derinliklerde sıcaklık değişimleri mevsimsel ve coğrafi koşullardan etkilenmediği görülmekle beraber sıcaklık değişimleri daha kararlı bir hal almıştır. Yatay serimli TKIP uygulamaları için en ideal derinlikler, kazı maliyeti göz önüne alınınca, bu aralık değerleridir. <5 m değeri için toprak altı sıcaklık değerleri en yüksek değerlere ulaşmakla beraber mevsimsel ve coğrafi değişimlerinin etkisinden söz edilemez, bununla beraber serim alanındaki dekopaj işleminin maliyeti düşünülecek olunursa bu tip tercihlerde Dikey serimli TKIP uygulamaları maliyet yönünden daha ekonomik olacaktır.

Derinliklere göre kuyulardan elde edilen sıcaklık değerleri Şekil 5.19'da gösterilmiştir.



Şekil 5.19. Yapılan kuyu ölçümleri değerleri kıyaslanması.

BÖLÜM 6

HESAPLAMALAR

6.1. TASARIM PARAMETRELERİ

TKIP tasarımı yapılırken, konut mimarisi, ısı enerjisi çekilecek (borulamanın yapılacağı) toprak ısı karakteristikleri ve kullanılacak ısı pompası teknik özelliklerinin birlikte projelendirilmesi gerekmektedir. TKIP sistemleri, tüm tasarım kriterlerinin yerine getirilmesi halinde konut ömrü boyunca sorunsuz çalışan sistemler olarak bilinir. Hesaplamalarda kullanılacak tasarım bilgileri aşağıda verilmiştir.

PE/ İYE

$A_{\text{bina}} / V_{\text{bina}}$:	800 m ² /1008 m ³
$Q_{\text{ısıtma}}$:	13.89 / 27.75 kWh
$T_{\text{dış}}$	Tasarım Dış Hava Sıcaklığı :	- 3° C
T_{or}	Ortalama Toprak Sıcaklığı :	13.4°C (Kapullu-2 Kuyu Ölçüm Değeri)
T_{h}	:	11.2 / 10.8 °C (Kapullu-2 Kuyu Ölçüm Değeri)
T_{d}	:	5.1 / 6.4 °C (Kapullu-2 Kuyu Ölçüm Değeri)
T_{y}	:	17.2 / 14.4 °C (Kapullu-2 Kuyu Ölçüm Değeri)
T_{max}	:	50 °C (Vaillant Katalog,2005)
T_{min}	:	0 °C (Vaillant Katalog,2005)
Isı kaynağı	:	Toprak
Çevrim akışkanı	:	R407C (Vaillant Katalog,2005)
İşletme şekli	:	Tekli (aktif ısıtma-pasif soğutma)

6.2. BİNA ÖZELLİKLERİ

Seçilen bina, uygulaması yapılmış villa konut tipinden örneklenmiştir. 3 katlı villanın oturma alanı yaklaşık 300 m² dir. Binaya ait ısı kayıpları Pasif Ev kriterlerini sağlayacak şekilde ve TSE-825 standartlarına göre B sınıfı yalıtımlı bina tipine göre İzoder TSE-825 hesaplama programı ile hesaplanmıştır.



Şekil 6.1. Binanın mimari çizimleri.

Binada ısı yükü hesaplamaları iki şekilde yapılmıştır. İlk yalıtım tipinde konutun Pasif Ev olduğu tasarlanmış olup, yalıtımının konut için uygun projelendirme sonucu yapıldığı kabul edilmiştir. İkinci yalıtım tipinde konutun TSE-825 normuna göre yapıldığı kabul edilerek yalıtım hesabı İzoder yalıtım programı ile yapılmıştır. Bina Mimari çizimleri Şekil 6.1’de verilmiştir.

6.3. TKIP KRİTERLERİ VE ANALİZ DEĞERLERİ

Tasarımı yapılacak TKIP sistemleri için dikkat edilmesi gerekli ana kriterler:

- Derinliklere göre toprak altı sıcaklık değeri (işletim tipi)
- Toprak analizi (toprak tipine göre ısıl geçirgenlik katsayısını belirlemek için)
- Isıtılacak mahal yüklerinin belirlenmesi (hesaplandırma toleransları)

olarak sıralanabilir. Yapılacak TKIP uygulamalarında yapılan hesaplamalar için uygun güvenlik katsayısı eklemek faydalı olacaktır. Seçilen TKIP ile ısı hesaplarının birbiri ile uyumlu olmaması halinde aşırı ısı enerjisi çekilen toprakta donma meydana gelir. Toprakta donma olayı yaşandıktan sonra toprağın ısı karakteristiği değişmektedir. Bu durumda tesis edilen TKIP sistemleri çalışamaz hale gelir.

6.3.1. Isı Kaynağı Sisteminin Özellikleri

TKIP tasarımının en önemli kısmı kullanılan kaynak seçiminin ve toplam ısıtma gücü hesaplarının birbiri ile uyumlu olmasıdır. Isı talebinin belirlenmesinde gerekli hassasiyet gösterilirse tasarım hesapları da en yüksek doğrulukta olacaktır. Isı kaynakları çok küçük olmamalıdır, kullanılacak tolerans miktarı iyi seçilmeli ve herhangi bir aksaklık olması durumunda ihtiyacı karşılayabilmelidir. Isıtma projelendirmesinde kaynak sıcaklığı yüksek seçilmelidir. Bu hem kaynak ortamının ısı çekişi sonrası kaynaktan donmayı engeller hem de COP üzerine pozitif bir etki oluşturur. Donmuş bir kaynağın tekrar verimli olması iklim şartları ile paralel olmak üzere yıllar sürebilmektedir. Isı kaynakları, kullanılacak ısı pompası gücüne göre uygun olarak hesaplanması için toprak analizi, hesaplandırma tekniği ve işletim tipi gibi üç ana kurala uyulmalıdır.

6.3.1.1. Toprak Analizi

Verimli bir sistem tasarımı için TKIP sisteminin ısı çekeceği toprak alandan numuneler alınarak, toprağın ısı geçirgenlik katsayısının tespit edilmesi gerekmektedir. Bu laboratuvar çalışması hem çok maliyetli hem de zaman alan bir süreçtir. Toprak ısı geçirgenlik katsayı değerleri için Vaillant Kataloğundan alınan Çizelge 6.1’de yer alan değerler kullanılmıştır.

Çizelge 6.1. Toprak çeşidi ısı karakteristiği, Vaillant Kataloğu, 2005.

Toprak Cinsi	Döşeme Faktörü	Isı Geçirgenlik Katsayısı
Normal Toprak	25 m ² /kW	20-30 W/m ²
Kuru Toprak	75 m ² /kW	10-15 W/m ²
Nemli Toprak	25 m ² /kW	20-35 W/m ²
Çakıl+Kayaçlı toprak	20 m ² /kW	40 W/m ²

6.3.1.2. Toprak Altı Sıcaklık Değerleri

TKIP tasarımlarında toprak altı sıcaklık değeri için 1-2 m’de 5 °C kabulü yapılmaktadır. Diğer taraftan toprak derinliği arttıkça sıcaklık değerleri mevsim şartlarına göre farklılık göstermektedir (kışın sıcaklık artışı etkisi ile ısıtmada, yazın ise sıcaklık düşüşü nedeni ile soğutmada). Toprak altı sıcaklık değerleri belli bir derinlikten sonra yıl boyunca $\pm 1^{\circ}\text{C}$ tolerans miktarı ile sabit kalmaktadır. Toprak altı sıcaklığı, ölçme işlemlerinin uzun zaman alması nedeni ile tasarımlarda genelde 5 °C olarak kabul edilmektedir.

Bu çalışmada, 0.5 m derinlikten başlayarak 8 m derinliğe kadar toprak altı sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Hesaplamalarda kullanılmak üzere, genel yaklaşımlara uygun olarak 2.5 m derinlikteki sıcaklık değerleri ile kazı hafriyat miktarları göz önüne alınarak 4 m derinlikteki sıcaklık değerleri seçilmiştir. Isıtmada kullanıldığında TKIP tasarımında, yapılan ölçmeler sonucu kuyulardan alınan sıcaklık değerlerinin en

düşük elde edildiği değerler esas alınmıştır. Isı pompası seçiminde en önemli değer ısı enerjisi çekilecek yerin sıcaklık değeridir. Belirlenen derinliklerde elde edilen sıcaklık değerleri, şu an piyasa da yapılan uygulamalara (toprak altı sıcaklığını 5 °C alınmaktadır) yakın olan değerlerdir. Ölçümler sonucu en düşük sıcaklık değerleri Kapullu Kuyu - 2 ölçümlerinde alınmıştır. Bunun nedeni bölgenin sık ağaçlı olması nedeni ile günlük güneşlenme zamanının kısıtlı olmasıdır. Yapılan ölçümlerde en düşük referans sıcaklık değeri; Kapullu Kuyu-2 de ölçülen sıcaklık değeri olan 5.2 °C'dir. Ölçülen bu sıcaklık değerleri piyasa şartlarında yapılan uygulamalara uyum göstermektedir. Çizelge 6.2. de kullanılacak sıcaklık değerleri verilmiştir.

Çizelge 6.2. Hesaplamalarda kullanılacak sıcaklık değerleri.

TOPRAK ALTI SICAKLIK DEĞERLERİ				
	Kuyu No	Kuyu1	Kuyu2	Kuyu3
KARIT	2.5 m derinlik	14.7°C	10.8°C	10.7°C
	4 m derinlik	14.8°C	13.9°C	11.2°C
KAPULLU	2.5 m derinlik	10.1°C	5.2°C	5.3°C
	4 m derinlik	10.4°C	6.5°C	7.6°C

6.3.1.3. Isıtılacak Mahal Yüklerinin Belirlenmesi

TKIP uygulamaları imalat ve montaj sonrasında sisteme müdahale edilmesi istenmeyen ve uzun süreli kullanıma göre tasarımı yapılan sistemlerdir. Tasarım sırasında ileriye dönük ısı yüklerinde meydana gelecek değişimler ve mevcut şartların değişimine adapte olacak güvenlik katsayısına göre sistemlerin tasarımı doğru bir yaklaşım olacaktır. Bunun için ısı enerji ihtiyacında, döşenen boru boyu hesabında, ısı enerjisi çekilen toprağın sıcaklık değeri hesaplarında, ölçeklendirme tolerans katsayısı büyük tutulmalıdır.

Bu sayede ileride olabilecek ısı enerjisi artış ihtiyacı sistemden kolaylıkla sağlanabilecek ve sistemin uzun yıllar boyunca verimli şekilde çalışması sağlanmış olacaktır.

Tasarlanan sistemin hidrolik testleri yapıldıktan sonra kapatılmalı ve nihai kullanıcı ve işleticilerin sistem hakkında bilgileri artırılmalıdır. Olası bakım ve tadilat durumları için detaylı bir kurulum şeması ilgili taraflarda kesinlikle bulundurulmalıdır. Ayrıca toprak altına serilen borunun tekrar açılmasının çok maliyetli olduğu yerde 2-3 m derine yeni bir boru hattı daha serilerek yedeklenmesi ileride olabilecek tamir/tadilat masrafinin da önüne geçecektir.

Tüm bu nedenlerden dolayı TKIP sistemlerinin deneyimli ehil personelce projelendirilmesi ve uygulanması gerekmektedir.

6.4. SİSTEM TASARIMI ISI ENERJİ İHTİYACI

Bu kısımda sistem tasarımı için Pasif ev şartları ve iyi yalıtılmış ev şartları için yapılacaktır. Yapılacak konut tipleri için yalıtım projesinin iyi şekilde uygulanmış olduğu kabulü esas alınacaktır. Toprak altı sıcaklık değeri için en düşük olan değer kullanılacaktır.

Sistem tasarımızda 1800 saat/yıl ısıtma kullanım süreli ısı pompası COP değerinin ≥ 4 olan tercihler üzerinden yapılması, toprak serpantinlerinin aşırı büyük döşenmediği, serilen toprak serpantinlerinin üzerindeki yüzeyin örtülmediği kabulü ile tasarım yapılmaya başlanmıştır.

Bu kısımda yapılan hesaplamalar Vaillant Mikro-Kojenerasyon kataloğunda belirtilen pratik uygulamalar esaslarına göre yapılmıştır.

6.4.1. PE Tasarımı Isı Enerji İhtiyacı

Kullanılan evin PE olarak nitelenebilmesi için dış duvar yalıtımı için en az $U_d \leq 0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$ ve pencere yalıtımı için $U_p \leq 0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$ standardını yakalamak

gerekmektedir. Dış duvar yalıtımı sabitini $U_d=0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$, pencere yalıtımı için kabulü $U_p=0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$, alınacaktır.

Pasif Ev standartları çerçevesinde yapılan yalıtım sonucunda örnek villanın ihtiyaç duyduğu ısı enerjisi 12.89 kWh olarak bulunmuştur.

Sıcak su ihtiyacının da sadece TKIP den sağlandığı düşünülürse; sıcak su ihtiyacı için gerekli ısı enerjisi yükü Çizelge 6.3 Vaillant Sıcak Su Talebi Değerlerinden alınacaktır.

Çizelge 6.3. Vaillant sıcak su talebi değerleri, 2005.

Sıcak Su Talebi	45°C su sıcaklığında kişi başı günlük sıcak su talebi (Litre/kişi)	Spesifik ısı ihtiyacı (kişi başına günlük Wh)	Sıcak su ısıtması için önerilen ısıtma yük ilavesi (kW/kişi)
Düşük Talep	15 -30	600 – 1200	0.08 - 0.15
Normal Talep	30 – 60	1200 – 2400	0.15 - 0.30
Yüksek Talep	40 – 80	1600 – 3200	0.20 - 0.45

Sıcak su hesabı için, 4 kişilik bir çekirdek ailenin 50 lt/günlük ihtiyacı düşüncesi ile ısıtma yük ilavesi yukarıdaki tablodan 0.25 kW/kişi olarak hesaplanır.

Bina ısı yükü 12.89 kW bulunmuştu, toplam tasarım hesabı için;

Sıcak su hesabı= Isıtma yük ilavesi x Kişi sayısı = 0.25 kW/kişi x 4= 1 kW bulunur.

Buna göre tasarım için toplam ısı enerjisi yükü:

$Q \text{ (Toplam)}= Q \text{ (ısıtma)} + Q \text{ (sıcak su)}= 12890+1000= 13890= 13.89 \text{ kW}$, olarak bulunur.

6.4.2. İyi Yalıtımlı Ev (İYE) Tasarımı Isı Enerji İhtiyacı

İYE için $U_d = 0.275 \text{ W/m}^2\text{K}$ ve pencere yalıtımı için $U_p = 2.1 \text{ W/m}^2\text{K}$, pasif ev tasarımına benzer olarak İzoder TSE-825 hesaplama programı kullanılmıştır. Tasarlanan yalıtım TSE-825 standartlarına göre B sınıfı yalıtım kapasiteli bir konut olmuştur. Tasarlanan konutun ısı enerjisi ihtiyacı 26.75 kWh olarak bulunmuştur.

Tasarım ihtiyacı olarak bulunan ısı yükü binanın ısınma ihtiyacı ve konutta kullanılacak sıcak su ihtiyacının toplamı ile bulunur. Pasif ev hesaplamasına benzer şekilde, Sıcak su hesabı için 4 kişilik bir çekirdek ailenin 50 lt/günlük ihtiyacı düşüncesi ile ısıtma yük ilavesi yukarıdaki tablodan 0.25 kW/kşi olarak hesaplanır.

Sıcak su hesabı= Isıtma yük ilavesi x Kişi sayısı = 0.25 kW/kşi x 4= 1 kW bulunur.
Böylece;

$Q (\text{Toplam}) = Q (\text{ısınma}) + Q (\text{sıcak su}) = 26750 + 1000 = 27750 = 27.75 \text{ kW}$, olarak bulunur.

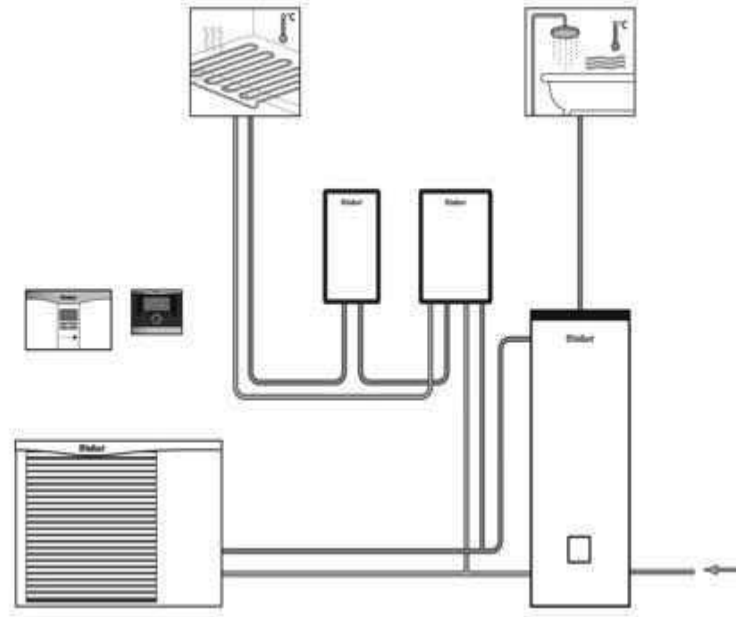
6.5. ISI POMPASI SEÇİMİ

PE tasarımı için 13.89 kW ve İYE tasarımı için 27.75 kW ısı enerjisi gereksinimi olduğu tespit edildikten sonra Vaillant Konvansiyonel ve Multi Kojenerasyon Kataloğu içerisinde ihtiyaç duyulan ısı yüküne göre pompa seçimi yapılmıştır.

Seçilen ısı pompaları TKIP özellikli olup sirkülasyon pompası, boyler kazanı entegreli kapalı sistemli komple ürünlerdir. Montaj aşaması için sadece genişleme tankı ve gerekli emniyet vanaları eksiktir. Buna göre seçilen pompalar ve özellikleri Çizelge 6.4. de, çalışma şekli de Şekil 6.2. de verilmiştir.

Çizelge 6.4. Seçilen TKIP ve teknik özellikleri.

Seçilen Isı Pompaları ve Özellikleri							
No	Tasarım Tipi	Seçilen Isı Pompası	Isı Pompası Özellikleri				
			Isıtma Kapasitesi	Soğutma Kapasitesi	COP Değeri	Elektrik İhtiyacı	Soğutucu Akışkan
1	Pasif Ev	Vaillant VWS 141/2	13.8 kW	13.3 kW	4.3	3.2 kW	R407C
2	İyi Yalıtılmış Ev	Vaillant VWS 300/2	29.9 kW	28.6 kW	4.8	6.5 kW	R407C



Şekil 6.2. Isı pompası basit kullanım şekli.

6.6. TASARIM HESAPLARI

Kolektör tasarımı yaparken toprak analizi yapılması gerekmektedir. Toprak yapısı buna bağlı olarak ısı çekme kapasite gücü, birim m² alanda ısı alma değeri, buna bağlı olarak boru çapı ve bunlar arası döşeme mesafesi belirlenmektedir. ABD,

Almanya gibi ülkelerde ülke genelinde yerleşim yeri merkezlerinde ve yakın çevrelerinde toprak yapısı analizleri yapıp tablo değerleri elde edilmiştir. Bunun harici, toprak analizleri yapılarak bu değerler tespit edilebilir.

PE tasarımı için toplamda ihtiyacımız olan 13.89 kW, iyi yalıtımlı ev tasarımı için toplam 27.75 kW ısı ihtiyacını karşılayacak toprak alanını bulmak için 2 uygulama şekli vardır.

- Döşeme Faktörü kullanarak,
- Isı Çekme Kapasitesi kullanılarak,

Tasarımı yapılacak sistemin tüm ilaveleri dahil olmak üzere gerçek ısı ihtiyacı biliniyorsa, ısı kaynağı hesaplamasında döşeme faktörü kullanılmalıdır. Isı pompasının var olması durumunda ısı çekme kapasitesi kullanılması daha iyi sonuç verecektir.

Ayrıca Isı pompası tasarımında kaynağın donma riskini göz önünde bulundurulmalıdır. Kış şartlarının uzun ve sert geçme durumuna hazır olunmalıdır (Karabük ili için yıllık ısıtma ihtiyacı 1800 saat alınmıştır.). Isı pompası tasarımında alınan tolerans değeri hem gelecekte olması muhtemel ihtiyaçlara azami cevap verebilmeli hem de kaynağın donmasını engellemelidir. Böylece devamlı aşırı yük altında olmayan tasarımın COP değerinden en iyi şekilde istifade edilir.

6.6.1. Gerekli Döşeme Yüzeyi (A)

Toprak altında döşeme yapılacak borunun serileceği alanı bulurken eğer Tasarım Isı Yüğü (TYI) ihtiyacımız biliniyorsa, tablodan uygun değerde seçilecek döşeme faktörü ile çarpılması ile toplam sergi yapılacak alan miktarı bulunacaktır.

$$A \text{ (m}^2\text{)} = \text{TIY (kW)} \times \text{Döşeme Faktörü (m}^2\text{/kW)}$$

PE tasarımı için;

$A (m^2) = TIY (kW) \times D\ddot{o}\ddot{s}eme\ Fakt\ddot{o}r\ddot{u} (m^2/kW) = 13.89 \times 25 = 347.25 m^2$ olarak,

İYE Tasarımı için;

$A (m^2) = TIY (kW) \times D\ddot{o}\ddot{s}eme\ Fakt\ddot{o}r\ddot{u} (m^2/kW) = 27.75 \times 25 = 693.75 m^2$ olarak,
bulunur.

Kullanılacak minimum toprak alan bulunduktan sonra bu alana serilecek boru uzunluğu hesaplanırken, kullanılacak mevcut alana serilecek boru demetleri arasındaki d\ddot{o}\ddot{s}eme mesafesi g\ddot{o}z \ddot{o}n\ddot{u}ne alınır. Ayrıca helisel ve slinky tarzı bol sarımlı serilecek borularda d\ddot{u}z serilen borulara g\ddot{o}re 1,4–1,8 katsayısı ile \ddot{c}arpılmalıdır.

6.6.2. Isı Kaynağı Devresi uzunluğu (L)

Isı pompası sisteminde kullanılacak boru boyunun hesaplanmasında iki farklı metot vardır. İlk metot Miles tarafından yapılan form\ddot{u}lasyona temel alınmışken [25]. İkinci metotta Vaillant Mikro-kojenarasyon katoluğunda verilen değerler temel alınmıştır.

Dış Hava Sıcaklığı

$T_{dış} : - 3 \text{ }^\circ\text{C}$

Kuyu \dd{O}l\dd{c}m Noktalarında Hava Sıcaklığı T_h : Her Kuyu i\dd{c}in \dd{O}l\dd{c}lm\dd{u}\dd{t}\dd{u}r

Yıllık Ortalama Toprak Sıcaklığı

T_{or} : Her Derinlik i\dd{c}in \dd{O}l\dd{c}lm\dd{u}\dd{t}\dd{u}r

Yıllık En D\dd{u}\dd{ř}ük Toprak Sıcaklığı

T_d : Her Derinlik i\dd{c}in \dd{O}l\dd{c}lm\dd{u}\dd{t}\dd{u}r

Yıllık En Y\dd{u}ksek Toprak Sıcaklığı

T_y : Her Derinlik i\dd{c}in \dd{O}l\dd{c}lm\dd{u}\dd{t}\dd{u}r

Miles Form\dd{u}l\dd{u}nde Ortalama hava sıcaklığına g\dd{o}re aşağıdaki yaklaşımlar yapılırken, bu \dd{c}alışmada istenen sıcaklık değerleri, hesaplamalarda Kapullu Kuyu-2 sıcaklık değerleri kullanılacaktır (en d\dd{u}\dd{ř}ük sıcaklık değeri Kapullu Kuyu-2 de elde edilmiştir).

$$T_h : 13.4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{or} : T_h + 1,1^\circ\text{C (Miles, 1994)}$$

$$T_d : T_{or} - 5 \text{ (Miles, 1994)}$$

$$T_y : T_{or} + 5 \text{ (Miles, 1994)}$$

T_{or} yapılan ölçümlerle 2.5 mt derinlikte =11.2 °C, 4 mt derinlikte =10.8 °C, olarak bulunmuştur.

$$T_d : T_{or} - 5 \text{ (Miles, 1994) bu değer ölçölerek bulunmuştur,}$$

$$T_d \text{ yapılan ölçümlerle 2.5 m derinlikte = 5.1}^\circ\text{C; 4 m derinlikte = 6.4}^\circ\text{C, olarak,}$$

$$T_y : T_{or} + 5 \text{ (Miles, 1994) bu değer ölçölerek bulunmuştur,}$$

$$T_y \text{ yapılan ölçümlerle 2.5 mt derinlikte = 17.2}^\circ\text{C; 4 mt derinlikte =14.4}^\circ\text{C,}$$

olarak bulunmuştur.

$$T_{max} : 50 \text{ } ^\circ\text{C (Seçilen Isı Pompa Değerleri Vaillant Kataloğu,2005)}$$

$$T_{min} : 0 \text{ } ^\circ\text{C (Seçilen Isı Pompa Değerleri Vaillant Kataloğu,2005)}$$

6.6.3. Serilecek Boru Bilgileri

Toprak altında kullanılan sistem, borular, ısı taşıyıcı akışkan, sirkülasyon pompasıdır. Toprak altında kullanılacak olan sistem korozyona dayanıklı, uzun ömürlü plastik malzemeden yapılmıştır. Boru karakteristik değerleri Çizelge 6.5. ve Çizelge 6.6. dan alınmıştır.

Boru malzemesi : PESCH40 seçilmiştir.

Çizelge 6.5. Boru tiplerine göre R_b (yatay) / R_b (düşey) değerleri, (Miles,1994).

R _b (yatay) / R _b (düşey)				
Boru çapı	PESCH-40	PESDR-11	PESDR-17	PESDR-13.5
¾"	0.17 / 0.116			
1"	0.159 / 0.109			
1 ¼"	1.130 / 0.089	0.144 / 0.096	0.16 / 0.11	0.20 / 0.14
1 ½"	0.117 / 0.080			
2"	0.098 / 0.068			

Toprak direnç değerinin bulunması için Çizelge 6.6. kullanılmaktadır.

Çizelge 6.6. Toprak direnci (Miles, 1994).

BORU ÇAPTI	R _r (Ağır Toprak-Nemli)										R _r (Kaya)
	R _r (Ağır Toprak-Kuru veya Hafif Toprak-Nemli)										R _r (H.Nemli)
	3	4	5	6	3	4	3	4	3	4	
¾"	1.02	1.06	1.09	1.11	1.31	1.37	2.05	2.15	2.11	1.88	0.60
	1.38	1.44	1.47	1.49	1.77	1.84	2.75	2.86	2.85	2.53	1.06
1"	0.97	1.02	1.04	1.06	1.26	1.32	2.00	2.10	2.07	1.84	0.57
	1.32	1.37	1.40	1.42	1.70	1.77	2.88	2.79	2.78	2.47	1.01
1 ¼"	0.92	0.97	0.99	1.01	1.22	1.27	1.96	2.05	2.02	1.79	0.54
	1.25	1.31	1.34	1.36	1.63	1.70	2.61	2.72	2.71	2.40	0.96
1 ½"	0.89	0.94	0.97	0.98	1.19	1.25	1.92	2.02	1.99	1.76	0.53
	1.21	1.27	1.30	1.32	1.59	1.66	2.57	2.68	2.67	2.36	0.94
2"	0.85	0.89	0.92	0.94	1.14	1.20	1.88	1.98	1.94	1.71	0.50
	1.15	1.20	1.24	1.26	1.53	1.60	2.51	2.62	2.61	2.29	0.89

6.6.4. Boru Boyunun Hesaplanması

6.6.4.1. Miles Formülüne Göre Boru Boyunun Hesaplanması

Toprak altından bulunan ısı değiştiricisinin toplam uzunluğu $L_{\text{ısıtma}}$ için Eşitlik 6.1., ve $L_{\text{soğutma}}$ için Eşitlik 6.2. (Miles,1994) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$L_{\text{ısıtma}} = \frac{572 [(COP_i - 1) / COP_i] \times (R_b + R_t \times F_i)}{(T_d - T_{\text{min}})} \quad \text{m/kW} \quad (6.1.)$$

$$L_{\text{soğutma}} = \frac{572 [(COP_i - 1) / COP_i] \times (R_b + R_t \times F_i)}{(T_{\text{max}} - T_d)} \quad \text{m/kW} \quad (6.2.)$$

$$L_{\text{istenen top}} = Q_1 \times L_{\text{istenen}}$$

Yukarıdaki formüller ısıtma mevsimi için boru boyu uzunluğunu verir.

Hesaplamada kullanılacak sıcaklık değerleri (2.5 mt değerleri / 4 mt değerleri),

$T_{\text{dış}}$:	- 3° C
T_h	:	13.4° C
T_{or}	:	11.2 / 10.8° C
T_d	:	5.1 / 6.4° C
T_y	:	17.2 / 14.4° C
T_{max}	:	50° C (Vailant Kataloğu,2005)
T_{min}	:	0° C (Vailant Kataloğu,2005)

PE için Serilecek Boru Boyu 1” için:

$$COP_1 = 4.3$$

$$R_b = 0.159 \text{ (çizelge 6.9)}$$

$$R_t = 1.02 \text{ (çizelge 6.10)}$$

$$K_1 = \frac{\text{Ortalama ısı kaybı}}{\text{Cihazın ısıtma kapasitesi}}$$

$$\text{Ortalama ısı kaybı} = \frac{\text{Toplam ısı kaybı}}{\text{Isıtma mevsimi için saat}} = \frac{13890}{10} = 1.389 \text{ kw}$$

$$K_1 = 1.389 / 13.89 = 0,1$$

$$L = \frac{572 [(4.3-1)/4.3] (0.159 + 1.02 \times 0.1)}{(5.1 - 0)}$$

2.5 m derinlik için $L_1 = 22.46 \text{ m/kW}$ (1 kw başına düşen metre değeri bulunur.)

4m derinlik için $L_1 = 17.90 \text{ m/kW}$ olarak bulunur.

2.5 m derinlikte $5.1 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık değeri için toplam boru boyu;

$$L_{\text{itop}} = 13.89 \times 22.46 \approx 312 \text{ m olarak.}$$

4 m derinlikte $6.4 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık değeri için toplam boru boyu;

$$L_{\text{itop}} = 13.89 \times 17.9 \approx 247 \text{ m olarak bulunur.}$$

İYE için Serilecek Boru Boyu

$$COP_1 = 4.8$$

$$R_b = 0.117 \text{ (çizelge 6.9)}$$

$$R_t = 0.907 \text{ (çizelge 6.10)}$$

$$K_1 = \frac{\text{Ortalama ısı kaybı}}{\text{Cihazın ısıtma kapasitesi}}$$

$$\text{Ortalama ısı kaybı} = \frac{\text{Toplam ısı kaybı}}{\text{Isıtma mevsimi için saat}} = \frac{27750}{10} = 2.775 \text{ kW}$$

$$K_1 = 2.775 / 27.75 = 0,1$$

$$L = \frac{572 [(4.8-1)/4.8] (0,117 + 0,907*0,1)}{(5.1 - 0)}$$

2.5 m derinlik için, $L_1 = 18,44 \text{ m/kW}$ (1 kw başına düşen metre değeri bulunur.)

4 m derinlik için, $L_1 = 14.69 \text{ m/kW}$, olarak bulunur.

2.5 m derinlik, $5.1 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık için toplam boru boyu: $L_{\text{itop}} = 27.75 \times 18.44 \approx 512 \text{ m}$

4 m derinlik $6.4 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık için toplam boru boyu $L_{\text{itop}} = 27.75 \times 14.69 \approx 408 \text{ m}$ 'dir.

Kullanılan malzeme bilgileri, yapılan hesaplamalar sonucu bulunan boru boyu, kullanılan sıcaklık değerleri ve Çizelge 6.7'de verilmiştir.

Çizelge 6.7. Boru boyu hesaplama tablosu.

Açıklama	Birim	Değer	Hesaplama
Boru malzemesi	-	PESCH40	Seçilir
Boru çapı (Pasif Ev / İyi Yalıtımlı Ev)	İnç	1" / 1 1/2"	Seçilir
Boru direnci (Pasif Ev / İyi Yalıtımlı Ev), R_b	$\text{m}^\circ\text{C/W}$	0.159/0.117	Çizelge 6.9
Toprak cinsi	-	Normal	Tespit edilir
Toprak direnci, (Pasif Ev / İyi Yalıtımlı Ev) R_t	$\text{m}^\circ\text{C/W}$	1.02/0.903	Çizelge 6.10
Ortalama yıllık toprak sıcaklığı(2.5 m / 4 m), T_o	$^\circ\text{C}$	11.2 / 10.8	Ölçülmüş
Yüksek toprak sıcaklığı (2.5 m / 4 m), T_y	$^\circ\text{C}$	17.2/14.4	Ölçülmüş
Düşük toprak sıcaklığı (2.5 m / 4 m), T_d	$^\circ\text{C}$	5.1/6.4	Ölçülmüş
Üniteye giren en düşük su sıcaklığı, T_{min}	$^\circ\text{C}$	0	Vaillant Katalog
Üniteye giren en yüksek su sıcaklığı, T_{max}	$^\circ\text{C}$	50	Vaillant Katalog
Isıtma çalışma faktörü, K_1	-	0.10	Hesaplanır
Ünitenin ısıtma performansı,(Pasif Ev / İyi Yalıtımlı Ev) COP_1	-	4.3 / 4.8	Vaillant Katalog
Ünitenin ısıtma kapasitesi (Pasif Ev / İyi Yalıtımlı Ev) Q_1	kw	13.89 / 27.75	Hesaplanır
Isıtma boru uzunluğu (Pasif Ev / İyi Yalıtımlı Ev) L_1 2.5 m derinlik için	m	312 / 512	Hesaplanır (Miles)
Isıtma boru uzunluğu (Pasif Ev / İyi Yalıtımlı Ev) L_1 4 m derinlik için	m	247 / 408	Hesaplanır (Miles)

6.6.4.2. Vaillant Katalog Verilerine Göre Boru Boyunun Hesaplanması

Toprak alana boru döşemesi yapılırken ısı zonu oluşmaması için borular arasına mesafe konulmalıdır. Bu mesafe Vaillant,2005 kataloğundan alınmıştır. Serpantin mesafe aralığı Çizelge 6.8’de verilmiştir.

Çizelge 6.8. Vaillant serilecek serpantin mesafeleri, 2005.

Toprak Durumu	Serpantinler Arası Mesafe (m)	Boru Çapı
Normal Toprak	0.5	1"
Kuru Toprak	0.7	1¼"
Nemli-Killi Toprak	0.8	1½"
Çakıl+Kayaçlı Toprak	0.85	1¾"

$$L (m) = \text{Döşeme Yüzeyi (m}^2\text{)} / \text{Döşeme Mesafesi (m)}$$

PE tasarımı için:

$$L (m) = \text{Döşeme Yüzeyi (m}^2\text{)} / \text{Döşeme Mesafesi (m)} = 347.25/0.5 = 748.5 \text{ m olarak,}$$

İYE Tasarımı için:

$$L (m) = \text{Döşeme Yüzeyi (m}^2\text{)} / \text{Döşeme Mesafesi (m)} = 693.75/0.5 = 1387.5 \text{ m olarak,}$$

bulunur.

Çizelge 6.9. Miles ve Vaillant boru boyu karşılaştırmaları.

Miles Formülü & Vaillant Katalog Verilerinin Boru Boyu Hesap Sonuçları Tablosu					
Sistem tipi	Boru Boyu (m)	Miles Formülü 2.5 m Toprak Derinliği	Miles Formülü 4 m Toprak Derinliği	Vaillant Katalog Değerleri 2.5 m Toprak Derinliği	Vaillant Katalog Değerleri 4 m Toprak Derinliği
Pasif Ev Tasarımı İçin		312	247	748.5	748.5
İyi Yalıtımlı Ev Tasarımı İçin		512	408	1387.5	1387.5

Yapılan hesaplamalar kıyaslanacak olursa Miles Formülü Vaillant Katalog değerlendirmesine göre ihtiyaç duyulan boru miktarını daha az bulmaktadır. Çizelge 6.9’da iki hesaplama kriterinin sonuçları görülmektedir.

İki hesaplama kriteri kıyaslandığında;

- Toprak altı sıcaklık değeri Miles formülünde dikkate alınmaktadır.
- Vaillant Katalog verilerinde yer alan hesaplamalarda boru boyu ısı enerjisi çekilecek alanda maksimum yapılacak serpantin sayısına dikkat edilmiştir.
- Miles formül değeri ısıtma yük hesabında daha hassas değerler elde edilmektedir.
- Vaillant Katalog verilerinde yüksek güvenlik katsayısı nedeni ile kullanılacak boru boyu fazla çıkmaktadır.
- Miles formülüne göre bulunan değerlendirme de Vaillant değerleri kullanılması durumunda %100 den fazla miktarda boru kullanıldığı için ek bir güvenlik katsayısı kullanmaya gerek yoktur.

6.6.5. Serpantin Devre Sayısı

1” çaplı borularda her 100 m yeni bir devre kullanılmalıdır. 1” den daha büyük çaplı borularda her 200 m de bir devre yapılması seçilecek sirkülasyon pompası için önemlidir. Gerek oluşacak basınç kayıpları gerekse de uzun olan borulu sistemlerde montaj parçalarından (montaj parçası kullanıldıkça sızdırma problemleri baş gösterir) kurtulmak için devre sayısı iyi hesaplanmalıdır. Tasarımda 1” parmak boru kullanılacaktır.

$$\text{Serpantin devre sayısı} = L \text{ (m)}/100 \text{ (m)}$$

PE tasarımı için:

$$\text{Serpantin devre sayısı} = L \text{ (m)}/100 \text{ (m)} = 748.5/100 = 7.485 \approx 8 \text{ olarak,}$$

İYE Tasarımı için;

Serpantin devre sayısı = $L \text{ (m)}/100 \text{ (m)} = 1387.5/100 = 13.875 \approx 14$ olarak bulunur.

Burada serilecek borunun serim tipine göre bu boru uzunluğu 1.8 katına kadar çıkabilir. Tasarım hesabında serilecek boru metrajlarının tam serim sayısına yuvarlanması esnasında PE tasarımında 1.8; İYE tasarımında 1.25 oranında fazla yönde artırım yapıldığı için yeni bir artırım yapılmaya gerek görülmemiştir.

6.6.6. Kaynak Devrede Kullanılacak Akışkan Miktarı

$V_{\text{boru}} \text{ (L)} = \text{kaynak devre boru uzunluğu (m)} \times \text{spesifik hacim (l/m)}$

PE tasarımı için;

$V_{\text{boru}} \text{ (L)} = \text{kaynak devre boru uzunluğu (m)} \times \text{spesifik hacim (l/m)} = 800 \times 0.327 \approx 262$ litre olarak,

İYE Tasarımı için; $V_{\text{boru}} \text{ (L)} = \text{kaynak devre boru uzunluğu (m)} \times \text{spesifik hacim (l/m)} = 1400 \times 0.327 \approx 458$ litre olarak, bulunur.

Kolektördeki akışkan miktarı 4/5 ağızlı kolektör kullanılacağından Vaillant katalogunda ki değer alınır: 3 l

Kolektör – Isı Pompası bağlantısındaki akışkan miktarı (Vaillant katalogdan ≤ 15 m için 40 l; $16 \leq \geq 20$ m için 80l alınır).Ev tipi kullanım tipli ısı pompa hesabında alınacak değer 40 l dir.

Buna göre toplam akışkan hacmi (V); $V_{\text{toplam}} = V_{\text{boru}} + V_{\text{kolektör}} + V_{\text{bağlantı}}$ hesabından;

PE tasarımı için; $V_{\text{toplam}} = V_{\text{boru}} + V_{\text{kolektör}} + V_{\text{bağlantı}} = 262 + 3 + 40 = 305$ l olarak,

İYE Tasarımı için; $V_{\text{toplam}} = V_{\text{boru}} + V_{\text{kolektör}} + V_{\text{bağlantı}} = 458 + 3 + 40 = 501$ l olarak,

bulunur.

Sistem tasarımında sirkülasyon pompası hesabı yapılmamıştır. Sirkülasyon pompaları seçilen TKIP'e ekli komple üründür. 13.89 kW ısı yükü için yaklaşık 0.6 kW ve 27.75 kW ısı yükü içinde yaklaşık 1.7 kW gücünde sirkülasyon pompası yeterlidir.

Ayrıca borularda kullanılacak salamura akışkan suya %10 derişim oranında Mehtanol eklenerek elde edilmiştir. %10 derişimle Methanol-Su karışımının ısıtma kapasitesi 0.995, soğutma kapasitesi 0.0998 oranlarında, ayrıca boru yüzeyinde akışın oluşturduğu basınç kaybı derişim de 1.023 katsayısı oranındadır [26].

Tasarımda kullanılması gereken sirkülasyon pompaları alınan TKIP içinde dahil edildiğinden ayrıca hesaplamasına gerek yoktur. Tasarımda kullanılan sirkülasyon pompaları 0.6 ve 1.7 kW kapasitede olan pompalardır. Bu kapasite değerleri sistemin tam yük altında çalıştığı zaman sirkülasyon pompalarının çekiş gücüdür. Pompalar yazın pasif soğutmada sadece akışkan çevirmede kullanılacağı için bu değerden daha az enerji harcayacaklardır. Vaillant kataloğunda belirtilen değerlendirme şartlarının kullanılması halinde elde edilen ısı hesabı ve eklentileri toplanarak analiz formu haline getirilmiş ve Çizelge 6.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 6.10. Vaillant katalog kriterlerine göre TKIP analiz formu.

TKIP UYGULAMA ANALİZ FORMU						
No	Yalıtım Tipine göre		İhtiyaç	Toplam	Seçilen Isı Pompası	
1	İyi Yalıtılmış Ev Uygulaması	TS-825'e göre Isı İhtiyacı	26.75 kW	27.75 kW	Vaillant-VWS 141/2	
		Sıcak Su İlavesi	1 kW			
2	Pasif Ev Uygulaması	19 cm Köpük Uygulaması	12.89 kW	13.89 kW	Vaillant-VWS 300/2	
		Sıcak Su İlavesi	1 kW			
Kullanılan Değerler Tablosu						
Toprak Değer Bilgileri						
Toprak Cinsi		Döşeme Faktörü		Isı Geçirgenlik Katsayısı		
Normal Toprak		25 m ² /KW		30 W/m ²		
Kuru Toprak		75 m ² /KW		10 W/m ²		
Nemli Toprak		25 m ² /KW		20-30 W/m ²		
Çalılı+Kayaçlı toprak		20 m ² /KW		40 W/m ²		
Kullanılacak Boru Uzunluğu						
Toprak Cinsi		Döşeme Mesafesi		Boru Çapı		
Normal Toprak		0,5m		1"		
Kuru Toprak		0,7m		1+1/4"		
Nemli Toprak		0,8m		1+1/4"		
Boru Sarmal Devre Sayısı						
1" çapa kadar olan borularda				Her 100 mt -1 Sarmal		
1"< çaptaki borular için ? 1+1/4"				Her 200 mt -1 Sarmal		
Devrelerde Kullanılan Sıvı Miktarı						
Toprak Altı Devrede		Kolektör Devrede			Kolektör-Isı Pompası Arası Devrede	
Boru Çapı	Sıvı Miktar	Dağıtıcı	Toplayıcı	Sıvı	Bağ. Uzun.	Sıvı
1"	0,327 l/m	4/5 Ağız		31	?15 m	401
1+1/4"	0,539 l/m	6/7 Ağız		41	16-20 m	801
1+1/2"	0,835 l/m	8/9 Ağız		51		
<1+1/2"	1,307 l/m	10/11 Ağız		61		
Tasarım Uygulama Şartları						
Tip No	Tasarım Tipi	Toprak Kaynaklı Isı Pompası belirleme&Uygulama Şartları				Miktar
1	İyi Yalıtılmış Ev Tasarımında Kullanılan TKIP Sistemi İhtiyaç Şartları	Gerekli Boru Döşeme Yüzey Alanı				694 m ²
		Isı Kaynağı Devre Uzunluğu (Boru Uzunluğu)				1387 m
		Kullanılacak Boru Sarmal Sayısı				14
		Kaynak Devre de Kullanılan Akışkan Miktarı				262 L
		Toplam Akışkan Miktarı				301 L
2	Pasif Ev Tasarımında Kullanılan TKIP Sistemi İhtiyaç Şartları	Gerekli Boru Döşeme Yüzey Alanı				347m ²
		Isı Kaynağı Devre Uzunluğu (Boru Uzunluğu)				748 m
		Kullanılacak Boru Sarmal Sayısı				8
		Kaynak Devre de Kullanılan Akışkan Miktarı				262 L
		Toplam Akışkan Miktarı				305 L

BÖLÜM 7

EKONOMİK ANALİZLER

7.1. EKONOMİK ANALİZ

Ekonomik analizler yapılırken, bina yapım maliyeti dikkate alınmamıştır. İYE tasarımı için kullanılacak yalıtım, sıva, boya gibi yalıtımla ilgili giderler temel alınmıştır. PE tasarımındaki maliyet analizi sırasında, İYE üzerine fazladan yapılan giderler dikkate alınmıştır. Ayrıca binanın projelendirmesi sırasında ısı köprülerinin oluşmadığı, binanın iyi bir işçilikle ısı kaybı olmadığı kabul edilmiştir. Maliyet analizleri yalıtım, TKIP uygulamalı ve Kombi uygulamalı olarak yapılacaktır. TSE-825'e göre İzoder programı ile yapılan ısı yalıtımı hesabında kullanılacak yalıtım malzemesi, sıva, yapıştırıcı, tuğla, boya gibi malzemeleri maliyet analizi aşamasında temel unsurlar olarak kabul edileceği için hesaplamalara katılmayacaktır.

Yalıtım hesabında İYE için, dış duvar yalıtımında 6cm, tabanında 10 cm, tavanda ise 5cm EPS köpük kullanılmıştır. Pencere olarak Konfor Isıcam – 4+12+4 (90TL/m²) kullanılmıştır. PE tasarımı için gerekli ısı yüklerini elde etmek için, İYE üzerine ek yalıtım yapılması gereklidir. Ekonomik analiz yapılırken İYE maliyetleri temel alınacak üzerine yapılan ek harcamalar dikkate alınacaktır. PE için yapılan hava kanalları ile iyi yalıtımlı ev de yapılacak yerden ısıtma sistemleri birbirine yakın maliyettedir, bundan dolayı hesaplamalara katılmayacaktır. Her iki sistemde TKIP için yapılacak borulama bedelleri (800 m ve 1400 m için fark yaklaşık 930 TL) çok cüzi olduğu için değerlendirmeye alınmayacaktır.

PE için maliyetleri etkileyen ana unsurlar, projelendirme, proje uygulama takibi ve ekstra yalıtım olduğu görülecektir. PE tasarımında ülkemizde belirsiz olan konu işçilik uygulaması ve proje denetimi konusudur. Uygulama örnekleri halen çok az

olması sebebi ile PE konusun da yetkin uzman sayısı oldukça azdır. Yapılan işçilik ve proje danışmanlık bedeli için ortalama bir maliyet yaklaşımı yapılmıştır.

PE tasarımında ek projelendirme bedeli piyasa şartları oluşmadığı için geniş bir fiyat aralığındadır. Proje takip ve ek işçilik bedeli olarak 10.000 TL alınmıştır. PE tasarımında kullanılması gereken boru metrajı ve maliyeti çok az olması nedeni ile hesaplama katılmayacaktır. PE mimari imalat aşaması kalifiye ustalık gerektirmektedir. Kalifiye bir usta bulunması durumunda, İYE konut imaline göre işçilik rakamlarında çok bir değişim beklenmemektedir.

Her iki tasarım için boru döşeme işinin, konutun inşası aşamasında yapılması planlanırsa, kazı işlemi temel kazısı ile birleştirilerek maliyet sıfırlanmış olacaktır. Hesaplamalarda temel alınan 2.5 ve 4 m derinlik değerleri normal bir konut için yapılacak temel kazısına yakın derinlik değerleridir. Konutun temel kazısı aşamasında yapılacak boru döşeme kazısı ek bir maliyet getirmeyecektir.

Bir konutun PE olarak tanımlanması için, PE normlarına göre dış duvarların $10 \leq U_d \leq 15$ W/m²C değeri arasında olması gerekmektedir. PE şartlarını yerine getirmek için tasarlanan konutta en az 19 cm EPS köpük uygulamak gerekmektedir. Ayrıca kullanılacak 3 odacıklı argon gazlı konfor ısıcamı bedeli, İYE göre 20 TL/m² olarak daha pahalıdır. Ek yalıtım bedeli;

PE için fazladan Yalıtım Malzeme Miktarı (m³) = kalınlık (m) x alan (m²)

PE için fazladan Yalıtım Malzeme Miktarı (m³) = 0.10 x 358 + 0.13 x 182 = 59.46 m³

20 Densite EPS Köpük 120 TL/m³ ve pencere ek maliyeti 20 TL/m² ise, yapılacak ek yalıtım malzeme bedeli:

Maliyet = (120 TL/m³ x 59.46 m³) + (20 TL/m² x 90 m²) = 8,935.20-TL olarak bulunur.

PE için seçilen sistemler:

- 1- TKIP için Vaillant VWS 141/2 + VIH RW 300 Boyler Kazanlı
- 2- Kombi için Vaillant VUW 376-5+VIH CL 20S Boy.Kaz.Yoğuş. K

İYE için seçilen sistemler:

- 1- TKIP için Vaillant VWS 300/2 + VIH RW 300 Boyler Kazanlı
- 2- Kombi için Vaillant VUW236-5 Yoğ. Eco

7.2. İYE TASARIMI MALİYET ANALİZİ

Maliyet analiz için kullanılacak veriler;

TKIP kullanımı durumunda,

Bina ısıtma yükü (a)	: 27.75 kWh
COP _{ısıtma} (b)	: 4.8
Elektrik tüketimi (c)	: 6.5 kW/h
Yıllık ısıtma süresi (d)	: 1800 saat/ yıl
İhtiyaç enerjisi kaynağı	: Elektrik
Yıllık ısıtma enerjisi (e=dx/c/b)	: 11700 kWh
Birim fiyat (f)	: 0.254 TL/kWh
TKIP Fiyatı Vaillant VWS 300/2 (h)	: 41,000 TL

TKIP Ek Ekipmanlar Fiyatı (i) : 3,850 TL

TKIP için Yıllık Enerji Maliyeti (j =exf) : 2,971 TL

Kombi kullanımı durumunda,

Kombi Fiyatı Vaillant VUW 376-5+VIH CL 20S

Boy.Kaz.Yoğuş. K (k) : 8,050 TL

Doğalgaz abonelik & Kombi kurulum bedeli : 1,500 TL

Doğalgaz için yanma verim / ısı değer $l1/l2$: 0.9 / 9.595 kWh/m³

Birim fiyat (m) : 1.62 TL/m³

Kombi için Yıllık Doğalgaz Tüketimi (n = (axd)/ $l1 \times l2$) : 5784 m³

Kombi için Yıllık Doğalgaz Tüketim Bedeli (o=dx) : 9,370 TL

7.3. PE TASARIMI

Maliyet analiz için kullanılacak veriler:

TKIP kullanımı durumunda,

Bina ısıtma yükü (a) : 13.89 kWh

COP_{ısıtma} (b) : 4.3

Elektrik tüketimi © : 3.2 kW/h

Yıllık ısıtma süresi (d) : 600 saat/ yıl

İhtiyaç enerjisi kaynağı : Elektrik

Yıllık ısıtma enerjisi (e=cx $b \times d$) : 1920 kWh

Birim fiyat (f) : 0.254 TL/kWh

TKIP Fiyatı Vaillant VWS 141/2 (h) : 25,700 TL

TKIP Ek Ekipmanlar Fiyatı (i) : 3,850 TL

TKIP için Yıllık Enerji Maliyeti (j =exf) : 488 TL

Kombi kullanımı durumunda,

Kombi Fiyatı Vaillant VUW236-5 Yoğ. Eco (j) : 3,340 TL

Doğalgaz abonelik & Kombi kurulum bedeli : 1,500 TL

Doğalgaz için yanma verim / ısı değer (l_1/l_2) : 0.9 / 9.595 kWh/m³

Birim fiyat (m) : 1.62 TL/m³

Kombi için Yıllık Doğalgaz Tüketimi ($n = (axd)/ (l_1 \times l_2)$) : 965 m³

Kombi için Yıllık Doğalgaz Tüketim Bedeli ($o=dx$) : 1,563 TL

7.4. EKONOMİK KARŞILAŞTIRMALAR

Hesaplamalarından sonra ortaya çıkan ekonomik karşılaştırma Çizelge 7.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.1. Ekonomik karşılaştırma.

Pasif Ev & İyi Yalıtımlı Ev Tasarım Karşılaştırmaları				
Bilgiler:	Pasif Ev		İyi Yalıtımlı Ev	
Binanın ısıtma yükü	13.89 kW		27.75 kW	
Yıllık ısıtma süresi	600 h		1800 h	
Yıllık ısıtma enerjisi	1920 kWh		11700 kWh	
Isıtma yakıtı	Elektrik		Doğalgaz	
Isıl değer	-		9.595 kW/m ³	
	Aktif Isıtma - Pasif Soğutma		Aktif Isıtma	
COP - (Verim)	4.3 (COP) - 0.9 (Verim)		4.8 (COP) - 0.9 (Verim)	
İlk yatırım maliyeti (yıllık)	18 935.-TL		-	
Yıllık Isıtma için Enerji Maliyeti	TKIP	Kombi	TKIP	Kombi
	488 TL	1563 TL	2971 TL	9370 TL

7.5. AMORTİSMAN SÜRESİ HESAPLAMALARI

Kurulması tasarlanan sistemlerin hesaplanması altta yer, amortisman süreleri Çizelge 7.2, 7.3’de, almaktadır.

Pasif Ev TKIP & İyi Yalıtımlı Ev TKIP için,

$$\text{Amortisman süresi} = (A+B-C) / (H-F) = (18.935+25.700-41.000) / (2971 - 488) \approx 1.5$$

Sistemin kendini amorti etme süresi 1.5 yıl olarak,

Pasif Ev TKIP & İyi Yalıtımlı Ev Kombi için,

$$\text{Amortisman süresi} = (A+B-E) / (İ-F) = (18.935+25.700-9.550) / (9370-488) \approx 4$$

Sistemin kendini amorti etme süresi 4 yıl olarak,

Pasif Ev TKIP & Pasif Ev Kombi için,

$$\text{Amortisman süresi} = (B-D) / (I-F) = (25.700-4.840) / (1563-488) \approx 19.5$$

Sistemin kendini amorti etme süresi 19.5 yıl olarak,

bulunur.

Çizelge 7.2. Amortisman karşılaştırmaları.

Pasif Ev & İyi Yalıtımlı Ev Amortisman Karşılaştırmaları		
Maliyet	Pasif Ev	İyi Yalıtımlı Ev
İlk yatırım maliyeti (İYE tasarımı üstüne)	18.935.-TL (A)	Temel Değer
TKIP Kurulum Maliyeti	25.700.-TL (B)	41.000.-TL (C)
Kombi Kurulum Maliyeti	4.840.-TL (D)	9.550.-TL (E)
TKIP İşletme Maliyeti	488.-TL (F)	2971.-TL (H)
Kombi İşletme Maliyeti	1563.-TL (I)	9370.-TL (İ)

Çizelge 7.3. Amortisman karşılaştırmaları.

TKIP Uygulamalı Pasif Ev & Diğer Uygulamalara Göre Amortisman Süreleri (Yıl)	
Karşılaştırılan Uygulama	Pasif Ev & TKIP
Pasif Ev & Kombi	19.5
İyi Yalıtımlı Ev & TKIP	4
İyi Yalıtımlı Ev & Kombi	1.5

BÖLÜM 8

SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRMELER

8.1. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında PE ve İYE (TSE-825 B sınıfı) olarak adlandırılan yalıtım tiplerine göre TKIP sistemi modellenmiştir. Yapılan hesaplamalarda piyasa da kullanılan hesaplama (pratik) modeli baz alınmıştır. Piyasa şartlarında çok zaman alması sebebi ile toprak altı sıcaklık değeri 5°C olarak kabul edilmektedir. Bu çalışmada 22 ay boyunca kutu ölçümleri ile toprak altı sıcaklık değerleri elde edilmiştir. Hesaplamaların gerçeğe yakın olması sebebi ile 5°C sıcaklık değerine yakın olan kuyu değeri hesaplamalarda kullanılmıştır. Sonuçların değerlendirilmesi kendi kapsamlarında yapılmıştır.

Ayrıca bu çalışmada, pasif evle birlikte ısı enerjisi ihtiyacı alternatif enerji kaynaklarından olan TKIP tarafından karşılaması yönünden de inceleme yapılmıştır. Pasif ev mimari tasarımı ile TKIP sisteminin birlikte çalışmasının verimliliği analiz edilmiştir. Bu kısımda elde edilen sonuçlar kendi grupları arasında değerlendirilecektir.

8.1.1. Yalıtım Modellemesi Analiz Değerlendirmesi

Bu çalışmada örnek alınan konutun TSE-825 koşullarına göre iyi yalıtımı yapılmış (TSE-825 şartlarına göre B enerji sınıflı) ve Pasif ev şartlarına göre yalıtım yapılarak kıyaslaması yapılmıştır [31, 35]. Bulunan yalıtım kalınlığı İYE için 6 cm, PE için 16-19 cm arasındadır. Teorik çalışma sonucu PE ısı enerji ihtiyacı için 13.89 kW, İYE ısı enerjisi ihtiyacı için 27.75 kW enerji ihtiyacı olduğu hesaplanmıştır. Buradan

anlaşılacağı üzere yalıtım kalınlığının artması ısı ihtiyaç enerjisini azaltıcı yönde etki yapmaktadır.

İZODER'in bu konuda yaptığı deneysel çalışmada bu tespiti doğrulamaktadır. Ülke içinde aynı iklim ve benzeri mimari tasarıma sahip olan 3 konutta yalıtım kalınlığının etkileri ölçülerek Çizelge 8.1.'de verilmiştir [14].

Çizelge 8.1. Yalıtım kalınlıklarının karşılaştırmaları.

	Konut 1	Konut 2	Konut 3
Alan	100m ²	100m ²	100m ²
Hacim	250m ³	250m ³	250m ³
Kış sıcaklığı	19°C gündüz 15°C gece	19°C gündüz 15°C gece	19°C gündüz 15°C gece
Pencereler	16m ² 3,2m ² 'si güneyde	16m ² 3,2m ² 'si güneyde	16m ² 3,2m ² 'si güneyde
Kış geceleri	Panjurlar açık	Panjurlar kapalı	Panjurlar kapalı
Yaz günleri	Panjurlar açık	Panjurlar %85 oranında kapalı	Panjurlar %85 oranında kapalı
Duvar yalıtımı	7cm içten	7cm içten	10cm dıştan
Çatı yalıtımı	14cm	14cm	20cm
Isıtma/Soğutma ihtiyacı	14.300kWh	9.420kWh	5.070kWh
	%100	-%34	-%65

Çizelge 8.1'de görüldüğü gibi yalıtım kalınlığının artması konutun ihtiyaç duyduğu ısı (ısıtma/soğutma)enerji miktarını azaltmaktadır.

Bu çalışmada temel alınan villa modeli, müstakil yapıda bağımsız alanlı bir mimari yapıdadır. Isıtılması gerekli alan olarak yaklaşık 100 m² oturma alanlı 6 daireninkine eşittir. Görüldüğü gibi PE standardını yakalamak için oldukça kalın yalıtım yapılması gerekmektedir. Fakat konutlarda yapılan yalıtım kalınlığının artması beraberinde bazı sorunları da getirmektedir.

Bunların bazıları; kalın yalıtımın zamanla kabarma yapması, nemlenme olma ihtimalidir. Ayrıca çok katlı konutlarda PE standardını yakalamak için yapılacak

yalıtımın geri ödeme süresi oldukça uzun olmaktadır. Örneğin 10 katlı, her katta 4 daire olan bir konutun 19 cm yalıtım ile ısı kaybı kazancı %56 oranında artarken, yalıtımın geri ödeme süresi 5-10 yılı bulabilmektedir [38,39].

Özellikle çok katlı binalarda kalın yalıtım kabarma ve yüzeyle arasında nemlenmeye neden olacağından çok katlı olmayan ve müstakil yapılarda (kamu binaları da dahil) PE standardının özendirilmesi, çok katlı bina yapılarında ise en az İYE (TSE 825'e göre B sınıfı) yalıtım düzeyi daha avantajlı olacaktır.

8.1.2. TKIP Açısından Değerlendirme

Tasarlanan mimari yapının ısı enerjisi ihtiyacı TKIP sisteminden sağlanması düşünülmüştür. PE tasarımı için yıllık 1920 kWh, İYE tasarımı için yıllık 11700 kWh enerji yükü hesaplanmıştır. Benzer şekilde aynı ihtiyacın doğalgaz kombisinden sağlanması durumunda PE için yıllık 965 m³, İYE için 5784 m³ doğalgaza ihtiyaç olmaktadır.

Bu çalışmada tasarımı hesaplanan TKIP sistemi yatay borulamalı uygulama tipli örnektir. Hesaplamalar sonucu ısı yükünü karşılamak için PE için yaklaşık 348 m², İYE için 694 m² toprak alanına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu alan miktarı ülkemiz şehir yapılanmasına göre yüksek bir rakamdır. Daha çok bahçesi olan müstakil yapılara uygundur. Şehir içi yapılaşmaya uygun tasarım şekli dikey boru sergili model olmalıdır. Daha dar alanlı yerler ve çok katlı yapılaşmalarda dikey borulama avantaj sağlayacaktır.

Unutulmamalıdır ki ilk maliyeti yüksek olan TKIP uygulamaları; düşük işletme maliyeti ve alternatif kaynaktan enerji sağlanması, ekonomi ve çevresel faktörler açısından en cazip konut ısı enerjisi sağlayıcılarıdır.

Isı pompası tipleri açısından ülkemiz için en iyi ısı pompa tipi TKIP'lerdir. Bunun nedeni birincisi; ülkemiz genelinde hava sıcaklık değişim oranları yıl içinde çok

değişken olması ve geneli karasal iklim olan ülkemizin kış şartlarının soğuk olması nedeni ile HKIP uygulamasının verimsiz olacağı, ikinci olarak da su kaynakları konusunda fakire yakın ortalama değerlerde olan ülkemizde SKIP sistemlerinin su kaynaklarına baskı oluşturacak olması sayılabilir. Isı enerji ihtiyacının TKIP den sağlanması kaynaklara harcanan parasal değer katkısı yanında çevresel etkilerde fayda sağlamaktadır. PE için PE için yıllık 965 m³, İYE için 5784 m³ doğalgaz tüketimi olmayacağı için atmosfere salınan CO₂ emisyonu da azalacaktır.

Çizelge 8.2. Enerji tüketimi – CO₂ üretimi dönüşüm katsayıları [14].

Kullanılan Birincil Enerji Cinsi	CO ₂ Dönüşüm Katsayısı (kg CO ₂ kWh)
Elektrik	0.354
Doğalgaz	0.202
Sıvı Yakıtlar	0.286
Hidrojen	0

Çizelge 8.2'ye göre PE için yıllık 387 kg, İYE için yıllık 2.363 kg CO₂ emisyonu oluşmayacağı için atık gaz emisyonları özellikle CO₂'nin çevresel etkileri azaltıldığı için ülkemiz bir katma değer kazanacaktır. Isı pompaları özelliklede TKIP sisteminin doğru bir şekilde uygulanması durumunda uzun vadede en ucuz kaynak olan kömüre göre %14 ile %28 fayda sağladığı deneysel olarak bulunmuştur [45].

8.1.3. Kuyu Sıcaklıkları Açısından Değerlendirme

Bu çalışma esnasında deneysel olarak kuyu sıcaklıkları ölçülmüştür. Ölçümler Karabük İli batı girişinde yer alan Karıt Köyü ve kuzey-doğu yönünde yer alan Kapullu Köyü yakınlarında yapılmıştır. Ölçüm kuyuları güney yönünde devamlı güneş alabilen, kuzey yönünde gölgelenme süresi fazla olan ve dere kenarı olan ve yer üstü yer altı su havzası olan yerlerden seçilmiştir. Karıt köyünde yer alan kuyuların geniş ve düz arazi olması nedeni ile günlük güneşlenme süreleri fazladır. Kapullu Köyünde yer alan kuyular dar ve engebeli arazi yapısı ve sık ağaçlık arazi

olması nedeni ile güney cephele kuyuda bile güneşlenme süresi günlük 3-4 saat civarlarındadır. Teorik hesaplamalarda Kapullu Kuyu sonucu alınmıştır. Aşağıda tabloda Karıt ve Kapullu kuyularındaki 1.-2.-3. ve 4. m derinliklerdeki ölçüm sonuçları Çizelge 8.3’de kıyaslanma amaçlı verilmiştir.

Çizelge 8.3. Kuyu ölçüm (1-4 metre arası) değerlendirilmesi.

Karıt ve Kapullu Köyleri Ölçüm Sonuçları								
Derinlikler	1. ÖLÇÜM	2. ÖLÇÜM	3. ÖLÇÜM	4. ÖLÇÜM	5. ÖLÇÜM	6. ÖLÇÜM	7. ÖLÇÜM	Kuyular
1. Metre	24.9	8.2	12.6	24.2	15	14.6	24.1	Karıt 1
	21.4	5.9	8.8	20.4	12.4	8.8	21.2	Karıt 2
	25.5	3.8	9.9	25.6	11.7	10	16.6	Karıt 3
	23.2	7.8	7.8	23.7	15	7.8	22.7	Kapullu 1
	20	4.5	4.5	26	10.5	4.5	25.9	Kapullu 2
2. Metre	19.3	3.7	6.9	23.4	9.3	6.9	23.1	Kapullu 3
	20.1	11.7	14.6	20.4	17.8	15.9	20.4	Karıt 1
	20.5	10.7	10.5	16.7	14.6	10.4	16.6	Karıt 2
	18.9	9.1	10.3	21.3	10	10.4	19.4	Karıt 3
	16.8	10.5	9.9	21.5	17.3	9.9	20	Kapullu 1
3. Metre	15.4	5.6	4.5	18.1	13.3	4.6	18.3	Kapullu 2
	15.9	6.7	5.1	18.7	12.5	5.1	18.6	Kapullu 3
	17.5	15.3	14.7	17.5	19.9	16.6	17.4	Karıt 1
	20.6	13.4	11.9	14.7	16.1	11.9	14.7	Karıt 2
	16.5	11.8	11.2	18.3	11.8	11.4	17.5	Karıt 3
4. Metre	14	10.9	10.3	19.2	17.9	10.3	18.8	Kapullu 1
	13.4	6.6	5.4	15.5	14	5.4	15.5	Kapullu 2
	13.8	8.7	5.7	15.7	14	5.7	16.2	Kapullu 3
	17	16.9	14.8	15.5	21.7	16.8	15.5	Karıt 1
	20.3	15.4	13.9	14.3	16.4	13.9	14.2	Karıt 2
4. Metre	16.1	13.1	11.2	16.3	14.6	11.5	15.1	Karıt 3
	12.3	10.9	10.4	17.3	17.9	10.4	17.4	Kapullu 1
	12.3	9.1	6.5	14.4	13.7	6.4	13.6	Kapullu 2
	12.6	10.3	7.6	13.7	14	7.6	13.1	Kapullu 3

Ölçüm sonuçları değerlendirilecek olduğunda;

- Karıt Köyünde yapılan ölçümlerde daha yüksek sıcaklık değerleri elde edilmiştir. Toprağın güneşlenme süresinin artması ilk metre derinliklerde toprak sıcaklık değerleri ile doğru orantılı olarak artmaktadır.
- Kapullu Köyünde yapılan ölçümlerde daha düşük sıcaklık değerleri elde edilmiştir. Bunun nedeni olarak bu bölgedeki kuyularda güneşlenme süreleri daha kısıtlıdır.
- En düşük sıcaklık değerleri ortalama olarak Kapullu Kuyu 2’de elde edilmiştir. Bunun nedeni ölçüm alınan kuyu kuzey cephede yer aldığı için kuyular içinde en az güneşlenen kuyudur.

- Derinlikler artıkça toprak altı sıcaklık değerleri birbirine yaklaşmaktadır.
- En düşük değerli ölçümler bahar döneminde elde edilmiştir. Bunun nedeni olarak, toprağın güneşten aldığı yükü kış dönemi kaybetmesi olarak açıklayabiliriz.
- En yüksek sıcaklık değerini sonbahar dönemi elde edilmiştir. Bunun nedeni yaz boyunca güneşlenen toprağın ısı enerjisi depolamasıdır.

Özetle; TKIP sistemi pratik uygulamalarında birçok kabuller yapılmaktadır. Bunlardan biri de toprak altı sıcaklık değeridir. Piyasa uygulamalarında toprak altı sıcaklık 5°C değeri olarak kabul edilmektedir.

Bu çalışmada ölçüm aşamasında, Karabük ili için toprak altı sıcaklık değerleri 6 adet kuyu için elde edilmiştir. Bu ölçüm sonuçlarında toprağın, pratik uygulamalarda kullanılan değerden daha yüksek sıcaklık değerlerine sahip olduğu deneysel olarak elde edilmiştir. Bu çalışma da yapılan hesaplama tekniği Vaillant firmasının uygulanan teknik olması nedeni ile piyasa uygulama sıcaklık değerine en yakın sonuç alınan ve en düşük toprak altı sıcaklık değeri elde edilen “Kapullu Kuyu-2”deki değerler kullanılmıştır.

Yapılan kuyu sıcaklık ölçümlerinde 5°C sıcaklık değerinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Tasarım aşamasındaki toprak altı sıcaklık değerinin her 5°C artış COP üzerinde %50 artış meydana getirecektir. Bu da sisteme ekonomik fayda sağlayacaktır.

Ayrıca kurulacak TKIP sisteminin verimli çalışması için (yanlış yapılacak hesaplar sonucu topraktan fazla ısı çekilecek olduğunda toprak da donma meydana gelecektir. Bu da uzun yıllar aşılamayacak bir sorundur) ısı enerjisinin çekileceği kaynak sıcaklık değerleri çok önemlidir.

Mümkün olduğunca kurulumu yapılacak yerde toprak altı sıcaklık değerinin tespit edilmesi kurulacak sistem verimine olumlu fayda sağlayacaktır.

8.2. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Türkiye, enerji kaynakları açısından değerlendirildiğinde kendi ihtiyacını karşılama noktasında önemli miktarda ithal enerji kaynaklarına ihtiyaç duymaktadır. Bunun yanında ülkemiz yenilenebilir enerji kaynakları konusunda yapılan çalışmalarda da AB ülkeleri standardının oldukça gerisinde kalmıştır.

Dünyada tüketilen toplam enerjinin %40'ının binalarda tüketildiği düşünülmektedir. Bu oran Türkiye'de %30 civarında olduğu görülmektedir. Ayrıca dünya da atmosfere atılan salınan toplam CO₂'nin %24'ü binalardaki enerji tüketiminden kaynaklanmaktadır [14].

Ülkemizdeki tüketilen enerji kaynaklarının %30'u konutlarda kullanılmaktadır [14]. Bu oranın parasal karşılığı yaklaşık 5 Milyar \$ olduğu öngörülmektedir [6]. 2014 senesi verilerine göre ülkemizdeki konutların %75 'ine yakını halen yalıtımsız ya da yetersiz yalıtımlı durumdadır [30]. Gelişmekte olan ülkeler içinde olan ülkemizin mevcut ekonomik imkânları göz önüne alınınca konut ısınması konusunda yeni bir politika belirlemesi gerekmektedir.

Konutlarda tüketilen ısıtma ve soğutma amaçlı enerjinin alternatif kaynaklardan sağlanması ve konutların yalıtımına dikkat edilmesi, ülkemiz kaynakları açısından hayati önem arz etmektedir. Bu kapsamda ısı pompaları alternatif enerji kaynağı açısından, pasif evler ise yalıtım açısından öne çıkan konu başlıklarıdır. Isı pompaları uygulamaları alternatif enerji kaynaklarından faydalandığı ve Pasif Ev yapıları kuvvetli yalıtım sağlaması yönünden enerji tasarrufu için tercih edilen uygulamalardır. TKIP sistemi ile PE uygulamalarının ilk yatırım maliyetinin yüksek olmasına rağmen uzun vadede yüksek verimli uygulama modelleridir.

İlk maliyetleri yüksek olan TKIP ve Pasif Ev uygulamalarının birbirine entegre edilmesi durumunda oldukça yüksek verimlikte enerji tasarrufu sağlanabilmektedir.

Diğer taraftan ilk kurulum maliyeti yalıtımlı evlere göre daha fazla olmaktadır. Bunun temel nedenleri; Pasif ev mimari uygulamasının ülkemizde tanınmamasından dolayı seri üretime geçilmemesi, yalıtım malzemelerinin ve TKIP ve ekipmanlarının yüksek maliyetli olmasıdır.

Pasif Ev tasarımı ve TKIP uygulamaları başta Almanya olmak üzere pek çok AB ülkesi ve ABD, Kanada gibi ülkelerde uygulanmaktadır. Bunlara ek olarak, Pasif evlerin tek avantajı düşük enerji ihtiyacı değildir; bunun yanında CO₂ diğer zararlı emisyonlar açısından çevre dostudur.

Ülkemiz için, Pasif Ev tasarımının ve TKIP sistemlerinin ilk kurulum maliyeti göz önüne alınınca bu sistemlerden ideal şartta ikisi ya da ayrılabilir mali kaynaklarca birinin teşvik edilmesi faydalı olacaktır. Bu çalışmada tasarlanan yüksek maliyetli PE & TKIP uygulaması kışın aktif ısıtma yazın pasif soğutma (topraktaki serinliğin konut yüzey alanında sirküle edilerek evin serinletilmesi) sistemli hali en düşük maliyetli İYE & Kombi ile kıyaslandığında ödeme süresi 1.5 yıl olması, ülkemizde uygulaması yaygın olmayan bu sistemlerin yüksek kar marjları göz önüne alınacak olursa oldukça iyidir.

Ülke olarak, mümkün ise Pasif ev şartlı konutlar da TKIP ya da en azından TKIP sistemlerinin uygulanmasını teşvik edici kanuni alt yapının hazırlanması ve uygulayıcı ve kullanıcıların bilgilendirilmesine acilen ihtiyaç duymaktayız. Yapılacak vergi teşvikler ilk başlar da vergi gelirini azaltıcı etkisi olsa da uzun vade de konut ısınması ve soğutulması için satın alınan dış kaynakların azalması ile yıllık 5 Milyar\$ yakın konut ısıtmasında israf ettiğimiz kaynak göz önüne alındığında kısa sürede kazanç etkisi yapacaktır. Sistem kendini ödedikten sonra uzun yıllar ücretsiz ısıtma-soğutma enerjisi sunacaktır. Bir konut iyi yalıtılsa bile Pasif ev mimarili TKIP uygulaması konut başına en az 1500–2000 m³ doğalgaz kazancı sağlaması da alıcı durumundaki ülkemizin ek bir avantajı olacaktır. Konutların ısınma-soğutma ihtiyaçlarının karşılanması için ısı pompası kullanılması, PE veya ona yakın yalıtım yapılmasının teşvik edilmesi için harcanan kaynağın kısa sürede ödeyeceği

görülmektedir. Isı pompası teşviklerinde öncelik, ülkemizin geneli düşünülecek olduğunda, toprağın güneşlenme süreleri, değişen hava ve su sıcaklıkları göz önüne alınacak olunursa, en verimli ısı pompası olan TKIP olmalıdır [41-43].

PE yapılacak tasarruflarla ve TKIP kullanımı ile enerji ihtiyacının alternatif kaynaklardan sağlanması sayesinde, ulusal enerji kaynaklarını çeşitlendirerek, ülkemize uluslararası bir siyasi avantaj kazandıracaktır. Ülke ihtiyaçları konusunda iç kaynaklar kullanılmış olması ve ithalat kaynakları çeşitlenmesi ülke iç enerji politikaları konusunda da rahatlatıcı etki yapacaktır. Tüm bunlara ilaveten kullanılan kaynakların çevresel faydaları da ayrı bir kazançtır.

Tüm bunlar için Pasif ev uygulama mimarisi konusunda yeterli teknik altyapının hazırlanması ve TKIP sistemlerin alt yapısının hazırlanması gereklidir. İller ve bölgeler bazında toprak ısı kapasiteleri ve toprak altı sıcaklık değerlerinin ülke çapında belirlenmesi faydalı olacaktır. Mevcut pratik TKIP kurulumunda toprak altı sıcaklık değerleri 5° C alınmaktadır. Bu çalışmada Karabük ili için toprak altı sıcaklık değerlerinin >5° C olduğunu gösterilmiştir. Bu tasarlanacak TKIP sistemlerinin gerekli kapasitede seçilmesini kolaylaştıracaktır.

AB ülkelerinde yalıtım ve alternatif enerji kaynaklarından azami düzeyde faydalanmaya çalışılmasına rağmen hali hazırda 2005 yılındaki “Enerji Verimliliği Eylem Planı” çerçevesinde 2020 yılına kadar %20 az enerji tüketimi ve %20 az emisyon salınımı hedeflenmektedir.

Bu kapsamda ülkemizde de 18.04.2007’de resmi gazetede yayınlanan 5627 sayılı “Enerji Verimliliği Kanunu” kapsamında bazı değişiklikler yapılmıştır. Bu kanun kapsamında daha çok toplu konut ve belli bir m² üstünde olan bina tipleri için düzenlemeye gidilmiştir. Ancak uygulama aşamasında halen eksiklikler mevcuttur.

Pasif Ev ve TKIP sistemlerinin ülkemizde yaygın olmaması nedeni ile her iki sistemin birlikte kullanılması beraberinde yüksek bir ek maliyet getirmektedir. Gelen

bu maliyete göre konut ısınması için ülke genelinde alternatif enerji imkânlarının kullanılması, geliştirilmesi ve desteklenmesi gerekli bir ulusal enerji politikası olmalıdır. Bu hususta ek tedbirlerin alınmasının zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Bu tedbirlerin başlıcaları:

- TSE 825 standardına göre yapılan yalıtım bugün konut başına 4.000.-TL civarındadır. Bugün ülkemizde ısı kayıplarının neden olduğu mali kaybın yaklaşık 5 Milyar \$ olduğu öngörülmektedir [6]. Bu israf göz önüne alınarak PE veya İYE standardı teşvik edilmesi faydalı olacaktır.
- Konut tipine göre iklim şartları altında ulusal yalıtım haritası çizilmelidir.
- TSE-825 bölgeleri güncellenerek, bölgelere göre müstakil ve 3 kata kadar binalar da PE, daha yüksek binalarda İYE (en az B sınıfı) yalıtım yapılması teşvik edilmelidir.
- Ilıman bölgelerde HKIP, devamlı su kaynaklarının bulunduğu yerlerde SKIP, ülkenin diğer bölgelerinde TKIP uygulamaları kullanılması teşvik edilmelidir.
- Çok katlı konutlar için dikey sondaj, müstakil alanlar için yatay boru serme maliyetlerinin desteklenmesi gereklidir.
- Ülke genelinde il-ilçe merkezlerinde toprak ısı geçirgenlik ve en az 10 m derinliğe kadar toprak altı sıcaklık değerlerinin ölçülerek, haritalanmalıdır.
- Yalıtım ve Isı pompası üreticileri ARGE ve maliyet azaltıcı hususlarda desteklenmelidir.
- PE ve Isı pompası uygulamaları için yeterli teknik eleman yetiştirilerek, piyasada çalışmaları teşvik edilmelidir.
- PE ve TKIP (diğer ısı pompası tipleri de dahil) ekipman ve malzemelerinde KDV indirimi ve gerekli sübvanseler yapılmalıdır (Kısa vadede vergi geliri azaltıcı etki yapan bu durum orta/uzun vadede ülke gelirini artırıcı etki yapacaktır. Ayrıca enerji kaynakları çeşitliliği artması ve tek alıcıya bağlı olunmaması, ülke enerji politikaları konusunda rahatlatıcı etki yapacaktır.).

- Bina Enerji Kimlik uygulaması acilen ÷lke genelinde uygulamaya başlanmalı, bina kimlik verilerine göre en düşük yalıtım sınıflı binalardan – en yüksek yalıtım sınıflı binalara göre teşvik ve ceza yönetmelikleri hazırlanarak uygulamaya alınmalıdır.
- Ülkemizde enerji verimliliği konusunda proaktif eğitim ve bilgilendirme projeleri hazırlanarak, uygulayıcı olan insanların kazanımlar konusunda bilgi ve kültür düzeyi artırılması faydalı olacaktır.

Bu çalışmada, Türkiye’de yalıtım konusunda PE ya da en azından TSE-825 normu çerçevesinde B sınıfı yalıtımlı bina ve TKIP sistemlerinin konutların ısıtma/soğutma enerjisi için kullanılması gerekliliği vurgulanmaya çalışılmıştır. Ayrıca konutlarda, yalıtım ve alternatif enerji kaynaklarının öneminin anlaşılmasına katkı sağlamak kaynaklar yönünden kısıtlı ülkemiz için en büyük amacımdır.

KAYNAKLAR

1. İnternet: IEA World Energy Outlook,
<http://www.worldenergyoutlook.org/weo2010/> (2010).
2. İnternet: BP Statistical Review,
http://www.bp.com/en/global/corporate/search.html?q=BP+Statistical+Review&_charset=utf-8, *BP Report* (2013).
3. İnternet: IEA World Energy Outlook,
<http://www.worldenergyoutlook.org/weo2012/> (2012).
4. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, “Ham petrol ve doğalgaz sektör raporu”, *Bakanlık Yayınları*, Ankara (2014).
5. İnternet: BP Statistical Review,
http://www.bp.com/en/global/corporate/search.html?q=BP+Statistical+Review&_charset=utf-8, *BP Report* (2015).
6. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, “Dünya ve ülkemiz enerji ve tabii kaynaklar görünümü”, *Bakanlık Yayınları*, Ankara (2014).
7. İnternet: IEA World Energy Outlook,
<http://www.worldenergyoutlook.org/weo2013/>(2013).
8. Dinçer, F., “Türkiye’de güneş enerjisinden elektrik üretim potansiyeli”, *KSÜ Mühendislik Dergisi*, *KSÜ Yayınları*, Kahramanmaraş (2011).
9. İnternet: ASHRAE Handbook, www.ashrae.org/standart-interpratiton/ Atalanta (1989).
10. Sasaki, S. and Kaieda, H., “Determination of stress state from focal mechanisms of microseismic events induced during hydraulic injection at the Hijiori hot dry rock site”, *Pure and Applied Geophysis*, Basel, 489-516 (2002).
11. İnternet: US Energy Ad. Agency, “Energy information administration”, www.eia.gov/analysis/ (2012).
12. T.C. Petrol İşleri Genel Müdürlüğü (PİGM), “Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2010-2014 dönemi stratejik planı”, *Bakanlık Yayınları*, Ankara (2010).

13. İnternet: IEA Summary Report, www.worldenergyoutlook.org, (2012).
14. İzoder, “ 2010-2013 Isı yalıtım planlama raporu”, *İzoder Yayınları* (2010).
15. Hart, D., Couvillion, R., “Earth coupled heat transfer”, *National Water Well Association*, İndiana, 189-190 (1986).
16. İnternet: Viesmann Ürün ve Teknik Servis Kataloğu, www.viesmann.com.tr (2007).
17. Diz, T., “Minimum enerjili bina tasarımı (Toprak enerjisiyle)”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 1-5 (2001).
18. Hunn, B., “Fundamentals of building energy dynamics”, *MIT Press*, Cambridge, 39-112, (1996).
19. İnternet: Çetin A. E., “Yeraltında ısıl depolama teknikleri”, GÖNDER Yayınları, www.gonder.org.tr (2014).
20. Akçasarı, E., “Toprak kaynaklı ısı pompalarının termo-ekonomik analizi” Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2004).
21. Ünlü, K., “Hava ve toprak kaynaklı ısı pompalarına etki eden parametrelerin incelenmesi” Uludağ Üniversitesi Doktora Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa (2005).
22. Bose, J. E., “Design and testing of a solar asisted coils”, *DOE*, Washington (1981).
23. Chiasson, A. D., “Advances in modelling of ground-source heat pump systems”, *Master of Applied Science University of Windsor Windsor*, Ontario, Canada (1989).
24. Sanner, B., Korytsas C., Mendrinou D. and Rybach L., “Current status of ground source heat pump and underground thermal energy storage in Europe”, *Geothermics* 32; 579-588 (2003).
25. Esen, H., İnallı M., Esen M., Pıhtılı K., “Energy and exergy analysis of a ground-coupled heat pump system with two horizontal ground heat exchanger”, *Build Environ* 42: 3606-3615 (2007).

26. İnternet: Vaillant Konvansiyonel ve Multi Kojenerasyon Kataloğu, www.vaillant.com.tr (2005).
27. İnallı, M., “Toprak altında depolanan güneş enerjisi ile beslenen ısı pompalı bir konut ısıtma sisteminin bilgisayarda simülasyonu” Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 161s. (1993).
28. Raffetry, K., “Design aspects of commercial open-loop heat pump systems”, *GHC Bulletin* 16-24 (2001).
29. Güven, Ş., “Toprak kaynaklı ısı pompalarının diğer sistemlerle karşılaştırılması” , Yüksek Lisans Tezi , *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, Türkiye (2002).
30. İnternet: European Heat Pump Association, “European heat pump statistics” Outlook, www.ehpa.org (2009).
31. İnternet: Pasife Ev Şartları, Passive House Requirements-Passivhaus Institut http://www.passiv.de/en/02_informations/02_passive-house-requirements/02_passive-house-requirements.htm (2015)
32. İnternet: Sıfır Enerji ve Pasif Ev Derneği, <http://sepev.org/pasif-ev-nedir/> (2015).
33. Miles, L., “Heat pumps: theory and service”, *Delmar Publishers Inc.*, NY. (1994).
34. McQuay International Application Guide, “Geothermal heat pump design manual”, *McQuay AG 31-008*, Virginia-USA (2002).
35. TSE, “TS 825 Binalarda ısı yalıtım kuralları”, *Türk Standartları Enstitüsü*, 91.120.10: 1-76 (2008).
36. Küçükçalı, R., “Mimarın tesisat el kitabı”, 1. Baskı, *Isısan Çalışmaları*, 28-33 (2008).
37. Berköz, E. ve Küçükdoğu, M., “Enerji etkin konut ve yerleştirme tasarımı”, *Enerji Dergisi*, 3: 50-54 (1997).
38. Çomaklı, K. and Yüksel, B., “Optimum insulation thickness of external walls for energy Sswing”, *Applied Thermal Energy* 23: 473-479 (2003).
39. Güllüce, H., Karşlı S. ve Saraç H., “Konutlarda yalıtım kalınlıklarının artırılmasının enerji tasarrufuna Etkisi”, *Ulusal İklimlendirme Kongresi* (2011).

40. İnternet: Isı Yalıtımı Sanayicileri Derneği, www.imsad.org (2015).
41. Yerlibucak, M. Ş., “Isı pompaları”, Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir (2007).
42. Budescu, V., “Simple and accurate, model for the ground heat exchanger of a passive house” *Renewable Energy* **32**, 845-855 (2007).
43. Bolattürk, A. ve Dağdır, C., “Güneş radyasyonu dikkate alınarak sıcak iklim bölgelerindeki binalarda optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi”, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, **33** (1): 87-99 (2011).
44. Bulgurcu, H., “Lokal ısı-enerji geri kazanımlı havalandırma cihazlarının tasarımı”, *V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi*, **269** (1): 141-150 (2001).
45. Naili, N., Attar, I., Hazami, M. and Farhat, A., “Experimental analysis of horizontal ground heat pump” *Scientific Research Journal*, Tunisia, 44-51 (2012).

ÖZGEÇMİŞ

Mete BAYRAKTAR 1979'da İskenderun'da doğdu; ilk ve orta öğrenimini Ankara'da tamamladı; Mehmet Akif Ersoy Lisesinden mezun olduktan sonra 1998 yılında Gaziantep Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'ne girdi; 2003'de mezun olduktan sonra özel sektörde çalışmaya başladı. Halen DSİ 23. Bölge Müdürlüğünde Makine Mühendisi olarak çalışmaktadır. 2010 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başlamış olduğu yüksek lisans programını sürdürmektedir.

İLETİŞİM BİLGİLERİ

Adres: DSİ 23.Bölge Müdürlüğü 231.Şube Müdürlüğü / KASTAMONU

Tel: 0366 212 13 14

E-posta: mtbayraktar@gmail.com