T.C.

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASI İLE DOĞAL GAZLI KOMBİ BİRLEŞİK SİSTEMİNİN ENERJİ VERİMLİLİĞİ YÖNÜNDEN ARAŞTIRILMASI

Ata Erdal ARSLAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: Yrd.Doç.Dr. Hilmi KUŞÇU

EDİRNE-2014

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

Prof.Dr. Mustafa ÖZCAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

Prof.Dr. Taner TIMARCI
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tez tarafımızca okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof.Dr.-Ing Ahmet CAN
İkinci Tez Danışmanı

Yrd.Doç.Dr Hilmi KUŞÇU
Tez Danışmanı

Bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından Makine Mühendisliği Anabilim Dalında bir Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri İmza

Prof.Dr. Ahmet CAN (DanışmanII)

Prof.Dr. Şazuman SAZAK

Yrd. Doç. Dr. Hilmi KUŞÇU (Danışman I)

Yrd. Doç. Dr. Semiha KARTAL

Yrd. Doç. Dr. Doğan ERYENER

Tarih: 04/06/2014

T.Ü. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI
DOĞRULUK BEYANI

İlgili tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını beyan ederim.

04/06/2014

Ata Erdal ARSLAN

Yüksek Lisans Tezi
Ata Erdal ARSLAN
T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZET

Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarından jeotermal ve güneş enerjisi uygulamalarının birleşimi olan Toprak Kaynaklı Isı Pompalarıyla ilgili önce kaynak taraması yapılmış, Türkiye'de ve Dünya'da yapılan uygulamalar araştırılmıştır. Çalışmada uygulamaya yönelik ulusal ve uluslararası standartlar araştırılmış, Avrupa'da yaygın bir şekilde kabul gören Alman VDI 4640 Teil 1 ve VDI 4640 Teil 2 standartlarındaki uygulamaya yönelik bilgiler aktarılmıştır. Daha sonra da Edirne'de yapılan bir uygulama hakkında bilgi verilmiş ve bu uygulama, birincil enerji tüketimi, farklı ısı kaynakları açısından enerji verimliliği yönünden DIN V 4701-10 standardında verilen tablo yöntemiyle irdelenmiş, toprak kaynaklı ısı pompasının daha verimli olduğu hesaplanmıştır. Bu hesap ve mevcut uygulama irdelenerek sonuçlar çıkarılmış ve uygulamaya yönelik öneriler sunulmuştur.

Yıl : 2014
Sayfa Sayısı : 202……..
Anahtar Kelimeler : Isı Pompası, Toprak Kaynaklı Isı Pompası, TKIP

Master's Thesis
Ata Erdal ARSLAN
Trakya University Institute of Natural Sciences
Mechanical Engineering

ABSTRACT

In this study, before dealing with Ground Source Heat Pump, which is a combination of two renewable energies- geothermal and solar energy - studies on this subject were scanned, and the practices in Turkey and in the world were investigated. In this study, national and international practical standards have been searched and information about applications of European widely recognized German standards -VDI 4640 Teil 1 and VDI 4640 Teil 2- were presented. After that presentation, information about an application made in Edirne was provided. In this application primary energy consumption, energy efficiency in terms of different heat sources have been analyzed by the method given in the table DIN V 4701-10 standard. We have reached a conclusion that Ground Source Heat Pump is more efficient. This study and existing application were examined and practical recommendations have been presented.

Year : 2014
Number of Pages : 202……..
Keywords : Heat Pump, Ground Source Heat Pump, GSHP

TEŞEKKÜR

Günümüzün temel sorunlarından birisi artan enerji ihtiyaçlarının sınırlı enerji kaynaklarıyla karşılanmaya çalışılırken aynı zamanda yaşadığımız doğa ve çevrenin neredeyse geri dönülmez biçimde tahrip edilmesidir. Bugün tüketilen enerji kaynaklarının başında fosil yakıtlar gelmektedir. Fosil yakıtlar bir taraftan tükenme eğilimine girmiş, diğer taraftan da çevre kirliliğinin baş aktörü durumuna gelmiştir. Bu nedenle alternatif enerji kaynakları arayışına girişilmiş olup, bunlar güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji gibi yenilenebilir enerji çeşitleridir. Toprak Kaynaklı Isı Pompası da Jeotermal enerjinin bir çeşididir.

Binaların hem ısıtılmasında hem de soğutulmasında kullanılan Isı Pompaları yüksek etkinlik derecesiyle ülkemizde giderek yaygınlık kazanmaktadır. Bu çalışmada 350 m^2 taban alana sahip 8 katlı bir binanın işyeri olan zemin katı toprak kaynaklı ısı pompası ile ısıtılacak şekilde projelendirilmiştir.

Bu konuda tez danışmanlığımı yapan Sayın Yrd.Doç.Dr. Hilmi KUŞÇU'ya ve bu konuda araştırma, uygulama yapmamı teşvik eden ve yönlendiren ayrıca ikinci danışmanlığımı yapan Sayın Hocam Prof. Dr.-İng Ahmet CAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu çalışmayı gerçekleştirdiğim binada, maddi olarak kendisine yük getirmesine rağmen yeniliklerden ve yeni uygulamalardan yana tavrıyla destek olan binanın Mimarı, sahibi, yüklenicisi Mehmet Emin Parlakçı' ya ve MEP Yapı Üretim Şirketine de teşekkürlerimi sunarım.

A. Erdal ARSLAN

İÇİNDEKİLER

ÖZET 2
ABSTRACT 3
TEŞEKKÜR 4
İÇİNDEKİLER 5
ÇİZELGE LİSTESİ 8
ŞEKİL LİSTESİ 10
SİMGELER DİZİNİ 14
KISALTMALAR 15
BÖLÜM 1 16
GİRİŞ 16
1. Genel Durum 16
BÖLÜM 2 20
KAYNAK ARAŞTIRMASI 20
2. Isı Pompası Konusunda Yapılan Çalışmalar 20
BÖLÜM 3 33
ISI POMPALARI 33
3.1. Temel Kavram ve Bilgiler 33
3.1.1. Mekanik Enerji İle Çalışan Isı Pompaları 34
3.1.2. Termal Enerji İle Çalışan Isı Pompaları 36
3.1.3. Etkinlik ve Verimlilik Tanımları 36
3.1.3.1. Etki Katsayısı (EK / COP) 37
3.1.3.2. Enerji Verimlilik Oranı (EVO / EER) 38
3.2. Termodinamik Açıdan Isı Pompaları 39
3.2.1. Ters Carnot Çevrimi 39
3.2.2. İdeal Buhar Sıkıştırmalı Soğutma Çevrimi 41
3.2.3. Gerçek Buhar Sıkıştırmalı Soğutma Çevrimi 42
3.3. Isı Pompası Çalışma Prensibi 44

3.3.1. Isı Pompalarında Kullanılan Isı Kaynakları 45
3.3.1.1. Çevre Havası 45
3.3.1.2. Toprak 45
3.3.1.3. Yüzey Suları 46
3.3.1.4. Yer Altı Suları 47
3.3.1.5. Atık Hava 48
3.3.1.6. Atık Sıvılar 48
3.3.2. Kompresörler 48
3.3.2.1. Kompresörlerin Sıkıştırma Metotlarına Göre Sınıflandırılması 49
3.3.2.2. Kompresörlerin Yapılarına Göre Sınıflandırılması 55
3.3.2.3. Inverter Sistemler 57
3.3.3. Soğutucu Akışkanlar 60
3.3.4. Isı Pompası İşletim Şekilleri 72
3.3.4.1. Monovalent (Tekli) İşletim (Şekil 3.32) 73
3.3.4.2. Monoenergetic (Tek Enerjili) İşletim (Şekil 3.33) 74
3.3.4.3. Bivalent (İkili) İşletim 75
3.4. Toprak Kaynaklı Isı Pompaları 76
3.4.1. Toprak Kaynaklı Isı Pompası Uygulama Çeşitleri 79
3.4.1.1. Yatay Toprak Isı Değiştiricileri 81
3.4.1.2. Dikey Toprak Değiştiricileri 84
3.4.1.3. Yeraltı Suyu Uygulaması 86
3.4.1.4. Yüzey Suyu Uygulaması 88
3.4.2. Toprak Kaynaklı Isı Pompası Özellikleri ve Sistem Bileşenleri 89
3.4.2.1. Toprak Kaynaklı Isı Pompalarında Bina İçi Isıtma Tesisatı 89
3.4.3. Toprak Kaynaklı Isı Pompalarının Seçimi 91
3.4.3.1. Bina Isı Kaybının Yaklaşık Olarak Hesaplanması 92
3.4.3.2. Sıcak Kullanım Suyu İçin İlave Kapasite 92
3.4.3.3. Isı Kaynağının Seçimi 93
3.4.4. Toprak Kaynaklı Isı Pompalarının Çevresel İncelemesi 94
3.4.4.1. Tanımlar 95
3.4.4.2. Yer Altı Isı Rejimi 96
3.4.4.3. Sistem Tasarımı İçin Prensipler 99

3.4.4.4. Yatay ve Dikey Toprak Isı Değiştiricili Isı Pompası Sistemleri İle İlgili Genel Şartlar 101
3.4.4.5. Isı Pompaları Emniyet Ekipmanları 102
3.4.4.6. Saha Değerlendirmesi 102
3.4.4.7. Yerleşim Şartları 102
3.4.4.8. Toprak Kaynaklı Isı Pompalarının Çevresel Etkileri 103
3.4.4.9. Yer Altı Devreleri İçin Malzeme Seçimi 109
3.4.5. Toprak Kaynaklı Isı Pompalarında Kaynak Devresi Planlaması 111
3.4.5.1. Kuyu Sistemleriyle Yer Altı Sularının Doğrudan Kullanılması 112
3.4.5.2. Yatay Toprak Isı Değiştiricileri 117
3.4.5.3. Dikey Toprak Isı Değiştiricileri 122
3.4.5.4. Helisel Toprak Isı Değiştiriciler 137
3.4.5.5. Farklı Toprak Isı Değiştiricileri Uygulamaları 143
BÖLÜM 4 152
UYGULAMA 152
4.1. Bina Bilgileri 152
4.1.1. Bina Yalıtımı 152
4.1.2. Bina Mekanik Tesisatı 158
4.1.3. Zemin Katın Isı Pompası İle Isıtılması 164
4.1.4. Hidrojeolojik Araştırma ve Toprak Analizi 168
4.1.5. Sistem Seçimi ve Tasarımı 170
4.1.6. Helisel Toprak Isı Değiştiricilerin Montajı 173
4.2. Sistemin Enerji verimliliği yönünden DIN V 4701-10' göre incelenmesi 180
BÖLÜM 5 188
SONUÇ VE ÖNERİLER 188
5.1 Sonuç ve Değerlendirme 188
5.2 Öneriler 190
KAYNAKLAR 192
ÖZGEÇMİŞ 200

ÇİZELGE LİSTESİ

Tablo 1.1. Dünya, Kanıtlanmış Petrol Rezervleri [2] 17
Tablo 1.2. Dünya, Kanıtlanmış Doğalgaz Rezervleri [2]..... 18
Tablo 3.1. Isı Pompalarında Kullanılan Etki ve Verim Tanımlarının Listesi [86]. 37
Tablo 3.2. Çeşitli Soğutucu Akışkanların Genel Özelliklerinin Karşılaştırma Tablosu [85]..... 65
Tablo 3.3. Bazı Soğutucu Akışkanların Çevresel Etkileri [109]..... 70
Tablo 3.4. Soğutucu Karışımların Özellikleri [109].(s.6.3) 71
Tablo 3.5. Yatay Uygulamada Toprak Özelliğine Bağlı Özgül Isı Çekme Kapasitesi Tablosu [86], [85], [115]..... 83
Tablo 3.6. Yatay Uygulamada Boyutlandırma İle İlgili Temel Değerler [85]..... 83
Tablo 3.7. Yatay Uygulamada Gerekli Toprak Alanı Tablosu [85]. 83
Tablo 3.8. Dikey Uygulamada Toprak Özelliğine Bağlı Özgül Isı Çekme Kapasitesi Tablosu [88](s29), [115](s17)..... 85
Tablo 3.9. Dikey Uygulamada Gerekli Sondaj Derinliği Tablosu [85]. 85
Tablo 3.10. Mevcut ve Yeni Binalarda Özgül Isı Kaybı Değerleri [85]..... 92
Tablo 3.11. Farklı Avrupa Normlarına Göre Özgül Isı Kaybı Değerleri [85]. 92
Tablo 3.12. Kullanım Suyu Gereksinimine Göre İlave Isıtma Kapasitesi [85]. 93
Tablo 3.13. Isı Kaynağına Göre Sistemlerin Karşılaştırması [85]. 94
Tablo 3.14. Yer Altı Bileşenlerinin Isıl İletkenliği ve Hacimsel Özgül Kapasitesi Örnekleri [118](s.10-11). 98
Tablo 3.15. Parçalanmış Kayaçların Geçirgenlik Kılavuz Değerleri (DIN 18 130-1) [118](s.12) 99
Tablo 3.16. Birincil (Birincil) Enerji Faktörleri [120](s.52), [119](s.139). 105
Tablo 3.17. Isı Pompalarında Kullanılan Soğutucu Akışkanların Çevresel Etkileri [118](s.26). 106
Tablo 3.18. Toprak Kaynaklı Isı Pompalarında Yaygın Olarak Kullanılan Antifriz Maddeler [85]. 110

Tablo 3.19. Yıllık 1.800 ve 2.000 Saat Çalışma Koşullarında Yatay Toprak Isı Değiştiricilerinden Çekilebilecek Olası Özgül Isı Değerleri [88](s:27). [115](s:27) 118
Tablo 3.20. Yıllık 1.800 ve 2.400 Saat Çalışma Koşullarında Dikey Toprak Isı Değiştiricilerinden Çekilebilecek Olası Özgül Isı Değerleri [115](s:17) ... 124
Tablo 3.21. C1 - Yeni binalarda ısıtma ve evsel su ısıtma için kullanılan ısı pompaları için mevsimsel performans faktörü, standart asgari ve hedef değerler. (Orta Avrupa için tipik değerler) [88](s:38). 126
Tablo 3.22. C2 - Güçlendirilmiş binaların içinde ısıtma ve sıcak su için kullanılan ısı pompaları için mevsimsel performans faktörü, standart asgari ve hedef değerler. (Orta Avrupa için tipik değerler) [88](s:39). 126
Tablo 3.23. C3 - Sadece sıcak su için kullanılan ısı pompaları için mevsimsel performans faktörü standart asgari ve hedef değerler. (Orta Avrupa için tipik değerler) [88](s:39) 126
Tablo 3.24. Özgül ısı çekme gücü, yılda 1800 işletim saatinde 30 kW'a kadar ısıtma durumu [121](s:40) 137
Tablo 3.25. Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı 155
Tablo 3.26. Pencere ve Kapı Listesi 156
Tablo 4.1. Bina içi ısı kayıpları 166
Tablo 4.2. Zemin Raporu 169
Tablo 4.3. Yoğuşmalı Kazan Kullanım Sıcak Suyu Hesap Tablosu 182
Tablo 4.4. Yoğuşmalı Kazan Isıtma Hesap Tablosu 183
Tablo 4.5. Yoğuşmalı Kazan Sistem DeğerlendimeTablosu 184
Tablo 4.6. Isı Pompası Kullanım Sıcak Suyu Hesap Tablosu 185
Tablo 4.7. Isı Pompası Isıtma Hesap Tablosu 186
Tablo 4.8. Isı Pompası Sistem Değerlendirme Tablosu 187
Tablo 4.9. Sistem Tüketim Katsayıları Tablosu 188
Tablo 4.10. Bazı Yerleşim Bölgelerinde Aylık Jeotermal Isınma ve Sıcak Su Ücretleri [133]. 189

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1. Dünya Birincil Enerji Tüketimi Kaynaklar Bazında (%), 2012 sonu 16
Şekil 1.2. 2013 Yılı Sonu Türkiye Elektrik Üretiminin Kaynaklara Dağılımı [2] 17
Şekil 3.1. Isı Makinası ve Isı Pompası Genel Çalışma Prensibi [84]-Fig1. 34
Şekil 3.2. Buhar Sıkıştırmalı Isı Pompası Ana Elemanları [85]. 35
Şekil 3.3. Şematik Olarak Ters Carnot Çevrimi [87].(s.528) 40
Şekil 3.4. İdeal Buhar Sıkıştırmalı Çevrim [87].(s.529) 41
Şekil 3.5. Gerçek Buharlaştırmalı Çevrim [87](s.533). 42
Şekil 3.6. Isı Pompası Çalışma Prensibi [85]. 44
Şekil 3.7. Topraktaki Normal Yıllık Sıcaklık Değişimleri [88]. 46
Şekil 3.8. Kompresörlerin Sıkıştırma Metotlarına Göre Sınıflandırılması. 49
Şekil 3.9. Pistonlu Tip Kompresör [89]. 49
Şekil 3.10. Pistonlu Tip Kompresör [90]. 49
Şekil 3.11. Döner Pistonlu Tip Kompresör [91].(s.38.12) 51
Şekil 3.12. Kayar Vanalı Tip Kompresör [91].(s38.13) 51
Şekil 3.13. Tipik Blower Çalışma Sırası [92]. 51
Şekil 3.14. Swing Tip Kompresörün Çalışma Prensibi [85]. 52
Şekil 3.15. Swing Tip Kompresör [85], [93]. 52
Şekil 3.16. Scroll Tip Kompresör [94].(s.54) 53
Şekil 3.17. Scroll Tip Kompresör [95]. 53
Şekil 3.18. Çift Vidalı Kompresör [96]. 54
Şekil 3.19. Tek Vidalı Kompresör Çalışma Prensibi [97]. 54
Şekil 3.20. Santrifüj Kompresör [94].(s.53); [98] 55
Şekil 3.21. Kompresörlerin Yapılarına Göre Sınıflandırılması 55
Şekil 3.22. Yarı Hermetik Vidalı Tip Kompresör [99]. 56
Şekil 3.23. Yarı Hermetik Pistonlu Tip Kompresör [100]. 56
Şekil 3.24. Hermetik Tip Kompresör [89](s.537), [101]. 57

Şekil 3.25. Oda Sıcaklığının Zamana Göre Değişimi [102]. 58
Şekil 3.26. Inverter Frekansı ve Enerji Verim Oranı İlişkisi [103]. (s.150) 58
Şekil 3.27. Inverter Sistemlerde Sıcaklık Kontrolü (Soğutma Modu) [104]. 58
Şekil 3.28. Inverter Sistemlerde Kompresör Devri-Elektrik Tüketimi-Basınç İlişkisi [105]. 60
Şekil 3.29. UV Işınlarının Oksijen ve Ozon ile etkileşimi [85]. 66
Şekil 3.30. Ozon Tabakasındaki Deliğin Yıllara Bağlı Değişimi [107]. 68
Şekil 3.31. Klor Atomlarının Ozon Molekülünü Parçalama Reaksiyonları [108]. 69
Şekil 3.32. Isı Pompası Monovalent İşletim Grafiği [110]. 73
Şekil 3.33. Isı Pompası Monoenergetic İşletim Grafiği [110]. 74
Şekil 3.34. Isı Pompası Bivalent Paralel İşletim Grafiği [85], [110]. 75
Şekil 3.35. Isı Pompası Bivalent Seri İşletim Grafiği [85]. 76
Şekil 3.36. Toprak Kaynaklı Isı Pompası Çalışma Prensibi [111]. 78
Şekil 3.37. Toprak Kaynaklı Isı Pompası Uygulama Şekilleri [112]. 79
Şekil 3.38. Toprak Kaynaklı Isı Pompası Uygulama Şekilleri [113]. 80
Şekil 3.39. Yatay Toprak Isı Değiştiricisi Uygulaması [114]. 81
Şekil 3.40. Dikey Toprak Isı Değiştiricisi Uygulaması [114] 84
Şekil 3.41. Dikey Toprak Isı Değiştiricisi [85]. 84
Şekil 3.42. Yeraltı Suyu Uygulaması [116]. 87
Şekil 3.43. Yüzey Suyu Uygulaması [117]. 88
Şekil 3.44. Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sistemi Tasarım Adımları [85]. 91
Şekil 3.45. Yeraltında Yüzeye Yakın Termal Rejim [118]. 96
Şekil 3.46. Klasik Isıtma Teknolojileri ve Isı Pompası Enerji Akış Diyagramı [85]. 104
Şekil 3.47. Yer Altı Suyu Kaynaklı Isı Pompası Sistemi [115](s.6) 112
Şekil 3.48. Örnek Kuyu Sistemi [115]. 116
Şekil 3.49. Yatay Toprak Isı Değiştiricili Isı Pompası Uygulaması [115](s.11). 118
Şekil 3.50. Dikey Toprak Isı Değiştiricili Isı Pompası Sistemi Uygulaması [115](s:15) 122
Şekil 3.51. Dikey Toprak Isı Değiştiricileri İçin Tasarım Nomogramı (Yıllık Çekiş Değerleri Aşılmamalıdır) [115](s:18) 127
Şekil 3.52. Dikey Toprak Isı Değiştiricileri İçin Örnek Yerleşim Modelleri [115](s:23) 131

Şekil 3.53. Bir Helisel Sonda İle Topraktan Çekilebilecek Isı Miktarı [122].(s:11) 138
Şekil 3.54. Helisel Isı Değiştirici [121](s:39). 138
Şekil 3.55. Isı Değiştiricisi Olarak Kullanılan Enerji Kazıkları [123].(s:41).....144
Şekil 3.56. İtmeli Beton Kazık Uygulaması [124]. 146
Şekil 3.57. Matkaplı Beton Kazık Uygulaması [125]. 146
Şekil 3.58. Sahada Üretilen Beton Kazık Uygulamasında Çelik Kafesler [126]. 147
Şekil 3.59. V Tipi Çukur Toprak Isı Değiştiricisi Uygulaması [127], [128](s.410). 149
Şekil 3.60. Yatay Slinky Toprak Isı Değiştiricisi Uygulaması [129]. 150
Şekil 3.61. Dikey Slinky Toprak Isı Değiştiricisi Uygulaması [130]. 150
Şekil 3.62. Svec Kollektör [131]. 150
Şekil 4.1. Gazbeton Dış Duvar Yalıtım Detayı 152
Şekil 4.2. Betonarme Elemanların Yalıtım Detayı 153
Şekil 4.3. Birimler (Daireler) Arası Duvar Yalıtım Detayı 153
Şekil 4.4. Üzeri Çatı Örtülü Tavan Detayı 153
Şekil 4.5. Birimler Arası Ara Kat Detayı 154
Şekil 4.6. Bina Isı İhtiyacı Kimlik Belgesi [TS825] 157
Şekil 4.7. Çatı Kazan Dairesi 100 KW'lık Kombi ve Akümülasyon Tankları 159
Şekil 4.8. Dolaşım Pompaları 160
Şekil 4.9. Kat İstasyonu (Dolapsız) 163
Şekil 4.10. Dijital Göstergeli Oda Termostatı 164
Şekil 4.11. Uygulama Yapılacak Zemin Kat Planı 165
Şekil 4.12. Zemin Kat Isıtıcı Yerleşimleri 167
Şekil 4.13. Sondaj Kesiti 168
Şekil 4.14. Helisel Sondaların Yerleşim Planı 172
Şekil 4.15. Çukurun açılması 173
Şekil 4.16. Sondaj deliğinin hazırlanması 174
Şekil 4.17. Helisel Toprak Isı Değiştiricinin Bağlama Bandının Sabitlenmesi 175
Şekil 4.18. Helisel Toprak Isı Değiştiricinin Bağlama Bandının Sabitlenmesi, Yerleştirilmesi ve Ağırlaştırılması 175
Şekil 4.19. Sondaj Deliğinin Doldurulması 176
Şekil 4.20. Yerleştirilmiş Helisel Sondalar 177
Şekil 4.21. Helisel Sondaların Seri Bağlanması 177

Şekil 4.22. Sistemin en yüksek noktasındaki kollektör kutusu 178
Şekil 4.23. Çukurun Doldurulması 179
Şekil 4.24. Jeotermal ile Bazı Fosil Yakıtların Isı Satış Bedellerinin Karşılaştırılması [133]. 190

SİMGELER DİZİNİ

α	Isıl yayılma
ε	Performans katsayısı (COP)
β_a	Mevsimsel (yıllık) performans faktörü (SPF)
ζ	Sorpsiyon veya yanmalı motor tahrikli ısı pompaları COP'si
ζa	Sorpsiyon yıllık performans faktörü veya yanmalı motor tahrikli ısı pompaları
λ	Isı iletim kabiliyeti W/(m.K)
ρ	Yoğunluk kg/m3
cp	Sabit basınçta özgül ısı kapasitesi kJ/(kg.K)
ρ.cp	Hacimle ilişkili özgül ısı kapasitesi kJ/(m^3.K)
T	Sıcaklık K
a	Nomogram girdisi
Q_H	Yıllık ısıtma gereksinimi (kWh/yıl)
β_a	Mevsimsel (yıllık) performans faktörü
P_p	Yıllık ek enerji gereksinimi (sirkülasyon pompası, diğer ısı kaynağı sistem bileşenleri)
Q_p	Binanın toplam birincil enerji gereksinimi [kWh/ yıl]
Q_h	Mahal ısı gereksinimi [kWh/yıl]
Q_{tw}	Sıcak kullanım suyu ısı gereksinimi [kWh/yıl]
$Q_{H,P}$	Isıtma devresi birincil enerji gereksinimi [kWh/ yıl]
Q_{LP}	Havalandırma devresi birincil enerji gereksinimi [kWh/yıl]
$Q_{TW,P}$	Sıcak kullanım suyu devresi birincil enerji gereksinimi [kWh/yıl]
e_p	Sistem tüketim katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

KISALTMALAR

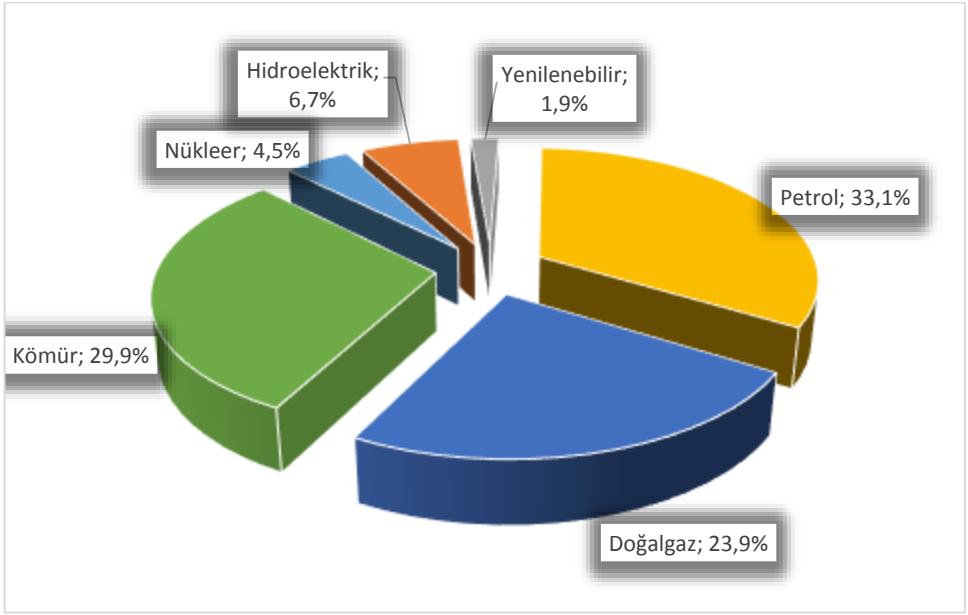
TKIP	Toprak Kaynaklı Isı Pompası
TID	Toprak Isı Değiştirici
HKIP	Hava Kaynaklı Isı Pompası
PER	Birincil Enerji Oranı
EK (COP)	Etkinlik Katsayısı
SEK	Soğutma Etkinlik Katsayısı
IEK	Isıtma Etki Katsayısı
EVO (EER)	Enerji Verimlilik (Etkinlik) Oranı
IMPF (HSPF)	Isıtma Mevsimsel Performans Faktörü
EKYD (IPLV)	Entegre Edilmiş Kısmi Yük Değeri
MEVO (SEER)	Mevsimsel Enerji Verimlilik Oranı
MPF (SPF)	Mevsimsel Performans Faktörü
MEK (SCOP)	Mevsimsel Etkinlik Katsayısı
KMPF (CSPF)	Kombine Mevsimsel Performans Faktörü
ENEV	Avrupa Enerji Tasarruf Yönetmeliği
GSHP	Ground Source Heat Pumps
TEWI	Toplam Eşdeğer Isıtma Etkisi
HCFC	Hidrokloroflorokarbonlar
HFC	Halojenli fluorohidrokarbonlar

BÖLÜM 1

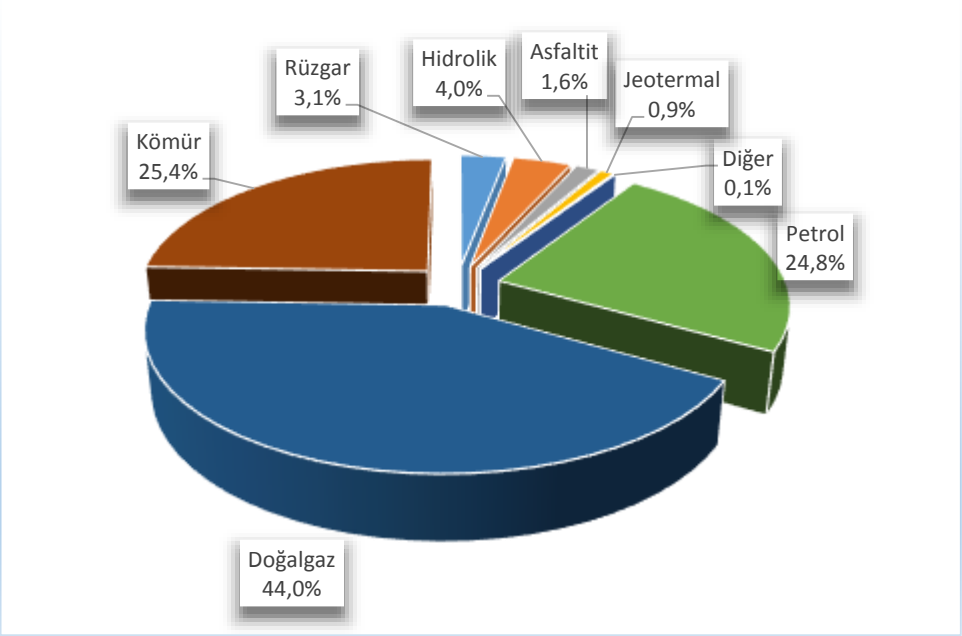
GİRİŞ

1. Genel Durum

Günümüzün temel sorunlarından birisi artan enerji ihtiyaçlarının sınırlı enerji kaynaklarıyla karşılanmaya çalışılırken aynı zamanda yaşadığımız doğa ve çevrenin neredeyse geri dönülmez biçimde tahrip edilmesidir. Bugün tüketilen enerji kaynaklarının başında fosil yakıtlar gelmektedir. Fosil yakıtlar bir taraftan tükenme eğilimine girmiş, diğer taraftan da çevre kirliliğinin baş aktörü durumuna gelmiştir. Bu nedenle alternatif enerji kaynakları arayışına girişilmiş olup, bunlar güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji gibi yenilenebilir enerji çeşitleridir. Toprak Kaynaklı Isı Pompası da Jeotermal enerjinin ve yer kabuğunda depolanmış güneş enerjisinin bir kullanım biçimidir.



Şekil 1.1. Dünya Birincil Enerji Tüketimi Kaynaklar Bazında (%), 2012 sonu Dünya Birincil Enerji Tüketimi: 12,5 milyar TEP [1]



Şekil 1.2. 2013 Yılı Sonu Türkiye Elektrik Üretiminin Kaynaklara Dağılımı [2]
(Türkiye, Birincil Enerji Arzı 120,093 TEP)

Tablo 1.1. Dünya, Kanıtlanmış Petrol Rezervleri [2]

Sıra	Ülkeler	1 Ocak 2013 (milyar varil)	1 Ocak 2014 (milyar varil)
1.	Venezuela	297.57	297.74
2.	Suudi Arabistan	265.41	265.85
3.	Kanada	173.10	173.20
4.	İran	154.58	157.30
5.	Irak	141.35	140.30
6.	Kuveyt	101.50	101.50
7.	B. Arap Emirlikleri	97.80	97.80
8.	Rusya	80.00	80.00
9.	Libya	48.01	48.47
10.	Nijerya	37.20	37.14
	Dünya-Toplam	**1,639.40**	**1,644.51**

Tablo 1.2. Dünya, Kanıtlanmış Doğalgaz Rezervleri [2]

Sıra	Ülkeler	1 Ocak 2013 (milyar m^3)	1 Ocak 2014 (milyar m^3)
1.	Rusya	47.805	47.805
2.	İran	33.612	33.779
3.	Katar	25	25.069
4.	Suudi Arabistan	8.151	8.235
5.	ABD	9.877	10.539
6.	Türkmenistan	8	8
7.	B. Arap Emirlikleri	6.089	6.089
8.	Venezuela	55	5.562
9.	Nijerya	5.154	5.118
10.	Cezayir	4.504	4.504
	Dünya-Toplam	**310.261**	**345.602**

Şekil 1.1 ve Şekil 1.2'de Dünya'da ve Türkiye'de birincil enerji tüketim kaynaklarının dağılımı verilmiştir Fosil yakıtların kanıtlanmış rezervleri ise Tablo 1.1 ve 0'de verilmiştir. Şekil 1.1'de görüldüğü gibi dünya enerji kaynaklarının %86,9 unu fosil yakıtlar oluşturmaktadır. Şekil 1.2'den görüldüğü gibi ülkemizde durum daha vahim olup fosil kaynakların oranı %94,2 i bulmaktadır.

Enerji kaynaklarının pahalılaşması, kıtlaşması; enerji, sanayi ve ulaştırma sektörlerinden doğan kirlenmeler dünyada olduğu gibi ülkemizde de çevreyi korumaya yönelik önlemlerin alınmasını gerekli kılmıştır. Enerji politikalarının esas amacı, sosyo-ekonomik gelişmeyi kuvvetlendirirken aynı zamanda çevreyi korumak ve iyileştirmek olduğundan, dünya ülkeleri enerji politikaları ve programları içinde giderek daha ağırlıklı bir şekilde göz önüne alınmaya başlanan çevre konusunda ülkemiz diğer ülkelerdekine paralel bir görüşle yaklaşmakta, çevrenin korunarak iyileştirilmesi gerekliliğine inanmakta, çevre kirliliğini ve sera gazı emisyonlarını azaltıcı çeşitli faaliyetlerde bulunmakta ve önlemler almaktadır.

Kullanılan bu enerji kaynaklarındaki bu tip sorunlar ve uğraşlar yeni alternatif enerji kaynaklarının arayışını ortaya çıkarmıştır. Yeni enerji kaynakları olarak güneş, rüzgâr, dalga, biomass, jeotermal enerji, toprak, kaya, yeraltı suları sayılabilir. Ülkemiz de bu yeni enerji kaynaklarından yararlanmaya gitmektedir. Bunlar arasında en sık gördüğümüz sistem güneş enerjisi sistemleri olup, jeotermal enerjide elektrik üretimi, soğutma, ısıtma ve sıcak su ihtiyacının karşılanması, seracılık vb. gibi birçok alanda

kullanılmaya başlanmıştır (Güven, 2002). Bizim en çok dikkatimizi çeken sistem ise jeotermal enerjidir. Nedeni ise ülkemizin jeotermal kaynak bakımından dünya sıralamasında yedinci ülke olmasıdır.

Yeryüzünün güneş ışınlarından elde ettiği ısıdan yeniden kazanılabilen enerjiyi kullanarak, ticari binaların, çeşitli mühendislik yapılarının ısıtılması ve soğutulması ile kullanma sıcak suyu üretiminde kullanılan bir sistem olan "Toprak Kaynaklı Isı Pompası" (TKIP)'nın kullanımı gittikçe artmaktadır. Sistemin çalışma prensibi, ısının taşınması esasına dayanmaktadır. TKIP sistemleri, elektrik enerjisi ile ısıtma ve soğutma yapılmasını sağlayan sistemler olduklarından çevre dostu bir sistem olarak, özellikle ABD, Kanada, Almanya ve başta İsveç olmak üzere, İskandinav ülkelerinde uzun zamandır kullanılmaktadır. TKIP'ları, toprağın içindeki sıcaklığın kararlı değişmesi ve soğuk iklimlerde performansını yüksek seviyede tutması nedeniyle enerjinin kullanımında daha etkili sonuçlar ortaya çıkarır.

BÖLÜM 2

KAYNAK ARAŞTIRMASI

2. Isı Pompası Konusunda Yapılan Çalışmalar

Isı pompası çevriminin temel prensibini Nicolas Leonard Sadi Carnot 1824 yılında ortaya atmıştır. Gerçekte bir soğutma çevrimidir. Bundan 26 yıl sonra 1850 yılında Lord Kelvin‘ in soğutma cihazlarının ısıtma amacı ile kullanılabileceğini ileri sürmesi ile ısı pompası kullanımı uygulamaya girdi. 2. Dünya Savaşından önce ısı pompasının geliştirilmesi ve kullanılabilir hale getirilmesi için birçok mühendis ve bilim adamı bu alanda araştırmalar ve çalışmalar yaptı. Savaş yıllarında endüstri olanaklarını daha acil problemlere yönelttiği için ara verilen bu çalışmalar savaştan sonra tekrar hız kazandı. İlk ısı pompası ise, 1930 yılında İskoç Haldane tarafından yapılmış ve daha sonra bu ısı pompasını evinde kullanmaya başlamıştır. Haldane, bu makinede kaynak olarak havayı kullanmış ve hava koşullarının iyi olmadığı zamanlarda su ile desteklemiştir. 1950‘li yıllarda ısı pompasına azda olsa ilgi artmış, ancak petrol fiyatlarının gerilemesi ve bazı işletim zorlukları nedeniyle fazla ilgi görmemiştir.

Isı kaynağı olarak topraktan yararlanarak faydalı ısı veren bir makineyi gerçekleştirmek için, Lord Kelvin (1852) endüstri çağının başlamasından önce çok çaba sarf etmiştir. Buna rağmen, bu makine hiçbir zaman gerçekleştirilememiştir. Ancak bundan yaklaşık 75 yıl sonra yukarda belirtildiği gibi Haldane Scotland‘ da ki evini ısıtmak için bu prensibe göre çalışan makineyi kullanmıştır. 1912 yılındaki İsviçre patenti ile Toprak Kaynaklı Isı Pompası‘nın (TKIP) faydaları ilk olarak tanıtılmıştır. Sistemin en eski uygulaması ise, 1930‘dan beri işletilen ve Connecticut da bulunan Amerikan ulusal deprem araştırmaları binasıdır. İlk ısı pompalarından diğer biriside 1938 yılında Zürih‘te kurulmuştur. Bu ünitede ısı kaynağı olarak nehir suyu, iş yapan akışkan olarak R12 ve bir rotorlu kompresör kullanılmıştır. Zürih belediye binasının ısıtılmasını sağlayan bu ısı pompası 175 kW ısıtma gücünde olup, 60 °C ısıtma yapabilecek şekilde tasarlanmıştır. Daha sonra, termodinamik olarak yararı, ısı kaynağı olarak toprağa gömülen metal boru serpantinler içinde salamura dolaştırılarak, 1940‘lı

yıllarda çarpıcı olarak gösterildi. Korozyon sorunları, toprak altındaki boru serpantinlerini kullanışsız kıldı ve bu hava kaynaklı ısı pompalarının gelişimini zorladı. Daha sonraları, plastik boruların kullanımasıyla korozyon sorunları giderildi ve TKIP sistemleri üzerine araştırmalar hızlandı [3].

Amerika'da, TKIP teknolojisine olan ilgi, 1940-50 yılları arasında ortaya çıktı. O yıllarda, teknoloji uygun olan boru malzemeleriyle sınırlı idi ve pahalı olmayan doğal gaz nedeniyle azaldı. Ev ısıtması için ilk ısı pompalarından biriside İngiltere'de Summer tarafından kendi evinde başarılı bir şekilde kurulmuştur. Isı, atmosferden sağlanmıştır. İlk birkaç yıllık çalışmadan sonra 1 m derinlikteki topraktan su çekilmeye başlanmıştır. Bu sistemin ısıtma etkinlik katsayısı 2,8'e ulaşmıştır. Bu sistem bugün hala kullanılmaktadır. Bazı ısı pompası uygulamalarında ise, kilerden ısı çekerek sıcak su temini gerçekleştirilmiştir. Böylece kilerdeki yiyeceklerin bozulması önlenmiş ve evin sıcak su ihtiyacı sağlanmıştır. Isı depolamak için 136 lt'lik su tankları kullanılmıştır. Kış aylarında 0,7 kW, daha ılık aylarda ise 1,3 kW'lık ısıtma gücü elde edilmiştir. Oxford'da yapılan ısı pompasında ise, ısı kaynağı olarak düşük sıcaklıktaki lağım suyu kullanılmıştır. Bu ısı pompasının kompresörü 31 kW'lık bir dizel motoru tahrik edilerek, ortalama ısı tesir katsayısı 4 civarında olmuştur. 1950'lerde, Amerika ve İngiltere' de evsel ısı pompalarında toprak kaynağının kullanımı ile ilgili çalışmalara başlanmıştır. Baker, 1950-51 yıllarında, kış ayları boyunca ortalama ısı tesir katsayısı 3 ün üzerine çıkan, çift tesirli toprak kaynaklı bir ısı pompası geliştirmiştir. İkinci dünya savaşından sonra sadece bir kaç şehirde uygulanan ısıtma soğutma sistemleri genellikle tiyatro, restoran gibi yerlerde kullanılmış, günümüzde ise hemen her yerde bu sistem ile karşılaşılmaktadır. Toprak kaynaklı ısı pompası teknolojisi, 1973 petrol ambargosu süresince, İsviçre de tekrar ivmelendi ve bir kaç yıl sonra, Oklohoma State University de bir araştırma programı başlatılarak günümüze kadar gelişimini devam ettirdi [4]. 1985 de sadece 14.000 TKIP'nın Amerika da kurulduğu tahmin ediliyor. Bu gelişmelere paralel olarak, İsveç'te 1988 yılında 134.000 TKIP'nın olduğu bildirilmektedir [5]. Amerika'da 1990 yılında, tahminen 100.000 TKIP konut ve ticari uygulamalarda kullanılmıştır. Tüm imalatçılar satış rakamlarını bildirmemesine rağmen, 1993 yılında 17.300 ünitenin yıllık satışı bildirilmiştir [6]. Ayrıca, 1997 yılı sonunda, 300.000 den fazla TKIP, evler, okullar ve ticari yapılarda hacim ısıtması ve iklimlendirme amacıyla kullanılmıştır [7]. Catan ve Baxter [8], kuzey iklim uygulamalarında TKIP'nın

ekonomik açıdan optimum analizini incelemişlerdir. Pittsburgh'da bulunan 167 m2'lik bir ev için, yatay tip TID'si olan su kaynaklı ısı pompasının yapım-kullanım maliyeti, (life-cyle cost) 7 yıllık ekonomik ömür için minimize edilmiştir. Çalışmada, geleneksel HKIP sistemlerine göre, optimize edilen ısı pompasının geri ödeme süresi 3 yıldan düşük bulunmuştur.

Hughes vd. [4], New York şehrinin yakınlarında konutlara yönelik TKIP'nın teknik ve ekonomik potansiyelini değerlendirmek amacıyla, çok amaçlı bir gösteri projesinden elde edilen sonuçları vermişlerdir. Bu çerçevede, 1982-1984 yılları arasında ısıtma/soğutma performansları ve kullanma suyu sıcaklıkları ölçülmüştür. Franck ve Berntsson [9], İsveç'te yürütülen büyük bir araştırma programı doğrultusunda, 10-40 m uzunluklardaki düşey boruları kullanarak bir TKIP sistemi kurmuşlardır. Bu sisteme güneş enerjisi takviyesi yapılarak performans karşılaştırılması yapılmıştır. Fleming [10], Shanghai'deki (Çin) bir ticari ofis binası (net iklimlendirme yüzey alanı 3600 m2, ısıtma yükü 65,7 ton ve soğutma yükü 128,6 ton) için 130 ton'luk bir jeotermal ısı pompası sistemini tasarlayarak işletilmesini gerçekleştirmiştir. Eskilson [11], sondaj kuyularında ısı çekilmesinin analizi başlıklı kitabında bu konuda yaptığı çalışmaları özetlemiştir. Derin sondajlarda iletimle ısı çekilmesinin analitik modellenmesi yapılmış ve boyutlandırma kuralları verilmiştir. Isıl duyarlılık testleri gerçekleştirilmiştir. Kavanaugh [12], güney iklimlerde toprak ve su kaynaklı ısı pompalarının tasarımına yönelik esasları vermiştir. Bu sistemlerin nasıl daha verimli ve güvenilir olacağı açıklanmıştır. Ayrıca, geleneksel ısıtma sistemleriyle kıyaslanmış; esneklik, performans ve ekonomi bakımından bu sistemlerin daha iyi olduğu vurgulanmıştır. Martin [13], yatay tip TID'si olan bir ısı pompası sisteminin tasarlanmasında etkin olan parametrelerin değişimini incelemek üzere teorik ve deneysel çalışma yapmıştır. Konutlar için 3 ton soğutma yüküne sahip bir ısı pompasının performansını ve enerji sarfiyatını tayin etmek bir bilgisayar programı geliştirilmiş ve elde edilen sonuçlar Oklahoma'daki iki konut için kıyaslanmıştır. Ayrıca, ekonomik bakımdan optimum tasarımı belirlemek için bir ekonomik analiz yapılmıştır. Mei ve Baxter [14], kurmuş oldukları deney düzeneği ile doğrudan genleşmeli TID'nin uygulamada karşılaşılan yarar ve sakıncalarını ortaya koymuşlardır. Safemazandarani vd. [15], doğrudan genleşmeli bir TKIP sisteminin simülasyonunda bir matematiksel model geliştirmişlerdir. TID'nin tasarımında etkin parametreler için deneyler yapılmıştır.

Kavanaugh [16], ısı kaynağı olarak nehir suyunun kullanıldığı su/hava ısı pompalarının analizini yapmıştır. Bu çalışmada, ısı pompasının seçimi, pompalama sistemleri, boru hattı yerleşimi ve nehir boyut/karakteristikleri ile ilgili uygulama sonuçları verilmiştir. Sulatisky ve Van der Kamp [17], Kanada'da (Saskatchewan) konutlar için beş adet TKIP'nın performansını araştırmışlardır. 5-8 yıl arasında kullanılan ısı pompası sistemlerinin, sadece iki yıllık bir süre için performans sonuçları yorumlanmıştır. Sorour vd. [18], toprak içerisinde donmayı önlemek amacıyla kullanılan ısıtma elemanlarının toprak kısmında yaptığı etkileri analitik olarak incelemişledir. İki boyutlu sonlu farklar yöntemi kullanılmıştır. Farklı sıcaklık profilleri elde edilmiştir. Kavanaugh [19], güney iklimlerde düşey TKIP sistemlerinin kullanılabilirliğini ve işletme karakteristiklerini belirlemek üzere bir deney yapmıştır. Alabama'daki 150 m2'lik bir konutta kurulan ısı pompasının soğutma ve ısıtma performansları göz önüne alınmıştır. Meloy [20], bir iş yerinin endirekt kuyu soğutması olan sisteminin kuyu kaynaklı ısı pompası sistemine dönüştürülmesi üzerine çalışmış ve dönüşüm esnasında karşılaşılan sorunları araştırmıştır. Bu dönüşümle, bir yılda %22 dolaylarında enerji tasarrufu sağlanmıştır. Rafferty [21], yer altı suyu sıcaklığı 22 ºC olan 360 ton (1266 kW)'lık ve yer altı suyu sıcaklığı 13 ºC olan 156 ton (549 kW)'lık, iki farklı yer altı su kaynaklı ısı pompası sisteminden elde edilen verileri yorumlamıştır. Tasarım yapılarak, sistemin işletme akısı ve iyileştirilmeleri verilmiştir. Ayrıca, yer altı suyunun özellikleri kontrol edilmiştir. Isı pompasının kapasite kontrolünün ve sistemin devreye girip çıkmasının önemli hususlar olduğu açıklanmıştır. Hatten [22], Amerika'da Portlan/Oregon eyaletindeki bir binaya (Bugün The Commonwealth Building olarak bilinmektedir) yer altı sulu ısı pompasının ilk ticari montajını yapmıştır. Isı pompasından elde edilen deneysel sonuçlar verilmiştir. Sistemin daha önceki çalışmaları da kontrol edilerek, önemli olan işletme ve bakım konuları açıklanmıştır. Jacovides ve Mihalakakou [23], bir enerji kaynağı olarak soğutma ve ısıtma için yeraltına döşenmiş boruları kullanmışlardır. Yeraltındaki boru sistemlerinde aynı anda ısı ve kütle transferini tanımlayarak, deneysel verilerden bir algoritma geliştirmişlerdir.

Kangas [24], toprağa inen düşey boruları kullanarak ısı pompaları için toprağın termo-hidrolik analizini yapmıştır. Bilgisayar simülasyonu ile ısı kaynağı olarak toprağın kullanılması durumunda analiz yapılmıştır. 3 boyutlu THETA denilen bir model kullanılmıştır. Sonuçta, topraktan ısı çekme sisteminin davranışı üzerinde farklı

jeolojik ve ısıl parametrelerin etkisi incelenmiştir. Toprak sıcaklığının sistem performansı üzerinde önemli etkilere sahip olduğu vurgulanmıştır. Petit ve Meyer [25], Johannesburg'da düşey TID'li TKIP ile HKIP'nın ekonomik karşılaştırmasını yapmışlardır. TKIP'nın yatırım maliyetleri ve optimum sondaj deliği uzunluğu hesaplanmıştır. Aylık ısıtma-soğutma kapasiteleri ve performans değerleri hesaplanarak, TKIP sisteminin HKIP sisteminden daha büyük oranda ekonomik olduğu bulunmuştur. Leong vd. [26], üç farklı toprak türü (kum, alüvyonlu verimli toprak ve alüvyonlu killi toprak) için beş değişik doyma derecesinde (%0, %12,5, %25, %50, %100) bilgisayarda simülasyon yapmışlardır. TKIP performansının büyük ölçüde toprağın nem içeriğine ve toprak türüne bağlı olduğu, topraktaki nem azalısının TKIP'nın performansını düşürdüğü, bu durumda toprak nem içeriğinin mümkün olduğunca kuru toprak şartlarının üzerinde tutulması gerektiği, toprağın nem doygunluğu %25'in üzerine çıktığında TKIP'nın performansının büyük oranda iyileştiği, doygunluğun %50'in üzerine çıkması durumunda ise TKIP'nın performansının etkilenmediği sonucuna varılmıştır. Phetteplace ve Sullivan [27], TID ve soğutma kulesinin birlikte kullanıldığı (böylece gerekli TID uzunluğunun azaltıldığı) hibrit bir ısı pompasının performansını incelemişlerdir. İkisi ısıtma ve ikisi soğutma sezonu olmak üzere, yaklaşık 22 aylık bir süre boyunca performans ölçümleri yapmışlardır. Den Braven [28], ABD'deki TKIP sistemlerinin TID'lerinde kullanılan antifrizlerin kullanılabilirliğini inceleyerek, tablo halinde vermiştir. ABD'deki eyaletlerin hemen hemen yarısında, TKIP sistemleri için antifriz malzemelerini içine alan herhangi bir kural veya öneri olmadığı belirtilmiştir. Spilker [29], düşey TID'lerde (dört farklı delik çapı yerleşiminde) kullanılan farklı dolgu malzemelerinin etkisini Isı iletim kabiliyeti testi yaparak açıklamıştır. Düşey TID'nin tasarımı üzerine çalışılmıştır. Düşey TID'nin delik çapının, boru tipinin, dolgu malzemesinin ve toprağın ısıl özelliklerinin; ısı değiştiricisinin sıcaklığına ve tasarımına önemli etkisi olduğu vurgulanmıştır. 6½″ (16.51 cm)'lik delik çapında, kum yerine, standart harcın (grout) kullanılmasının, gerekli ısı değiştiricisi uzunluğunu %49 azalttığı deneysel olarak bulunmuştur. Kavanugh [30], bilinen TKIP sistemleri için bağlantı elemanları ve boru hatlarındaki basınç kaybı ile ilgili diyagramları vererek, boru hattı tasarımını gerçekleştirmiştir.

Salah El-Din [31], Arabistan'da toprak sıcaklığının derinliğe bağlı olarak periyodik değişimini kullanarak iki yaklaşım geliştirmiştir. Bunlar; Sinüs dalgası ve

Fourier serisi yaklaşımıdır. Bu çalışmada, toprağın yutuculuğu ve havanın özgül nemi arttığında toprak içerisindeki ısı akısı değerinin ve toprak sıcaklığının arttığı, buharlaşma oranı ve rüzgâr hızı arttığında ise toprak içerisindeki ısı akışı değerinin ve toprak sıcaklığının azaldığı tespit edilmiştir. Piechowski [32], yatay tip TID'nin tasarımını daha doğru ve hesaplamalarının daha kolay olması için simülasyonlar yapmıştır. Bu çalışma, toprak-boru yüzeyi gibi daha büyük sıcaklıkların olduğu ve nem hareketinin fazla olduğu yerlerde daha kolay çözüme erişmek için yapılmıştır. Tarnawski vd. [33], yüksek sıcaklıklardaki toprağın ısıl iletkenliğinin tahmini için iki metot geliştirmişlerdir. Modellerden birincisi olan Vries modeli ile toprağın 30, 50 ve 70 ºC sıcaklıkları için çok uygun tahminler elde edilmiş, 90 ºC için ise orta derecede tahminlere varılmıştır. İkinci model olan Gori modelinde, toprağın 30 ve 50 ºC'deki sıcaklıkları için uygun değerlere varılmıştır. İkinci modelde en iyi tahminler, toprağın tam kuru hali için elde edilmiştir. Yüksek sıcaklıktaki toprağın ısı ve nem taşınımının analizinde birinci model tavsiye edilmiştir. Rees vd. [34], yer ile temasta olan yapıların ısıl performansları üzerinde toprak ısı transferinin etkilerini incelemişlerdir. Bernier [35], düşey TID'ne sahip TKIP sistemi için ısı pompasının yıllık performansını simüle etmiştir. Klasik silindirik ısı kaynağı çözümü geliştirilerek yük birleşimi bulunmaya çalışılmıştır. Daha sonra uygun toprak ısı transfer denklemleri çözülmüş ve ısı pompası performansı kısa süreli simülasyonlarla hesaplanmıştır. Pahud ve Matthey [36], yaptıkları çalışmada yerinde yapılan ısıl duyarlılık testi ile farklı dolgu malzemelerinin kullanıldığı düşey tip çiftli U-borulu düşey ısı değiştirgeçlerinde bu dolgu malzemelerinin ısıl performanslarını kıyaslamışlardır. Yavuztürk [37], Lincoln'da inşa edilen bir ilkokuldan alınan gerçek işletim bilgilerini kullanarak kısa zaman adımlarında elde edilecek sıcaklık modelini geliştirmiştir. Sistem, düşey TID'dir. Bu çalışmada, akışkanın pompaya giriş sıcaklığının sistemin enerji tüketimi üzerine olan etkisi de incelenmiştir. Kurulan sistemin enerji tüketimi, pompa akışkan giriş sıcaklığına bağlı olarak verilmiştir.

Kavanaugh ve Mclnerny [38], alanı 6700 m2 olan bir okulun TKIP sisteminin değişik TID boru şekillerini ve dört farklı pompa için durumlarını incelemişlerdir. Merkezden dışa doğru yayılan sistemde tekli halkalar, her bir tabaka için dolaşım pompaları ve üç merkezi sistem (değişken hızlı, sabit hızlı, birincil-ikincil halka seklinde pompalar) ele alınmıştır. Bu dört pompa türü için yıllık enerji tüketimleri

karşılaştırılmıştır. Sırasıyla değişken hızlı pompanın, sabit hızlı pompanın ve birincil-ikincil sistemdeki pompanın yıllık tüketimi, 18800 108600 ve 65500 kWh bulunmuştur. Parent [39], TKIP projesi için uygulanabilir bir yöntem kullanarak simülasyon modelini geliştirmeyi amaçlamıştır. Bu model, TKIP sistem simülatörü ve yapı yükünden oluşturulmuştur. Isı pompası sisteminin performansının ve TID şeklinin tahmini için, yapının yıllık enerji kullanımı göz önüne alınmıştır. Model'in ticari, mesken, kurumsal ve endüstriyel yapılar için düşey TID, yatay TID ve yer altı su sistemlerinin değerlendirilmesinde kullanılabileceği belirtilmiştir. Yenilenebilir enerji projelerine destek sağlamak amacıyla Kanada hükümeti tarafından yazılım programları içine tablolama programları konularak algoritmalar geliştirilmiştir. Yazılım programından çıkan bilgilerle, TID modelinin çıktıları kıyaslanmıştır. Kıyastan çıkan sonuç, ticari tasarım yazılımı tarafından tahmin edilen ortalama değerler ile TID hesaplamalarının iyi bir yaklaşım gösterdiğidir. Sodha [40], yer ve yer altı yapılar arasındaki dinamik ısı transferi için rastgele zaman aralıklarında simülasyon yapmıştır. Deneysel datalar ile simülasyon sonuçlarını karşılaştırmıştır. Sodha [41], yaptığı diğer bir çalışmada yer ve yer altı yapılar arasındaki bölge için daha kısa zaman adımlarında, değişik boyutlarda değişik malzemelerle yeni simülasyonlar yapmıştır. De Swardt ve Meyer [42], belediye şehir şebeke suyu sirkülasyonuna bağlı dönüşümlü TKIP sistemini geleneksel HKIP sistemi ile deneysel ve teorik olarak performans yönünden kıyaslamışlardır. Sonuçta, özellikle ısıtma modunda belediye suyu sirkülasyonun iyi bir ısı kaynağı olduğu gözlemlenmiştir.

Mihalakakou [43], toprak yüzeyi sıcaklığının günlük ve yıllık değişiminin tahmini için iki yaklaşım sunmuştur. Toprağın yüzey sıcaklığının, toprak ile temas halinde bulunan yapıların ısıl performansının hesaplanmasının yanında toprak - hava ısı değiştiricisinin veriminin tahmini için de önemli bir faktör olduğu belirtilmiştir. Bu yaklaşımlar, Deterministic model ve Neural Network'dur. Sonuçta, bu iki modelin toprak yüzey sıcaklığı dağılımını bulmada çok doğru sonuçlar verdiği görülmüştür.

Bi vd. [44], düşey spiral şekildeki TID etrafında iki boyutlu toprak bölgesi alarak öncelikle kontrol hacim metodunu kullanmış, toprak sıcaklık dağılımını teorik olarak modellemişlerdir ve daha sonra deneysel sistem kurularak deneysel veriler elde edilmiştir. Teorik sonuçlarla deneysel veriler karşılaştırılmıştır. TKIP sisteminin ısıtma yükünün TID'nin civarındaki toprak sıcaklığına bağlı olduğu belirtilmiştir. Bu

çalışmanın TKIP sistemlerinin TID tasarımı için yol gösterici olduğu savunulmuştur. Zeng vd. [45], jeotermal ısı değiştirgeçlerinde sondaj kuyuları için bir sonlu çizgisel kaynak modeli oluşturmuşlardır. Sutton vd. [46], katmanlaşmış jeolojik rejimlerde kurulmuş olan düşey borulu ısı değiştirgeçleri için bir algoritma geliştirmişlerdir. Bu algoritma çok katmanlı sondaj deliği alanı tasarımı algoritması (MLBDA) olarak adlandırılmıştır. Sanner vd. [47], Avrupa'daki TKIP ve yer altı ısıl enerji depolama sistemlerinin güncelliğini tartışmışlardır. 10 Avrupa ülkesinde son on yılda kurulu olan TKIP sistemlerinin adedi belirtilerek bu sayının hızla arttığı gösterilmiştir. Bu tür sistemlerdeki ticaret fırsatları ve sınırlamaları vurgulanmıştır. Lund [48], U-borusu ısı değiştirgeçlerinin kullanımı başlıklı çalışmasında, ABD'nin kuzey batısındaki yerleşim alanı Oregon (Klamath Falls)'da kurulu olan 500 adedi aşkın sistemin bulunduğunu ve Türkiye ile Yeni Zelanda'da da az sayıda tekli jeotermal kuyuların evlerin, okulların, binaların ihtiyaçlarını gidermek için kurulduğunu belirtmiştir. Sanner vd. [49], Almanya'nın merkezi bölgesinde çok büyük jeotermal ısı pompası alanları üzerinde yoğunlaşmışlardır. Bu çalışmada, ticari yapılar için TKIP sistemlerinin daha önceki gelişmeleri özetlenmiş, birçok detay ve ortaya çıkan problemler vurgulanmıştır. Lam ve Chan [50], otel uygulamaları için su-su ve hava-su ısı pompalarının enerji performanslarını incelemişlerdir. Hong Kong'daki iki otel üzerinde araştırma yapılmıştır. Genellikle sistem performansları 1,5-2,4 arasında hesaplanmıştır. Doherty vd. [41], Nottingham Üniversitesi'nde ekonomik ev (Eco House) diye tarif ettikleri bir yere kurulan TKIP sistemini test etmişlerdir. Çeşitli tip' de TID konfigürasyonları denenerek karşılaştırma yapılmıştır. Bunlar, slinky (spiral), düşey ve yatay TID'leridir.

Roth vd. [51], Latin Amerika'da kurulan bir TKIP sistemindeki sondaj deliği ve etrafındaki toprağın ısıl iletkenliğini saptamışlardır. Bu çalışmada Şili ve Arjantin'den gelen bir çalışma grubu ile işbirliği yapılarak çeşitli bölgelerdeki sondaj deliği bölgesi ısıl iletkenliği çalışmaları detaylandırılmıştır. Bi vd. [52], teorik ve deneysel olarak düşey kıvrımlı kangal borulu ısı değiştiricili güneş-toprak kaynaklı ısı pompasını incelemişlerdir. Güneş enerjisi kaynaklı ısı pompası, TKIP sistemi ve güneş-toprak kaynaklı ısı pompası sistemleri karşılaştırılmıştır. Diao vd. [53], yer altı su hareketine maruz toprak ısı değiştirgecindeki ısı transferini etüt etmişlerdir. Kyriakis vd. [54], TID'nin maksimum ısıl yükü üzerinde yoğunlaşmışlardır. Toprağın ısıl yükünün, toprağın ilk sıcaklığına ve uygulama süresine bağlı olduğu savunulmuştur. Sanner vd.

[55], dünyada yapılan tüm ısıl duyarlılık testlerinin kısa tanımını, temel teorisini, tarihsel gelişimini ve tüm uygulamalarını özetlemişlerdir. Trillat-Berdal vd. [56], güneş kollektörleri ile birleştirilmiş bir TKIP sisteminin deneysel çalışmasını sunmuşlardır. 180 m2'lik özel bir konutun ısıtılması için kurulan TKIP sisteminin güneş sistemi ile takviye edildiğinde nasıl bir iyileşme sağlandığı verilmiştir. Nagano vd. [57], TKIP sistemlerinin performans tahmini ve tasarımı için yeni gelişmeleri irdelemişlerdir. Çalışmalarında Sappora'da bir evin bahçesinde ısıl duyarlılık testi yapılmıştır. TKIP siteminin, CO2 emisyonu bakımından diğer geleneksel ısıtma sitemleri ile karşılaştırması yapılmıştır. Lim vd. [58], TID tasarımında toprağın ısıl özelliklerinin bilinmesinin çok önemli olduğunu belirtmişlerdir. Bu nedenle, sondaj deliği etrafındaki yer suyu akısının ve sondaj deliği içindeki doğal taşınımın etkisini içeren parametrelerle toprağın ısıl iletkenliği yerinde incelenmiştir. Florides ve Kalogirou [59], Kıbrıs'ta kurulan düşey borulu TKIP sistemi üzerindeki deneysel verilerden U-borusu dolgusunun ısıl performansını yerinde saptamışlardır. Sondaj deliği boyunca toprağın ısıl iletkenliğini 1.605 W/mK, sondaj deliğinin ısıl direnci de 0.257 K/(W/m) olarak hesaplanmıştır.

Signorelli vd. [60], sondaj deliğine ısıl duyarlılık testi yaparak nümerik değerlendirme yapmışlardır. U-borusu ısı değiştirgecinin tasarımında anahtar parametrenin Isı iletim kabiliyeti olduğu vurgulamıştır. Üç boyutlu sonlu eleman nümerik modeli kurularak test sırasındaki heterojen alt yüzey şartları ve yer altı su hareketlerinin etkileri incelenmiştir. Phetteplace [61], jeotermal ısı pompaları başlıklı çalışmasında detaylı bir şekilde jeotermal ısı pompalarının genişletilmiş uygulamalarını anlatmıştır. TKIP sistemlerinin başlıca yaygın tipleri, düşey U-tip TKIP sistemlerinin tasarım konuları, ekipmanlar ve TKIP sisteminin uygulamalarının sonuçları ve değerlendirilmesi verilmiştir. Michopoulos vd. [62], Kuzey Yunanistan'da bir TKIP sisteminin üç yıllık işletme deneylerinin sonuçlarını sunmuşlardır. DAQ denilen bir sistemle Yunanistan'da kurulan bu en büyük sistem üç yıl boyunca gözlemlenmiştir ve sonuçta bu sistemin enerji talebinin diğer geleneksel ısıtma ve soğutma sistemlerine nazaran daha düşük olduğu bulunmuştur.

Konu ile ilgili olarak ülkemizde yapılan çalışmalar aşağıdaki gibi özetlenmiştir: Hepbaşlı [63]. "Isı Pompası Sistemleri ve Konut Isıtılması" başlıklı Yüksek Lisans Tezi çalışmasında ısı kaynağı olarak topraktan yararlanarak, toprak-su/ısı pompası tesisi ile,

konut ısıtılması üzerine çalışılmıştır. "Projelendirmeye esas olan tek katlı ve toprak ısı değiştiricilerinin yerleştirilmesine uygun, yeterli toprak alanı bulunan binaya döşemeden ısıtma metodu uygulanmıştır. Bu çalışmada; hem yatay hem de düşey toprak-ısı değiştiricisi tasarımı yapılmış ve bu iki farklı yöntemin birbirine göre üstünlükleri incelenmiştir." Babür ve Oskay [64]. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliğinde var olan cihazları ile toprak hava arasında çalışan bir ısı pompasının tasarımını ve yapımını gerçekleştirmişlerdir. İki devreden oluşan bir ısı pompası kurularak incelemeler yapılmıştır. Su-antifiriz karışımı salamurayı, toprak altına yatay olarak döşenmiş bakır borulardan geçirerek, 1985-1986 yılları arasındaki kış ayları boyunca bir hacmin ısıtılmasını sağlamışlardır. Toprak altındaki boru demeti 10 m uzunluğunda ve 5/8" çapında bakır borudan yapılmıştır.

Topraktan soğurulan ısı gücü ölçülmüş ve bir kuramsal modelin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bunların dışında toprağın çeşitli bölgelerine yerleştirilen sıcaklık seziciler ile toprağın aylara ve ısıtma ihtiyacına göre sıcaklık değişimleri tespit edilip grafiksel olarak gösterilmiştir. Isıtma mevsiminde değişen iklim koşullarında ve değişen salamura kütle debisiyle toplam 44 deney yapılmıştır. Topraktan soğurulan ısı gücü ölçülmüş ve teorik modellerin tahminleri ile karşılaştırılmıştır. Sistemin etkinlik katsayısı Ekim ayında 1,4, Şubat ayında bir miktar gerileyip 1,1 değerini almış ve Mart-Nisan aylarında ise tekrar yükselerek 1,3 değerine ulaşmıştır. Ataman [65], İstanbul Teknik Üniversitesinde - Toprak Kaynaklı Isı Pompalarının Tasarımı‖ başlıklı Yüksek lisans çalışmasında, İstanbul Göztepe'de inşa edilen bir konutun TKIP ile ısıtılmasını ele almıştır. Konutun ısı kaybı derece-gün metoduyla hesaplanarak uygun ısı pompası seçilmiştir. Seçilen bu ısı pompasının çalışma şartlarına uygun olarak, TID'nin boyutlandırılması yapılmıştır. TID boyutlandırılırken, topraktaki sıcaklık değişimi, Kelvin Çizgisel Kaynak Teorisi'nin ayna görüntü metodu kullanılarak elde edilmiştir. Bu metodun kullanılması için gerekli toprak direncinin hesabındaysa tüm boruların birbirine olan ısı etkileşimi göz önüne alınmıştır. Savaş [66], Dumlupınar Üniversitesinde - Toprak Kaynaklı Isı Pompası ile Konut Isıtılması‖ başlıklı çalışmasında, tek katlı ve toprak ısı değiştiricilerinin yerleştirilmesine uygun, yeterli toprak alanı bulunan binaya döşemeden ısıtma metodunu uygulamıştır. Bu çalışmada hem yatay hem de düşey TID için tasarım yapılmış ve bu iki durumun birbirlerine göre avantajları incelenmiştir. Ayrıca bu çalışmada yakıt maliyeti analizi üzerinde de

çalışılmış ve Türkiye'deki yüksek elektrik fiyatları nedeniyle bu çalışmanın olumsuz yönde etkilendiği kanaatine varılmıştır. Kara [67] tarafından, "Düşük Sıcaklıktaki Jeotermal Kaynakların Isı Pompası Yardımıyla Bina Isıtmada Kullanımı" isimli bir doktora çalışması tamamlanmıştır. Bu çalışmada; Erzurum yöresinde bulunan jeotermal kuyulardan çıkan düşük sıcaklıkta olduğu ve sadece kaplıca amacıyla kullanıldığı belirtilmiştir. "Örneğin; Erzurum' un Pasinler ilçesinde 200 m derinlikte 42°C sıcaklık ve 75-95 l/s debide iki kuyu, Ilıca ilçesinde ise, 605 m derinlikte 39°C sıcaklıkta jeotermal kuyular mevcuttur. Bu kuyular, kaplıca amacıyla kullanılmaktadır ve kaplıcalardan atılan jeotermal suyun sıcaklığı 30-35°C dolayındadır. Bu çerçevede, yukarıda sözü geçen düşük sıcaklıktaki jeotermal kaynakların bina ısıtılmasında değerlendirilmesi amacıyla, su-su tipi bir jeotermal ısı pompası sistemi tasarlanmış ve sistemin bir bilgisayar modeli geliştirilmiştir. Sistemde; 35°C sıcaklıkta jeotermal kaynak kullanılarak, döşemeden ısıtma amacıyla 45°C sıcaklıkta su üretilmiştir. Sonuçta; R-22 gazı ile çalışan jeotermal ısı pompası sisteminin toplam etki katsayısı 2,8 olarak belirlenmiş ve geliştirilen bilgisayar programından elde edilen sonuçların deneysel sonuçlarla uyumlu olduğu görülmüştür. Bilgisayar programı yardımıyla, bu sistemde R-22' ye alternatif olarak R-500 ve R-502 gazlarının kullanımı incelenmiş ve en yüksek etki katsayısının R-500 gazı ile elde edileceği sonucuna varılmıştır. Öte yandan, yapılan inceleme sonucunda; çevre dostu olması nedeniyle, son yıllarda kullanımı yaygınlaşan R-134a gazının kullanılmasının daha da iyi bir netice vereceği anlaşılmıştır." Hancıoğlu [68]. "Güneş Enerjisi Destekli Toprak Kaynaklı Isı Pompası İle Bir Hacmin Isıtılması" başlıklı Yüksek lisans çalışmasında, ısı kaynağı olarak topraktan yararlanarak, toprak - su ısı pompası tesisi ile konut ısıtılması üzerine çalışmıştır. Projelendirmesi yapılan tek katlı ve TID'nin yerleştirilmesine uygun, yeterli toprak alanı bulunan konuta döşemeden ısıtma metodunu uygulamıştır. Bu çalışmada; Dikey TKIP, 50 m derinlikteki bir dikey sondaj içine U şekline yüksek yoğunluklu polietilen (PE) boru yerleştirilerek kurulmuş. Deney düzeni toprak sıcaklıklarını ölçmek ve ısı pompasının etkinlik katsayısını belirlemek için gerekli ölçme cihazları ile donatılmıştır. 1999-2000 soğutma mevsimi esnasında, değişken salamura kütle verilerinde toplam 23 deneme yapılmıştır. Topraktan soğurulan ısı gücü ölçülmüş ve teorik modellerin tahminleri ile karşılaştınlmıştır. Ersöz [69]. "Toprak Kaynaklı Isı Pompası ile Bir Hacmin Soğutulması" başlıklı Yüksek Lisans Tezi çalışmasında Ege

Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü binası içerisinde bulunan bir dersliğin, toprak kaynaklı ısı pompası ile soğutulması hedeflemiştir. Yerel hava ve toprak sıcaklıkları, toprak özellikleri ve yatırım maliyetleri göz önünde tutularak ısı pompası ve toprak ısı değiştiricisi tasarımı yapılmış, elde edilen sonuçlar teorik ve pratik olarak karşılaştırılıp değerlendirilmiştir. Diz [70], Yıldız Teknik Üniversitesinde - Minimum Enerjili Bina Tasarımı (Toprak Enerjisiyle)‖ başlıklı Yüksek lisans çalışmasında, sabit yüzey sıcaklığını esas alarak topraktaki ısı transferini incelemiş ve optimum boru çapı, akış hızı ve gömme derinliğini tespit etmeye çalışmıştır. TKIP, hem soğutma hem de ısıtma amaçlı olarak tasarlanmıştır. Sistemin yatırım ve işletme maliyetleri incelenmiş, diğer bazı sistemlerle işletme giderleri ve enerji tüketimi göz önüne alınarak karşılaştırılmış ve sistemin ekonomik olarak kullanılabilirliği gösterilmiştir. Kıncay ve Demir [71], İstanbul Hadımköy'de bir villanın ısı kaybı ve ısı kazancı değerlerini bularak dikey tip TKIP sistemi ile hem ısıtma hem de soğutma için boyutlandırma hesaplamaları yapmışlardır.

İnallı ve Esen [72], farklı yatay TID derinliğinde (1 ve 2 m), su-antifiriz karışımının debisinin TKIP sisteminin performansı üzerindeki etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Yatay TID'li TKIP sistemi bir test odasını ısıtma amacıyla kurulmuştur. Test odası (16.24 m2 taban alanlı), Elazığ (enlem 38.41° K, boylam 39.14° D) Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesindedir. Odanın ısıtma yükü 2.55 kW olarak hesaplanmıştır. Isıtma sistemi 2002 yılı Ekim ayında kurulmuş ve uzun süreli performans değerlendirmesi yapılmıştır. Bu çalışmadaki deneysel sonuçlar, 2002-2003 ısıtma sezonunun Kasım-Mart ayları arasında elde edilmiştir. Sistemin aylık ortalama performans (COPsis) değeri sırasıyla TID (1) ve TID (2) için 2,68 ve 2,82 olarak hesaplanmıştır. Daha sonra aynı sistem üzerinde soğutma modu için deneyler yapılmıştır. Soğutma modunda söz konusu TKIP sisteminin mevsimlik soğutma performans katsayısı incelenmiştir [73]. Özgener vd. [74], İzmir'deki Ege Üniversitesinin Güneş Enerjisi Enstitüsünde kurulan düşey U-borulu TKIP sisteminin ekserji ve ekonomi analizini yapmışlardır. Bu amaçla sistemdeki tersinmezlikler bulunmuştur. Esen vd. [75], yatay TID'li TKIP sisteminin ısıtma periyodunda termo-ekonomik değerlendirilmesini yapmışlardır. Bu analiz, çeşitli yakıt türleri veya sistemleri için yapılmıştır ve sonuçta Türkiye için Doğalgaz'dan sonra TKIP sisteminin işletme maliyeti bakımından en uygun olduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca 2007 yılında, bu

sistem ile ilgili olarak üzerinde deneysel çalışmanın yanında sayısal çalışma da yapılmıştır. Bu çalışmada, yatay TID'li bölgede toprak sıcaklık dağılımı sonlu farklar yöntemi ile belirlenmiştir [76]. Esen vd. [77], soğutma sezonunda deneysel olarak HKIP sistemini yatay TKIP sistemi ile karşılaştırmışlardır. Çalışmada, TKIP sisteminin HKIP sistemine göre daha iyi performansa sahip olduğu bulunmuştur. Esen vd. [78], Elazığ'da kurulmuş olan TKIP sisteminin enerji ve ekserji analizini yapmışlardır. Analizde TKIP sisteminin 2 m derinliğindeki TID ünitesinin performansının 1 m derinliğindeki TID ünitesinin performansından enerjitik ve ekserjitik olarak daha yüksek olduğu bulunmuştur. Özyurt vd. [79], Erzurum Atatürk Üniversitesinde, mevcut ısıtma sistemlerine alternatif olabilecek bir TKIP sistemi tasarlamış ve kurmuşlardır. Deney düzeneği, U-borulu dikey TID'li ve sıvı-sıvı prensibine göre çalışan buhar sıkıştırmalı bir ısı pompasıdır. Isıtma ünitesi, su dolaşım pompaları, yardımcı ve ölçüm elemanlarından meydana gelmiştir. Deneysel çalışmalardan elde edilen değerler ile sistemin performans katsayısı hesaplanmıştır. Ayrıca aynı sisteme güneş enerjisi ünitesi de ilave edilerek soğuk iklim bölgesinde güneş ve TKIP sisteminin deneysel incelenmesi yapılmıştır [80].

Ünlü vd. [81], Bursa Uludağ Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu İklimlendirme Soğutma laboratuvarında kurulan bir TKIP sistemi ile 2.25 m X 3 m X 2,7 m boyutlarındaki test odasını ısıtmışlardır. İncelenen sistem, TID ünitesi ve mekanik buhar sıkıştırmalı üniteden oluşmaktadır. TID ünitesi, 3 X 2,5 m2 boyutlarında açılan 2 m derinlikteki bir çukur içerisine, 20 m uzunluğunda, 0.016 m çapında, 30 cm aralıklarla yatay olarak döşenmiş polietilen borulardan oluşmuştur. Dikici ve Akbulut [82] Elazığ (2002) ili iklim şartlarında konut ısıtmasın da güneş ve toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinin kullanılabilirliğini deneysel olarak araştırmıştır. 2002 Aralık ayından başlayarak 2003 Mart ayı dönemine kadar olan süre içerisinde çeşitli yapılan deneylerle her bir sistemin performans katsayıları çıkarılmıştır. Sistemlerin ekonomi ve enerji analizleri yapılmıştır.

BÖLÜM 3

ISI POMPALARI

3.1. Temel Kavram ve Bilgiler

Yüksek T_H sıcaklığındaki ısı kaynağından çektiği ısının bir bölümü ile net iş üreten, geri kalan ısıyı ise düşük T_L sıcaklığındaki ısı kaynağına terkeden makinaya Isı Makinası adı verilir. Sürekli olarak yüksek T_H sıcaklıktaki ısı kaynağından Q_H ısısını alır ve düşük T_L sıcaklıktaki ısı kaynağına Q_L ısısını verirse, çevrim sonunda iç enerji artışı sıfır olacağından termodinamiğin birinci yasasına göre yapılan iş;

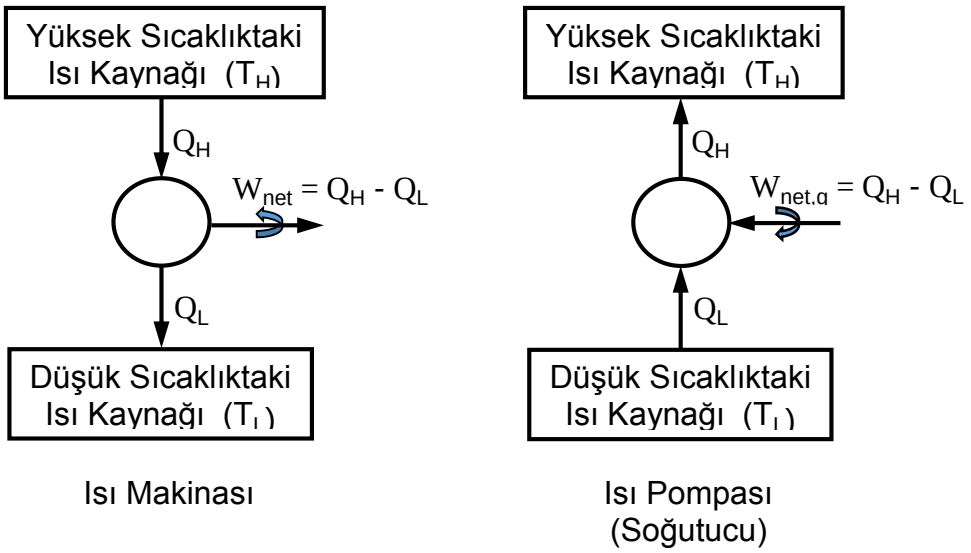
$$W_{net} = Q_H - Q_L \tag{3.1}$$

Olacaktır ve bu makinanın verimi;

$$\eta = \frac{W_{net}}{Q_H} = \frac{Q_H - Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} \tag{3.2}$$

Şeklinde tanımlanır [83].

Isı pompaları, düşük T_L sıcaklığındaki bir ısı kaynağından, daha yüksek T_H sıcaklığındaki bir ısı kaynağına ısı geçişinin gerçekleştirildiği termodinamik sistemlerdir. 2'de ısı makinaları ve ısı pompalarının genel çalışma prensibi gösterilmektedir. Isı pompaları, tek bir cihaz olarak hem ısıtma, hem de soğutma amaçlı kullanılabilirliği, geleneksel yöntemlere göre daha işlevsel oluşu, enerji tüketiminde önemli ölçüde tasarruf sağlaması, bütünleşik yapıya sahip olması, yüksek kontrol teknolojisine uyum göstermesi ve benzeri avantajlarından ötürü son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Termodinamiğin II. yasasından da bilindiği gibi düşük sıcaklık kaynağından yüksek sıcaklıktaki ortama ısı geçişi ancak ikinci bir enerji kaynağının varlığı ile mümkün olabilmektedir. Bu ikinci enerji kaynağı termal ve mekanik enerji olabilir ve ısının, soğuk ısı kaynağından sıcak ortama aktarılması çeşitli şekillerde gerçekleştirilebilir.



Şekil 3.1. Isı Makinası ve Isı Pompası Genel Çalışma Prensibi [84]-Fig1.

Buna göre ısı pompası çeşitleri aşağıdaki gibidir:

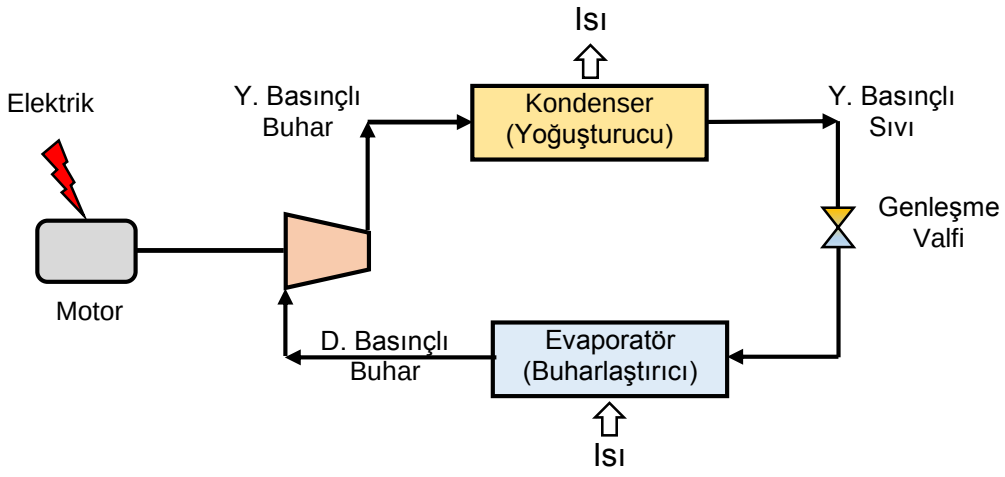
- Buhar sıkıştırmalı çevrimli ısı pompası
- Absorbsiyonlu ısı pompası
- Adsorbsiyonlu ısı pompası
- Gaz çevrimli ısı pompası
- Jet buhar püskürtmeli ısı pompası
- Stirling çevrimli ısı pompası
- Resorbsiyonlu ısı pompası
- Rankine / Buhar sıkıştırmalı çevrimli ısı pompası
- Termoelektrik ısı pompası

Bunlardan yaygın olarak kullanılanları mekanik enerji ile çalışan "Buhar sıkıştırmalı çevrimli" ısı pompaları ve termal enerji ile çalışan "Absorbsyonlu ve Adsorbsyonlu" ısı pompalarıdır.

3.1.1. Mekanik Enerji İle Çalışan Isı Pompaları

Klasik buhar sıkıştırma sistemlerde enerji kaynağı olarak elektrik enerjisi kullanılmaktadır. Ancak elektrik motorlarında verimin oldukça yüksek olmasına karşılık (%75-95) elektrik enerjisi üretiminde verimin düşük (%35 civarında) oluşu birincil enerjinin ancak %33 kadarının ısı pompasında değerlendirilebilmesine imkân

vermektedir. Etkinlik katsayısının (COP) 3'ün altında olduğu durumda, birincil enerji kaynağı yakıtın elektrik enerjisine dönüşüm veriminin (%25-33) dikkate alınması halinde, birincil enerji oranı (PER: üretilen faydalı ısı / yakıt enerjisi) 1'in altına düşecektir. Isı pompası kompresörü çalıştırılmasında elektrik motorlarına alternatif yöntem, klasik içten yanmalı motorlar olmaktadır, ancak bunlarda da şaft gücü ortalama üretim verimi %20-30 olup, bu değer elektrik motorundaki nihai verim değeri ile benzerlik göstermektedir. Atık ısı enerjisinin değerlendirilebilme imkânı dizel, LPG ve doğalgaz ile çalışabilen motorlara avantaj sağlamaktadır. Isının geri kazanıldığı ısı makinelerinin kullanımı, bu tip ısı pompalarının ekonomikliğini arttıracaktır. Buhar sıkıştırmalı ısı pompası, ana hatları ile evaporator, kompresör, kondenser, genleşme valfi veya kapiler (kılcal) borudan oluşmaktadır. Uygulamada bunlara ilave olarak akümülatör, toplayıcı kontrol elemanları gibi diğer elemanlar bulunmaktadır. Şekil 3.2'de buhar sıkıştırmalı ısı pompasının ana elemanları gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Buhar Sıkıştırmalı Isı Pompası Ana Elemanları [85].

Çalışma akışkanı veya bilindiği adıyla soğutucu akışkan bu dört parça içinde çevrim yapar. Evaporatörde, soğutucu akışkanın sıcaklığı ısı kaynağının sıcaklığının altında tutulur. Böylece evaporatördeki soğutucu akışkanın ısı kaynağından ısı alarak buharlaşması sağlanır. Buhar, kompresörde yüksek basınca ve sıcaklığa sıkıştırılır. Sıcak buhar, kondensere girer ve yoğuşarak ısısını dışarı verir. Son olarak yüksek basınçlı soğutucu akışkan genleşme vanasında genleştirilerek evaporator basınç ve

sıcaklığına getirilir. Soğutucu akışkan ilk haline dönmüş olur ve tekrar evaporatöre girer. Kompresör genellikle elektrik motoru veya bazen de yanmalı motorlar ile çalışır.

3.1.2. Termal Enerji İle Çalışan Isı Pompaları

Termal enerji ile çalışan "Absorbsyonlu ve Adsorbsyonlu" ısı pompaları bu çalışmada ele alınmamıştır.

3.1.3. Etkinlik ve Verimlilik Tanımları

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

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

Genel anlamda verim, aynı periyot veya işletme çevrimi boyunca, dinamik bir sistemden (makina veya motor gibi) elde edilen faydalı enerjinin sisteme verilen enerjiye oranıdır. Bu oran, genellikle belirli test koşullarında belirlenir. Konfor sağlayan ekipmanın verimi (veya etkinliği) arabalarda kullanılan litre başına km yakıt tüketimiyle benzerdir. Oran ne kadar yüksek ise, sistem o kadar fazla verimlidir ve böylece yakıt tüketimi daha az olacaktır. Tablo 2'de belirtilen terimlerden COP ve EER'den özet olarak bahsedilecektir.

Tablo 3.1. Isı Pompalarında Kullanılan Etki ve Verim Tanımlarının Listesi [86].

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

3.1.3.1. Etki Katsayısı (EK / COP)

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

$$\text{SEK} = \text{Soğutma Etkisi} / \text{İş Girişi} = Q_L / W_{net,g} \quad (3.3)$$

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

$$\text{IEK} = \text{Isıtma Etkisi} / \text{İş Girişi} = Q_H / W_{net,g} \quad (3.4)$$

(3.3) ve (3.4) denklemleri karşılaştırıldığı zaman, belirli Q_L ve Q_H değerleri için,

IEK = SEK + 1 olduğu görülür. (3.5)

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

EK, dış hava sıcaklığıyla değişir, sıcaklık düştükçe, EK da düşer. Çünkü ısı pompası daha düşük sıcaklıklarda daha az verimlidir. EK, kompakt ısı pompalarında, ARI (Air-Conditioning and Refrigeration Institute, İklimlendirme ve Soğutma Enstitüsü) standartlarına göre, 17°F (-8,3°C) ve 47°F (8,3°C)'lık iki standart dış hava sıcaklığı için tipik olarak belirtilir. ARI, Amerika' da, ısıtma, iklimlendirme ve soğutma imalatçılarını içine alan, kar amacı gütmeyen, gönüllülerden oluşan bir organizasyondur. Bu kuruluş, kullanıcılara standart kıyaslama değerini sunmak amacıyla, ısı pompaları ve iklimlendirme cihazlarının testi ve kapasitelerinin belirlenmesi için standartlar yayınlar.

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

$$SEK_{SM,tr} = 1 / [(T_H/T_L)-1] \quad (3.6)$$

$$IEK_{IP,tr} = 1 / [\ 1-(T_L / T_H\ )\ ] \quad (3.7)$$

Yukarıda verilen (3.6) ve (3.7) bağıntıları, T_L ve T_H sıcaklık sınırları arasında çalışan bir soğutma makinesinin veya bir ısı pompasının sahip olabileceği en yüksek etki katsayılarını gösterir.

Bu çalışmada etki katsayılarından COP olarak bahsedilecektir

3.1.3.2. Enerji Verimlilik Oranı (EVO / EER)

EER'nın hesaplanmasında kullanılan terimlerin ikisi, EK'nda kullanılan iki terimle aynı olup, sadece farklı birimlerde belirtilir. EER, kullanıcılar tarafından daha kolay kullanılması ve anlaşılması amacıyla geliştirilmiştir. Cihazın belirli değerleri için

EER'nı etikete yazmak imalatçılar tarafından yasal bir gereklilik olmuştur. Bu EER'ları, belirli bir dizi standart sıcaklıklarda, ARI tarafından belirlenen test koşullarında ölçülür.

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

$$EER = Q_{ns}(kW)/W_{te}\ (kW) \tag{3.8}$$

Bu terimin, iç ve dış ünite fanları gibi yardımcı sistemlerin enerjilerini de içerdiği göz ardı edilmemelidir. Kıyaslama amaçları için, EER ne kadar yüksek ise, sistem o kadar verimlidir.

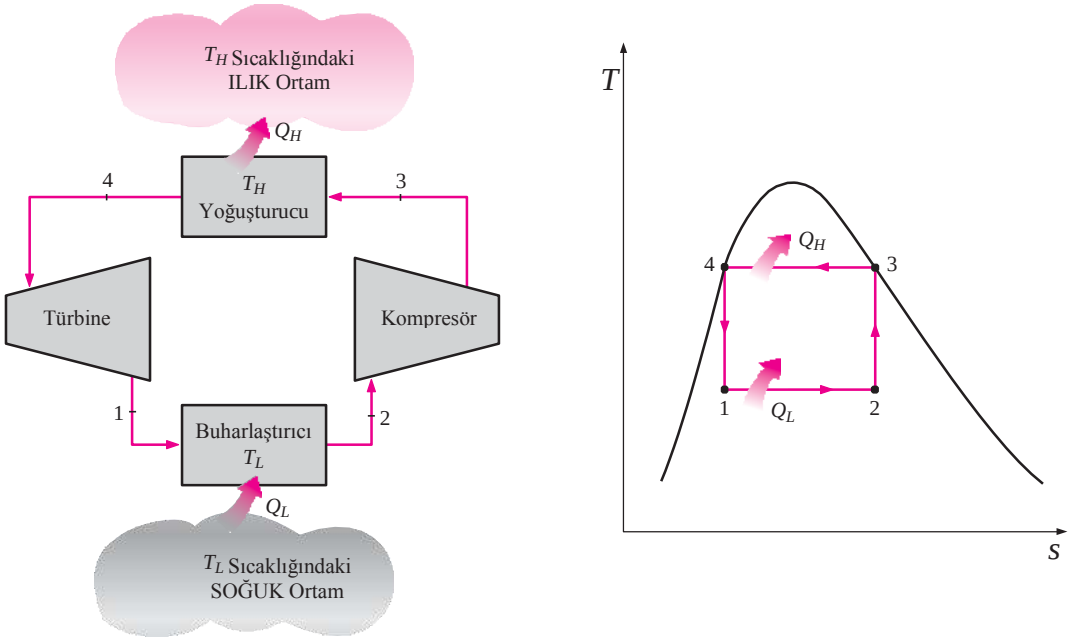
3.2. Termodinamik Açıdan Isı Pompaları

3.2.1. Ters Carnot Çevrimi

Carnot çevrimi gerçekte var olmamakla birlikte tamamen tersinir bir çevrimdir. Bu nedenle, güç çevrimlerinin karşılaştırılmasında kullanılır. Carnot çevrimi, verilen bir sıcaklık aralığında en yüksek ısıl verime sahip çevrimdir.

Carnot, tersinir bir çevrim olduğu için, çevrimi oluşturan hal değişimleri ısı ve iş etkileşimleri ters yönde de gerçekleşebilir. Bu çevrime de "Ters Carnot Çevrimi" denir. Isı pompaları ve soğutma makineleri de bu çevrime göre çalışır.

Isı pompalarında, düşük sıcaklıktan ısı çekilir ve iş, bu ısıyı yüksek sıcaklıktaki ısı kaynağına ileten soğutucu akışkanda yapılır. Buhar sıkıştırmalı çevrimlerde soğutucu akışkan olarak sıvı-buhar karışımı kullanılmaktadır.



Şekil 3.3. Şematik Olarak Ters Carnot Çevrimi [87].(s.528)

- 1-2 hal değişimi sırasında buharlaştırıcı, T_L sıcaklığında düşük sıcaklıktaki ısı kaynağından, sabit sıcaklıkta Q_L miktarında ısı çeker.
- 2-3 arasında akışkan, izentropik olarak kompresör tarafından sıkıştırılır ve sıcaklığı T_H'ye yükselir.
- Depolanmış ısı, sabit sıcaklıkta soğutucu akışkandan T_H sıcaklığındaki ortama geçer ve 3-4 hal değişimi gerçekleşmiş olur.
- Daha sonra basınç, buharlaştırıcı basıncına düşürülmek üzere soğutucu akışkan izentropik hal değişimini gerçekleştirir ve akışkanın sıcaklığı T_L olur.

Carnot ısı pompası için;

$$COP_{IP_CARNOT} = \frac{1}{1 - \frac{T_L}{T_H}} \tag{3.9}$$

Carnot soğutma makinesi için;

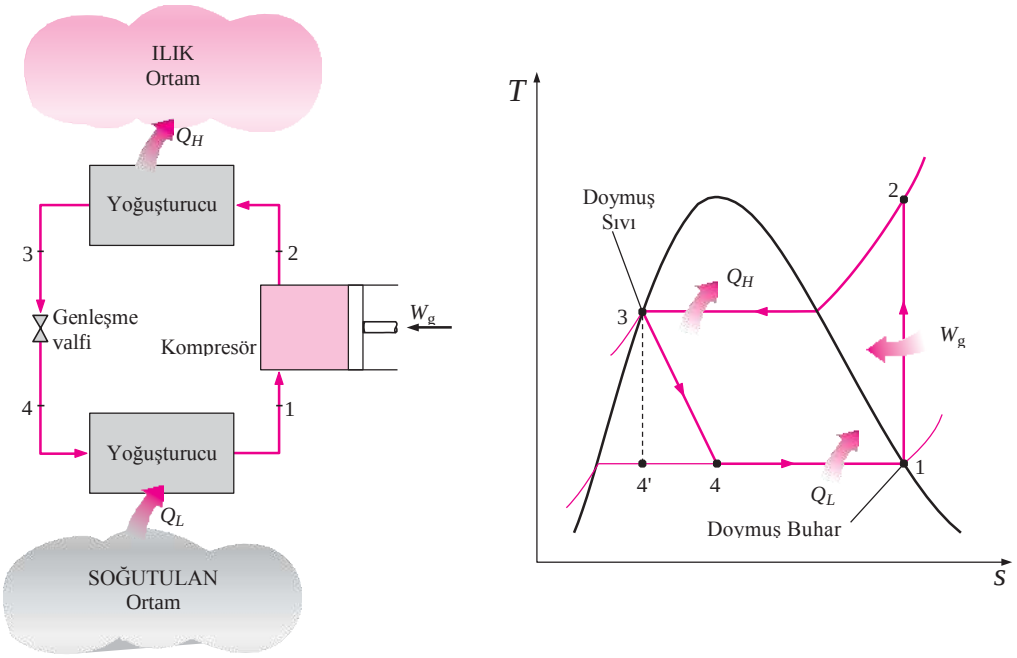
$$COP_{SM_CARNOT} = \frac{1}{1 - \frac{T_H}{T_L}} \tag{3.10}$$

Carnot çevriminin uygulamadaki zorluğu:

- 2-3 hal değişimi: Sıvı-buhar karışımının sıkıştırılması gereksinimi ortaya çıkar, bu da iki fazlı akışkanla çalışan kompresör gerektirir.
- 4-1 hal değişimi: Sıvı oranı yüksek bir karışımın genleşmesi

3.2.2. İdeal Buhar Sıkıştırmalı Soğutma Çevrimi

Uygulamadaki teorik çevrim Rankine çevrimidir. Ters Carnot çevriminde karşılaştığımız buhar - sıvı karışımım kompresörde sıkıştırma sorunu Rankine çevriminde çözülmüştür. Burada buhar sıkıştırılmadan önce tümüyle buharlaşmaktadır ve 3-4' hal değişimindeki genleşme bir genleşme valfi veya kılcal boru aracılığı ile sağlanmaktadır.



Şekil 3.4. İdeal Buhar Sıkıştırmalı Çevrim [87].(s.529)

- 1-2 Kompresörde izentropik sıkıştırma
- 2-3 Yoğuşturucuda sabit basınçta çevreye ısı geçişi
- 3-4' Genleşme
- 4'-1 Buharlaştırıcıda sabit basınçta akışkana ısı geçişi

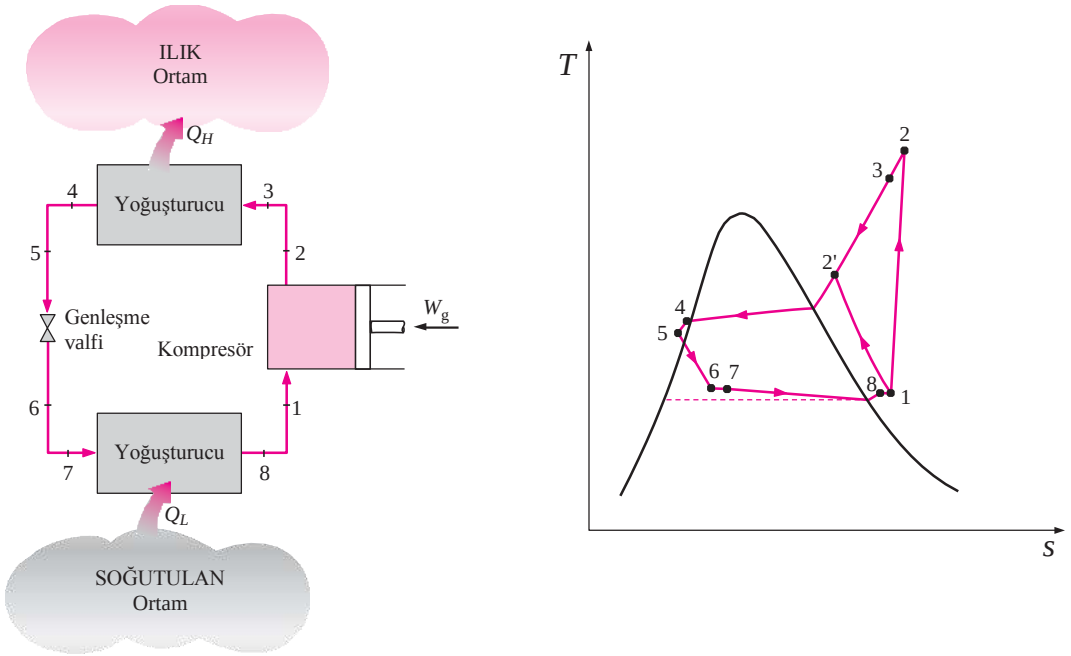
Bu çevrimde genleşme esnasında (3-4) meydana gelen işten türbin aracılığı ile fazla yarar sağlanamayacağı gibi, türbin yüksek maliyete sahiptir ve sistemi daha karmaşık hale getirir.

İdeal buhar sıkıştırmalı çevrim (Rankine), Carnot çevriminden farklı olarak tersinmezdir. Tersinmezliği bozan iki husus vardır:

- Genleşme: Genleşme valfi ile sağlanmaktadır. Genleşme (3-4) adyabatik olarak gerçekleşmektedir.
- Yoğuşturucu'da kızgın buharın doymuş buhar haline gelmesi esnasında, ısı transferi sonlu sıcaklık farkında gerçekleşmektedir.

3.2.3. Gerçek Buhar Sıkıştırmalı Soğutma Çevrimi

Gerçek buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimi, ideal çevrimden birkaç açıdan farklıdır. Bu farklılık daha çok, gerçek çevrimi oluşturan elemanlardaki tersinmelilerken kaynaklanır. Tersinmezliğin iki ana kaynağı, basıncın düşmesine neden olan akış sürtünmesi ve çevre ile olan ısı alışverişidir. Gerçek bir buhar sıkıştırmalı soğutma çevriminin T-s diyagramı Şekil 3.5'de gösterilmiştir.



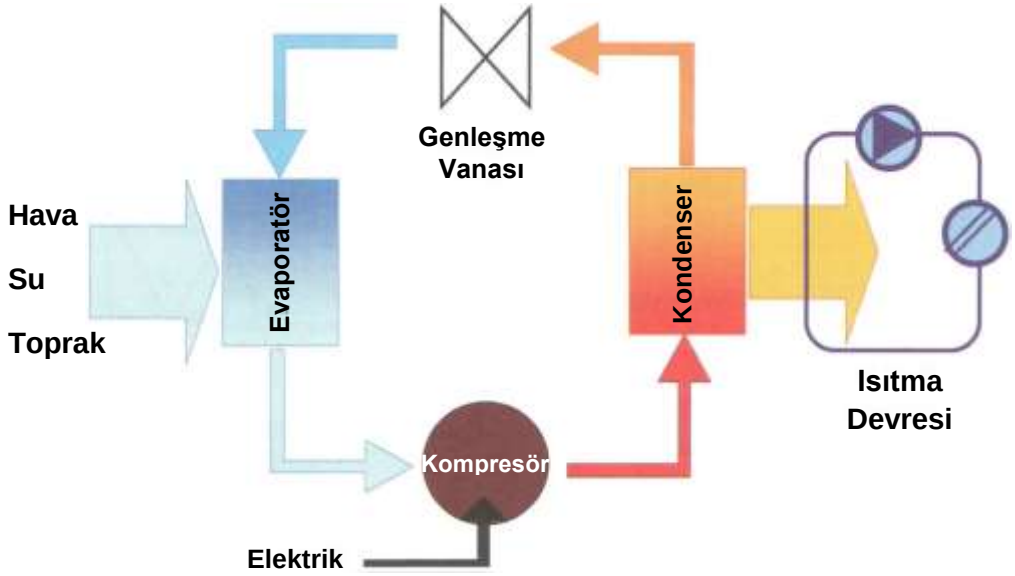
Şekil 3.5. Gerçek Buharlaştırmalı Çevrim [87](s.533).

İdeal çevrimde, buharlaştırıcıdan çıkan soğutucu akışkan kompresöre doymuş buhar halinde girer. Bu koşul uygulamada gerçekleştirilemez, çünkü soğutucu akışkanın hal değişimlerini hassas bir biçimde kontrol etmek olanaksızdır. Bunun yerine sistem, soğutucu akışkanın kompresör girişinde biraz kızgın buhar olmasını sağlayacak biçimde tasarlanır. Burada amaç, akışkanın kompresöre girişinde tümüyle buhar olmasını güvenceye almaktır. Ayrıca, buharlaştırıcı ile kompresör arasındaki bağlantı genellikle uzundur, böylece akış sürtünmesinin yol açtığı basınç düşmesi ve çevreden soğutucu akışkana olan ısı geçişi önem kazanabilir. Yukarıda sıralanan etkilerin toplam sonucu, soğutucu akışkanın özgül hacminin ve buna bağlı olarak kompresör işinin artmasıdır, çünkü sürekli akış işi, özgül hacimle doğru orantılıdır.

İdeal çevrimde sıkıştırma işlemi, içten tersinir adyabatiktir, başka bir deyişle izentropiktir. Gerçek sıkıştırma işleminde ise, entropiyi etkileyen akış sürtünmesi ve ısı geçişi vardır. Sürtünme entropiyi artırır, ısı geçişi ise hangi yönde olduğuna bağlı olarak entropiyi artırır veya azaltır. Bu iki etkiye bağlı olarak, soğutucu akışkanın entropisi sıkıştırma işlemi sırasında artabilir (1-2 hal değişimi) veya azalabilir (1-2' hal değişimi). Sıkıştırmanın izentropik olması yerine, 1-2 hal değişimine göre olması tercih edilir, çünkü kompresör işi bu durumda daha az olacaktır. Bu bakımdan soğutucu akışkanın sıkıştırma işlemi sırasında soğutulması, ekonomik ve uygulanabilir olduğu sürece yararlıdır.

İdeal çevrimde, soğutucu akışkanın yoğuşturucudan çıkış hali, kompresör çıkış basıncında doymuş sıvıdır. Gerçek çevrimde ise kompresör çıkışıyla genleşme valfi girişi arasında bir basınç düşmesi vardır. Akışkanın genleşme valfine girmeden önce tümüyle sıvı halde olması istenir. Doymuş sıvı halini, uygulamada tam bir hassaslıkla gerçekleştirmek zor olduğundan, yoğuşturucudan çıkış hali genellikle sıkıştırılmış sıvı bölgesindedir. Soğutucu akışkan, doyma sıcaklığından daha düşük bir sıcaklığa soğutulur, başka bir deyişle aşırı soğutulur. Bunun bir sakıncası yoktur, çünkü bu durumda soğutucu akışkan buharlaştırıcıya daha düşük bir entalpide girer ve buna bağlı olarak ortamdan daha çok ısı çekebilir. Genleşme valfi ile buharlaştırıcı birbirine çok yakındır, bu nedenle aradaki basınç düşümü küçüktür.

3.3. Isı Pompası Çalışma Prensibi



Şekil 3.6. Isı Pompası Çalışma Prensibi [85].

Isı pompası dört ana parçadan oluşur:

- **Buharlaştırıcı (Evaporatör)**: Soğutucu akışkanı buharlaştırır ve ısıyı, ısı taşıyıcı akışkandan soğutucu akışkan çevrimine aktarır.
- **Yoğuşturucu (Kondenser)**: Gaz fazındaki soğutucu akışkanı yeniden sıvı hale boğuşturur ve ısıyı ısıtma tesisatına aktarır.
- **Genleşme Valfi**: Soğutucu akışkanın basıncını düşürür.
- **Kompresör**: Soğutucu akışkanın basıncını ve sıcaklığım arttırır.

Kaynama noktasının basınç ile ilişkisi: Farklı akışkanların kaynama noktaları basınç ile değişir, basınç arttıkça kaynama noktası sıcaklığı yükselir. Örneğin su normal şartlarda +100°C'de kaynar. Basıncı iki katma çıkarırsak su +120°C'de kaynar. Yarısı kadar bir basınçta su, +80°C'de kaynamaya başlayacaktır. Isı pompasının içindeki soğutucu akışkan da aynı şekilde davranır, basınç değişirse kaynama noktası değişir. Fakat soğutucu akışkanın kaynama noktası oldukça düşüktür, atmosferik basınçta yaklaşık olarak -40°C'dir. Sonuç olarak düşük sıcaklıktaki ısı kaynaklarından faydalanmada elverişlidir.

3.3.1. Isı Pompalarında Kullanılan Isı Kaynakları

Isı pompası sistemlerinde, evaporatörün ısı çektiği ortamlara "ısı kaynakları" denir. Isı pompası için çok önemli olan bu enerji kaynaklarının sistemde verimli olarak kullanılabilmesi aşağıda belirtilen şartlara bağlıdır.

- Isıtma mevsimi boyunca yüksek ve kararlı sıcaklığa sahip olmalı
- Bol ve kolay bulunabilir olmalı ve meteorolojik koşullardan mümkün olduğunca az etkilenmeli
- Aşındırıcı ve kirletici etkisi olmamalı
- Uygun termofiziksel özelliklere sahip olmalı
- Kaynağa ulaşmada düşük yatırım maliyetlerine ihtiyaç duyulmalıdır.

Bir ısı pompasının teknik ve ekonomik performansı, ısı kaynağının karakteristiğine bağlıdır. Isı pompalarında aşağıdaki kaynaklar kullanılabilir.

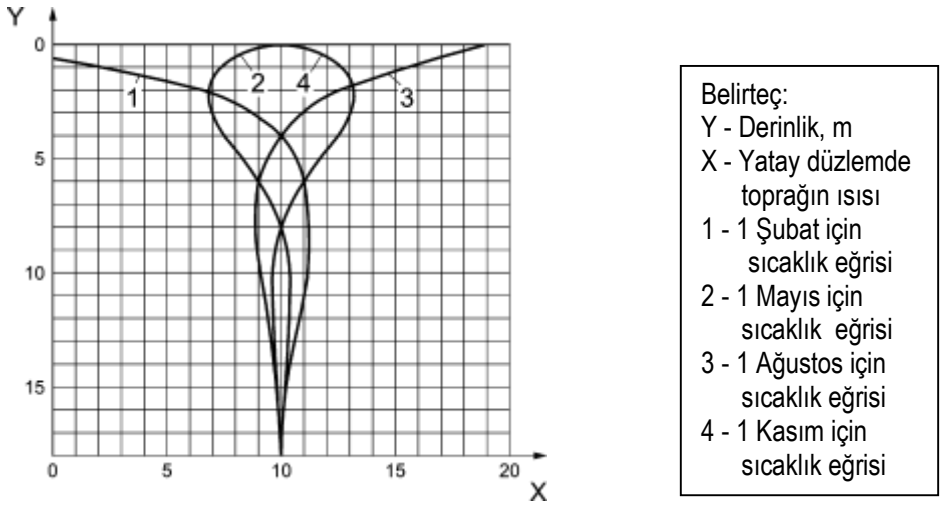
3.3.1.1. Çevre Havası

Hava, en kolay ulaşılan ve ısı pompalarında kullanımı kolay ve ekonomik olduğu için en çok kullanılan ısı kaynağıdır. Ancak ısı kaynağı olarak havanın en büyük dezavantajı kararlı bir sıcaklığa sahip olmaması ve hava sıcaklığının kış aylarında özellikle karasal iklimlerde çok düşmesidir. Hatta hava sıcaklığı gün içinde bile değişkenlik gösterebilmektedir. Dış hava sıcaklığının düşmesi ısı pompasının kapasite ve performansını düşürmektedir. Hava kaynaklı ısı pompalarının yıllık performans katsayısı, toprak kaynaklı ısı pompalarından % 10-30 daha düşüktür. Dış hava sıcaklığının düşmesi sonucunda buharlaştırıcı ile düşük sıcaklık farkı oluşur. Bu durumda buharlaştırıcının buzlanmaması ve fanların çalıştırılması için harcanan ek enerji, kapasite ve performansta hızlı düşüşe yol açar. Günümüzde hava kaynaklı ısı pompası teknolojilerinde değişken kapasite kontrollü (inverter) kompresörlerin kullanımı ile bu kayıplar en aza indirgenmektedir. Bu teknolojik farklılığa rağmen hava kaynaklı ısı pompalarının kurulum maliyeti toprak kaynaklı ısı pompalarından daha düşüktür.

3.3.1.2. Toprak

Toprak sıcaklığının hava sıcaklığına göre yıl içinde fazla değişmemesi ve kışın kullanılabilir sıcaklık aralıklarında olması toprak kaynaklı sistemlerin özellikle karasal iklimlerde kullanımına imkân sağlamaktadır. Şekil 3.7'de toprak sıcaklığının aylara

göre değişimi grafik olarak verilmiştir. Mevcut toprak alanı, toprağın bileşimi, yoğunluğu, içerdiği nem miktarı, boruların uygulama derinliği gibi faktörler toprak kaynaklı ısı pompalarında ısı değiştiricisinin seçiminde ve boyutlandırmasında önemli rol oynar. İlk yatırım maliyetinin yüksek olması, yatay uygulamalarda geniş arazi gereksinimi, toprak özelliklerindeki yerel ve zamansal değişimler, boruların yerleştirilmesindeki güçlükler, onarımının zor ve masraflı olması toprak kaynaklı ısı pompalarının dezavantajlarıdır.



Şekil 3.7. Topraktaki Normal Yıllık Sıcaklık Değişimleri [88].

Toprak kaynaklı ısı pompaları boş toprak alanına duyulan ihtiyaçtan ve ilk yatırım maliyetinin yüksek oluşundan dolayı genellikle müstakil yapılarda, özellikle villa tipi evlerde ve çeşitli ticari/kurumsal binalarda kullanılmaktadır.

3.3.1.3. Yüzey Suları

Yüzey suyu kaynaklı sistemler, deniz, göl, gölet vb. büyük su kütlelerini ısı kaynağı olarak kullanırlar. Deniz ve göl suyu sıcaklıkları mevsimlere göre değişmesine rağmen havaya oranla fazla bir değişiklik göstermez. Bazen yağmur suyunun drenajı, amacıyla veya estetik açıdan bir bölgeye, göl veya göletler oluşturulur. Bunlar ısı pompası sistemleri için olası ısı kaynakları olarak görülebilir. Nehir ve göl suyu kaynaklı ısı pompalarında, su derinliğinin 2 m'den az olmaması ve yüzey alanının, kurulu ısı pompası kapasitesinin her bir kW'ı için en az 80 m^2 olması gerekmektedir. Bu ısı kaynaklarının en büyük dezavantajı kışın sıcaklıklarının yaklaşık 0°C'ye kadar düşmesidir.

Nehir ve göl suyu, ısı pompalarında aynı yeraltı sularında olduğu gibi açık ve kapalı devre olarak kullanılmaktadır. Açık devre sistemlerde buharlaştırıcının ve sistem elemanlarının donma ve kirlenme riski olup, sistem tasarımında bunlara dikkat edilmelidir. Kapalı devre sistemlerde bu problemlerin önüne geçilmektedir.

Nehir ve göl suyu kaynaklı ısı pompası sistemlerinin ilk yatırım maliyeti toprak kaynaklı ısı pompalarından daha düşüktür. Ancak bunların kullanımı ve tahliyesi, yerel yönetimlerin yaptıkları düzenlemelere bağlı olup, çeşitli kısıtlamalar veya yasaklar söz konusu olabilmektedir. Nehir ve göl sularının kullanımı durumunda, ısıtma ihtiyacının karşılanması için ikinci bir ısıtıcıya da gerek duyulabilir.

3.3.1.4. Yer Altı Suları

Yıl boyunca sıcaklık değişimi azdır. Suyun taşınması için kullanılan pompalar ek enerji gereksinimi yaratmaktadır. Isı değiştiricilerinin yer altına gömülmesi korozyona neden olabilir ve maliyeti artırır. Yeraltı suyu kaynağının yeterli miktarda ve kalitede olması ayrıca uygun derinlikte bulunması durumunda ısı kaynağı olarak kullanımı mümkündür. Yer altı sularını ısı kaynağı olarak oldukça çekici kılan, 10 metre ve daha fazla derinliklerde yeraltı suyunun sıcaklığının yüksek ve neredeyse sabit oluşudur. Yer altı sulan pek çok bölgede 4-10°C arasında kararlı sıcaklığa sahiptir. Suyun sıcaklığı; çıkarıldığı derinliğe, iklime ve bölgenin jeolojik yapısına bağlıdır. Bu ısı kaynağından yararlanmak için açık veya kapalı sistemler kullanılmaktadır. Yeraltı suyu sıcaklığı mevsimden mevsime çok az değiştiğinden yeraltı suyu sistemleri özellikle hava sıcaklığının yaz ile kış arasında büyük değişim gösterdiği karasal iklimler için cazip bir ısı kaynağı olarak göze çarpmaktadır. Yıl boyunca belirli bir bölgedeki yeraltı suyu sıcaklığı, yaklaşık olarak oradaki yıllık ortalama hava sıcaklığına eşittir. Aşırı derinliğe sahip kuyulardaki yer altı suyu sıcaklığı yıllık ortalama çevre sıcaklığından daha yüksektir. Yeraltı suyunun başlıca dezavantajları ise suyun zor bulunabilirliği, kalitesi düşük olan suların yol açtığı sorunlar, yerel yönetmeliklerden kaynaklanabilecek kısıtlamalar ve çevre kirliliği oluşturma ihtimalidir. Daha önceden açılmış bir su kuyusunun mevcut olması ve kullanılabilir olması durumunda, sistemin ilk yatırım maliyeti oldukça düşürülebilir.

3.3.1.5. Atık Hava

Ev ve ticari binalardaki ısı pompaları için önemli bir ısı kaynağıdır. Isı pompası, havalandırmadan aldığı ısıyı mahal ve su ısıtmak için kullanır. Evlerde ve küçük işyerlerinde kullanılabilen ortak ısı kaynağıdır. Atık hava ile çalışan ısı pompaları, kullanılmış havanın ısısını geri kazanmak suretiyle mahallin ısıtılmasını sağlar. Ortam havasını ısıtmak için kullanılan atık hava kaynaklı ısı pompaları, iç ortamın ılık havasını ısı kaynağı olarak kullanarak soğutucu akışkan vasıtasıyla havalandırma sisteminden gelen taze havayı ısıtır ve bu havayı iç ortama vererek ısıtma yapabilirler. Ancak bu sistemin uygulanabilmesi için binada havalandırma sisteminin mevcut olması şarttır. Sıcak su elde etmek amacıyla kullanılan atık hava kaynaklı ısı pompalarında ise ortam havasının ısısı, ısı pompası içerisinde sirkülasyon yapan akışkana verilmekte ve akışkan buharlaştırılıp ısısı suya verilerek suyun ısıtılması sağlanmaktadır.

3.3.1.6. Atık Sıvılar

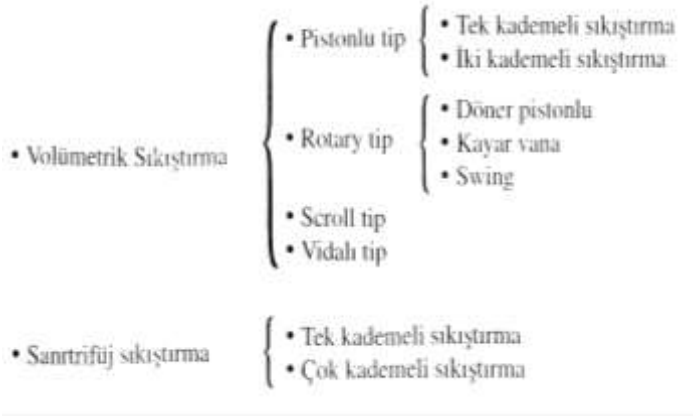
Atık sular, arıtılmış veya arıtılmamış kanalizasyon suları, endüstriyel sıvı atıklar, endüstriyel proseslerin/motorların/kompresörlerin soğutma suları ve soğutma makinelerinin yoğuşma suları bu ısı kaynaklarının tipik örnekleridir. Bu ısı kaynaklarının en büyük avantajı nispeten yüksek ve sabit sıcaklıklara sahip olmaları, en büyük dezavantajları ise miktarlarındaki değişkenliktir. Bu yüzden ısı pompalarının düzenli çalışmasını temin etmek amacıyla depolama tanklarına gereksinim duyulabilmektedir. Atık su ve sıvı atıkların gerek miktarlarındaki düzensiz değişimler ve gerekse uzaklık nedeniyle evlerde ve ticari/kurumsal binalarda ısı kaynağı olarak kullanımları genellikle sınırlıdır. Ancak atık sular ve sıvı atıklar endüstriyel işlemlerde enerji tasarrufu sağlayan endüstriyel ısı pompaları için ideal ısı kaynaklandır.

3.3.2. Kompresörler

Kompresör, soğutucu akışkan çevriminde soğutucu akışkanı dolaştırmak için bir pompa gibi çalışır. Düşük sıcaklık ve düşük basınçlı soğutucu akışkan evaporatörde buharlaştırılır ve soğutucu akışkan buharı kondenserde kolayca sıvı faza geçebileceği basınca kadar sıkıştırılır.

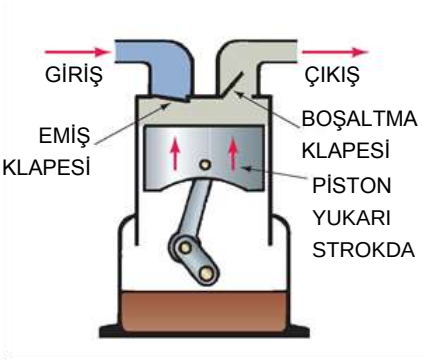
3.3.2.1. Kompresörlerin Sıkıştırma Metotlarına Göre Sınıflandırılması

Kompresörler genellikle sıkıştırma şekillerine göre sınıflandırılırlar. (Örneğin: hacimsel sıkıştırma ve santrifüj sıkıştırma) Bu tipler daha detaylı olarak Şekil 3.8'deki gibi sınıflandırılır.



Şekil 3.8. Kompresörlerin Sıkıştırma Metotlarına Göre Sınıflandırılması.

a. Pistonlu kompresörler



Şekil 3.9. Pistonlu Tip Kompresör [89].



Şekil 3.10. Pistonlu Tip Kompresör [90].

Pistonlu kompresörler, silindirler, pistonlar ve supaplardan oluşur. Sıkıştırma, pistonun silindirin içinde yaptığı ileri geri hareket ile sağlanır. Supap ise silindire giren

ve çıkan gazı kontrol eder. Pistonun emme stroku esnasında, alçak basınçlı soğutucu akışkan emme supabından içeri çekilir, supap piston üzerinde veya silindir kafasında yerleşmiş olabilir. Basma stroku esnasında, piston soğutucu akışkanı sıkıştırır ve basma supabına iter. Genellikle silindir kafasına yerleştirilir. Pistonlu kompresörün kesit görünüşü Şekil 3.9'da fotoğrafı ise Şekil 3.10'da verilmiştir.

b. Rotary kompresörler

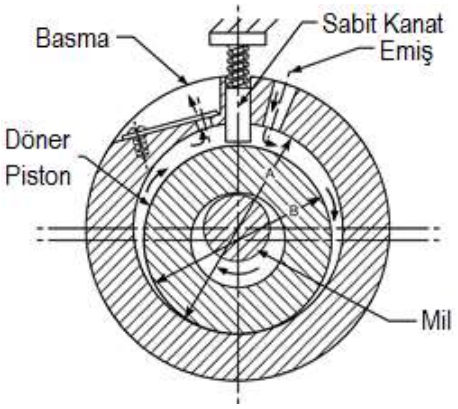
Rotary kompresörlerin üç tipi mevcuttur:

- Döner pistonlu
- Kayar vanalı
- Swing

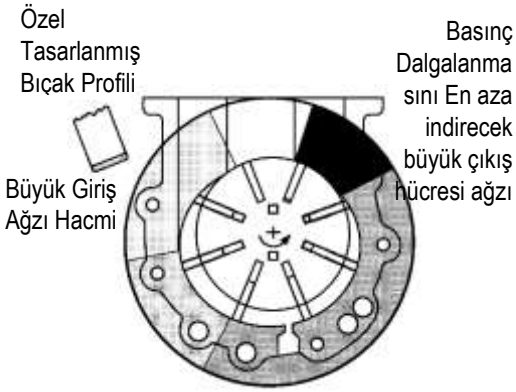
Rotary kompresörler, çok büyük kademeli sıkıştırma sistemlerinin alçak basınç kısmında booster kompresör olarak kullanılsa da, daha çok ev tipi soğutma uygulamalarında, dondurucularda ve klimalarda kullanılır. Döner pistonlu tipin sıkıştırma prensibi şöyledir; döner piston (rotor) silindirin çevresine değerek silindir ile birlikte dönerken sabit kanat da soğutucu akışkanı Şekil 3.11'de görüldüğü şekilde sıkıştırır. Milin merkezi silindir ile aynıdır. Fakat rotorun merkezi (ekseni) milden eksantrik olarak yerleştirilmiştir. Böylece rotor, silindire temas ederek döner. Döner pistonlu tip kompresörde, yay yüklemeli bölücü kanat ile emme ve basma odaları ayrılır.

Kayar vanalı tipin sıkıştırma prensibi ise şöyledir; birçok kanat, dönen piston ile silindirin çevresine değerek silindir ile birlikte döner. Bu sayede soğutucu akışkan Şekil 3.12'de görüldüğü gibi sıkıştırılır. Kayar vanalı tip kompresörlerde, rotor kendi ekseninde döner fakat rotor ve silindirin eksenleri çakışmaz. Rotor iki veya daha fazla kayar kanata sahiptir ve bunlar silindir üzerine santrifüj kuvvet etkisiyle yerleşirler.

İki kanatlı kompresör için her devirdeki deplasman, ikiz çapraz tarama alanına bölünmüştür. Dört kanatlı için kompresör deplasmanı, her devirde dört çapraz tarama alanına bölünmüştür. Bu önemli noktadan hareketle kompresörünün deplasman kademesi kanat sayısı ile orantılı olarak artmaktadır.



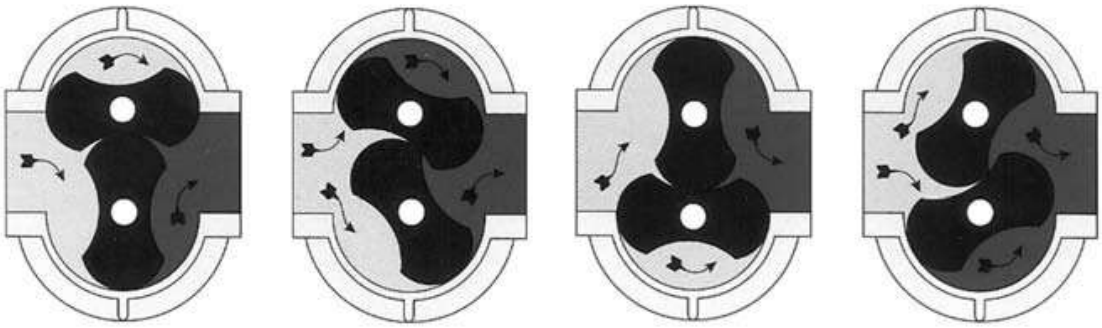
Şekil 3.11. Döner Pistonlu Tip Kompresör [91].(s.38.12)



Şekil 3.12. Kayar Vanalı Tip Kompresör [91].(s38.13)

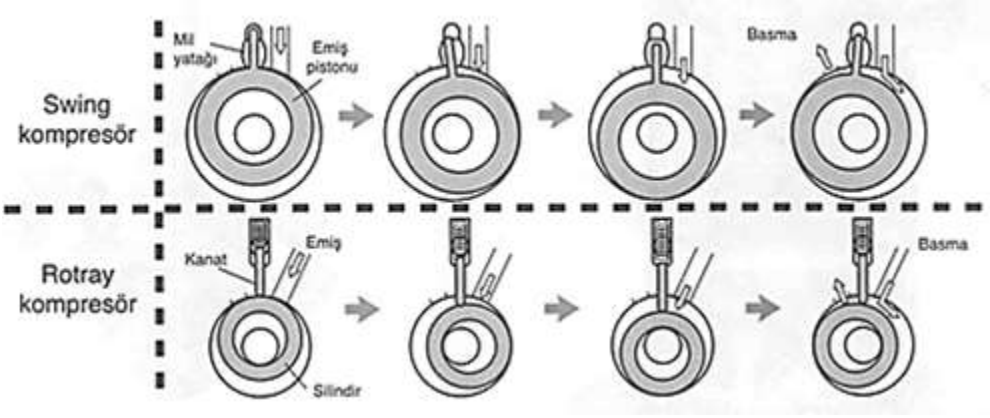
Her iki tip rotary kompresörde de gerekli olmadığından emme supabı bulunmamaktadır ve kompresörün gaz girişi süreklidir. Bu nedenle titreşimler en alt seviyededir.

Rotary kompresörler pistonlu kompresörler ile karşılaştırıldığında, daha kompakt, daha basit yapılı ve daha az parça içermektedir. Ek olarak, rotary kompresörlerin verim değerleri çok daha yüksektir. Ancak rotary kompresörün parçalarının üretimi esnasında hassasiyeti sağlamak ve aşınmayı önlemek gerekmektedir. Geçmişte en çok kullanılan rotary kompresör tipi, döner pistonlu rotary kompresörlerdi. Fakat son yıllarda yeni swing tip geliştirilmiş ve rotary kompresörlerin kullanım alanı oldukça genişlemiştir.

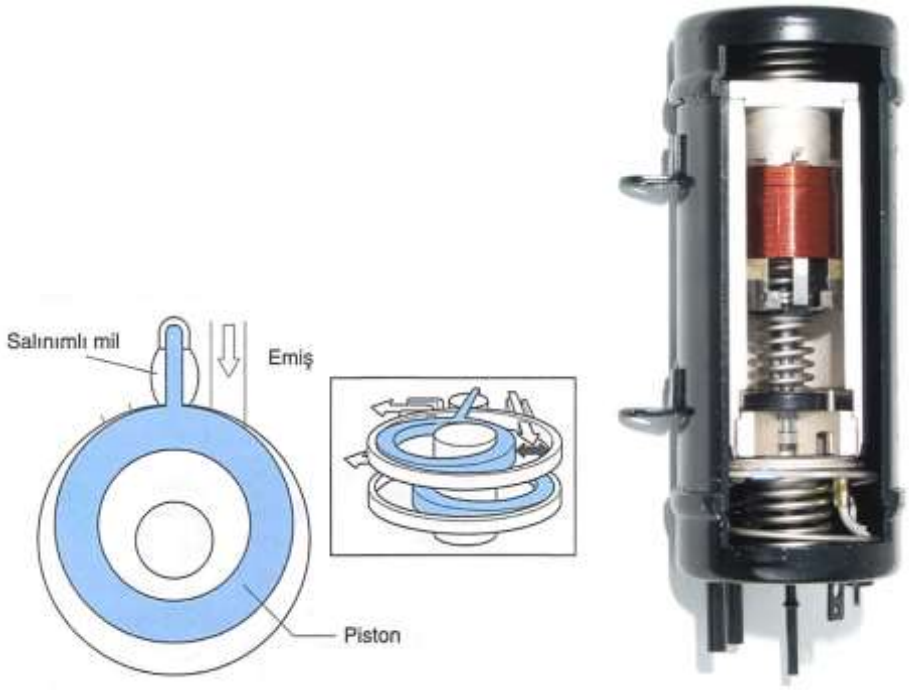


Şekil 3.13. Tipik Blower Çalışma Sırası [92].

Swing rotary kompresörün birleştirilmiş kanadı ve pistonu sayesinde, yüksek basınç taralından düşük basınç tarafına gaz kaçışı olması önlenir ve yüksek basınç tarafındaki sıkıştırma oram sabit tutulur. Swing kompresörün çalışma prensibi Şekil 3.14'de, detay ve fotoğrafı Şekil 3.15'de verilmiştir.



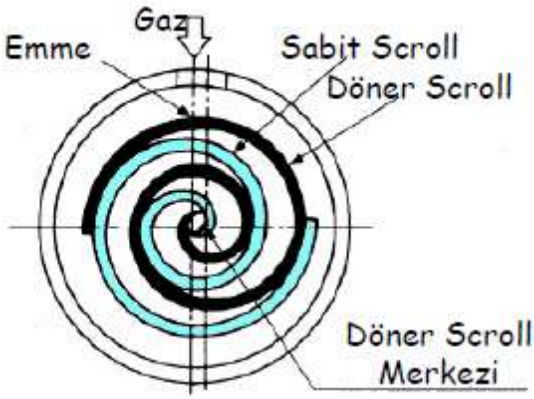
Şekil 3.14. Swing Tip Kompresörün Çalışma Prensibi [85].



Şekil 3.15. Swing Tip Kompresör [85], [93].

c. Scroll kompresörler

Şekil 3.16 ve Şekil 3.17'de gösterildiği gibi scroll kompresörler, biri sabit diğeri yörüngesinde dönen iki adet sarmaldan oluşur. Gaz halindeki soğutucu akışkan, sarmalların çevresinden kompresöre doğru emilir ve gazı çevreleyen sarmalların arasındaki alanın azalması ile sıkıştırılır ve merkezdeki basma hattından sisteme gönderilir.



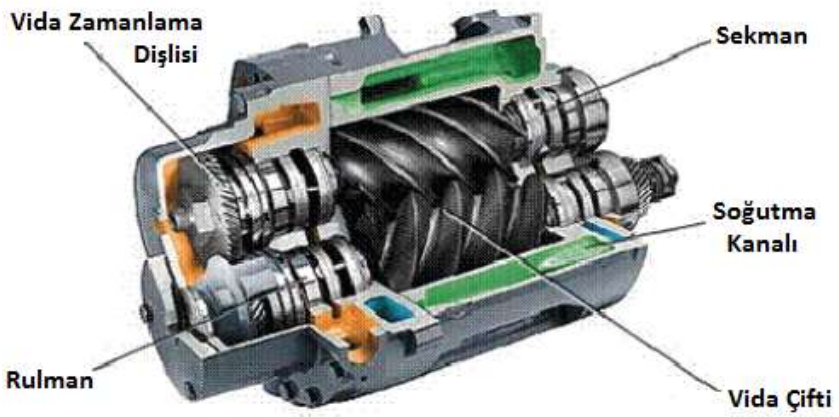
Şekil 3.16. Scroll Tip Kompresör [94].(s.54)



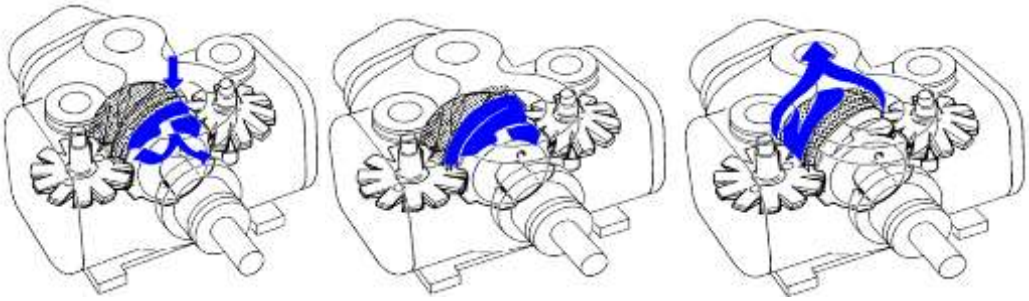
Şekil 3.17. Scroll Tip Kompresör [95].

d. Vidalı kompresörler

Vidalı Soğutma Kompresörleri genel olarak ikiye ayrılır: tek vidalı kompresörler ve çift vidalı vompresörler. Çift vidalı kompresörler erkek ve dişi, dişli çarka sahip rotorlardan oluşur. Soğutucu akışkan, tek vidalı rotor ve iki adet dişlinin birbiri içine geçerek çalışması ile sıkıştırılır. Vidalı kompresörlerde sıkıştırma prosesi üç kademede yapılır; emiş, sıkıştırma ve basma. Gaz akış direncini azaltmak için Şekil 3.18'de gösterildiği gibi gaz, mil doğrultusunda emilir, sıkıştırılır ve basılır.



Şekil 3.18. Çift Vidalı Kompresör [96].



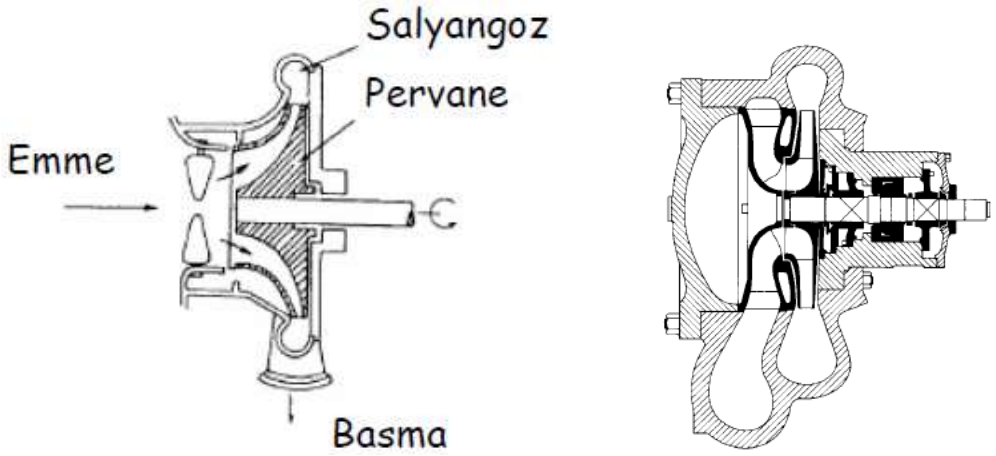
Şekil 3.19. Tek Vidalı Kompresör Çalışma Prensibi [97].

Tek vidalıların 3 adet dönen parçası vardır. Şekil 3.19'da gösterildiği gibi bunlar: iki yıldız rotor ve aralarında ki bir ana rotordur. Ana rotor motor tarafından çevrilir ve iki yıldızı çevirir. İki yıldız, rotor ters yönlerde dönerler. Gazın sıkıştırılması şu şekildedir:

Kompresörün içine giren gaz ana rotor, yıldız rotorlar ve kompresör bloğu arasında sıkışır ve ana rotor üzerindeki oluklar içerisinde ilerler. Ana rotor üzerinde 6 adet oluk vardır. Ana rotor dönerken, oluklara emiş kısmındaki uçlarından emiş gazı tekrar tekrar girer. Ana rotorun her dönüşünde bu 6 kez tekrarlanır. Gaz ilerlerken bu olukların hacmi giderek daralır ve gaz sıkıştırılmış olup, basıncı ve sıcaklığı artar. Gazın basıncı artıp, basma portuna gelince, gaz kompresörden dışarı çıkar. Bu anlatılanlar olurken, bunun aynısı ana rotorun alt yarısında da olur yani ana rotorun hem alt hem de üst kısmı basmaya yarar [97].

e. Santrifüj kompresörler

Santrifüj kompresörler kanat ve sarmaldan oluşur. Kanat yaklaşık olarak 10.000 d/d hızla döner. Santrifüj kompresörler konstrüksiyon olarak santrifüj pompalara benzerler. Akışkan, pervanenin (çark) orta kısmından girer ve santrifüj kuvvet tarafından pervanenin çevresine doğru savrulur. Böylelikle pervane kanatlan, yüksek hız ile döner ve basınç meydana getirir. Pervaneden çıkan gaz akışının kinetik enerjisi, difüzör kanatlan içinde veya bir salyangoz içinde basınç haline dönüştürülür. Santrifüj kompresör, şayet basınç kademesi düşükse tek çarklı olarak imal edilebilir ancak bu kompresörler genelde çok kademelidir. Santrifüj kompresörler %70 ile %80 arasında adyabatik verimle çalışırlar. Şekil 3.20'de santrifüj kompresörün kesit resmi verilmiştir.



Şekil 3.20. Santrifüj Kompresör [94].(s.53); [98]

3.3.2.2. Kompresörlerin Yapılarına Göre Sınıflandırılması

Kompresörler yapılarına göre Şekil 3.21'daki gibi sınıflandırılmaktadır.



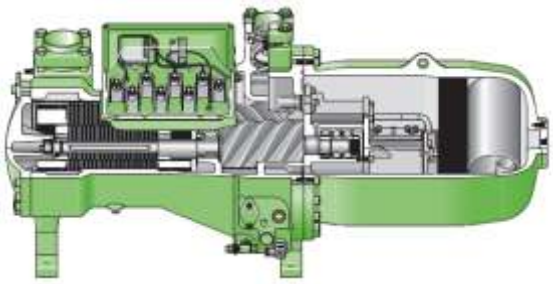
Şekil 3.21. Kompresörlerin Yapılarına Göre Sınıflandırılması

a. Açık tip kompresörler

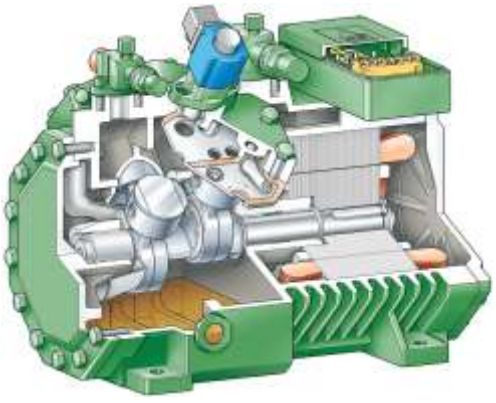
Açık tip kompresörler, V kayışı veya direkt bağlantı aracılığı ile harici güç ile tahrik edilirler. Bu sebeple, tahrik milinin bir ucu kompresör gövdesinden Şekil 3.22'de gösterildiği gibi dışarıya doğru çıkmaktadır. Milin geçtiği yere mil contası diye adlandırılan özel bir sızdırmazlık elemanı konularak kompresör yuvasından dışarı gaz kaçması veya karter basıncı atmosfer basıncından düşükse havanın içeri girmesi önlenir. Tasarımcılar, sürekli daha iyi sızdırmazlık elemanları geliştirse bile yuva deliği daima kaçak kaynağı olabilmektedir. Soğutucu akışkan kaçaklarından korunmak için, motor ve kompresör sıklıkla aynı yuva içine yerleştirilir. İlave olarak, açık tip kompresörler kontrol ve bakım için kolaylıkla sökülebilir. Bu sayede aşınmış veya bozulmuş parçalar da kolaylıkla değiştirilebilir. Açık tip kompresörler genellikle düşük sıcaklıktaki uygulamalarda kullanılır.

b. Yarı hermetik tip kompresörler

Kompresör ve motor, aynı gövde içerisine Şekil 3.22'de ve Şekil 3.23'de gösterildiği gibi yerleştirilmiş ve bağlanmıştır. Her kısmın kapağı cıvatalar ile sağlamlaştırılmıştır. Herhangi bir sızdırmazlık ekipmanına gerek yoktur çünkü gaz kaçağının meydana gelmesi gibi bir durum söz konusu değildir.



Şekil 3.22. Yarı Hermetik Vidalı Tip Kompresör [99].



Şekil 3.23. Yarı Hermetik Pistonlu Tip Kompresör [100].

c. Hermetik tip kompresörler

Kompresör ve motor aynı gövde içerisine Şekil 3.24'de gösterildiği gibi yerleştirilmiş ve bağlanmıştır ve kaynaklanarak hermetik olarak sızdırmazlığı

sağlanmıştır. Yan hermetik kompresörler ile karşılaştırıldığında, hermetik tip kompresörler hava sızdırmazlığı açısından mükemmeldir. Küçük kapasiteli pistonlu kompresörler ve rotary kompresörler genellikle hermetik tipte imal edilirler. Bu tip kompresörlerde arıza durumunda tüm kompresörü değiştirmek gerekmektedir.



Şekil 3.24. Hermetik Tip Kompresör [89](s.537), [101].

3.3.2.3. Inverter Sistemler

a. Inverter teknolojisi nedir?

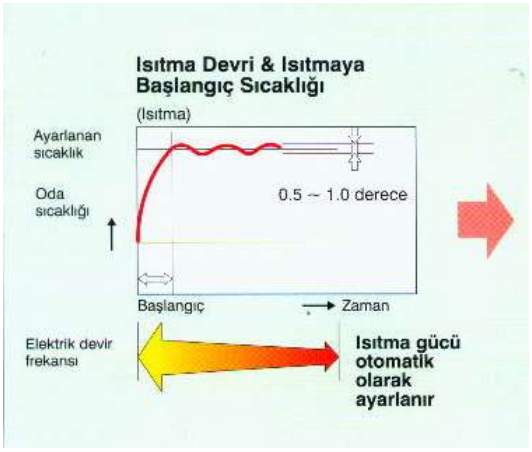
Doğru akımı (DC), değişken akım (AC) biçimine dönüştürebilen, frekansı ve gerilimi birbirinden bağımsız ayarlanabilen cihazlara ”Inverter sistemler” adı verilir.

Isı kazancı hesabı ile mahallin pik soğutma yükü hesaplanır ve bu hesaba göre kapasite tayin edilir. Ancak, soğutma mevsimi boyunca sistem genellikle kısmi yükte çalışır. Kısmi yükte çalışan inverter kompresörlü sistem, klasik on-off kontrollü sisteme göre daha verimli çalışmaktadır.

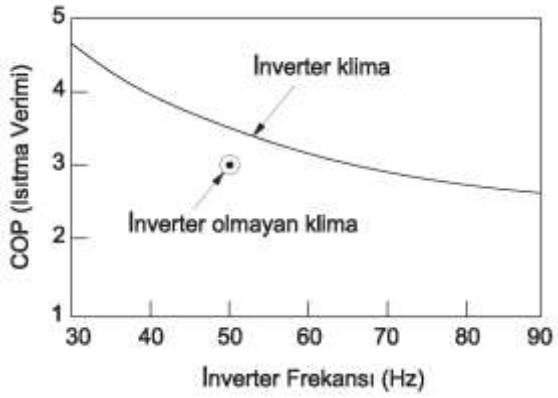
Klasik kompresörlerde, kompresör rotasyonu sabittir. Kompresör sabit kapasitede çalışır. Şartlandırılan mekânda ayarlanan sıcaklığa ulaşıldığında kompresör durur. Kompresörün dur-kalk yapması, klasik sistemlerinin çalışma şeklidir. Kompresörün aynı kapasite ile dur-kalk yaparak iç ortam sıcaklığını hassas kontrol

etmesi mümkün değildir. Oda sıcaklığındaki dalgalanmalar nedeniyle, konfor şartlarından sapma meydana gelir ve enerji tüketimi artar.

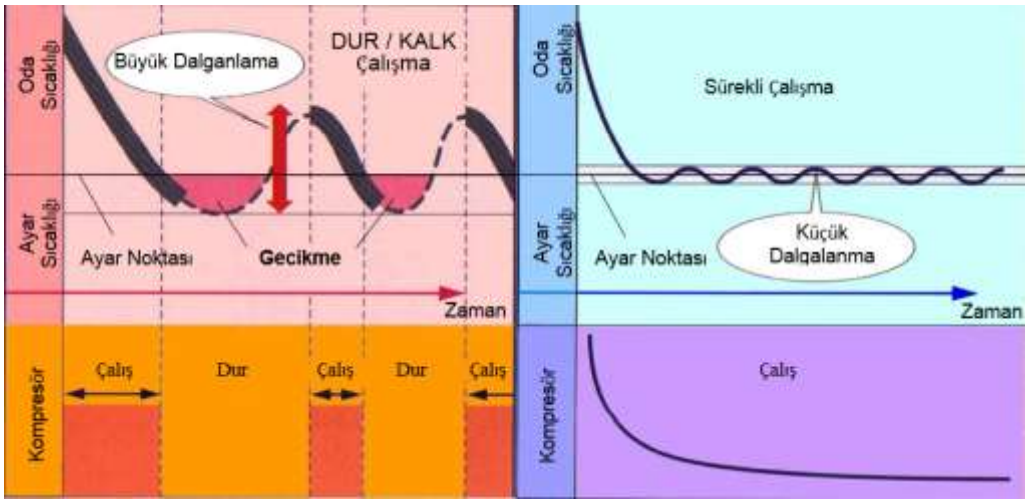
Inverter kompresörler kapasitelerini modüle edebilmektedir. İnverter teknolojisi şebekeden gelen sabit frekanslı elektriğin frekansını değiştirerek kompresör devrini ayarlar. Inverter kompresörlerde, şartlandırılan mahallin sıcaklığı ± 0,5°C hassasiyette Şekil 3.25'deki grafikte gösterildiği gibi sabit tutulabilir. Konfor şartlarından sapma yoktur. Elektrik harcaması klasik kompresörlü sistemlere göre yaklaşık %30 daha azdır. Bu durum Şekil 3.27'de gösterilmiştir.



Şekil 3.25. Oda Sıcaklığının Zamana Göre Değişimi [102].



Şekil 3.26. Inverter Frekansı ve Enerji Verim Oranı İlişkisi [103]. (s.150)



Klasik Kompresör Inverter Kompresör

Şekil 3.27. Inverter Sistemlerde Sıcaklık Kontrolü (Soğutma Modu) [104].

b. Inverter Sistemler Nasıl Enerji Tasarrufu ve Konfor Sağlar?

- Soğutma ve ısıtma kapasitesi, dış ortam sıcaklığı, iç ortam sıcaklığı ve ayar sıcaklığına bağlı olarak değişir.
- Oda sıcaklığı belirli bir aralıkta sürekli sabit kalır.
- Sistem, mekânı kısa sürede istenen sıcaklığa ulaştırabilir.
- Yüksek verimli ve soğutucu akışkan kontrollü çalışma, enerji tasarrufu ve konfor sağlar.
- Inverter kompresörlerde, kompresör motorunun devri, frekans kontrollüdür. Bu yüzden kompresörün devrini değiştirmek geniş bir alanda kompresörün kapasitesini kontrol etmeyi mümkün kılar.

Şekil 3.26'de inverter frekansı ile enerji verimlilik oranı (COP) arasındaki ilişki görülmektedir. Frekans düşerken verim artmaktadır, inverter olmayan sistemlerde ise frekans sabit olduğundan verimi sabit olmaktadır.

- Bunların yanı sıra inverter sistemlerde defrost süresi çok kısadır. Bu sayede, defrost süresince oda sıcaklık düşüşü küçüktür.
- Ayarlanan oda sıcaklığına ulaşma hızı, standart kompresörlü sistemlere göre daha yüksektir.
- Oda sıcaklığındaki değişkenlik çok küçük olduğundan sıcaklık farklılıkları oluşmaz.

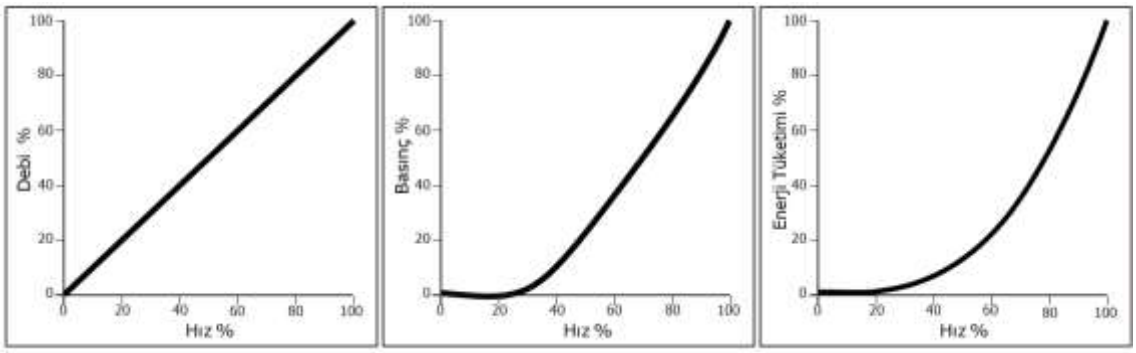
c. Inverter Sistemde Devire Bağlı Enerji Tüketim, Basınç ve Akış Eğrisi

- Mahallin ısı ihtiyacına göre, kompresör %20 oranında modüle edildiğinde kompresör motoru %80 devirle döner.
- Motor %80 devirle çalışırken, tam devirdeki güç harcaması ile kıyaslandığında enerji harcaması %50 oranına düşer.

Buna göre formül;

$kW_2/kW_1 = (N_2/N_1)^3$ 'şeklindedir. (3.11)

Yani Şekil 3.28'a baktığımızda, motor devrini %50'ye düşürdüğümüzde, enerji tasarrufu %50 değil, %87,5 oranındadır.



Şekil 3.28. Inverter Sistemlerde Kompresör Devri-Elektrik Tüketimi-Basınç İlişkisi [105].

d. İnverter Sistem Özellikleri

Enerji Verimliliği:

Frekans kontrolü ile çoklu kompresörlü cihazlarda, yüke göre %4-100 çalışma kapasitesi aralığında tüketim gücü ayarlanarak kompresörün minimum enerji tüketimi sağlanır. Cihaz sürekli dur-kalk yapmadığından, kompresörün ilk çalışmasındaki yüksek enerji tüketimi ortadan kaldırılmış olur.

Hassas kontrol sistemi

Oda sıcaklığını, ayar sıcaklığına göre 0,1°C hassasiyetle sabit tutarak rahatsız edici ısı dalgalanmalarını ve nem soranlarını ortadan kaldırır. Yüksek verim ve konfor sağlar.

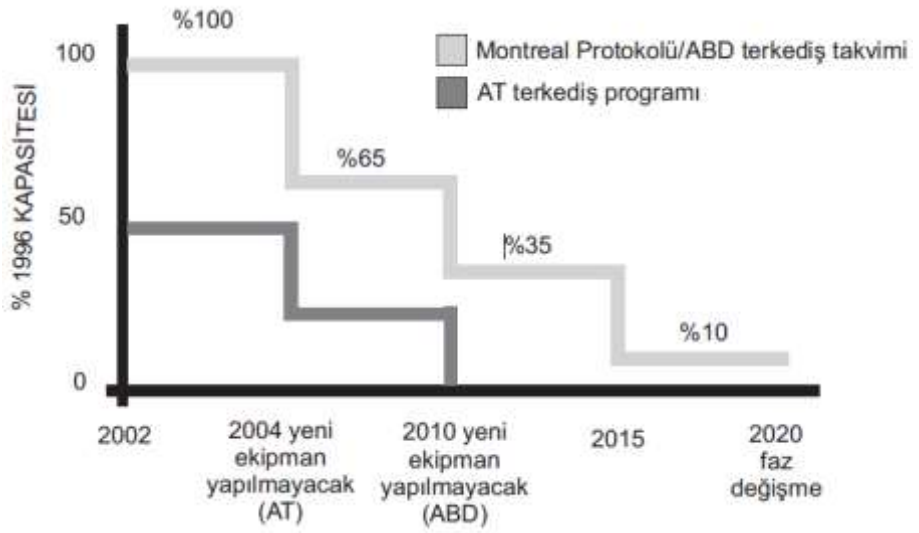
Güçlü, sessiz ve verimli çalışma

Inverter kompresörler ilk çalıştırma anında, ayarlanan oda sıcaklığına daha kısa sürede ulaşmak için kapasitelerini en yüksek seviyeye çıkarlar. Ayarlanan oda sıcaklığına bir kez eriştikten sonra, kapasite azaltılır. Ayarlanan sıcaklığı sabit tutmak için genellikle cihaz düşük kapasitede çalışır. Cihaz düşük kapasitede çalıştığından yüksek enerji verimliliğine sahiptir. Kompresörler tamamen izoleli olduğundan çok sessizdir ve enerji kaybına yol açmaz.

3.3.3. Soğutucu Akışkanlar

Avrupa Topluluğu şartnamelerine göre, HCFC türü soğutucu akışkanların 2004 yılından itibaren yeni cihazlarda kullanımı ve 2010 yılında ise servis amaçlı kullanımı

yasaklanmıştır. Amerika Birleşik Devletleri ise HCFC terk ediş takvimini Montreal Protokolüne uygun olarak 2030 yılına kadar ötelemiştir. Bu durumda, alternatif akışkanlar olarak R-407C, R-417A, R-421A ve R-410A akışkanları öne çıkmıştır. R-22 ile R-407C arasında performanslar yönünden büyük paralellikler mevcuttur. İklimlendirme cihazlarında R-22 akışkanını R-407C'ye dönüştürebilmek için mineral yağın %95'ini almak ve filtreyi değiştirmek gerekmektedir. R-410A ise diğer akışkanlara göre %60 daha yüksek sistem basınçlarında çalışmaktadır. Boru çapları ise %20 oranında daha küçük seçilmelidir. Genel olarak bakıldığında hemen hemen tüm üretici firmalar yeni nesil soğutucu akışkanlı sistemlere yönelmişlerdir. (R410A)



Şekil 3.30. HCFC'lerin Terk Ediliş Takvimi [106].

a. Soğutucu Akışkanların Genel Özellikleri

R-22 ($CHCIF_2$)

Atmosfer basıncında kaynama noktası sıcaklığı -40,8°C, molekül ağırlığı 86,5 kg/kmol'dür. R-22 gazının basınç oranının daha küçük olması avantaj ise de bu gaz amonyak gibi orta basınç soğutucu akışkandır. Bu gazla iki kademe ile -60 ila -75°C sıcaklıklara inilebilir. Pistonlu kompresörler, vidalı ve rotorlu kompresörler normalde R-22 ile kullanılabilirken, hermetik tipler önemli bir oranda R-22 kullanırlar. Düşük sıcaklıklarda, yüksek süpürme hacimli santrifüj kompresörlerde dahi kullanılabilir. R-22 soğutucu akışkanı R-12, ve R-502 yerine kullanılan akışkandır. Aynı süpürme hacmi için soğutma etkisi R-12'den %60 fazladır.

R-22 oldukça iyi bilinen ve yaygın olarak denenmiş bir soğutucu akışkandır. Dünyanın her yerinde hala sıkça kullanılmaktadır ve donmuş gıda teşhir kabinleri, dik tip dondurucular, yatık tip dondurucular, klimalar, soğuk odalar, donmuş muhafaza odaları, taşıma amaçlı soğutma, ticari soğutma (özellikle süper marketler), endüstriyel soğutma ve ayrıca ısı pompalarında geniş uygulama alanları mevcuttur.

R-22 yanıcı ve zehirleyici değildir (EC standart sınır değeri [TLV-TWA] 1.000 ppm). ODP (Ozonu delme potansiyeli) değeri R-12'den %94,5 daha azdır. Kalan %5,5 ODP değeri ile "ozon tabakasına zararlı" olarak etiketlenmiştir. Uluslararası düzenlemeler ile R-22 için terk ediş süreci başlamıştır. Soğutma makinesi şartlarında R-22 termal ve kimyasal olarak kararlıdır. Metaller ile uyumluluğu R-12 ile mukayese edilebilir. Standart malzemeler, bakır, pirinç, monel metal, nikel, dökme demir, çelik ve alüminyum ile uyumludur. Magnezyum, kurşun, çinko ve alüminyum alaşımlarında ağırlıkça %2'den fazla magnezyum kullanımında uygun değildir. Plastik ve elastomerlere karşı R-12'den daha agresiftir ve kurşunu farklı derecelerde etkilemektedir. Kloropren kauçuk (CR), klorosülfonatlı polietilen kauçuk (CSM) ve politetrafloretilen (PTFE) kullanılabilir ancak akriliknitril butadiyen kauçuk (NBR veya HNBR) ve florinli kauçuk tipleri (FPM tipleri) ile kullanılamaz. R-22 ile madeni yağlar yüksek sıcaklıklarda iyi karışım yaparlar, ancak düşük sıcaklıklarda karışımda tabakalaşma oluşur. Fazla miktarda tabakalaşma, düşük sıcaklık uygulamalarında yağın kompresöre geri dönüşünü zorlaştırır. Bu durumda yüksek verimli bir yağ ayırıcı veya yarı sentetik yağ kullanımı tavsiye edilir.

R-407C (HFC-32 %23, HFC-125 %25, HFC-134A %52)

Kaynama noktası, atmosfer basıncında kabarcıklaşma noktası sıcaklığı -43,8°C, çiğlenme noktası sıcaklığı ise 36,7°C'dir. Molekül ağırlığı 86,2 kg/kmol'dür. R-22 alternatifi olarak, saf maddelerin, azeotrop veya kısmen azeotropik karışımların özellikleri HCFC-22 özelliklerine uymaz. R-407C soğutucu akışkanı, R-125, R-32 ve R-134a'nın (%25/23/52) zeotropik bir üçlü karışımı olup yaklaşık 7 K sıcaklık kaymasına sahiptir. R-22'nin bazı uygulamalarında uzun vadeli bir alternatiftir. İklimlendirme uygulamaları için birim süpürme hacmi başına soğutma etkisi ile soğutma tesir katsayısı yaklaşık olarak R-22'ye eşittir.

R-407C için ısı değiştiricilerin seçimi kritik önem arz etmektedir. R-22 ile çalışan bir tesiste kondenser ve evaporatör tarafında boru-yüzey tipi ısı değiştirici

kullanılıyorsa R-407C'ye dönüşümden sonra soğutma kapasitesinde %10, STK (sistem performans katsayısı) değerinde %18 azalma ortaya çıkar. Bu olay, zeotrop karışımların yüzeysel ısı iletkenlik katsayısının düşük olmasından kaynaklanır. Hava soğutmalı tesisler ile lamelli ısı değiştiricilerde bu etki son derece dikkat çekicidir ve performans verileri mukayese edilebilir. Düşük kaynama sıcaklıklı R-32 ve R-125 buhar kaçaklarına neden olurken, dolaşan karışımın konsantrasyonu yüksek kaynama sıcaklıklı R-134a'ya doğru kayar. R-407C, mutlaka sıvı doldurulmalıdır. Gaz fazında silindirde ayrışma olmaktadır.

Mevcut R-22 ile çalışan sistemler R-407C'ye dönüştürülebilir. Bu tip bir değişiklik için R-407C uyumludur ancak sistem parametreleri, özellikle ısı değiştiriciler kesin olarak gözden geçirilmelidir. Taşmalı evaporatörler büyük miktarda kaçak eğilimi olan sistemler olduğundan R-407C'ye dönüştürülmemelidir. Santrifüj kompresörlü soğutma sistemleri asla R-407C'ye dönüştürülemez. R-32 yanıcıdır, diğer taraftan R-125 ve R-134a yanıcı değildir. Her ikisi de, R-407C orijinal karışımı içinde tüm buhar ve sıvı karışımlarında (kaçak durumunda bile) yanıcı değildir. R-407C termal ve kimyasal olarak kararlıdır ve R-22'den daha düşük oranda zehirlilik seviyesine sahiptir. Metallerle uyumluluğu R-22 ile kıyaslanabilir. Soğutma makinelerinin imalatında kullanılan tüm standart malzemelerle kullanılabilir. Çinko, kurşun, magnezyum ve alüminyum alaşımları ağırlıkça %2'den fazla magnezyum içermemelidir.

R-407C'nin elastomerlere göre davranışı diğer karışımlara benzer. Kloropren kauçuk (CR), akrilonitril butadiyen kauçuk (NBR) veya hidrojene akrilonitril butadiyen kauçuk (HNBR) R-407C ile uyumlu elastomer tipleridir. Florine kauçuk (FPM) tiplerinin şartlandırılmış olanları tavsiye edilir, bazı formüller kabarcıklaşma ve şişme oluşturur. Buna rağmen yağlama yağlarının herhangi bir etkisinin olup olmadığı dikkate alınmalıdır. Poliester yağ ile etilen-propilen butadiyen kauçuk (EPDM) sadece düşük bir şişme etkisi oluşturur. Uygulamadan önce, bazı özel plastikler ve elastomerler farklı formüllü olabileceği için deneylere tabi tutulmaları tavsiye edilir. R-407C madeni yağ ile karışmaz. Farklı poliester yağlar, R-407C ile sıcaklığa ve orana bağlı olarak iyi karışım yaparlar.

R-410A (HFC-32 %50, HFC-125 %50)

Atmosfer basıncında kaynama sıcaklığı -51,6°C'dir. Moleküler ağırlığı 72,6 kg/kmol'dür. R-410A uluslararası olarak R-22'nin uzun vadeli alternatifi olarak tercih

edilmektedir. Bu soğutucu akışkan, çok düşük sıcaklık kayması ile yakın-azeotrop özellikler gösterir. Orta basınçlı soğutma sistemlerinde, klimalarda ve ısı pompalarında R-22 yerine veya yeni sistemlerde kullanılır. Temel farkı R-22'den daha yüksek çalışma basınçlarına sahip olmasıdır. R-410A, 42°C yoğuşma sıcaklığında 25 bar basınçlara ulaşmakta iken, R-22 bu basınçlarda 62°C'de kalmaktadır. R-410A'nın en büyük avantajı birim süpürme hacmi başına soğutma etkisinin R-22'den %50 daha fazla olmasıdır. Bu yolla daha küçük elemanlar kullanılarak kompakt cihazlar yapılabilir. Kompresörler gibi soğutma elemanları, bu basınç artışına göre tasarlanmalıdır. Yüksek çalışma basınçları ortaya çıktığından R-410A mevcut R-22'li sistemlerde dönüşüm için uygun değildir. Gazı değiştirerek dönüşüm için, sistem tasarımında revizyon yapılarak, R-407C tavsiye edilir.

R-410A kullanılan sistemler, ısı pompaları, soğuk depolar, ticari ve endüstriyel soğutma uygulamaları olup, R-410A düşük sıcaklık kademeleri için R-13B1'in alternatifidir. R-13B1 için dönüşüm yöntemleri başarıyla uygulanabilmektedir. R-410A yanıcı ve zehirli değildir. PAFT deneylerine göre TVL değeri 1.000 ppm olarak tavsiye edilmektedir. R-32 ve R-125 gazlarının AEL değerleri 1.000 ppm'dir. R-410A termal ve kimyasal olarak kararlıdır. Soğutma makinelerinin imalatında kullanılan çelik, bakır, alüminyum ve pirinç gibi tüm standart malzemelerle kullanılabilir. Bununla birlikte çinko, kurşun, magnezyum ve alüminyum alaşımları ağırlıkça %2'den fazla magnezyum içermemelidir. R-410A ile aşağıdaki plastik veya elastomerlerde minimum veya düşük şişme oluşur:

- Poliamid (PA), fenol reçinesi
- Politetraflor etilen (PTFE)
- Poliasetal (POM)
- Kloropren kauçuk (CR)
- Hidrojene edilmiş akrilonitril butadiyen kauçuk (HNBR)

Uygulamadan önce, bazı özel plastikler ve elastomerler, farklı formüllü olabileceği için deneylere tabi tutulmaları tavsiye edilir. Ayrıca yağlama yağlarının herhangi bir etkisinin olup olmadığı dikkate alınmalıdır. Florine kauçuk (FPM) tipleri tavsiye edilmez. Poliester yağ ile etilen-propilen butadiyen kauçuk (EPDM) sadece düşük bir şişme etkisi oluşturur. Poliester yağlar R-410A ile uyumludur.

Tablo 3.2. Çeşitli Soğutucu Akışkanların Genel Özelliklerinin Karşılaştırma Tablosu [85].

Numarası	R-22	R-407C	R-410A	R-404A	R-507	R417A	R-421A
Numarası/Karışım oranı	R22 %100	R-32 %23 R125 %25 R-134a %52	R-32 %30 R-125 %50	R-125 %44 R-143A %52 R-134A %4	R-125 %50 R 143A %50	R-134A %46,6 R-125 %50 R-600 %3,4	R-125 %58 R-134A %42
Molekül Ağırlığı	86,47	86,2	72,58	97,6	98,9	106,6	112,44
Buharlaşma sıcaklığı 1 atm (°C)	-40,8	-43,56	-51,53	-46,5	-46,7	-41,83	-38,86
Buharlaş. gizli ısısı 1 atm (kj/kg)	233,5	245,1	276,2	201,5	200,5	202	135,5
Sıvı yoğunluğu 25°C (kg/m^3)	1,195	1,134	1,062	1,048	1,047	1,152	1,197
Isı iletim katsayısı, 25°C sıvı (W/mK)	0,0849	0,0819	0,0886	0,0394	-	0,0712	0,0876
Kritik sıcaklık (°C)	96,24	86,74	72,13	72,1	70,9	90	80,85
Kritik basınç (kPa)	4,981	4,619	4,926	3,732	3,794	4,242	3,810
Ozon delme potansiyeli (ODP), CFC-12=1	0,05	0	0	0	0	0	0
Küresel ısınma etkisi (GWP), CO_2=1	1,500	1,526	1,725	3,260	3,300	1,950	?

b. Soğutucu Akışkanlar ve Çevresel Etkileri Ozon Tabakası

Dünya atmosferi düşey doğrultuda iki zona veya bölgeye ayrılır. Alt tabaka troposfer olarak adlandırılır, yerden itibaren 10 km kadar yukarıya uzanır. Stratosfer, yerin yaklaşık 50 km üzerine kadar uzanır. Ozon tabakası, stratosferin alt tabakasında, yerden 14-20 km yukarıda bulunur.

Bu mesafelerin hepsi oldukça kesin ortalamalardır, çünkü troposferin yüksekliği, kutuptan kutba, mevsimden mevsime değişim gösterir. Buna ilave olarak, teorik sınır tabakaları boyunca büyük miktarda karışım gazları olduğundan, atmosferin bölümlere ayrılması çok açık kesitlerle olmamaktadır.

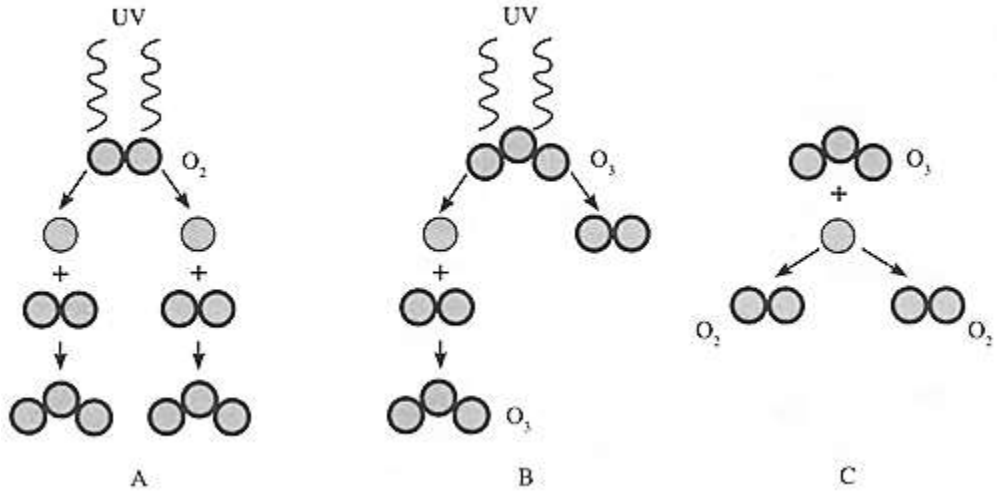
Ozon, oksijenin bir bileşiği olup, ciğerlerimize aldığımız havanın yaklaşık ellide birini kapsar ve yeryüzündeki hayat için gereklidir. Oksijenin bir molekülü iki oksijen atomu ihtiva eder ve kimyasal olarak O_2 şeklinde gösterilir. Ozon, üç oksijen atomu içerir. Atmosferin yere yakın kısmında, ozon önemli bir kirleticidir, insanlara ve diğer hayvanların yaşamına, tarım ürünlerine ve ormanlarımızdaki ağaçlara zararlıdır.

Buna rağmen, ozon oldukça faydalı bir amaca hizmet eder. Stratosferin bir tabakası olan ozon, koruyucu bir kalkan olarak, güneşten gelen kısa dalgalı ultraviyole

(UV-mor ötesi) enerjiyi soğurur. Dolayısıyla ozon, hayvanlar ve bitkiler için gelişmeye uygun bir atmosfer sağlar.

Bir engel olmaksızın UV ışınlar yeryüzüne ulaşır ve insan hayatı için gerekli şifreleri taşıyan DNA gibi biyolojik molekülleri kopartacak şekilde güç uygular. Bunun anlamı, problemli doğumların artmasıdır. Radyasyon, cilt kanserlerim ve kataraktı arttırır. UV ışınlan, vücudun mevcut bağışıklık sistemini sağlayan faktörleri tahrip ederek enfeksiyonlara ve hastalıklara direnç kabiliyetini azaltır. Deneyler göstermiştir ki, UV radyasyonunun en belirgin etkisi, bitkilerin büyümesi için ihtiyaçları olan besini sağlama kabiliyeti üzerine olmaktadır. Okyanuslardaki besin zincirinin başlangıcı olan küçük canlıları (plankton) tahrip edebilir.

Ozon tabakası, özel fotokimyasal reaksiyonlar serisinin meydana geldiği stratosfer bölgesinde oluşmaktadır (Şekil 3.29-A). Bir oksijen molekülü, belli bir dalga boyundaki UV ışınlarıyla bozunur, iki atom arasındaki bağ kopar. Serbest oksijen atomu, bir O_2 ile birleşerek O_3 ozon molekülünü meydana getirir.



Şekil 3.29. UV Işınlarının Oksijen ve Ozon ile etkileşimi [85].

$O_2 + uv \quad \blacktriangleright O + O$

$O_2 + O \quad \blacktriangleright O_3$

$O_2 + uv \quad \blacktriangleright O_2 + O$

$O + O_2, \quad \blacktriangleright O_3$

$O + O_3 \quad \blacktriangleright 2O_2$

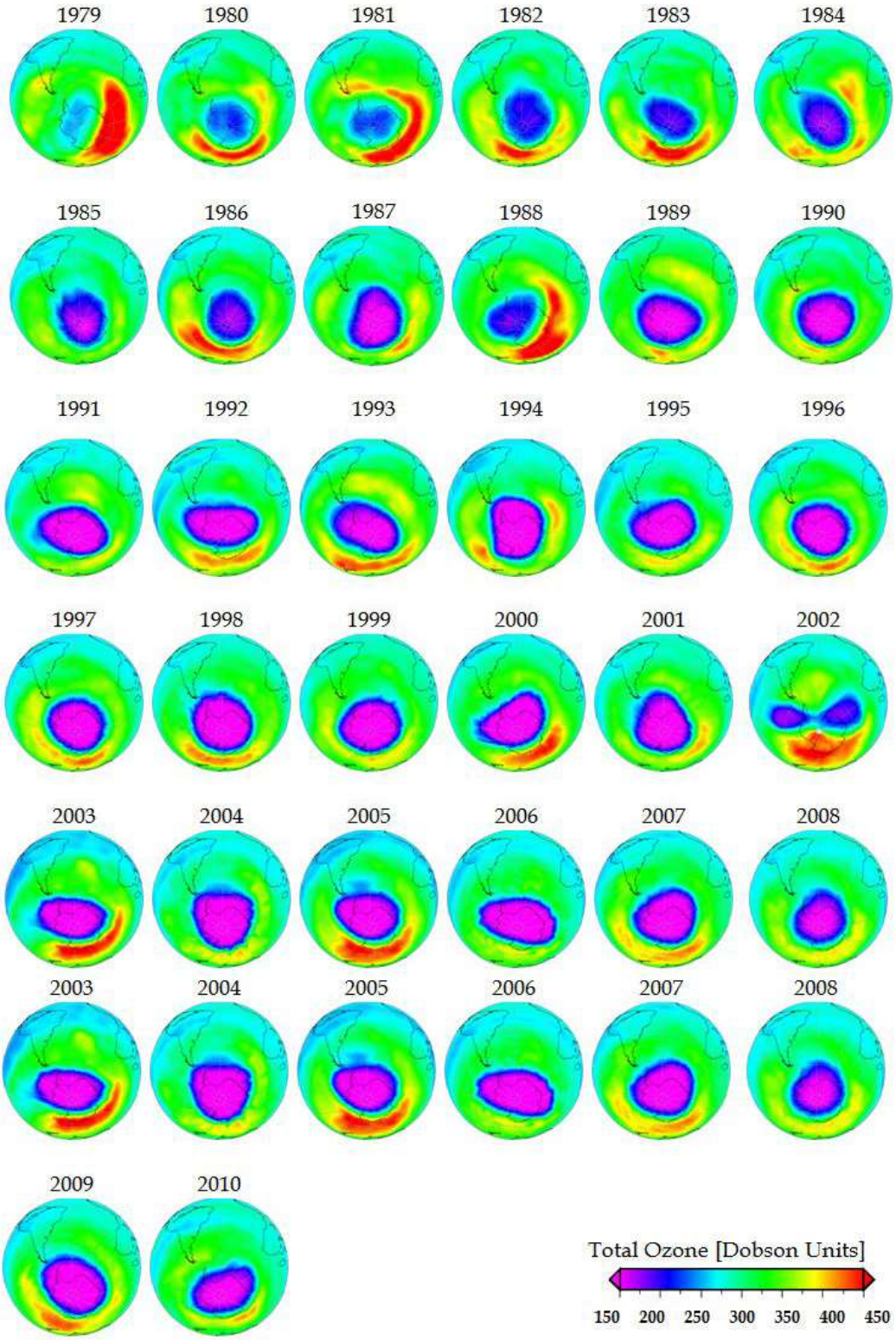
Ozon molekülleri UV radyasyonunu soğurduğunda, soğurulan enerji ozon moleküllerini bir oksijen molekülüne ve bir serbest oksijen atomuna ayırır (Şekil 3.29-B). Bununla birlikte serbest atom bir diğer oksijen molekülü ile birleşir ve tekrar ozon molekülü oluşur ve daha fazla UV soğurmaya hazır hale gelir. Bu ozon "geri dönüşümü", ozon molekülü bir serbest atomu çalar ve iki O2 molekülü oluşur (Şekil 3.29-C). Antarktika'nın Halley Körfezi üzerindeki atmosferin ozon seviyeleri, 1957'den bu yana her yıl ölçülmektedir. İlk ölçümler, uzun kutup gecelerinin sonunda ve Antarktika baharının başlarındaki Ekim ayında alınmıştır. 1970'li yılların ortasına kadar, Ekim ayındaki ozon seviyeleri daima 300 Dobson birimi seviyelerinde kalmıştır. (Stratosferdeki ozon konsantrasyonu Dobson biriminde ölçülmektedir.) Takip eden yıllar boyunca bu seviye düzgün olarak yükselmiş ve 400 Dobson birimi tepe değerine çıkmıştır. Ancak, kısa süre sonra Halley Körfezi bulguları yayınlanmış ve ileri seviyedeki bilimsel çalışmalar, uzunca bir delik seviyesini ortaya çıkmıştır. Bu, yerden 14-24 km yüksekte Amerika Birleşik Devletleri büyüklüğünde bir delikti ve Antarktika kıtasının üzeri bir "ozon deliği" olarak bilinmeye başlandı.

Şekil 3.30'de ABD meteoroloji uydusu tarafından 1979-2010 yılları arasında çekilen ozon deliğinin yıllara bağlı değişimi fotoğraflarla görülmektedir. Farklı renklerdeki bölgeler, Dobson biriminde atmosferdeki ozon yoğunluğunu göstermektedir.

Bilim adamları tarafından geliştirilen iki önemli teoriye göre, ozon tabakasındaki deliğin iki farklı sebebi vardır:

- Stratosferik hava akımları ve Antarktika üzerindeki atmosferik şartlar
- CFC'lerin neden olduğu kimyasal reaksiyonlar, özellikle CFC'lerin klor bileşenleri

Stratosferik hava akımları, ekvatordan kutuplara doğru ozonu taşımaktadır. Ekvatordaki ozon seviyesi 260 Dobson birimidir. 60° güney enleminde 380 Dobson birimi, kuzey kutbunda ise 450 Dobson birimi ile en yüksek değerindedir.



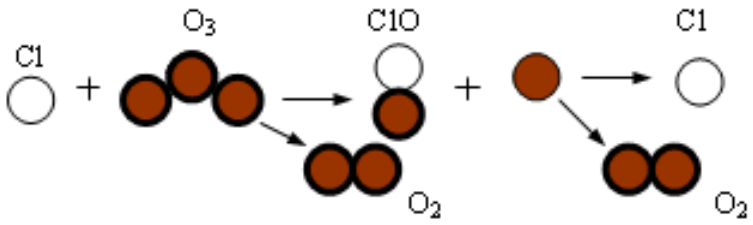
Şekil 3.30. Ozon Tabakasındaki Deliğin Yıllara Bağlı Değişimi [107].

Antarktika üzerindeki stratosferde dondurucu sıcaklıklar ve kış boyunca rüzgâr örnekleri, bölge üzerinde güçlü dönel hava akımları (kutupsal vorteks olarak bilinir) yaratırlar.

Bununla birlikte, 1987'de ozon deliği hakkında geniş ölçekli bir araştırmadan alınan veriler, kloroksit (ClO) ve klordioksit (ClO2) sayılarının umulandan daha fazla olduklarını gösterdi. Bu araştırma sonucunda, ozon deliğine CFC'lerin sebep olduğu teorisi tekrar güçlendi.

Kloroflorokarbonlar (CFC) ve Ozon

Kararlı yapıları, başlangıçta CFC'lerin yaygınlaşmasına olanak sağlasa da, daha sonra bu kararlı yapının ozon tabakasının delinmesine sebep olduğu anlaşılmıştır. CFC'ler atmosfer içinde serbest bırakıldığında troposfer içinde parçalanmazlar ve stratosfere doğru yükselmeye devam ederler.



Şekil 3.31. Klor Atomlarının Ozon Molekülünü Parçalama Reaksiyonları [108].

CFC'lerin ozon tabakası üzerine yükselmesiyle, UV ışınlarının etkisi altına girerler. Klor (Cl) atomları, atmosfer içinde serbest hale gelir. Bir klor atomu, bir ozon molekülü (O3) ile reaksiyona girdiğinde, oksijen atomlarının bir tanesini klormonoksit (CIO) biçiminde bağlar. Ayrılan diğer iki oksijen atomu, bir oksijen molekülünü oluşturur (Şekil 3.31). CIO molekülü bir serbest oksijen atomu ile temas ettiğinde oksijen atomları birleşerek bir oksijen molekülü (O2) oluştururlar ve klor atomu (Cl) bir diğer ozon molekülünü parçalamak üzere serbest kalır. Her serbest klor atomu, troposfere yağmur gibi doğal yollarla dönmeden önce 100.000 ozon molekülünü bozabilir.

Tablo 3.3. Bazı Soğutucu Akışkanların Çevresel Etkileri [109].

Soğutucu	Yapısı	Kaynaa Noktası °C	Atmosferik Ömrü, Yıl	Ozon Delme Potansiyeli ODP	Küresel ısınma Potansiyeli 100-Yılda	Alev Alma?
E125	CHF_2OCF_3	–42.0	165		14 900	Hayır
E143	CHF2OCH2F	29.9			57	Evet
E143a	CF3OCH3	–24.1	5.7		750	Evet
11	CHI3F	23.7	50	1	4600	Hayır
12	CCI2F2	–29.8	102	1	10 600	Hayır
22	CHCIF2	–40.8	12.1	0.055	1700	Hayır
23	CHF3	–82.1	264		12 000	Hayır
32	CH2F2	–51.7	5.6		550	Evet
113	CCI2FCF2CI	47.6	85	0.8	6000	Hayır
114	CCIF2CCIF2	3.6	300	1	9800	Hayır
115	CIF2CF3	–38.9	1700	0.6	7200	Hayır
116	CF3CF3	–78.2	10 000		11 900	Hayır
123	CHCI2CF3	27.8	1.4	0.02	120	Hayır
124	CHCIFCF3	–12.0	6.1	0.022	620	Hayır
125	CHF2CF3	–48.1	32.6		3400	Hayır
134a	CH2FCF3	–26.1	14.6		1300	Hayır
142b	CH3CCIF2	–9.0	18.4	0.065	2400	Evet
143	CH2FCHF2	5.0	3.8		330	Evet
143a	CH3CF3	–47.2	48.3		4300	Evet
152a	CH3CHF2	–24.0	1.5		120	Evet
218	CF3CF2CF3	–36.6	2600		8600	Hayır
227ea	CF3CHFCF3	–15.6	36.5		3500	Hayır
236ea	CF3CHFCHF2	6.5b	10		1200	Hayır
236fa	CF3CH2CF3	–1.4	209		9400	Hayır
245ca	CHF2CF2CH2F	25.1	6.6		640	Evet
245fa	CF3CH2CHF2	5.1	8.8		950	Hayır

Tablo 3.3'de CFC, HCFC ve HFC soğutucu akışkanlardan yaygın olarak kullanılanların ozon delme ve sera etkisi potansiyelleri verilmiştir. Bir soğutucu moleküldeki bir veya daha fazla hidrojen atomunun varlığı, molekülün troposferdeki parçalanma ihtimalini arttırır.

HFC kökenli halokarbon soğutucu akışkanlar, sadece hidrojen, karbon ve flor içerirler. Örnek olarak HFC- 134a, yeniden tasarlanan ekipmanlarla CFC-12 yerine kullanılmaktadır. HFC soğutucu akışkanlarda klor atomunun olmayışı onların ODP değerlerini oldukça düşürmektedir.

CFC'lerin ozona ve ozon tabakasına zarar verdikleri bilinmektedir. Fakat CFC'lerin çevreye bir diğer yolla, sera etkisini arttırarak da zarar verdikleri Tablo 3.3'de görülmektedir. Soğutucu karışımların özellikleri ise Tablo 3.4'de verilmiştir.

Tablo 3.4. Soğutucu Karışımların Özellikleri [109].(s.6.3)

Soğutucu	Karışımı	Kaynaa Noktası °C	Ozon Delme Potansiyeli ODP	Küresel ısınma Potansiyeli 100-Yılda
401B	(22/152a/124) / (61/11/28)	–34.9	0.028	1200
401C	(22/152a/124) / (33/15/52)	–28.4	0.025	900
402A	(125/C_3H_8/22) / (60/2/38)	–49.0	0.013	2700
402B	(125/C_3H_8/22) / (38/2/60)	–47.0	0.020	2300
403A	(C_2H_6/22/218) / (5/75/20)	–47.8	0.026	3000
403B	(C_2H_6/22/218) / (5/56/39)	–49.2	0.019	4300
404A	(125/143a/134a) / (44/52/4)	–46.2	0	3800
405A	(22/152a/142b/C318) / (45/7/5.5/42.5)	–32.9	0.018	5200
406A	(22/600a/142b) / (55/4/41)	–32.7	0.036	1900
407A	(32/125/134a) / (20/40/40)	–45.3	0	2000
407B	(32/125/134a) / (10/70/20)	–46.8	0	2700
407C	(32/125/134a) / (23/25/52)	–43.6	0	1700
407D	(32/125/134a) / (15/15/70)	–39.5	0	1500
407E	(32/125/134a) / (25/15/60)	–42.9	0	1400
408A	(125/143a/22) / (7/46/47)	–44.6	0.016	3000
409A	(22/124/142b) / (60/25/15)	–34.7	0.039	1500
409B	(22/124/142b) / (65/25/10)	–35.6		
410A	(32/125) / (50/50)	–51.4	0	2000
411A	(R-1270/22/152a) / (1.5/87.5/11.0)	–39.5	0.030	1500
411B	(1270/22/152a) / (3/94/3)	–41.6	0.032	1600
412A	(22/218/142b) / (70/5/25)	–38.0	0.035	2200
413A	(218/134a/600a) / (9/88/3)	–30.6	0	1900
414A	(22/124/600a/142b) / (51/28.5/4/16.5)	–34.0	0.032	1400
414B	(22/124/600a/142b) / (50/39/1.5/9.5)	–32.9	0.031	1300
415A	(22/152a) / (82/18)	–37.5	0.028	1400
415B	(22/152a) / (25/75)	–27.7	0.009	500
416A	(134a/124/600) / (59/39.5/1.5)	–23.4	0.010	1000
417A	(125/134a/600) / (46.6/50/3.4)	–38.0	0.000	2200
418A	(290/22/152a) / (1.5/96/2.5)	–41.2	0.33	1600
500	(12/152a) / (73.8/26.2)	–33.6	0.605	7900
502	(22/115) / (48.8/51.2)	–45.2	0.221	4500
503	(23/13) / (40.1/59.9)	–88.8	0.599	13 000
507A	(125/143a) / (50/50)	–46.7	0	3900
508A	(23/116) / (39/61)	–87.4	0	12 000
508B	(23/116) / (46/54)	–87.0	0	12 000

Sera etkisi

CFC'ler, CO ve CH4 gibi aynı zamanda sera etkisi yaratan gazlardır. Atmosferde toplanan CFC'lerin yaşam süreleri 60 ila 120 yıl arasında değişir. CFC'ler, temizleyicilerin ve çözücülerin (solvent) buharlaşmasıyla, köpük (poliüretan) yalıtımların üretimi ve soğutma klima sistemlerinin servisi esnasında atmosfere bırakılır.

Sera etkisinin artmaya devam etmesi ve atmosferin daha fazla ısınmasıyla oluşacak bazı tahmini sonuçlar şunlardır.

- Kutuplardaki buzulların tamamen erimesi, denizlerdeki su seviyesinin yükselmesi ve sahil kenarlarındaki bazı şehirlerin su altında kalması
- ABD'yi de kapsayacak şekilde tropikal iklimin genişlemesi
- İklimdeki sıcaklığın artmasıyla göllerdeki seviyenin düşmesi
- 0'de aynı zamanda çeşitli soğutucu gazların sera etkisi potansiyeli (GWP) değerleri verilmiştir. CO2 gazının GWP değeri 1 alınarak skala oluşturulmuştur. Soğutucu gazların GWP değeri çok büyük olmamakla birlikte, atmosfere salınım miktarları az olduğundan toplam etkileri CO2 gazına göre daha azdır.
- Uygulamaya konulan koruyucu tedbirler ise aşağıdakileri kapsamaktadır.
- Alternatif enerji kaynaklarının (nükleer, güneş ve jeotermal gibi) kullanımı ile fosil yakıtların azaltılması
- Doğal olarak CO2 soğurmak üzere yeniden ağaçlandırma yapılması
- CFC'lerin üretimini durdurmak için yapılan düzenleme ve yönetmelikler.

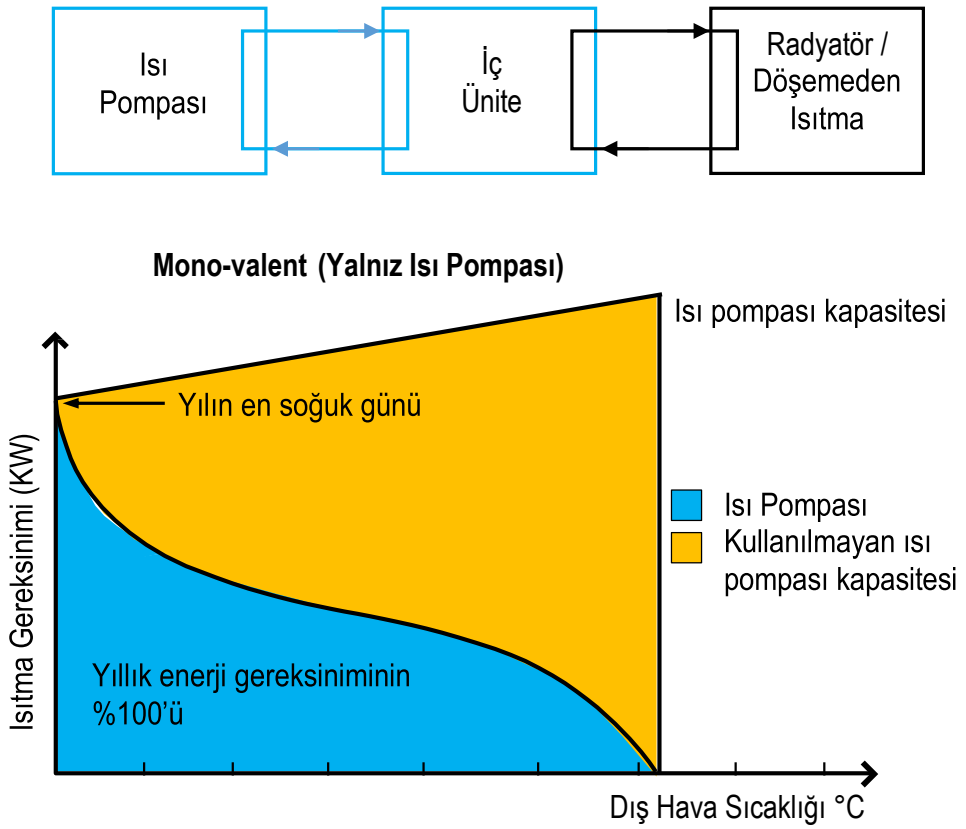
3.3.4. Isı Pompası İşletim Şekilleri

Mahal ısıtması sağlayan ısı pompaları, sınır şartlarına bağlı olarak esas itibariyle çeşitli şekillerde işletilebilmektedir. Seçilen işletim tarzı, öncelikle binadaki mevcut veya planlanan ısıtma sistemine ve seçilen ısı kaynağına göre belirlenmektedir. Yatırım maliyetleri ile işletim maliyetleri arasındaki dengenin kullanıcı yarma optimize edilmesi gerekir.

Aşağıda verilen ısı pompası grafik örneklerinde split tip (iç ve dış üniteli) hava kaynaklı ısı pompaları göz önüne alınmıştır.

3.3.4.1. Monovalent (Tekli) İşletim (Şekil 3.32)

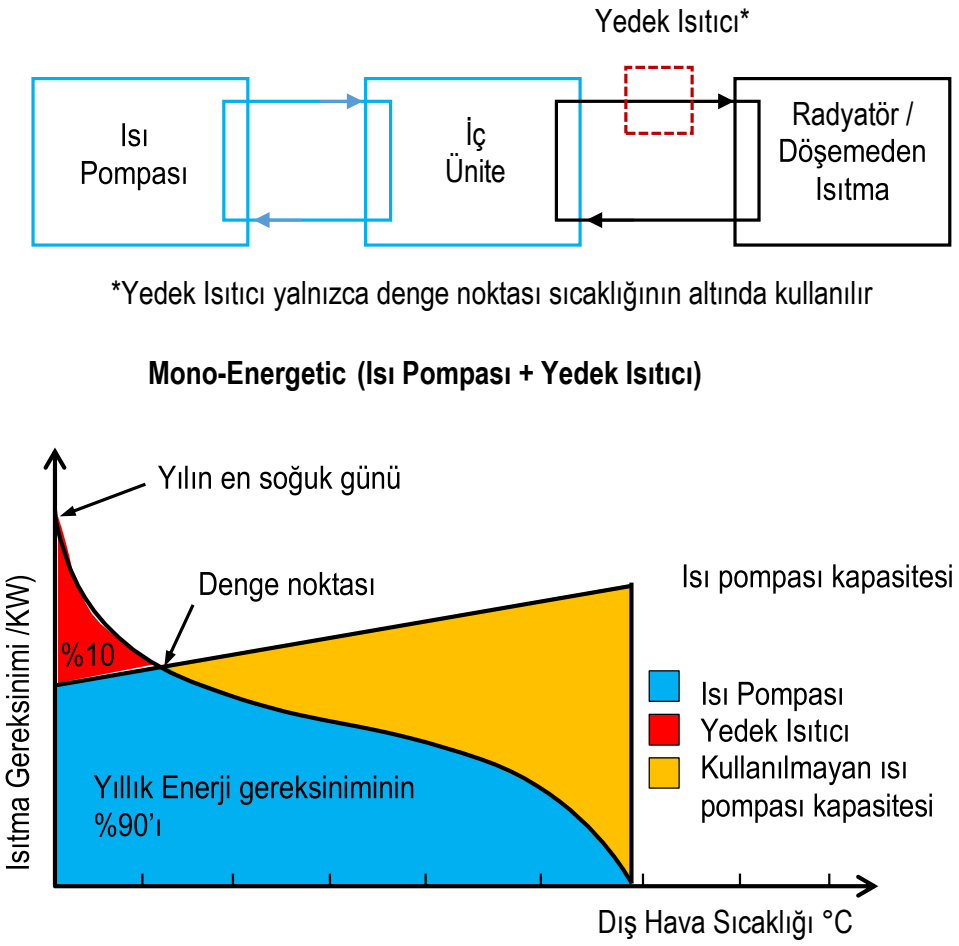
Isı pompası, sistemdeki tek ısı kaynağıdır ve yılın en soğuk gününde ısınma ihtiyacının % 100'ünü karşılayacak şekilde boyutlandırılır. Monovalent işletimde en yüksek enerji tasarrufu sağlanmasına karşın ısı pompası ısıtma sezonunun büyük bir bölümünde kısmi yükte çalışır ve ilk yatırım maliyeti tek enerjili işletime göre daha yüksektir. Burada toprak ve yeraltı suyu optimum ısı kaynaklarıdır, çünkü bu ısı kaynakları dış sıcaklıktan hemen hemen bağımsız olup düşük dış hava sıcaklıklarında da yeterince ısı verebilmektedir. Teknik nedenlerden dolayı kullanılan ısı pompasına bağlı olarak ısıtma devresi tasarım sıcaklıkları 55°C veya 60°C'yi geçmemelidir.



Şekil 3.32. Isı Pompası Monovalent İşletim Grafiği [110].

3.3.4.2. Monoenergetic (Tek Enerjili) İşletim (Şekil 3.33)

Isı pompası yıllık ısınma ihtiyacının % 80-90'ını karşılayacak şekilde boyutlandırılır. Isı pompası, yılın en soğuk günlerinde ortaya çıkan ek ısınma ihtiyacının karşılanması için elektrikli ısıtıcı ile desteklenir. Bu ek ısıtıcı hem kullanım suyu, hem de mahal ısıtmasını ideal olarak destekleyebilir. Bu durumda termik dezenfeksiyon işletimi için kullanım suyu sıcaklığının arttırılması da mümkündür. Tek enerjili işletim ile ısı pompalarının biraz daha küçük boyutlandırılabilmesi ve optimum işletim bölgesinde daha uzun çalışabilmesi sayesinde yatırım maliyetleri ile işletim maliyeti arasında optimum denge sağladığından ısı pompası uygulamalarının büyük bir çoğunluğunda bu sistem önerilir. Burada, ek ısıtıcının elektrik sarfiyatını mümkün olduğunca düşük tutabilmek için doğru bir tasarım önemlidir.



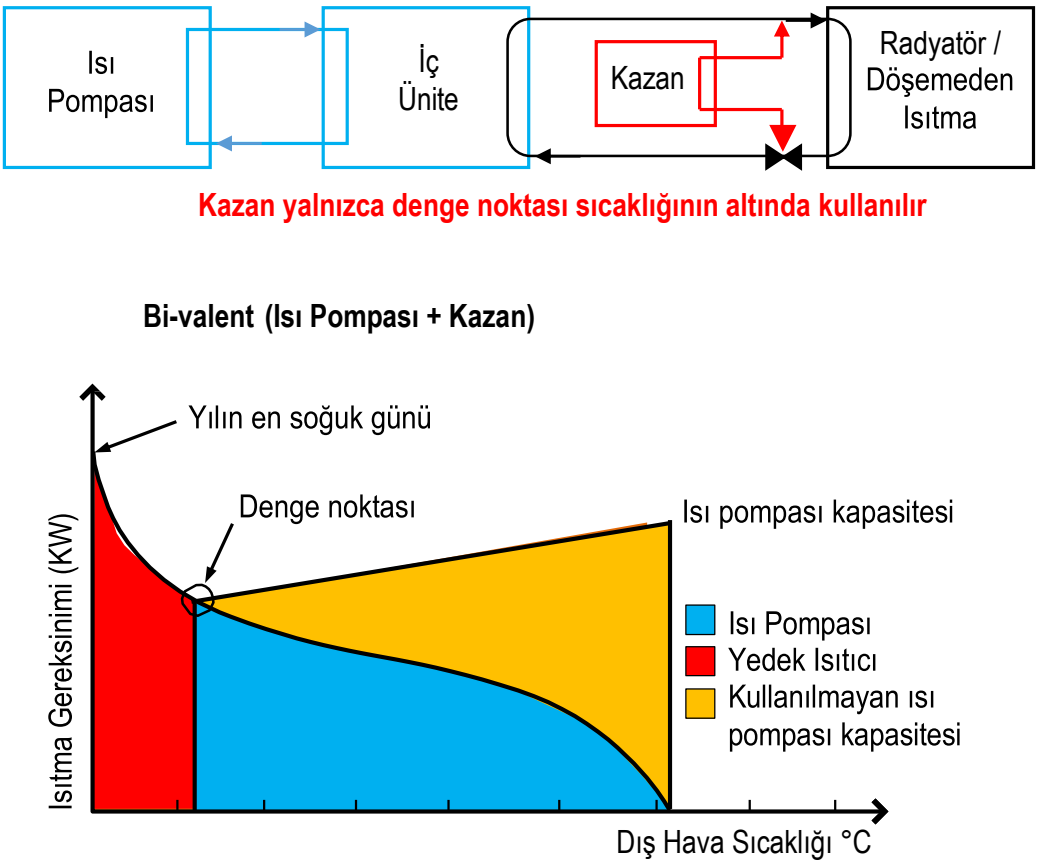
Şekil 3.33. Isı Pompası Monoenergetic İşletim Grafiği [110].

3.3.4.3. Bivalent (İkili) İşletim

Isı pompasının yanı sıra daima ikinci bir ısı üreticisi, genellikle mevcut sıvı yakıtlı bir kazan kullanılmaktadır. Villa ve ikiz villalarda bu işletme tarzı özellikle klasik hava kaynaklı ısı pompaları ile kombine edilebilir. Denge noktası sıcaklığına kadar ihtiyaç, ısı pompası ile karşılanmakta ve belirli bir dış hava sıcaklığından itibaren, örneğin 0°C'in altında sıvı yakıtlı bir kazan devreye girmektedir. Bu sistemler, daima iki ısı üreticisi gerektirdiğinden, ekonomik nedenlerle artık tercih edilmemekte ve nadiren uygulanmaktadır. Bivalent işletim paralel veya seri olabilir.

a. Paralel Bağlı Bivalent İşletim (Şekil 3.34)

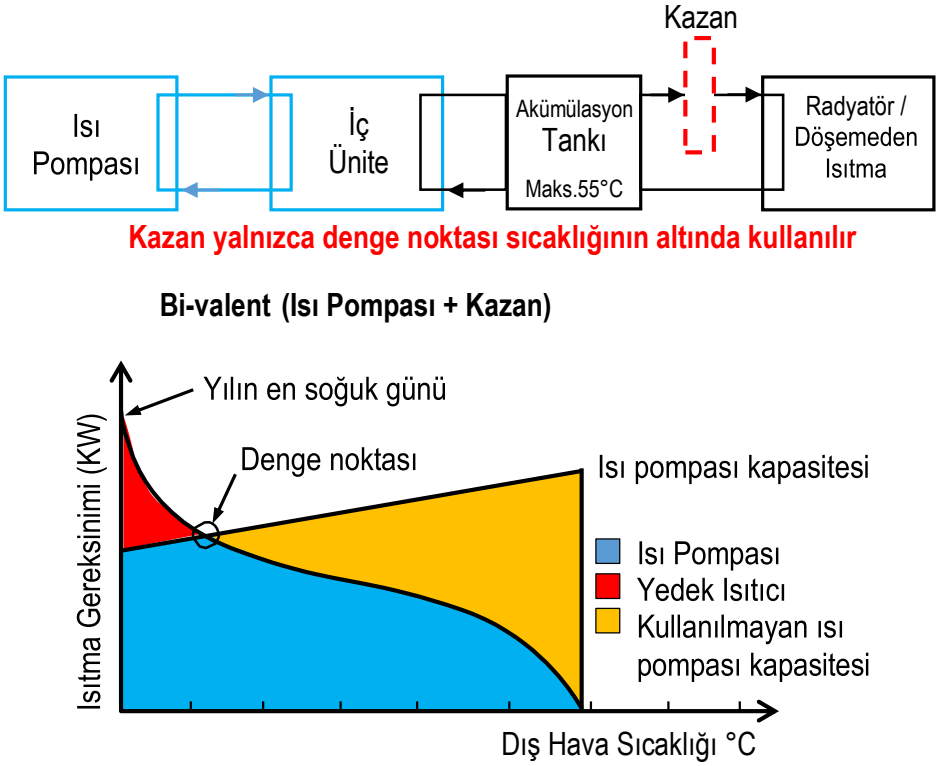
Mevcut ısıtma sistemi yılın en soğuk gününde tüm kapasiteyi karşılayacak şekilde boyutlandırılırken, ısı pompası, ısıtma sezonunun çoğunda enerji tüketimini azaltarak ısıtma sağlar.



Şekil 3.34. Isı Pompası Bivalent Paralel İşletim Grafiği [85], [110].

b. Seri Bağlı Bivalent İşletim (Şekil 3.35)

Isı pompasının seri bağlanması durumunda, yılın en soğuk günüdeki kapasite mevcut ısıtma sistemi ile birlikte çalışma ile karşılanır.



Şekil 3.35. Isı Pompası Bivalent Seri İşletim Grafiği [85].

3.4. Toprak Kaynaklı Isı Pompaları

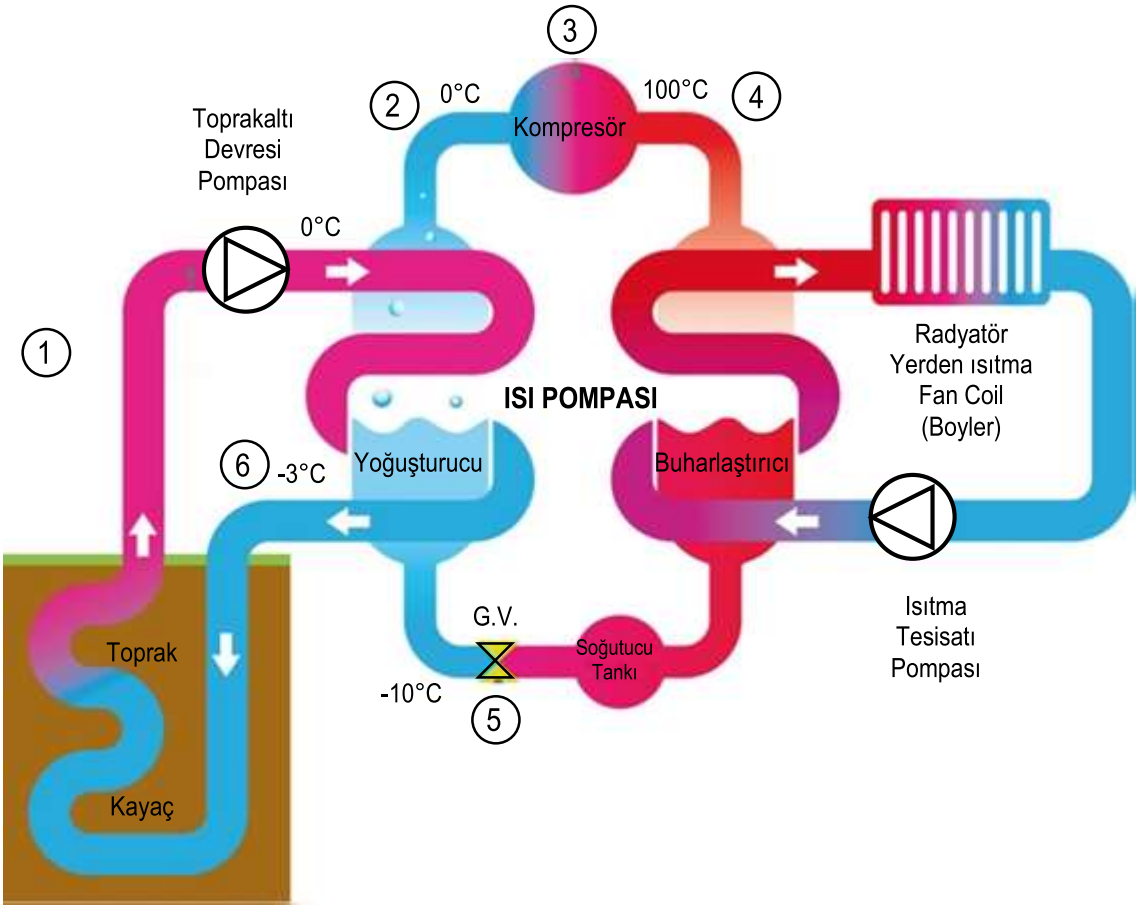
Çalışma prensibini anlatmanın en kolay yolu, klima çalışma prensibini incelemek olacaktır. Soğutma yapan bir klima iç ünitesinde havadan alınan ısı, dış ünitede dış havaya aktarılır. Isı pompası ise toprakta, kayada veya suda depolanmış enerjiyi toprak altındaki boru sistemi vasıtasıyla evin içine yönlendirir. Bu enerji, ısı pompasının içerisindeki soğutucu akışkana aktarılır, kompresörde akışkanın basınç ve sıcaklığı artırılarak enerji bina içi ısıtma tesisatında dolaşan suya iletilir.

1. Toprak altı boru devresi su ve glikolden oluşan bir ısı taşıyıcı akışkan içerir. Bu devre üzerinden ısı taşıyıcı akışkana topraktan enerji transferi gerçekleşir. Bu işlem sonucunda akışkan sıcaklığı cihaz girişinde yaklaşık olarak 0°C civarındadır.

2. 0°C'deki ısı taşıyıcı akışkan, evaporatörde soğutucu akışkan ile karşılaşıp ısı alışverişini gerçekleştirir. Soğutucu akışkan evaporatöre girdiğinde sıvı fazdadır ve yaklaşık -10°C civarındadır. Soğutucu akışkan 0°C'ye geldiğinde kaynamaya başlar. Evaporatörden sonra kompresörde gaz fazına geçer. Kompresöre giden gazın sıcaklığı yaklaşık 0°C'dir.
3. Gaz fazındaki soğutucu akışkanın basıncı kompresör içinde artar ve gazın sıcaklığı 0°C'den yaklaşık 100°C'ye kadar çıkar. Sıcak gaz daha sonra kondensere gönderilir.
4. Isı, kondenser üzerinden pompa yardımı ile bina içi ısıtma (radyatör veya yerden ısıtma) ve sıcak su sistemine (boyler) iletilir. Kondenser içinde, enerjisini kaybeden gaz soğur. Soğutucu akışkanın basıncı genleşme valfine gönderilirken hala yüksektir.
5. Soğutucu akışkan basıncı genleşme valfinde düşürülür, sıcaklığı ise yaklaşık olarak -10°C'dir.
6. Isı transferi akışkanı toprakta depolanmış enerjiyi toplamak için tekrar ısı pompasından ayrılır. Akışkanın sıcaklığı yaklaşık -3°C'dir.

Isıtma sistemi olarak yerden ısıtma, düşük sıcaklıklı radyatör veya fan-coil kullanımı mümkündür. Toprak kaynaklı ısı pompaları ısıtma çıkış su sıcaklığı genellikle 40-50°C arasında olmaktadır. Günümüz teknolojisinde toprak kaynaklı ısı pompalarında 65 °C çıkış su sıcaklıkları mümkündür. Isıtma su sıcaklığı ne kadar düşük ise ısı pompası verimi o kadar yüksek olabilmektedir. Yüksek çıkış su sıcaklıkları boyler ısıtmasında önemli bir pozitif etken olmaktadır. Yerden ısıtma sisteminin özellikle 55-45°C yerine, 40-30°C çalışma sıcaklıklarında seçilmesi, yüksek COP sağlayacaktır. Isı kaybı sadece yerden ısıtma ile karşılanmıyor ise, düşük sıcaklıkta su ile beslenmek suretiyle radyatör veya FCU sistemleri ısıtmaya destek verebilir.

Uygun toprak kaynaklı ısı pompaları ile 5-11°C çıkış su sıcaklıkları ile beslenen fan-coil ile soğutma yapma imkânı bulunmaktadır. Bu şekilde kışın yerden ısıtma ile ısıtma, yazın fan-coil ile soğutma gerçekleştirilir. Toprak kaynaklı ısı pompalarının kaynak tarafı, derin kuyu (80-120 m kuyu uygulaması), serme (arazinin 1-1,5 m altına yüksek metrajlı boru uygulaması) veya su kaynağı (göl veya denize boru uygulaması) olarak düşünülebilir.



Şekil 3.36. Toprak Kaynaklı Isı Pompası Çalışma Prensibi [111].

Toprak kaynaklı ısı pompalarında yaklaşık çalışma verim değerleri;

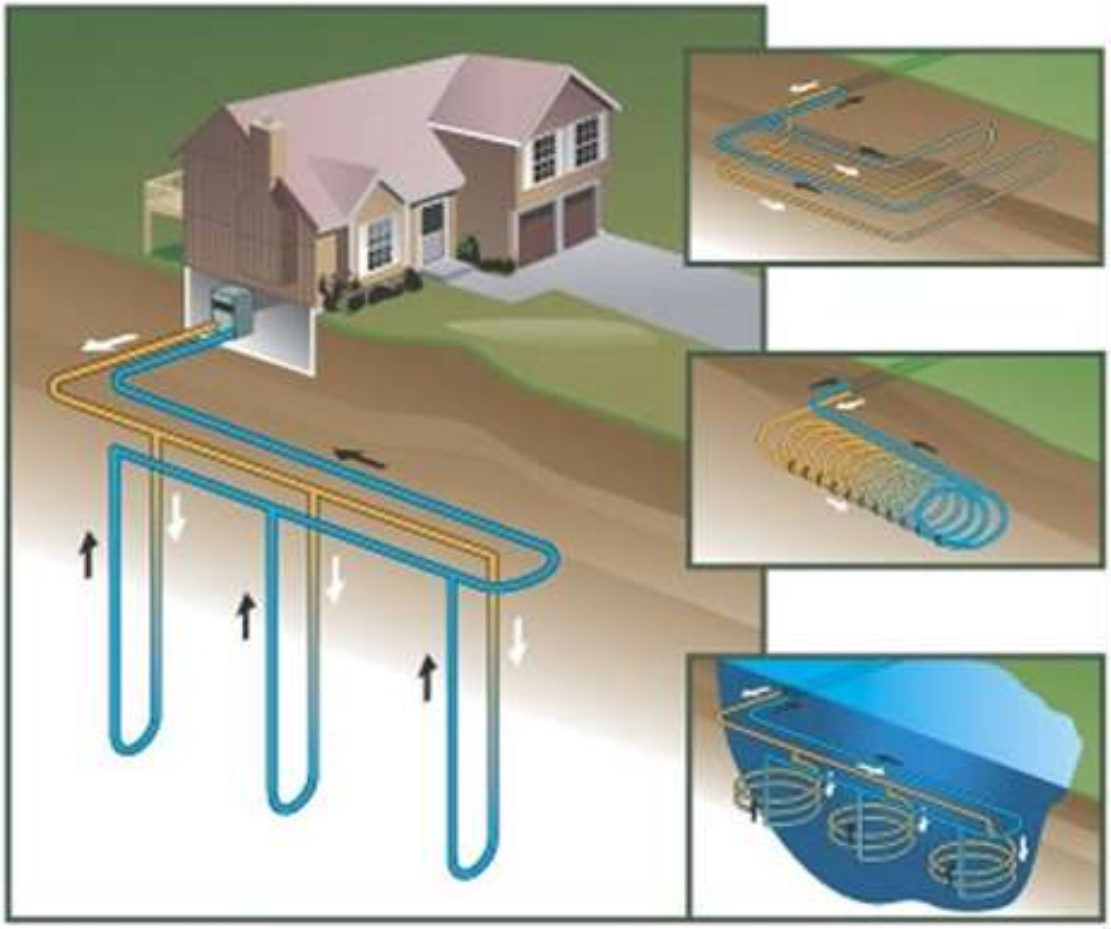
Isıtma	Kaynak su sıcaklığı 10°C ve çıkış suyu sıcaklığı 35°C	COP	6,3
	Kaynak su sıcaklığı 10°C ve çıkış suyu sıcaklığı 50°C	COP	4,4
Soğutma	Kaynak su sıcaklığı 25°C ve çıkış suyu sıcaklığı 7°C	EER	4,2
	Kaynak su sıcaklığı 25°C ve çıkış suyu sıcaklığı 12°C	EER	5,5

Topraktan çeşitli şekillerde ısı çekilerek faydalanılabilmektedir. Yüzeye yakın ısı enerjisinden ve jeotermal ısı enerjisinden faydalanma farklılık arz etmektedir. Yüzeye yakın ısı, güneş ısısı olup mevsimsel olarak toprakta depolanmakta ve 1,20 m'den 1,50 m'ye kadar olan derinliğe yatay olarak yerleştirilen toprak ısı değiştiricileri yardımıyla çekilmektedir.

Jeotermal ısı enerjisi, yerkürenin iç kısmından yeryüzüne akmakta ve bundan dikey toprak ısı değiştiricileri yardımıyla faydalanılmaktadır. Dikey toprak ısı değiştiricileri 150 m'lik bir derinliğe kadar düşey olarak yerleştirilebilmektedir.

Her iki sistem yüksek ve mevsimsel olarak nispeten homojen bir sıcaklığa sahiptir. Bu durum, ısı pompalarından yüksek verim (yüksek yıllık COP) elde edilmesini sağlar. Ayrıca bu sistemlerin kapalı devre olarak işletilmesi çok yüksek güvenilirlik sunmakta ve minimum bakım gerektirmektedir. Kapalı devrede, su ve donmaya karşı koruyucu maddeden (etilen-glikol) oluşan bir karışım kullanılmaktadır. Bu karışıma 'ısı taşıyıcı akışkan' da denilmektedir.

3.4.1. Toprak Kaynaklı Isı Pompası Uygulama Çeşitleri



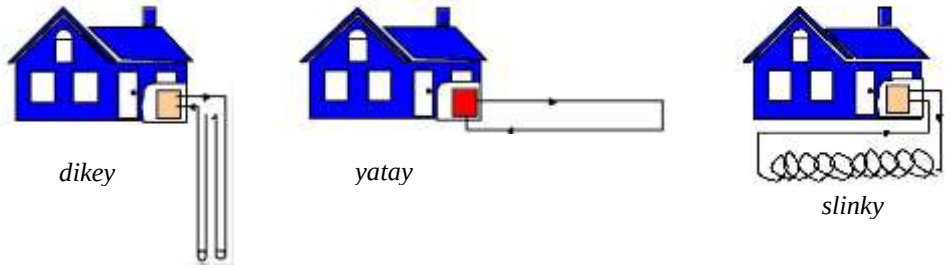
Şekil 3.37. Toprak Kaynaklı Isı Pompası Uygulama Şekilleri [112].

JEOTERMAL ISI POMPALARI (GHP)

a. k. a. Toprak Kaynaklı Isı Pompaları (GSHP)

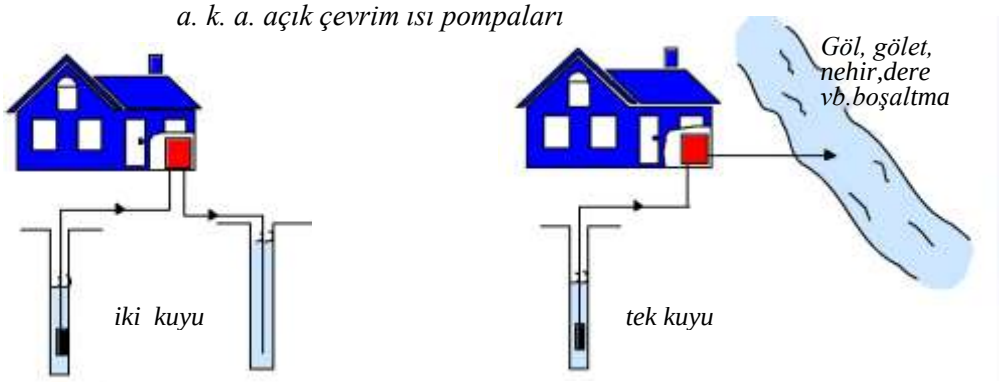
Toprağa Yerleştirilmiş Isı Pompaları (GCHP)

a. k. a. kapalı çevrim ısı pompaları



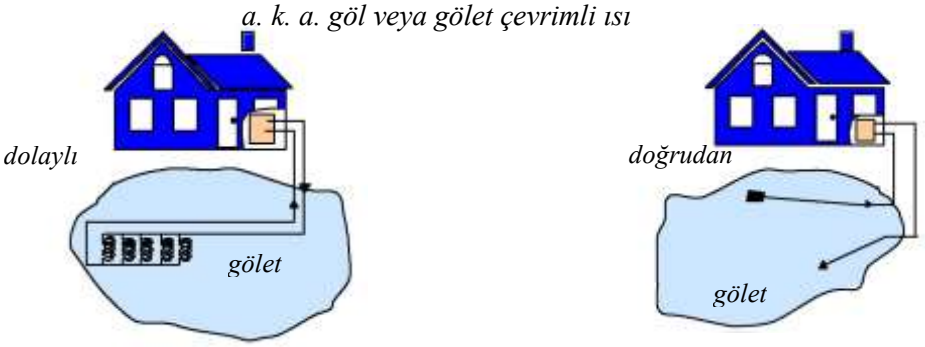
Yeraltı Suyu Isı Pompaları (GWHP)

a. k. a. açık çevrim ısı pompaları



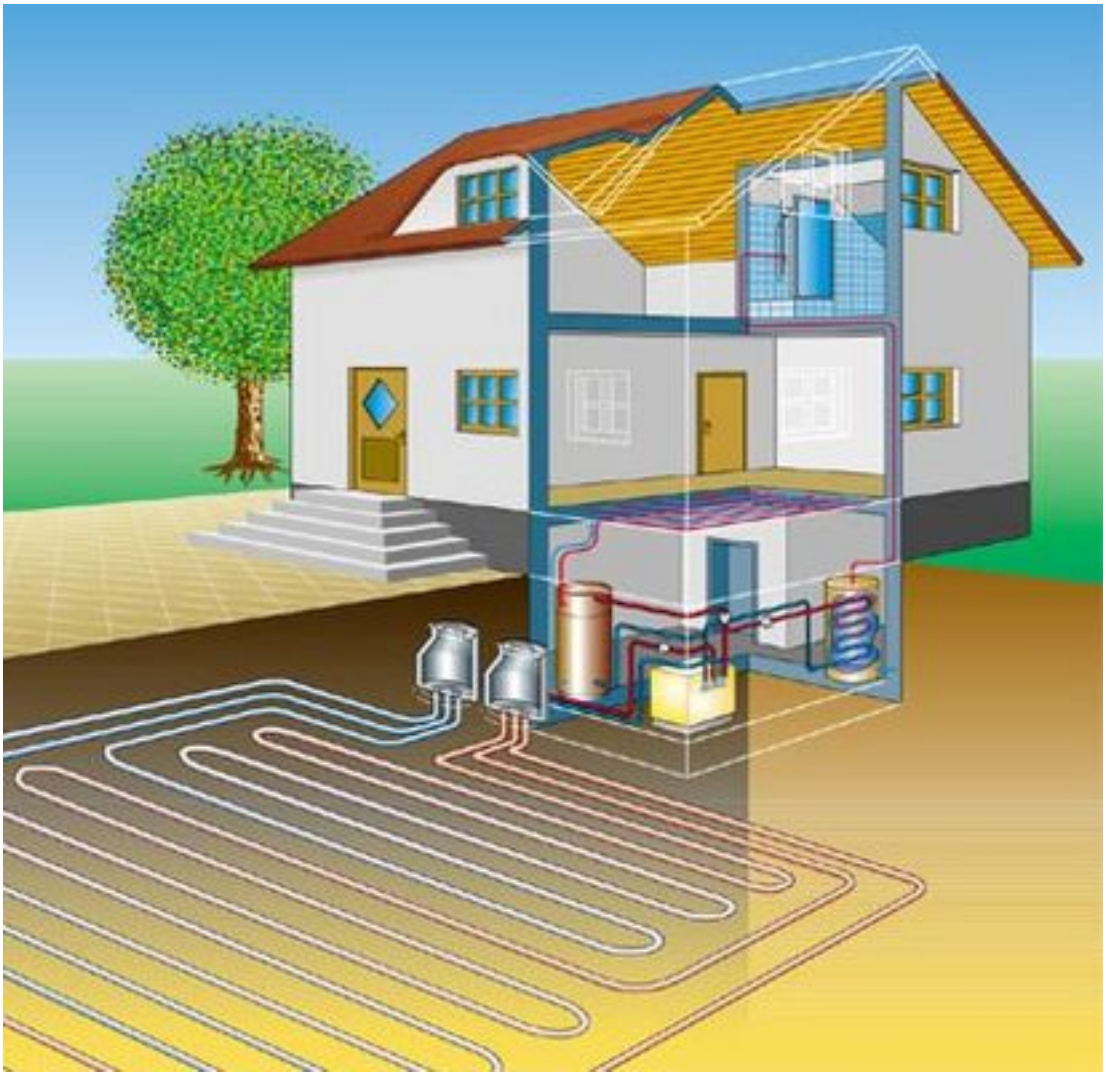
Yüzey Suyu Isı Pompaları (SWHP)

a. k. a. göl veya gölet çevrimli ısı



Şekil 3.38. Toprak Kaynaklı Isı Pompası Uygulama Şekilleri [113].

3.4.1.1. Yatay Toprak Isı Değiştiricileri



Şekil 3.39. Yatay Toprak Isı Değiştiricisi Uygulaması [114].

a. Avantajları

- Uygun maliyetler
- Isı pompasının yüksek yıllık performans katsayıları

b. Dezavantajları

- Hassas uygulama gerekliliği, usulüne uygun olmayan yerleştirmede hava birikimi problemleri
- Geniş alan gereksinimi
- Uygulanan arazinin yapılaşma için kullanılamaması

c. Yatay Toprak Isı Değiştiricisi Uygulaması İçin Pratik Notlar

- Toprak ısısının çekilmesi, toprak yüzeyine paralel ve genellikle çok devreli olarak yerleştirilen geniş yüzeyli plastik borularla gerçekleştirilmektedir. Bir devrenin uzunluğu 100 m'yi geçmemelidir, aksi takdirde ısı taşıyıcı akışkan sirkülasyonu için gerekli pompa gücü yüksek olmaktadır.
- Her devre, sistemin havasının atılmasını sağlayabilmek için, en yüksek noktada bulunması gereken bir kollektöre bağlanmaktadır.
- Zaman zaman toprakta oluşan buzlanmanın, sistemin işletimine ve yüzey bitki örtüsü üzerinde olumsuz etkileri bulunmamaktadır. Mümkün mertebe derin kök yapan bitkilerin toprak ısı değiştiricisinin uygulandığı bölgelere dikilmemesine dikkat edilmelidir.
- Boruların sivri taşlardan hasar görmemeleri için kum ile örtülmeleri de önemlidir.
- Boruların üzeri toprakla doldurulmadan önce mutlaka bir hidrolik basınç testi yapılmalıdır. Muhtemel hasarların hemen fark edilebilmesi için, basınç testine toprak dolumu yapılırken devam edilmelidir.
- Özellikle yeni inşaatlarda, gerekli toprak hafriyatları genellikle büyük bir ekstra masraf gerektirmeden yapılabilir.
- Topraktan çekilebilecek ısı miktarı, öncelikle toprağın nemi olmak üzere birçok faktöre bağlıdır. Özellikle nemli ve killi topraklarda olumlu sonuçlar alınmaktadır. Kum oranı yüksek topraklar, yatay uygulamalar için çok uygun değildir.
- Yıllık maksimum 2.000 saat tam yükteki boyutlandırma ile ilgili temel değerler için Tablo 3.7'den yararlanılması önerilmektedir.

Tablo 3.5. Yatay Uygulamada Toprak Özelliğine Bağlı Özgül Isı Çekme Kapasitesi Tablosu [86], [85], [115]

Toprak Özelliği	**Özgül Isı Çekme Kapasitesi**
	W/m²
Kumlu kuru	10
Kumlu nemli	15-20
Killi kuru	20-25
Killi nemli	25-30
Killi, suya doymuş	30-40

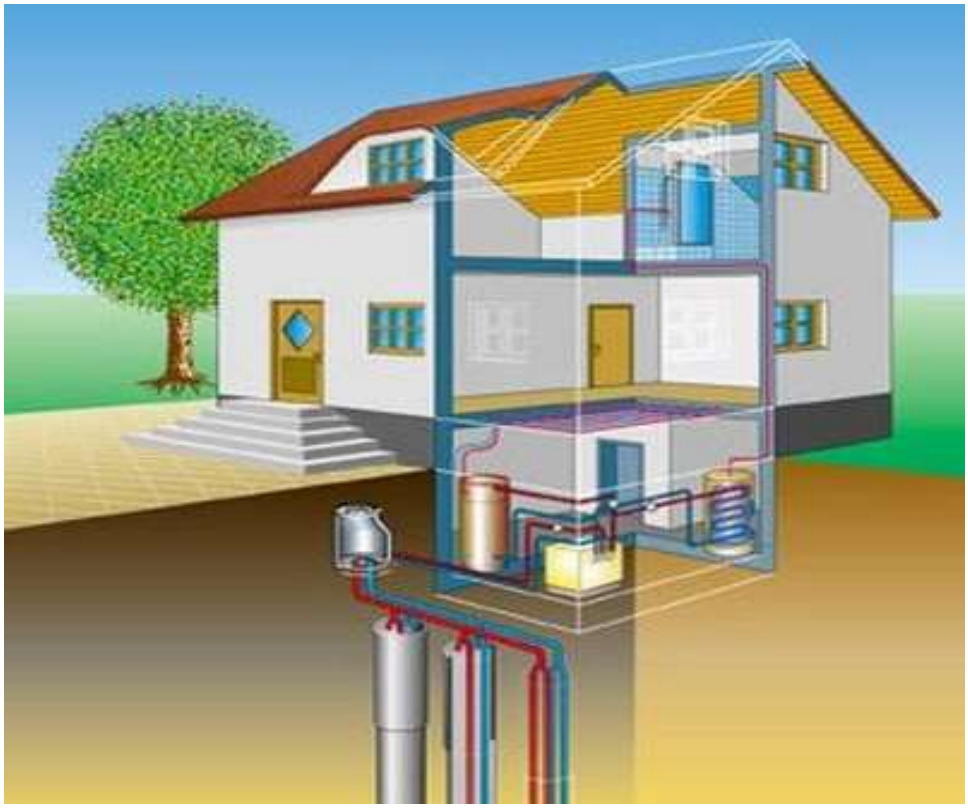
Tablo 3.6. Yatay Uygulamada Boyutlandırma İle İlgili Temel Değerler [85].

Derinlik	m	0,8 - 1,5
Maksimum devre uzunluğu	m	DN25-DN32 için 100
		DN40 için 200
Boru malzemesi		Plastik (PE80)
Boru aralıkları	m	DN25-DN32 için 0,5-0,8
		DN40 için 1,0
Boru miktarı / Alan	m/m²	1,0 - 2,0
Özgül ısı çekme kapasitesi	W/m²	10-40

Tablo 3.7. Yatay Uygulamada Gerekli Toprak Alanı Tablosu [85].

Bina Kullanım Alanı	**Binanın Özgül Isıtma Yükü**					
	W/m²					
	30	**40**	**50**	**60**	**70**	**80**
	Sadece Mahal Isıtması İçin Gerekli Toprak Alanı					
m²	**m²**					
100	90	120	150	180	210	240
125	113	150	188	225	263	300
150	135	180	225	270	315	360
175	158	210	263	315	368	420
200	180	240	300	360	420	480
	Mahal ve Kullanım Isıtması Suyu İçin Gerekli Toprak Alanı					
100	108	138	168	198	228	258
125	135	172	210	247	285	322
150	162	207	252	297	342	387
175	189	241	294	346	399	451
200	216	276	336	396	456	516
Not: Özgül ısı çekme kapasitesi q = 25 W/m² ve COP = 4 için verilen değerlerdir. Toprak altı ısı değiştirici boru çapları 40 mm ve borular arası mesafe 1m'dir.						

3.4.1.2. Dikey Toprak Değiştiricileri



Şekil 3.40. Dikey Toprak Isı Değiştiricisi Uygulaması [114].



Şekil 3.41. Dikey Toprak Isı Değiştiricisi [85].

Tablo 3.8. Dikey Uygulamada Toprak Özelliğine Bağlı Özgül Isı Çekme Kapasitesi Tablosu [88](s29), [115](s17).

Toprak ve Kayaç Özellikleri		**Özgül Isı Çekme Kapasitesi W/m**	
		1800 saat	**2400 saat**
Genel Kılavuz Değerleri			
Zayıf iletim özellikli (kuru çökelti)	λ <1,5W/m°K	25	20
Normal kayaçlı ve ıslak toprak	λ <1,5 - 3,0 W/m°K	60	50
Yüksek termal iletkenlikli birleştirilmiş	λ >3,0 W/m°K	84	70
Ayrıntılı Değerler			
Çakıl, kum, kuru		<25	<20
Çakıl, kum, doymuş		65 - 80	55 - 65
Yüksek yer altı su akışı olan çakıl kumlu zemin		80 -100	80 -100
Çamur, killi, nemli		35 - 50	30 - 40
Kireçtaşı		55-70	45-60
Kumtaşı		65 - 80	55-65
Silisiyöz magmatit (Granit)		65-85	55-70
Bazik magmatit (Bazalt)		40-65	35-55
Gnays		70-85	60-70
Kayaç yapısı ve diğer etkenler bu değerlerin değişmesine yol açabilir.			

Verilen değerler aşağıdaki durumlarda geçerlidir.

- Sadece ısı çekişi (ısıtma İşletimi)
- Her bir dikey ısı değiştirici devresi uzunluğu 40 ila 100 m arasında
- İki kuyu arasındaki minimum uzaklık:

* 40 - 50 m uzunluktaki ısı değiştiriciler İçin minimum 5m

* 50 -100 m uzunluktaki ısı değiştiriciler için minimum 6m

* DN 20, DN 25, DN 32 mm çift U-borular veya minimum çapı 60 mm olan koaksiyel boruların dikey toprak ısı değiştiricileri olarak kullanımı

Tablo 3.9. Dikey Uygulamada Gerekli Sondaj Derinliği Tablosu [85].

Bina Kullanım Alanı	**Binanın Özgül Isıtma Yükü W/m²**					
	30	**40**	**50**	**60**	**70**	**80**
	Sadece Mahal Isıtması İçin Gerekli Sondaj Derinliği					
m²	m					
100	45	60	75	90	105	120
125	56	75	94	112	131	150
150	67	90	112	134	157	180
175	79	105	131	158	183	210
200	90	120	150	180	210	240
	Mahal ve Kullanım Suyu Isıtması İçin Gerekli Sondaj Derinliği					
100	53	68	83	98	113	128
125	67	85	104	123	142	160
150	80	103	125	148	170	193
175	93	120	146	172	198	225
200	107	137	167	197	227	257
Not: Özgül ısı çekme kapasitesi q = 50 W/m ve COP = 4 için verilen değerlerdir.						

a. Avantajları:

- Güvenilir
- Az yer gereksinimi
- Isı pompasında yüksek yıllık performans katsayıları

b. Dezavantajları:

- Genel olarak yüksek yatırım maliyeti
- Bazı zeminlerde uygulama zorlukları

Kolay borulama ve az yer gereksinimi nedeniyle dikey toprak ısı değiştiricileri son yıllarda giderek yaygınlaşmaktadır. Genel olarak uç kısmında özel birleştirme parçaları (U formunda) ile birbirine kaynatılan iki veya dört paralel plastik boruya sahip boru demetinden oluşmaktadır. Plastik borular, dört borulu sistemde uç kısımlarından bağımsız akışlı iki devre oluşturacak şekilde birbirine bağlanmaktadır. Bunlara çift U borulu sistem denilir. Uygun hidrojeolojik şartlarda yüksek ısı çekişi sağlanabilmektedir. Dikey toprak ısı değiştiricilerinin yerleştirilmesi ve planlanması için toprak özellikleri ve yer altı şartları hakkında tam bir bilgiye sahip olunması şarttır. Dikey toprak ısı değiştiricileri konusunda uzmanlaşmış, malzeme seçimi ve yerleştirilmesinin yanı sıra gerekli ruhsatların alınması ile ilgili hizmetleri de sunan uzman firmalara danışılmalıdır. Uzman jeologlara veya jeoloji ile ilgili makamlara da danışılabilir. Yıllık maksimum 2.000 saat tam yükteki boyutlandırma ile ilgili temel değerler olarak Tablo 3.9'deki değerler alınabilir.

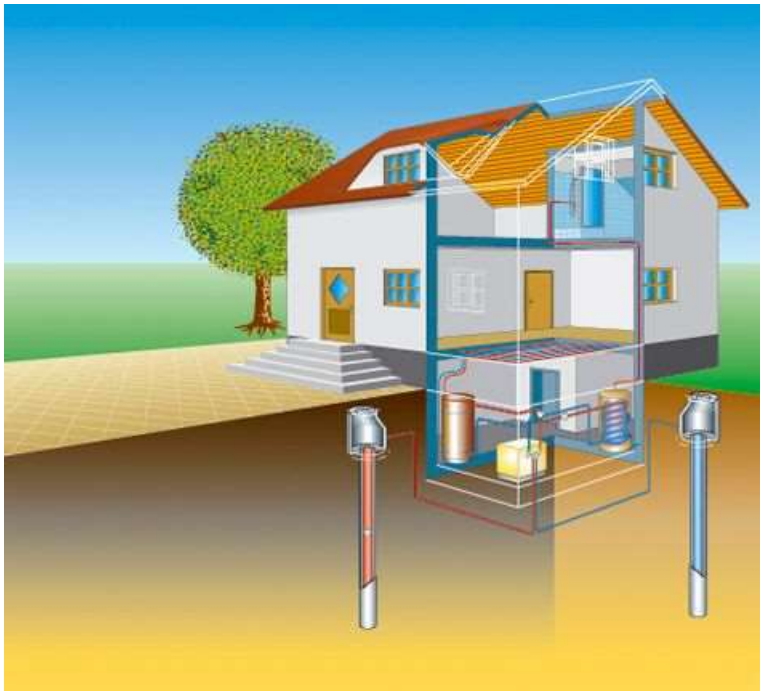
3.4.1.3. Yeraltı Suyu Uygulaması

a. Avantajları:

-Isı kaynağına ulaşmada düşük yatırım maliyeti -Az yer gereksinimi

b. Dezavantajları:

- Açık sistem
- Bakım masrafları
- Su analizi gerekli
- Yer altı suyu kullanım ruhsatı gereksinimi



Şekil 3.42. Yeraltı Suyu Uygulaması [116].

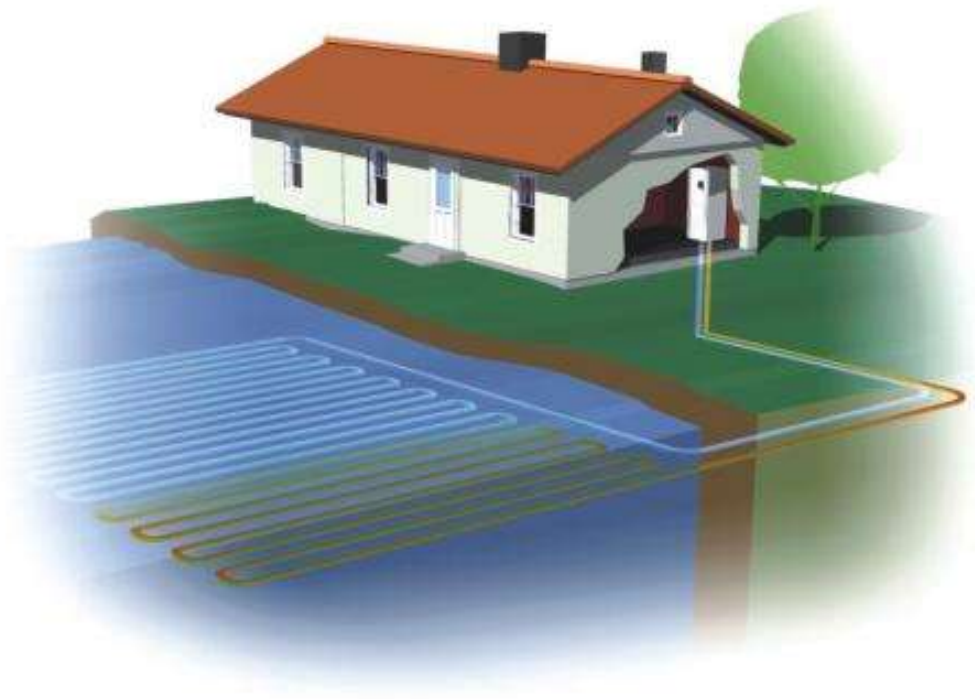
Yeraltı suyunun bir kuyudan alınması ve tekrar su akışı yönünde daha ileride başka bir kuyudan kaynağa geri gönderilerek ısının çekilmesi enerjinin daha etkin kullanımım sağlamaktadır. Bütün yıl boyunca hemen hemen sabit olan su sıcaklığı sayesinde ısı pompasında yüksek performans katsayıları elde edilmektedir. Dalgıç pompa ve diğer sistem bileşenlerinin enerji sarfiyatına dikkat edilmelidir. Küçük ölçekli sistemlerde veya çok derin kuyu uygulamalarında pompalama enerjisinin yıllık performans katsayısına etkisi mutlaka irdelenmelidir. Yeraltı suyunun ısı kaynağı olarak kullanılmasında su kalitesi, su miktarı vb. gibi etkenler önem taşımaktadır. Önce söz konusu bölgede maksimum 20 m derinlikte yeraltı suyunun yeterli miktarda olup olmadığı araştırılmalıdır. Bu konu hakkında yerel düzenlemeler, belediyeler veya bölgedeki yetkili uygulayıcı firmalardan bilgi alınabilir. Yeraltı sulan ile ilgili makamdan ısıtma amacıyla yeraltı suyunun çekilmesi ve geri verilmesi için gerekli izinler alınmalıdır.

Bir kuyu sisteminin planlanması ve uygulanması yetkili uzman sondaj firmaları taralından yapılmalıdır. Özellikle geri besleme kuyusunun yanlış uygulanması sonucunda zaman içerisinde çamurlaşma oluşabilir ve geri besleme kuyusu kullanılmaz duruma gelebilir. Hasarın giderilmesi oldukça yüksek masraflara yol açabilir. Ayrıca

böyle bir durumda ısı pompası işletimi mümkün olmadığından monovalent sistemlerde binanın ısıtılması garanti edilemez.

Suyun kalitesi su analizi ile belirlenmelidir. Sistemin işletimi sırasında da düzenli olarak su örneklerinin alınması tavsiye edilir, çünkü yeraltı suyunun bileşimi zamanla değişebilir.

3.4.1.4. Yüzey Suyu Uygulaması



Şekil 3.43. Yüzey Suyu Uygulaması [117].

Yüzey suları, ısı pompalarında açık ve kapalı devre enerji kaynakları olarak kullanılabilmektedir. Açık devre uygulamalarda göl, deniz veya ırmaklardan alınan su, genellikle bir plakalı eşanjör kullanmak sureti ile ısı pompalarında kullanılabilmektedir. Bu tip uygulamalarda titanyum, en sık kullanılan eşanjör malzemesidir. Malzeme seçiminde ve tasarım esnasında yüzey sularının, sistem bileşenleri üzerinde bırakacağı etkiler dikkate alınmalıdır. Isı atılan ve ısı çekilen yüzey suyunun kimyasal içeriğine bağlı olarak önlem alınmalı, mümkün mertebe yüzey suyu doğrudan ısı pompası su devresinden dolaştırılmamalıdır. Açık devre uygulamalarda kullanılan kaynak (yüzey

suyu) pompası ve eşanjör sonrası sekonder devre pompasının sistemdeki elektrik tüketimleri dikkate alınmalıdır. İşletim maliyetleri ve bakım giderlerinde kaynak devresi tasarımı büyük önem taşımaktadır.

Yüzey sularının ısı pompalarında kullanımının bir diğer yolu, kapalı devre ısı değiştiricileri kullanmaktır. Bu tip ısı değiştiriciler, genellikle yüzey suyu içerisine yerleştirilen borulardan oluşur. Özel uygulamalarda korozyon dayanımı yüksek ve yeterli su dolaşım kesitlerine sahip metal levha ısı değiştiriciler de kullanılmaktadır. Her iki durumda da ısı değiştirici devresi, yüzey suyundan yeterli ısıyı çekecek veya ısıyı aktaracak yüzeye sahip olmalıdır. Bu sistem, uygulama ve tasarım açısından açık sistemlerden tamamen farklıdır. Kapalı devredeki ortalama ısı taşıyıcı akışkan sıcaklığı, ısıtma ve soğutma dönemlerinde farklılık göstereceğinden, her iki işletim için gerekli ısı transfer yüzeyinin yapılan hesaplarda çok iyi değerlendirilmesi gerekir. Isı değiştiricinin, olası salınımlara karşı sabitlenmesi ve çevresel etkilere karşı korunması gerekmektedir. Sistem kapalı bir devreden oluştuğu için yüzey suyunun kimyasal etkilerine maruz kalmamaktadır. Yüzey suyu ısı değiştirici devresindeki gerekli sirkülasyon haricinde ikinci bir devre ve sirkülasyon bulunmamaktadır.

3.4.2. Toprak Kaynaklı Isı Pompası Özellikleri ve Sistem Bileşenleri

3.4.2.1. Toprak Kaynaklı Isı Pompalarında Bina İçi Isıtma Tesisatı

a. Isıtma Devreleri / Döşemeden Isıtma

Daha önce belirtildiği gibi, ısı pompalarının verimi ısıtma devreleri ile ısı kaynağı arasındaki sıcaklık farkına bağlıdır. Bu nedenle sistem mümkün olduğunca düşük gidiş suyu sıcaklıklarına göre tasarlanmalıdır. Isıtma devrelerinde bu gereksinim, düşük sıcaklık radyatörleri veya diğer geniş yüzeyli ısıtma sistemleri ile karşılanabilir. Özellikle konfor ve iç mekân tasarım serbestliği nedeniyle döşemeden ısıtma son yıllarda konut sektöründe daha fazla uygulama alanı bulmaktadır. Ek ısıtmaya gerek duyulmadan 35°C'lik gidiş ve 28°C'lik dönüş sıcaklıkları yeterli olmaktadır. Isı yalıtımı çok iyi olan konutlarda daha düşük değerler ile işletim mümkündür.

Yerden ısıtma sistemlerinin diğer bir avantajı kendi kendini dengeleme özelliğidir. En soğuk günlerde 23°C- 27°C arasındaki düşük yüzey sıcaklıklarında mahal sıcaklığının artışı, ısı transferini azaltmakta hatta özel durumlarda sıfıra kadar düşürmektedir. Özellikle geçiş mevsimlerinde gündüz güneş ışınımı etkisiyle artan mahal sıcaklıkları sonucu oluşan ısıl denge bu duruma en iyi örnektir.

Termodinamik nedenlerle gidiş suyu sıcaklığını artıran bütün ilave tertibatlar, örneğin karışım vanaları ve ilave ısı değiştiricileri kullanılmamalıdır. Böylelikle ısı pompası minimum enerji tüketimi ile en uygun şekilde işletilebilir.

b. Depo Boyler

Isı pompalarının bivalent işletiminde su hacmi, toplam ısı transfer yüzeyi vb. hidrolik özellikleri tam olarak bilinmeyen bir ısıtma sistemine bağlanabilmeleri için depo boylerler gereklidir. Ancak depo boylerler, yeni sistemlerde kolaylıkla önlenebilen bazı dezavantajlara sahiptir:

- Depo boylerler, genellikle normal çelikten imal edildiğinden oksijen bariyeri olmayan plastik borulara sahip yerden ısıtma sistemleri ile birlikte kullanıldığında, oksijen difüzyonu sistemde problemler yaratmaktadır. Bu durumda ısı pompasının ısıtma devresi, ısı değiştiricisinde pislik tutucu ile ilaveten korunmalıdır.
- Sistemin ataleti artmaktadır.
- Depo boylerler ısı pompası sistemlerinin yatırım ve işletme maliyetlerini artırır, çünkü depo boylerde sürekli bir ek ısı kaybı oluşmaktadır.

Bu nedenlerden dolayı yeni bir yerden ısıtmalı sistemde depo boyler kullanılmamalıdır. Depo boyler olmayan yerden ısıtmalı ısı pompası sistemleri ile ilgili tecrübeler, bir gün içindeki 2 saat süreli 3 elektrik kesintisinde (3x2saat) dahi mahal sıcaklığında hissedilir bir azalmaya yol açmadığını göstermektedir. Yerden ısıtma sisteminin ataleti konforun bozulmamasını sağlamaktadır. Özel durumlarda bir depo boyler gerekli ise kW ısıtma yükü başına 10-20 litre depo hacmi kabulü yapılabilir.

c. En Düşük Sistem Su Debisi

Isı pompasının nominal ısıtma kapasitesini sağlayabilmesi ve yüksek performans katsayılarına ulaşabilmesi, ancak gerekli en düşük sistem su debisi sağlanabilirse mümkün olabilmektedir. En düşük sistem su debisinden daha düşük bir sirkülasyon, ısı pompasının dönüşündeki sıcaklığın yükselmesine neden olacaktır. Bu durum ısı pompasının, soğutucu akışkan devresindeki yüksek basınç presostatının işletimi durdurmasına neden olabilir. En sık karşılaşılan durumlar;

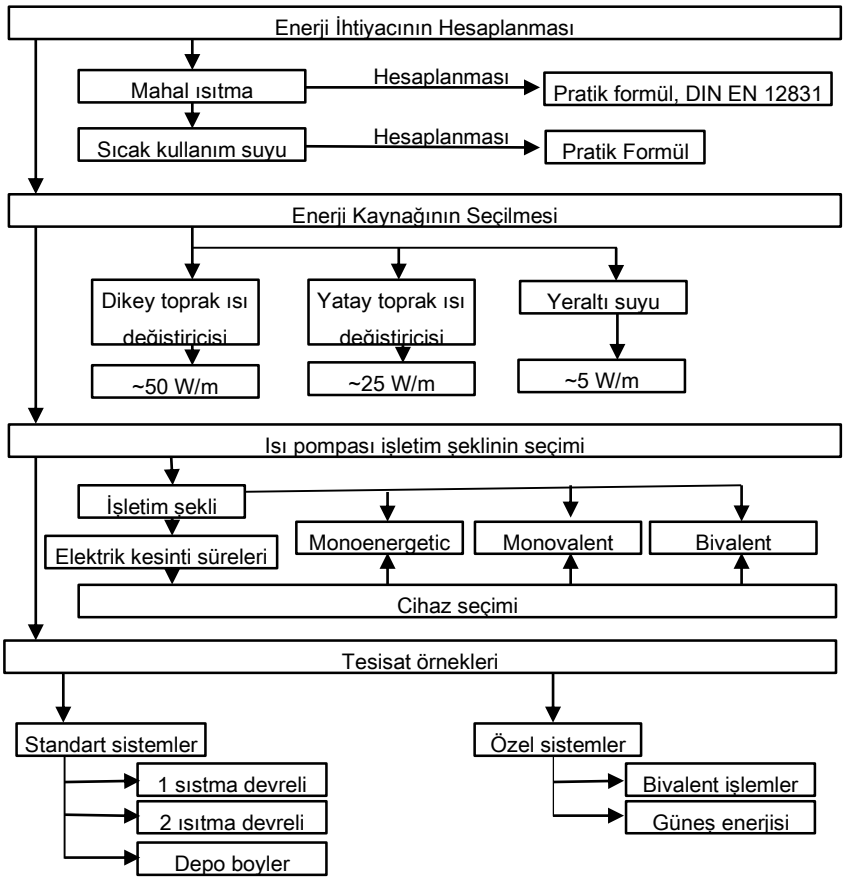
- Isıtma devresinde çok düşük debili sirkülasyon pompası kullanımı

- Isıtma devresindeki termostatik kontrollü vanaların kapatması sonucu debinin düşmesi

Hidrolik denge kapları veya aşırı akım vanaları kullanılarak benzeri durumlar önlenebilir. Genellikle, bir oda sıcaklık duyar elemanı ile doğrudan ısı pompası üzerinden kontrol edilen bir veya birden fazla sayıda ısıtma devresi de uygun bir tasarım olmaktadır.

3.4.3. Toprak Kaynaklı Isı Pompalarının Seçimi

Isı pompalı bir ısıtma sisteminin planlanması ve tasarlanması ile ilgili gerekli adımlar Şekil 3.44'de gösterilmiştir. Bu bölümde örnek olarak kullanılan bütün hesaplamalar, yaklaşık değerlere dayanıp, sadece fikir vermek amaçlıdır. Somut tasarımlar için talimat ve standartlara uygun şekilde itinalı hesaplamalar yapılmalıdır.



Şekil 3.44. Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sistemi Tasarım Adımları [85].

3.4.3.1. Bina Isı Kaybının Yaklaşık Olarak Hesaplanması

Gerçek ısı kaybı değerinin tespiti için mutlaka ilgili yönetmeliklere uygun detaylı hesaplamalar yapılmalıdır. Mevcut ve yeni binalarda ısı kaybının yaklaşık olarak tespiti için Tablo 3.10'de belirtilen özgül ısı kaybı değerlerinden yararlanılabilir.

Tablo 3.10. Mevcut ve Yeni Binalarda Özgül Isı Kaybı Değerleri [85].

Bina Isı Yalıtımı	q, Özgül Isı Kaybı
	W/m²
Özel bir yalıtım uygulanmamış eski binalar	130-200
Normal yalıtımlı eski binalar	80-130
Normal yalıtımlı yeni binalar	50-80
İyi yalıtımlı yeni binalar	30-50

Farkı Avrupa normlarında tanımlanan, çok iyi yalıtımlı binaların özgül ısı kaybı değerleri için ise Tablo 3.11'den faydalanılabilir.

Tablo 3.11. Farklı Avrupa Normlarına Göre Özgül Isı Kaybı Değerleri [85].

Bina Isı Yalıtımı	q, Özgül Isı Kaybı
	W/m²
EnEV 2002'ye göre	40-60
Düşük enerji evi (KfW 60-Standart)	25-40
Düşük enerji evi (KfW 40-Standart)	15-30
Pasif ev	10

3.4.3.2. Sıcak Kullanım Suyu İçin İlave Kapasite

Isı pompası kullanım suyu ısıtması için de kullanılacaksa, gerekli ilave kapasite tasarımı da göz önüne alınmalıdır. Kullanım suyu ısıtması için gerekli olan ısı kapasitesi öncelikle sıcak kullanım suyu gereksinimine bağlıdır. Bu, evde bulunan kişi sayısı ve arzu edilen sıcak su konforuna göre belirlenir. Normal konutlarda 45°C sıcaklıkta kişi başına 30-60 litrelik bir sıcak su tüketimi kabul edilmektedir. Gerekli ilave ısıtma kapasitesi aşağıda gösterilen şekilde hesaplanır:

$$Q_{ww} = V_w \times \rho_w \times c_w \times \Delta T_w \quad (3.12)$$

Q_{ww} : kullanım suyu ısıtması ile ilgili kişi başına ısı kapasitesi [kW/kişi]

V_w : hacimsel debi [l/(kişi x gün)]

ρ_w : suyun yoğunluğu [kg/m^3]

c_w : suyun özgül kapasitesi [kJ/kg.K]

ΔT : sıcak kullanım suyu şebeke suyu sıcaklık farkı [K]

ρ_w =1000 kg/m^3; c_w = 4,19 kJ/kg.K ve birimlerin dönüşümü ile formül basitleştirerek şu şekli alır,

$$Q_{ww} = 4{,}85 \times 10^{-5} \times V_w \times \Delta T_w \quad (3.13)$$

Sayısal değerlerin yerine konması ile kişi başına Q_{ww} ısı miktarı, kişi ve gün başına sıcak kullanım suyu miktarına bağlı olarak hesaplanabilmektedir. Birkaç standart değer için sonuçlar Tablo 3.12'de özetlenmiştir.

Tablo 3.12. Kullanım Suyu Gereksinimine Göre İlave Isıtma Kapasitesi [85].

Sıcak Kullanım Suyu Gereksinimi	**İlave Isıtma Kapasitesi**
Kişi başına günlük (l)	**kW/kişi**
30	0,051
40	0,068
50	0,085
60	0,102
Not: T_W = 45°C ve Δt = 35K'dir.	

3.4.3.3. Isı Kaynağının Seçimi

Toprak kaynaklı ısı pompaları üç değişik ısı kaynağı ile kombine edilebilmektedir:

- Dikey toprak ısı değiştiricili
- Yatay toprak ısı değiştiricili
- Yer altı suyu kaynaklı

Uygun ısı kaynağının seçimi yerel şartlara göre yapılmalıdır. Tablo 3.13'de farklı kriterlere bağlı seçim için fikir verilmektedir.

Tablo 3.13. Isı Kaynağına Göre Sistemlerin Karşılaştırması [85].

	Yatay Toprak Isı Değiştiricili	Dikey Toprak Isı Değiştiricili	Yer altı Suyu Kaynaklı
Yer İhtiyacı	+	+++	++
Verim	+++	+++	+++
Yatırım maliyeti	+++	+	++
İşletim maliyeti	+++	+++	++
Montaj	++	+++	++
Bakım	+++	+++	+
İzin	+++	++	+

3.4.4. Toprak Kaynaklı Isı Pompalarının Çevresel İncelemesi

Toprak kaynaklı ısı pompaları, Kuzey Amerika ve Avrupa'da çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüz ısı pompası teknolojileri ile yoğuşmalı kazanlara kıyasla % 20-35, sıvı yakıtlı kazanlara kıyasla % 30-45 birincil enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Bununla birlikte, gaz ve sıvı yakıtlı ısıtma kazanlarından farklı olarak, ısı pompalarında elektrik enerjisi kullanılmasından dolayı bölgesel olarak kirletici emisyonlar oluşmaz. Elektrik üretimi esnasında enerji santrallerinde oluşan emisyonlar ise çoğu modern enerji santralinde yüksek maliyetli atık gaz temizleme sistemlerinde filtrelenir. Böylece, küresel ölçekte ve çok nüfuslu yerleşim alanlarında emisyonların azaltılmasında önemli katkı sağlanır.

Toprak kaynaklı ısı pompaları için kaynak olarak kullanılan yer altı, ısıtma ve soğutma için termal depo olarak da kullanılabilir. Güneş ve jeotermal gibi yenilenebilir kaynaklardan sağlanan enerji veya çeşitli atık ısılar, kullanılamadığı dönemlerde depolanıp daha soma kullanılabilir. Aynı durum soğutma uygulamaları için depolanabilen çevresel soğuk için de geçerlidir. Destek ve depo boyler sistemlerinden bölgesel ısıtma veya endüstriyel proseslerde faydalanmak da mümkündür. Yer altı, özellikle yüksek miktarda sıcak veya soğuk termal enerji depolamanın uzun zaman periyotlarında yapılması için uygundur.

Çalışmanın bu bölümünde, *VDI 4640* kılavuzu temel alınarak yer altı ısı kaynaklarının kullanımına yönelik temel kavramlar ve çevresel konular incelenecektir. Amaç, doğru sistem tasarımı, uygun malzeme seçimi, sondaj, montaj ile değişik sistem

entegrasyonlarının yapılabilmesi ve yer altının termal kullanımı için yapılacak çalışmaların doğru yürütülmesine yardımcı olmaktır. Bu yolla ekonomik ve teknik anlamda en uygun sistemler, uzun süreli işletimlerde dahi kesintisiz ve çevreye negatif etki yaratmadan çalışan sistemlerdir

Formüllerde kullanılan sembol ve indisler

a Isıl yayılma (m^2/s)

e_g Tüketim faktörü (PE / β_a)

ε Performans katsayısı (COP)

β_a Mevsimsel performans faktörü (SPF)

ζ Absorpsiyonlu veya yanmalı motor tahrikli ısı pompalarının COP'si

ζa Absorpsiyonlu veya yanmalı motor tahrikli ısı pompalarının yıllık performans faktörü

λ Isı iletim kabiliyeti W/(m·K)

ρ Yoğunluk kg/m3

cp Sabit basınçta özgül ısı kapasitesi kJ/(kg·K)

$\rho \cdot cp$ Hacimle ilişkili özgül ısı kapasitesi kJ/(m^3·K)

T Sıcaklık K

PE Birincil (birincil) enerji faktörü

3.4.4.1. Tanımlar

Akifer, yer altı suyu ile dolu yer katmanları veya kayaçlar olarak tanımlanır. Hidrolik iletkenliğinden dolayı absorbe etme, depolama veya yer altı suyu geçişi için uygundur.

Toprak altı yatay ısı değiştiricileri, yatay veya yeryüzünün ilk 5 metrelik katmanında eğimli olarak döşenen boru devresidir.

Toprak altı dikey ısı değiştiricileri, yeraltında dikey veya eğik döşenen boru devreleridir.

Jeotermal enerji, dünya yüzeyinin altında ısı olarak depolanan enerjidir.

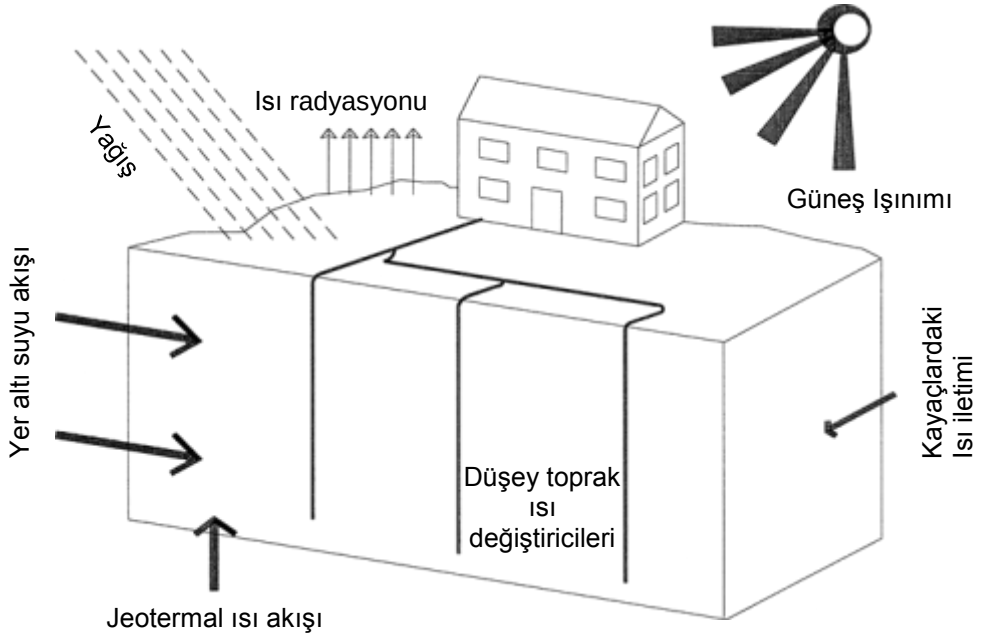
Denge katmanı, yeraltında sıcaklığı yılda 0,1 K den fazla değişmeyen yüzeye yakın yer katmanıdır. Genellikle 10-20 m arası derinliktedir.

Yer altı, dünya yüzeyinin altındaki tüm materyaller için kullanılır. Bu terim toprak ve kayalardaki mineraller, gözenek dolgusu (gaz ve sıvı) ve organik maddeleri (örneğin kökler) içerir.

Çevre enerjisi (ısısı), havada, yüzey sularında (nehirler, göller, denizler vb.) ve dünya yüzeyinin üstündeki diğer doğal maddelerde depolanan enerjidir.

3.4.4.2. Yer Altı Isı Rejimi

Dünyanın ortalama yıllık yüzey sıcaklığı 13°C'dir ve güneşin radyasyon enerjisi, jeotermal ısı akışı ve bu faktörlerin değişkenleri arasındaki denge tarafından belirlenir (Şekil 3.45). Yerküre içinden gelen ısı akısının, çok küçük olması nedeniyle (1.000 W/m2 güneş radyasyonuna kıyasla 0,05-0,12 W/m^2), dünya yüzeyindeki enerji dengesindeki payı oldukça düşüktür. Isı atılması veya ısı çekişiyle doğal şartlar bozulduğunda eksik veya fazla ısı tekrar dengelenmelidir. Yer atındaki iletim ve taşınım ile ısı transferi (yeraltında radyasyon göz ardı edilmelidir) tüm uygun kaynaklardan gerçekleşebilmektedir.



Şekil 3.45. Yeraltında Yüzeye Yakın Termal Rejim [118].

Toprak kaynaklı ısı pompası uygulamalarında, gereken ısının, toprak altı yatay ısı değiştiricilerine veya kaynak kuyusuna kolay ulaşabilmesi veya uzaktan beslenebilmesi için toprağın yüksek ısı iletim kapasitesine sahip olması istenir.

Termal enerji depolamasında, yüksek ısı iletim katsayısı, aynı zamanda depolanan sıcak veya soğuğun daha fazla kaybı anlamına gelir.

Isı iletim kabiliyeti, kararlı halde ısı iletim katsayısı λ (W/m·K) ile değişken halde ise ısı yayılım katsayısı *a* (m^2/s) ile ifade edilebilir. Özgül ısı kapasitesi, ($\rho \cdot cp$) termal enerjinin ($kJ/m^3 \cdot K$) depolanması için belirleyicidir. Kayaç oranıyla birlikte akışkan oranı da dikkate alınmalıdır. Belirtilen parametreler için örnekler Tablo 3.14'de verilmiştir. Kayaçların ısıl iletkenliği farklı yönlerde (anizotropik) farklılık gösterebilir.

Hidrolik iletkenlikte, yeraltının yekpare veya parçalanmış kayaç olup olmamasına bağlı olarak, gözenek ve çatlak yapıları, dolayısı ile geçirgenlikler arasında farklılık oluşur. Hidrolik iletkenlik, yer altı suyunu ileten kesitlere bağlı olduğundan, parçalanmış kayanın hidrolik iletkenliği özellikle boşluk (çatlaklar, yarıklar ve hasarlar) boyutu ve yayılımı, çatlakların açılma genişliği ve sıklığı ile belirlenir. Yekpare kayaçların geçirgenliği için kılavuz değerler Tablo 3.15'de verilmiştir. Parçalanmış kayaçların su geçirgenliğinde farklılıklar söz konusudur ve çoğunlukla çatlakların düzensiz bulunmasından kaynaklanır. Bu heterojen yapı, özellikle parçalanmış kayaçlarda görülür ancak detaylı incelemelerin ardından termal amaçlar için kullanılabilir. Yeraltının ısıl dengesine jeotermal ısı akısının katkısı, derinliğe bağlı olarak büyük ölçüde değişir (Şekil 3.45). Pratikte, yalnız toprak kaynaklı ısı pompası uygulamalarında faydalanılabilecek 10-20 m derinliğindeki denge katmanına kadar olan yüzeye yakın uygulamalarda, yer altının ısı fazlasını veya eksiğini dengelemek için gerekli enerji, yalnızca güneş ışınımı ve yeryüzünden süzülen su akışından sağlanır ve jeotermal ısı akısı etkisi göz ardı edilebilecek seviyededir. 20-100 m arası derinliklerde ise jeotermal ısı akısının katkısı büyüktür. Daha derin uygulamalarda (100 m'den derin) temel enerji kaynağı, jeotermal ısı akısıdır.

Tablo 3.14. Yer Altı Bileşenlerinin Isıl İletkenliği ve Hacimsel Özgül Kapasitesi Örnekleri [118](s.10-11).

	Kayaç Tipi		Isı İletim Katsayısı λ W/(m·K)		Hacimsel Özgül Isı Kapasitesi $\rho \cdot cp$ MJ/(m^3·K)	Yoğunluk ρ 10^3 kg/m^3
				Önerilen Değerler		
Parçalanmış kayaçlar	Kil / silt, kuru		0,4–1,0	0,5	1,5–1,6	1,8–2,0
	Kil / silt, suya doymuş		1,1–3,1	1,8	2,0–2,8	2,0–2,2
	Kum, kuru		0,3–0,9	0,4	1,3–1,6	1,8–2,2
	Kum, nemli		1,0–1,9	1,4	1,6–2,2	1,9–2,2
	Kum, su ile doyurulmuş		2,0–3,0	2,4	2,2–2,8	1,9–2,3
	Çakıl / taşlar, kuru		0,4–0,9	0,4	1,3–1,6	1,8–2,2
	Çakıl / taşlar, su ile doyurulmuş		1,6–2,5	1,8	2,2–2,6	1,9–2,3
	Kadar / balçık		1,1–2,9	2,4	1,5–2,5	1,8–2,3
	Turba, yumuşak linyit		0,2–0,7	0,4	0,5–3,8	0,5–1,1
Tortul kayaçlar	Kil / silt taşı		1,1–3,4	2,2	2,1–2,4	2,4–2,6
	Kumtaşı		1,9–4,6	2,8	1,8–2,6	2,2–2,7
	Konglomera / breş		1,3–5,1	2,3	1,8–2,6	2,2–2,7
	Marn		1,8–2,9	2,3	2,2–2,3	2,3–2,6
	Kalker		2,0–3,9	2,7	2,1–2,4	2,4–2,7
	Dolomit kaya		3,0–5,0	3,5	2,1–2,4	2,4–2,7
	Sülfat kaya (anhidrit)		1,5–7,7	4,1	2,0	2,8–3,0
	Sülfat kaya (jips)		1,3–2,8	1,6	2,0	2,2–2,4
	Klorür kaya (kaya tuzu, potas)		3,6–6,1	5,4	1,2	2,1–2,2
	Antrasit		0,3–0,6	0,4	1,3–1,8	1,3–1,6
Magmatik kayaçlar	Tüf		1,1	1,1		
	Volkanitler, orta düzeyde asidik	Örneğin riyolit, trakit	3,1–3,4	3,3	2,1	2,6
		Örneğin latit, dasit	2,0–2,9	2,6	2,9	2,9–3,0
	Volkanitler, alkaliden aşırı-alkalilere	Örneğin andezit, bazalt	1,3–2,3	1,7	2,3–2,6	2,6–3,2
	Pluto, orta düzeyde asidik	Granit	2,1–4,1	3,2	2,1–3,0	2,4–3,0
		Siyenit	1,7–3,5	2,6	2,4	2,5–3,0
	Pluto, alkaliden aşırı-alkalilere	Diyorit	2,0–2,9	2,5	2,9	2,9–3,0
		Gabro	1,7–2,9	2,0	2,6	2,8–3,1
Metamorfik kayaçlar	Hafif metamorfik	Kil kayrak	1,5–2,6	2,1	2,2–2,5	2,4–2,7
		Kuvarslı bir tür kaya	4,5–5,0	4,5	2,2	2,5–2,7
	Orta ve yüksek metamorfik	Mermer	2,1–3,1	2,5	2,0	2,5–2,8
		Kuvarsit	5,0–6,0	5,5	2,1	2,5–2,7
		Mika taşı	1,5–3,1	2,2	2,2–2,4	2,4–2,7
		Gnays	1,9–4,0	2,9	1,8–2,4	2,4–2,7
		Amfibolit	2,1–3,6	2,9	2,0–2,3	2,6–2,9
Diğer Maddeler	Bentonit		0,5–0,8	0,6	~3,9	
	Beton		0,9–2,0	1,6	~1,8	~2,0
	Buz (–10 °C)		2,32		1,87	0,919
	Plastikler (HD-PE)		0,42		1,8	0,96
	Hava (0 °C - 20 °C)		0,02		0,0012	0,0012
	Çelik		60		3,12	7,8
	Su (+10 °C)		0,59		4,15	0,999

Not 1: Gevşek kaya yoğunluğu, birleşimi ve su içeriği ile büyük ölçüde değişir.
Not 2: Kumtaşı, konglomera ve breşlerin Isı iletim kabiliyetleri özellikle geniş bir aralıktadır. Malzemedeki tane dağılımı, suya doygunluk derecesi ve ek olarak bağlayıcı matris malzemesinin önemli etkisi vardır.

Tablo 3.15. Parçalanmış Kayaçların Geçirgenlik Kılavuz Değerleri (DIN 18 130-1) [118](s.12)

Parçalanmış Kayaçlar	Geçirgenlik, kf	Geçirgenlik Değeri
	m/s	
Saf çakıl	$>10^{-2}$	Çok güçlü geçirgen
Kumul çakıl, orta/kaba kum	10^{-4} -10^{-2} arası	Çok geçirgen
İnce kum, çamursu kum	10^{-6} -10^{-4} arası	Geçirgen
Çamur, killi çamur	10^{-8} -10^{-6} arası	Zayıf geçirgen
Kil, çamurlu kil	$<10^{-8}$	Çok zayıf geçirgen

3.4.4.3. Sistem Tasarımı İçin Prensipler

Yer altının termal kullanımı için sistem tasarımında, iki durum ayrı ayrı incelenmelidir.

- Kısa süreli etki (sistemin en yüksek kapasitede işletimi)
- Uzun süreli etki (sistemin orta kapasitede uzun süreli işletimi)

Her iki durumda, sistem tarafından belirlenen sıcaklık limitleri (örneğin; ısı pompası minimum buharlaşma sıcaklığı) ve yer altı tarafından belirlenen sıcaklık limitleri dikkate alınmalıdır.

Yeraltından çekilen veya yeraltına aktarılan ısı ve bina veya prosesin ısıtma-soğutma ihtiyacı ile ilgili detaylı çalışma yapılması önemlidir. Isı pompası, ısıtma işletiminde etkinlik katsayısı (COP) 4,0 olan bir ısı pompası için 3 kW'lık enerji evaporatörde yeraltından, 1 kW'lık elektrik enerjisi ise ısı pompası kompresörü için şebekeden çekilir. Bunun karşılığında kondenserden 4 kW'lık ısıtma enerjisi elde edilir. Aynı şekilde diğer ısı pompası sistemlerinde de benzer durum geçerlidir.

Yatay toprak ısı değiştiricili ısı pompalarında, ısı değiştiricinin küçük boyutlandırılmasının, tam kapasiteli işletimde bitkilerin büyümesine bölgesel ve sınırlı etkileri olabilir (soğuk hava periyodunun uzaması durumunda). Genelde, küçük boyutlandırma düşük ısı kaynağı sıcaklıklarına ve böylece daha düşük yıllık performans katsayısına neden olur. Bazı durumlarda, ısı kaynağı sıcaklıkları, ısı pompasının en düşük işletim sıcaklık limitlerine ulaşabilir.

Dikey toprak ısı değiştiricili ısı pompaları için ısı değiştiricinin küçük boyutlandırılması, tam yükte işletimde kısa süreli düşük kaynak sıcaklıklarına neden

olabileceği gibi, en düşük işletim sıcaklık limitine kadar düşmesi ile de sonuçlanabilir. Ayrıca, yer altının termal yenilenmesi yetersiz ise, küçük boyutlandırma sebebiyle, uzun vadede ısı kaynağı sıcaklıklarının kalıcı olarak düşmesi söz konusudur.

Yer altının ısıl depolama için kullanımında, hatalı boyutlandırma, ısıtma veya soğutma periyodunun bitişinden önce yetersiz ısıtma ve soğutmaya neden olabilir. Bu nedenle, yedek sistemler devreye girmek zorunda kalır veya gerekli ısıl depolama kapasitesine erişilemez.

a. Yer Altı Suyu İle İlgili Genel Şartlar

Yer altının termal kullanımı ile enerji elde edilen sistemlerin tasarım, uygulama ve işletiminde, su ile ilgili yürürlükte olan tüm yerel ve ulusal yönetmelik ve esaslara uyulmalıdır. Ayrıca, yer altının termal kullanımında, yer altı suyunun çekilmesi ve tekrar geri atılması için ilgi tüm yönetmelik ve düzenlemelere uyulmalıdır.

- Yer altı su kaynakları dikkatli kullanılmalıdır.
- Suya zararlı maddeler, yer altı suyuna karıştırılmamalıdır.
- İçme suyu koruma bölgelerinde, içme suyu çıkartma sistemlerine ait depolama alanları ve kaplıca suyu kaynakları vb. koruma bölgelerinde, yer altı suyunun termal kullanımına genellikle izin verilmez.
- İçme suyunun sağlandığı alanlar, diğer kullanımların üstünde sınırsız önceliğe sahiptir. Bu prensip, yerleşim bölgelerindeki evsel kuyulardan sağlanan su ile beslenen ve koruma alanı bulunmayan yerlerde de uygulanır.
- Termal kullanım için yüzeye yakın ve serbest su kaynakları öncelikli olarak kullanılmalıdır, daha derinlerdeki yer altı suyunun kullanılmasıyla ilgili tüm düzenlemeler dikkate alınmalıdır.
- Yer altı suları, soğutma amaçlı kaynak olarak, ancak yeterli yüzey suyu veya yüzeye yakın yer altı suyu kaynağı bulunamıyorsa kullanılmalıdır.
- Kaynak olarak kullanılan yer altı suyu, farklı bir noktadan akifere geri atılmalıdır.
- Yer altı suyunun kirlenerek içeriğinin zararlı hale gelmesi veya olumsuz yönde değişmesi engellenmelidir.
- Sistem kurulumlarında, sızıntı veya kaza halinde insana ve çevreye zarar verebilecek maddeler içermeyen malzemeler kullanılmalıdır.

- Yüksek su debileri ve su kaynağı gereksinimi olan büyük sistemlerde (>150 kW ısı çekilmesi veya ısı atılması) kaynağın debi, sıcaklık gibi değerleri ölçülmeli ve tasarım bu değerlere uygun yapılmalıdır.

b. Derin Katmanda Bulunan Yer Altı Sularının Kullanımında Genel Şartlar

- İkincil veya daha derin katmanlardan elde edilen yer altı sularının kullanımında çok dikkatli olunması gerekmektedir.
- Isıtılan veya soğutulan yer altı suyunun kullanılan akifere geri atılması, mutlaka ikinci bir kuyu ile sağlanmalıdır.
- Çok sayıda yatay yer altı suyu katmanının geçilmesi gerekiyor ise, zeminin doğal sızdırmazlık özelliğine eşdeğer su sızdırmazlığı sağlanmalıdır. Kirletici parçacıkların taşınması ve farklı yer altı sularının birbirine karışması önlenmelidir.
- Akiferdeki doğal su basıncı ve mevcut şartlar, ısıtılan veya soğutulan suyun tekrar gönderilmesi ile korunmalıdır.
- Yer altı suyunun, derin yer altı su katmanlarından çekilmesi ve tekrar geri atılması belirli bir yer altı suyu katmanına kadar sınırlandırılmalıdır.

3.4.4.4. Yatay ve Dikey Toprak Isı Değiştiricili Isı Pompası Sistemleri İle İlgili Genel Şartlar

- Yer altı suyu, planlanan toprak altı ısı değiştiricisi derinliğinde olduğunda, ancak bağımsız su katmanı mevcut ise uygulama yapılmalıdır. Doğrudan buharlaşmalı toprak altı ısı değiştiricileri (boru devresinde doğrudan soğutucu akışkanın dolaştığı özel uygulamalarda) ise herhangi bir kaçak durumunda, soğutucu akışkanın yer altı suyuna karışması riskinden dolayı, en üst yer altı suyu katman seviyesinin tamamen üzerinde bulunmalıdır.
- Kapalı devredeki ısı taşıyıcı akışkan, standartlarda tanımlanan özelliklere uygun olmalıdır.
- Sondaj işlemi esnasında yer altı kaynakları kirletmemelidir.
- Derin yer altı suyu kaynaklarının bulunduğu durumlarda, mutlaka yerel ve ulusal yönetmeliklere uygun hareket edilmesi gerekir.
- Yer altı suyunun özellik değişimi sadece sıcaklık değişimi olmalıdır.

- Derin katmanlardaki suyun kimyasal özelliği, yüksek katmanlarda bulunan su ile temas var ise veya farklı özelliklerdeki katmanlarda bulunan su ile karışıyorsa değişir.
- Yüksek verimli derin katmanlarda, içme suyu olarak çıkarmaya uygun yer altı suyu rezervleri, genellikle içme suyu için kullanılırlar. Dikey toprak ısı değiştiricilerinin, bu tür korunması gereken rezervlere montajına genellikle izin verilmemektedir.

3.4.4.5. Isı Pompaları Emniyet Ekipmanları

Isıtma amacı ile kullanılan ısı pompaları, dahili emniyet ekipmanları ile korunur (yüksek, düşük basınç presostatları gibi). Hava ile temas etmesi halinde yanabilir forma geçen akışkan ile çalışan ısı pompalarında, özellikle tesisat odası için özel emniyet önlemleri uygulanır. Sistem, kaynak devresinde veya ısıtma devresinde olası yüksek basınç ve sıcaklıklara karşı kontrol ve emniyet altında olmalıdır. Isı pompaları emniyet ekipmanları için DIN 8901 referans alınmalıdır.

3.4.4.6. Saha Değerlendirmesi

Yerleşim, yer altının ısıl kaynak olarak kullanımı için sistemin tasarım ve planlanmasında belirleyici önem taşır. Yer üstü yerleşimin yanı sıra yer altı jeolojik şartlar da önemli rol oynar. İçme suyu ve termal su koruma alanları gibi belirleyici unsurlar yerleşim alanının belirlenmesinde göz önünde bulundurulmalıdır.

3.4.4.7. Yerleşim Şartları

Sistemin büyüklüğü, erişilebilirliği, binalar, bitki örtüsü gibi etkenler dikkate alınmalıdır. Yer altında ise toprak ısı değiştiricileri montajı, kablolama, drenaj gibi unsurlar dikkate alınmalıdır.

Jeolojik yapı ve bölgenin yer altı suyu şartları, yer altının termal kullanımı için belirleyicilik teşkil eder. Farklı yöntemlerin kullanımı (örneğin dikey, yatay, toprak ısı değiştiricileri) farklı sistem tasarımlarım gerektirmektedir. Jeolojik çalışmalar, projelendirme aşamasında dikkate alınmalı ve mümkün olduğunca ekonomik yürütülmelidir.

a. 30 KW Isıtma Kapasitesine Kadar Küçük Ölçekli Sistemler

Küçük ölçekli uygulamalarda, tasarım ve planlama çoğunlukla kabuller ve tahminlere göre yapılır. Detaylı jeolojik ve hidrojeolojik yer altı değerlendirmesi veya jeofiziksel ölçümler gerekirse, yetkili ve tecrübeli sondaj ve araştırma firmalarına başvurulmalıdır. Türkiye'de yeraltı özelliklerini tespit etmek ve toprağın ısıl direncini belirleyebilmek amacıyla Çukurova Üniversitesi'nde bulunan bir araç ile ölçüm yapılabilmektedir.

Jeoloji ile ilgili çalışmalar yapan kuramların, jeolojik haritaları genellikle 1:25.000 ölçeklidir. Özellikle kentlerde, jeolojik haritaların yanı sıra jeoloji mühendislerinin araştırma raporları ve hidrojeolojik haritalardan da faydalanılabilir. Bu haritalarda, çoğunlukla derin kuyu profilleri de bulunmaktadır. Jeoloji mühendisleri odası, MTA ve benzeri meslek odaları veya kuramlardan bu haritalar ve gerekli bilgiler tedarik edilebilir. Var olan yer altı su kaynaklarının tespiti için pompa testi ile ölçüm yapılmalıdır. Böylece kaynak olarak değerlendirilebilecek su debisi tespit edilir.

b. Büyük Sistemler İçin Gerekli Ek Araştırmalar

Özellikle büyük projelerde, mevcut literatürün ve haritaların yanı sıra yakınlardaki sondaj, kuyu ve çatlaklardan alınan jeolojik bilgiler de kullanılabilir. Açılan kuyularda akiferlerin hidrolik özellikleri, kuyu testleri ve akış ölçümleri kullanılarak belirlenebilir. Jeofiziksel araştırmalar yalnız kuyulardan değil yeryüzünden de yürütülebilir. Jeoelektrik yöntemler (direnç ölçümleri, öz potansiyel ölçümleri) ve elektromanyetik ölçümler, mevcut kuyular arasındaki bazı katmanların yerinin belirlenmesinde kullanılır.

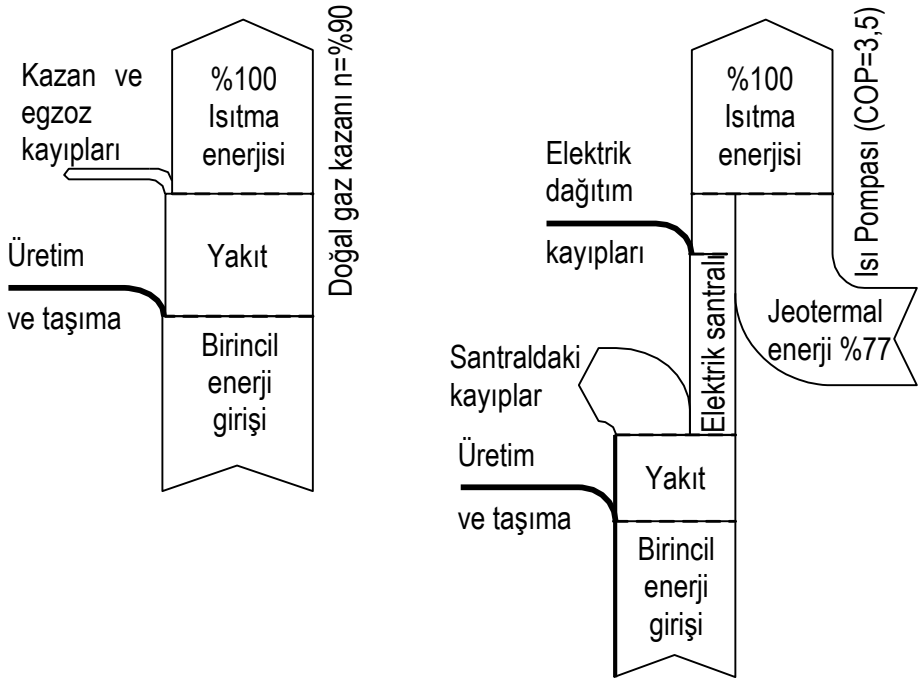
3.4.4.8. Toprak Kaynaklı Isı Pompalarının Çevresel Etkileri

Toprak kaynaklı ısı pompalarının kullanımında ve yaygınlaşmasında temel etken, sıvı veya gaz yakıtlı klasik ısıtma sistemlerine kıyasla olumsuz çevresel etkilerin büyük ölçüde azaltılmasıdır. Ayrıca, elektrikli ısı pompaları, ülkelerin sıvı veya gaz yakıtlar gibi ithal edilen fosil enerji kaynaklarına bağımlılığını azaltır.

a. Birincil Enerji Gereksinimi ve CO2 Emisyonları

Farklı ısıtma teknolojilerinin enerji tüketim ve emisyonları karşılaştırılırken, birincil enerji girişinden faydalı ısı enerjisi üretimine kadar tüm proses dikkate

alınmalıdır. Tablo 3.160'da DIN V 18599-1'den alınan birincil enerji faktörleri verilmektedir. Tablodan $PE_{Elektrik}$ = 2,7 ve Doğal gaz yakan bir kazan için PE_{gaz} = 1,1 olarak bulunmaktadır. Aynı şekilde "DIN V 4701-10:2003-08 Tabelle C3-4c" [119]'den Toprak-Su kaynaklı ısı pompası için tüketim faktörü e_g = 0,23 ve gaz yakan yoğuşmalı bir kazan için "Tabelle C3-4d"den e_g = 1,00 olarak bulunmaktadır. Şekil 3.46'deki enerji akış diyagramlarında gösterildiği gibi, klasik ısıtma sistemlerine kıyasla ısı pompası, bedelsiz çevre ısısını kullanarak birincil enerji tasarrufuna önemli katkı sağlar.



Şekil 3.46. Klasik Isıtma Teknolojileri ve Isı Pompası Enerji Akış Diyagramı [85].

Tablo 3.16. Birincil (Birincil) Enerji Faktörleri [120](s.52), [119](s.139).

Enerji Kaynakları[a]		Pirimer Enerji Faktörü (PE) f_P	
		Toplam	Yenilebilir payı dışında
		A	B
Yakıtlar	Kalorifer yakıtı	1,1	1,1
	Doğal gaz	1,1	1,1
	LPG	1,1	1,1
	Antrasit	1,1	1,1
	Linyit	1,2	1,2
	Ahşap	1,2	0,2
Yerel/Bölgesel ısıtma Kojenerasyon[b]	Fosil yakıt	0,7	0,7
	Yenilenebilir yakıtlar	0,7	0,0
Yerel / Bölgesel ısıtma	Fosil yakıt	1,3	1,3
	Yenilenebilir yakıtlar	1,3	0,1
Elektrik	Elektrik mix	3,0	2,7

[a] Çevre Enerjisi (Güneş enerjisi, Çevre ısısı) Birincil enerji faktörü $f_P = 0$ olarak hesaplanır.
[b] Yerel / Bölgesel ısıtma ortalama %70 Kojenerasyon payı için tipik veridir.
[c] Nihai enerji referansı: Isıl değer H_U

Günümüz ısı pompası teknolojisi sayesinde, ısıtmada sıvı yakıtlı kazanlara oranla %30-45, yoğuşmalı gaz yakıtlı kazanlara oranla % 20-35 enerji tasarrufu sağlamak mümkündür.

Isı pompaları, mahal ve su ısıtması için fosil yakıt kullanımının azaltılması ile CO2 emisyonlarının azaltılmasına da önemli katkı sağlarlar.

Böylece, bugünün teknolojisinde ısı pompaları ile sıvı yakıtlara oranla % 45-55, gaz yakıtlı yoğuşmalı kazanlara oranla % 15-30 daha az CO2 emisyonunu sağlamak mümkündür.

Isı pompaları kullanımı ile elde edilen bu olumlu sonuçların yanı sıra iki önemli faktör ısı pompalarının yararına geliştirilmeye devam edilmektedir:

- Kazan teknolojisinin tersine ısı pompaları, hala birincil enerji tasarrufu ve CO2 salınımı anlamında büyük bir gelişme potansiyeline sahiptir.
- Elektrik üretiminde devam eden verimlilik artışı ve elektrik üretiminin toplam dünya tüketimi içerisinde artan oranı, mevcut ve gelecekteki ısı pompalarına sağlanacak en büyük faydadır.

b. Isı Pompalarında Isı Transferini Sağlayan Akışkanların Çevreye Olan Etkileri

Isı pompasının sera gazı salınımına etkisi değerlendirilirken TEWI konsepti kullanılabilir. TEWI değeri, (Toplam Eşdeğer Isıtma Etkisi) kaçaklar, servis (doğrudan) ve enerji tüketimi (dolaylı) değerlerini içerir, işletme ömrü ve ısı pompası işletimi süresince salınan CO_2 gazına eşdeğer sera gazı toplamını verir. TEWI değerlendirmelerinin, monovalent elektrikli ısı pompası ve klasik kazanlar için sonuçlan, ısı pompası kullanımıyla sera etkisinin belirgin derecede azaldığını göstermektedir.

Isı pompası teknolojisinde CFC'den klorsuz HFC soğutucu akışkana geçiş (Tablo 3.17) sera etkisine doğrudan etkiyi azaltır. Doğal soğutucu akışkan (örneğin propan, CO_2) kullanımı ve ısı pompalarının hermetikleştirilmesi ile bu etkiyi çok daha fazla azaltmak mümkündür. Isı pompaları, yüksek enerji ve yıllık performans faktörlerinin elde edilmesiyle sera etkisinin azaltılmasında önemli bir potansiyel sunar. Arıza durumunda soğutucu akışkan kaçakları ile çevreye olan zararlı etkiler, bugün kullanılan soğutucu akışkanlarla geçmişe nazaran önemsiz boyuta indirgenmiştir.

Tablo 3.17. Isı Pompalarında Kullanılan Soğutucu Akışkanların Çevresel Etkileri [118](s.26).

R Kodu	Adı	Kimyasal formül	T (°C)	WGK	ODP	GWP
HFC						
R134a	Tetrafloretan	$C_2H_2F_4$	-26	1	0	1.300
HFC karışımı						
R407C		R32 / R125 / R134A oran: %23 / 25 / 52	-44	1	0	1.610
R410A		R32 / R125 oran: %50 / 50	-51	1	0	1.890
Halojensiz akışkanlar						
R290	Propan	C_3H_8	-42	s.z.y[e]	0	3
R1270	Propen	C_3H_6	-48	s.z.y[e]	0	3
R717	Amonyak	NH_3	-33	2	0	0
R744	Karbondioksit	CO_2	-57	s.z.y[e]	0	1

[e] : Suya zararı yok
T : Buharlaşma sıcaklığı
WGK : Su zarar sınıfı
ODP : Ozon azaltma potansiyeli (relatif, R11=1,0)
GWP : Küresel ısınma potansiyeli (relatif, CO_2 = 1,0; zaman aralığı = 100yıl)
R32 : Diflormetan, CH_2F_2
R125 : Pentafloretan, C_2HF_5

c. Yeraltının Termal Kullanımında Olası Çevresel Etkiler

Yeraltında ve yer altı suyunda olası termal değişiklikler

Yer altı suyu kaynaklı ısı pompası uygulamalarında, yüksek su debileri söz konusu olduğunda tasarım dikkatle yapılmalıdır. Çoğu bölgelerde yer altı suyu sıcaklıkları kültür etkisi nedeniyle arttığından, yer altı suyunun soğutulması (5°C'ye kadar) büyük değişiklikler yaratmaz. Diğer taraftan ısı aktarımı ile su sıcaklığının artırılmasına, yalnız belirli sınıflandırmalar ile müsaade edilebilir. Yer altı suyuna ısı verilirken su sıcaklığının 20°C'yi aşmamasına dikkat edilmelidir.

Yatay toprak ısı değiştiricileri doğru tasarlandığında, yer altı dengesine etkisi en düşük seviyede kalır. Çok sayıda yer altı sıcaklık ölçümü göstermiştir ki, ısıtma yapan bir ısı pompasının yer altını soğutma etkisi geçicidir ve en büyük etkisi yeraltının yeniden ısınmasını geciktirmesidir. Yazın güneş ışınımı ve bu yüzeye yakın yer altı katmanlarından süzülen su sayesinde, toprak altı ısı değiştiricileri ile temas halindeki katmanlar tekrar aynı sıcaklıklara ulaşırlar.

Dikey toprak ısı değiştiricili ısı pompası sistemlerinde ise, yüzeydeki güneş ışınımı sadece bir kısım boru yüzeyine etki eder. Daha derin katmanlar, yer altı su akışları ve yer altındaki ısı iletimi ile sağlanan enerji ile beslenir. Burada, uzun süreli dengenin sağlanması gerekir. Dikey toprak ısı değiştiricisinin ısı iletim kapasitesinin (W/m) yanı sıra, yıllık çekilen ısı (kWh/m.yıl) miktarı da dikkate alınmalıdır.

Toprak altında sıcaklık dengesinin yeniden sağlanması, başlangıçta çok kısa sürelerde gerçekleşir. Daha sonra sıcaklıklar ilk haline asimptotik olarak ulaşır. Uygun tasarım yapıldığında, dikey toprak ısı değiştiricileri tarafından çekilen ısının etkisi bölgesel kalarak, yeraltındaki yerel ve doğal sıcaklık rejimi korunacaktır. Yüzeye yakın katmanlarda bu etki önemsizdir ve güneş ışınımından gelen ısı ile yüzey sıcaklık rejimi korunabilir.

Isı pompası sistemleri dışında, yer altının ısıl depolama amacıyla kullanıldığı sistemlerde, sıcak veya soğuk depolamanın yer altındaki etkisi, termal denge yıl boyunca sağlanıyorsa ve depolama sıcaklığı 20°C'nin üzerine çıkmıyor ise genellikle önemsizdir. Orta ve yüksek sıcaklıkta depolama yapılıyorsa (20-90°C arası), her durum için depolama alanından yer altına olan ısı kayıpları nedeniyle aktarılan ısının, yer altı suyu kalitesini etkilemeyecek şekilde olması sağlanmalıdır.

Hidrolik etkiler ve olası sonuçları

Yer altı suyunu kullanarak yer altından ısı çekme veya yer altına ısı aktarma sistemlerinin (yer altı suyu kaynaklı ısı pompaları, akifer deposu) yer altı suyu şartlarına etkileri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Yer altı suyu çekiliyor fakat akifere geri aktarılmıyor, bunun yerine başka bir alanda kullanılıyor ise (örneğin içme suyu amaçlı), bağımsız yer altı suyu katmanı ve yer altı suyu basınç seviyesi azalması sonucunda besleme kuyularının etrafında çukur zemin formları oluşur. Çukurun derinliği ve kapsadığı hacim, çekilen suyun miktarına, kuyu yapısına, kuyunun işletimine ve akiferin özelliklerine bağlıdır. Yüksek debide uzun süreli su çekişi aynı kaynaktan beslenen diğer kullanım hatlarında uzun süreli kesintilere neden olabilir. En olumsuz etki akiferin boşalmasıdır.
- Çekilen su, çekildiği yer altı akiferine tamamen geri aktarılıyor ise, yer altı su rezervinde, besleme kuyusunun etrafında, basınç düşümü ile olası çukurlaşma oluşumu engellenir. Su çekimi ve geri aktarımı arasında denge bulunduğu sürece yer altı akış değişimi yerel olarak sınırlı seviyede kalır.
- Dikey toprak ısı değiştiricileri için açılan kuyular, iki veya daha fazla farklı basınç seviyesindeki yer altı suyu katmanından geçiyor ise yer altı suyu akışı etkilenebilir. Yer altı su katmanları arasında, kuyular üzerinden kontrolsüz su akışı oluşabilir. Özellikle katmanlardan biri yüksek mineralli veya kirli yer altı suyu ile dolu ise diğerine olumsuz etkileri olabilir. Uygun yalıtım bloklarının oluşturulması (örneğin kil blokları), çoğu durumda yer altı sularının etkileşimini önleyen bir koruma sağlar.

Kaçakların olası etkileri

Yer altının termal kullanımında sistemlerin işletimi, çoğunlukla çevreye zararlı etki olmaksızın gerçekleştirilir. Kapalı devre toprak ısı değiştiricili sistemlerde kullanılan ısı taşıyıcı akışkanın sızarak yayılması riski göz önüne alınarak havaya, toprağa veya yer altı suyuna karışması durumundaki oluşabilecek zararlı etkilere karşı dikkatli olunmalıdır. Bölüm 3.4.5'deki öneriler dikkate alınarak, oluşabilecek etkiler kontrol altında tutulmalıdır.

Delme işlemi sırasında çevresel koruma

Yüzeye yakın jeotermal kaynakların kullanımı kapsamındaki (400 m derinliğe kadar) uygulamalarda, sondaj firmaları yetkili ve eğitimli olmalıdır. Tüm işlemler yerel ve ulusal düzenlemelere göre yürütülmelidir. Delme ekipmanlarından, delici rotlardan ve diğer aksesuarlarından yer altına sızıntı olmamalıdır. Zararlı maddelerin, bakteriyolojik kirleticilerin vb. geçişini önlemek için gerekli tedbirler alınmalıdır. İçme suyu ve mineral kaynak suyu rezerv alanlarında yapılacak çalışmalarda, ilgili tüm yönetmelikler dikkate alınmalıdır.

Sistemin temizlenmesi için kullanılan su, içme suyu kalitesinde olmalıdır. Sadece içeriği ve uygunluğu belgelenmiş delme çamuru içeren katkı malzemeleri kullanılmalıdır. Yer altında kimyasal/biyolojik değişime neden olmayacak delme çamuru içeren katkı malzemeleri için ilgili standard ve kurallar göz önünde bulundurulmalıdır.

3.4.4.9. Yer Altı Devreleri İçin Malzeme Seçimi

a. Kuyular, Dikey ve Yatay Toprak Isı Değiştiricileri ve Boru Malzemeleri

Yer altında kurulumu yapılan sistem bileşenleri, zehirleyici etkisi olmayan ve korozyon dayanımı yüksek malzemelerden imal edilmiş olmalıdırlar. Korozyon korumalı, kapalı veya delikli borular kuyu konstrüksiyonunda kullanılmalıdır. Borular, filtre kumu, genişletme kili, çimento gibi malzemeler, yer altı su kaynakları ile yürütülen çalışmalarda kullanıma uygun olmalıdır. Polietilen (PE), polipropilen (PP), polibütilen (PB) gibi yeterli yoğunlukta saf hidrokarbon polimerleri (DIN 8074/8075'e göre), dikey ve yatay toprak ısı değiştiricileri ve diğer bağlantılar için uygun malzemelerdir. Dikey toprak ısı değiştiricilerinde, çelik boru kullanılması gerekiyor ise yeterli kalınlıkta olmasına, kalitesine ve korozyon dayanımlı olmasına dikkat edilmeli ve özellikle yer altı sularının kimyasal yapısı (düşük pH değeri, klor iyonları ve serbest oksijen oram özellikle kritik konulardır) dikkate alınmalıdır.

Direkt buharlaşmalı sistemlerde (soğutucu akışkanın toprak altında dolaştığı), soğutucu akışkana uygun özelliklerde bakır boru kullanılır. Bu tip sistemlerde bakır borular yer altında plastik kaplama (PE) ile korozyona karşı korunmalıdır.

b. Yatay ve Dikey Toprak Isı Değiştiricilerinde Kullanılan Isı Taşıyıcı Akışkanlar

Kullanılacak ısı transfer akışkanı, kaçak durumunda, yer altı suyu ve toprak kirlenmesini sebep olmayacak veya mümkün olduğu kadar çevresel dengeyi koruyacak şekilde seçilmelidir.

Zehirli olmayan ve biyolojik olarak kolay bozunabilir (organik) maddeler kullanılmalıdır.

Düşük donma sıcaklıklarına (-10°C ile -20°C) ulaşabilmek için ısı transfer akışkanı olarak su ve antifriz karışımları kullanılabilir. Günümüzde kullanılan ve gerekli koruma şartlarını sağlayan antifriz maddeleri Tablo 3.18'de listelenmiştir.

Bu maddeler, Almanya' da suya zararlı maddeler yönetmeliğince (WGK 0 - 18.04.1996), suya zarar sınıfı 0 (genellikle zararsız) olarak sınıflandırılmıştır. Daha sonra, VwVwS 17.05.1999 tarihli düzenlemede WGK 1 olarak tanımlanmış, dip not 14 ile detayları verilmiştir.

Almanya, Avusturya ve İsviçre'deki sistemlerin çoğunda antifriz olarak %33 konsantrasyon ile etilen glikol kullanılır. Bu karışım oranı -20°C'ye kadar donma koruması sağlar.

Korozyon inhibitörleri içeren antifrizli hazır karışımlar, ısı pompalarında kullanım için uygundur. Konsantrasyon çoğunlukla yaklaşık %12'dir. Korozyon inhibitörlerinin özellikleri ve konsantrasyonları, antifrizli hazır karışımlı akışkanların, suya zarar sınıflarının artmaması için dikkatle belirlenmelidir.

Tablo 3.18. Toprak Kaynaklı Isı Pompalarında Yaygın Olarak Kullanılan Antifriz Maddeler [85].

Adı	Diğer Adı	Kimyasal formülü	Yorumlar
Yaygın kullanılanlar			
Etandiol	Etilenglikol	$C_2H_6O_2$	
1,2-Propandiol	Propylenglykol	$C_3H_8O_2$	
Diğer			
Kalsiyumklorid		$CaCl_2$	korozif
Etanol	Etilalkol	C_2H_5OH	

c. Doğrudan Buharlaşmalı Isı Pompalarında Kullanılan Akışkanlar

En yüksek yer altı suyu seviyesinin üzerinde bulunan toprak ısı değiştiricin doğrudan buharlaşmalı sistemlerde, 0°C'nin üzerinde normal basınç ve sıcaklıklarda gaz halde bulunan WGK 1 sınıfı dip not 14 dışında kalan akışkanlar da kullanılabilir. Bu tip bir sistem tasarlanırken ilgili yerel ve ulusal düzenlemelere uyulmalıdır.

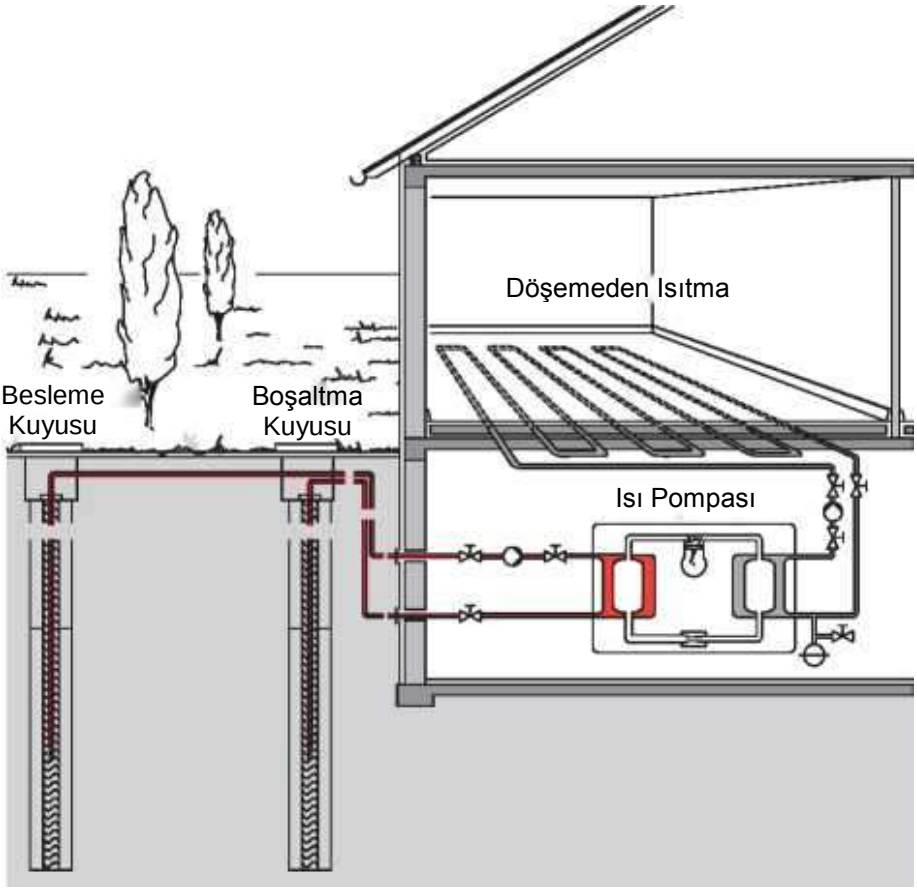
Genellikle, kompresör yağlama için kullanılan yağların özellikleri göz önünde bulundurulmalıdır. Tam sentetik (ester yağlan) akışkanlar kullanılmalıdır. Mineral yağlar direkt buharlaşmalı toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinde kullanılmamalıdır.

3.4.5. Toprak Kaynaklı Isı Pompalarında Kaynak Devresi Planlaması

Bu bölümde, toprak kaynaklı ısı pompalarının tasarım esasları ele alınacak ve VDI 4640-2 detaylı olarak incelenecektir. Yer altının 400 m derinliğe kadar olan kullanımları ile ilgili genel bilgi verilmektedir.

Toprak kaynaklı ısı pompaları, ısıtma özellikli ısı pompaları, hem ısıtma hem soğutma özellikli ısı pompaları (soğutma, ısı pompasının aktif olarak kullanıldığı sistemler ve ısı pompası devre dışı bırakılarak doğrudan yer altı devresinden faydalanılarak yapılan sistemler olarak iki farklı şekilde yapılabilmektedir.) veya sadece soğutma özellikli olarak üç farkı işletim şekline sahip olabilmektedir.

3.4.5.1. Kuyu Sistemleriyle Yer Altı Sularının Doğrudan Kullanılması



Şekil 3.47. Yer Altı Suyu Kaynaklı Isı Pompası Sistemi [115](s.6)

a. Tasarım

Hidrolik parametreler

Besleme kuyuları

Isı pompaları için gerekli yer altı suyu bir veya daha çok besleme kuyusundan temin edilir. Besleme kuyuları, bağlı oldukları ısı pompası için gerekli olan nominal debiyi kesintisiz olarak sağlayabilmelidir. Bu debi, her bir kW evaporatör kapasitesi için yaklaşık 0,25m^3/h'a denk gelmektedir. Besleme kuyusunun verimi, bölgenin jeolojik durumuna bağlı olarak değişkenlik gösterecektir. Bu nedenle kullanılacak kuyunun özellikleri bir pompa testiyle onaylanmalıdır.

Boşaltma kuyuları

Isı pompası tarafından ısıtılan veya soğutulan yer altı suyu, bir veya birkaç boşaltma kuyusuna geri gönderilir. Bu kuyular, yer altı suyu akış yönünde ve besleme kuyularından yeterli uzaklıkta olmalıdırlar.

Yer altı suyunun boşaltma kuyularına geri gönderiminde, sıcaklık değişimi ± 6K değerini aşmamalıdır.

Isı pompası sisteminin kurulacağı bölgede jeolojik-hidrojeolojik durum belirlenememiş ise, bir test kuyusu açılmalıdır. Pompa testi ve yerel yönetmeliklere uygun olarak test kuyusunda jeofiziksel araştırma yapılmalıdır. Test kuyusu daha sonra besleme veya boşaltma kuyusu olarak da kullanılabilir.

Hidro-Kimyasal parametreler

Oksijen içermeyen ve redoks potansiyeli düşük olan kuyular, eğer demir veya manganez içeriyorsa zamanla kaplanırlar. Bu gibi durumlarda özel önlemler alınmalıdır. Bu tip yer altı suları havayla temas halinde olmamalıdır. Tüm sistem kapalı ve sürekli basınç altında olmalıdır. Aksi takdirde demir veya manganezin çıkartılması için su özel olarak şartlandırılmalıdır. Bu gibi durumlara karşı demir ve manganez analizi yapılmalı ve PH değeri belirlenmelidir.

Yer altı suyunun içerisindeki bileşenlere bağlı olarak, korozyon riski, metalik ve beton yapılara göre değişmektedir. Bu durumda, yer altı suyu, ilgili standartlara göre incelenmelidir. (DIN 50930 bölüm 1-5, DIN 4030 bölüm 1 ve 2).

Yer altı suyunun boşaltma kuyularına geri gönderiminde, sıcaklık değişimi ± 6K değerini aşmadığı sürece kireç oluşumu riski yüksek değildir.

Daha büyük sistemlerde detaylı analizler için, suyun ana bileşenleri ve aşağıda belirtilen parametreler incelenmelidir.

- Sıcaklık
- PH değeri
- O_2 içeriği
- İletkenlik
- Redoks Potansiyeli
- Kalsiyum
- Magnezyum
- Sodyum

- Potasyum
- Demir
- Manganez
- Nitrat
- Fosfat
- Sülfat
- Klor
- Hidrojen Karbonat
- Amonyum
- Gerekli görülürse diğer bileşenler

Sıcaklık, PH değeri, elektrik iletkenliği, redoks potansiyeli ve O_2 içeriği gibi parametreler numuneler alınırken belirlenmelidir.

Uzmanlaşmış enstitüler ve araştırma laboratuvarlarının, bu ve benzeri parametrelere bağlı olarak yapacakları analizler, yer altı suyunun, kullanılacak ısı pompası ve bileşenlerine uygunluğu ve alınması gereken önlemler konusunda fikir verecektir.

Eğer uygulama yapılması planlanan arazi, kirlilik şüphesi taşıyorsa ilgili organik bileşikler hakkında analizler yapılması önerilir.

b. Sondaj ve Kuyu Uygulaması

Hazırlık çalışmaları

Sondajı yapacak firmanın, ilgili kişi (yatırımcı, tasarımcı, taahhütçü vb.) veya kuramlardan sondaj işleminin planlaması, delme işlemleri ve kuyu yapımı için gerekli olacak bütün dokümanları temin etmesi gerekmektedir. Sondaj ve kuyu yapımım yetkili ve tecrübeli firmalar üstlenmelidir. Bu firmalar gerekli alt yapıya ve gerekli sertifikalara sahip olmalıdır. Planlama, yatırımcı ve tasarım mühendislerinin iş birliğiyle yürütülmelidir. Aşağıdaki konularda fikir birliği sağlanmalıdır.

- Kuyuların sayısı
- Sondaj metodu
- Kuyuların derinliği
- Kuyuların çapı
- Kuyuların yerleşimi

Yatırımcı veya tasarımcı taralından ilgili kuramlardan alınan izinler sondaj firmasına iletilir. Kuyu ve sondaj çukurları planlanırken daha önce yapılan yerel araştırmaların sonuçlan da gözden geçirilmelidir. Sondaj firması bütün bu gerekli belge ve dokümanları teslim aldıktan sonra sondaj çalışmalarına başlamalıdır. Sondaj çalışmaları başlamadan önce firma bu uygulama planını onay almak üzere yatırımcıya (müşteri) iletmelidir. Uygulama alanının her açıdan sondaj ve çalışma yapmaya müsait olduğuna emin olunmalıdır. Elektrik, su, telefon kabloları gibi altyapı dağıtım hatlarının uygulama planında değerlendirilmiş olması gerekmektedir.

Ön organizasyon çalışmaları

- Sorumlulukların belirlenmesi
  - Sondaj firması sondaj işlerine refakat etmesi için bir sondaj ustası/sondaj mühendisini görevlendirilmelidir.
  - Jeolojik-hidrojeolojik özellikleri net olmayan geniş alan uygulamalarında, bir jeolog da hazır bulundurulabilir.
  - Bu kişiler, müşteri/proje mühendisinin belirlemiş olduğu yetkili(ler) ile irtibat halinde olmalıdır.
- Alan gereksiniminin belirlenmesi (genel vaziyet planı, sondaj alanının ulaşılabilirliği, ulaşım ve nakliye güzergâhları vb.)
- Sondaj çamuru ve diğer atıkların planlanması
- Su, elektrik gibi yardımcı malzemelerin ve altyapının temin edilmesi gibi hususlar da ayrıntılı olarak planlanmalıdır.

Sondaj işlemi

Sondaj firması, tüm sondaj süresi boyunca gereksinim duyulan denetleyici ve danışmanlık fonksiyonunu yerine getirmelidir. Çevresel etkiler ve gerekli önlemler için Bölüm 3.4.4.8'e başvurabilirsiniz.

Kuyu yapımı

Saha incelemeleri, pompa testleri ve sondaj çukura araştırmalarına göre sondaj mühendisi veya bir jeolog tarafından ilgili yerel yönetmeliklere göre son bir jeolojik çalışma hazırlanmalıdır.

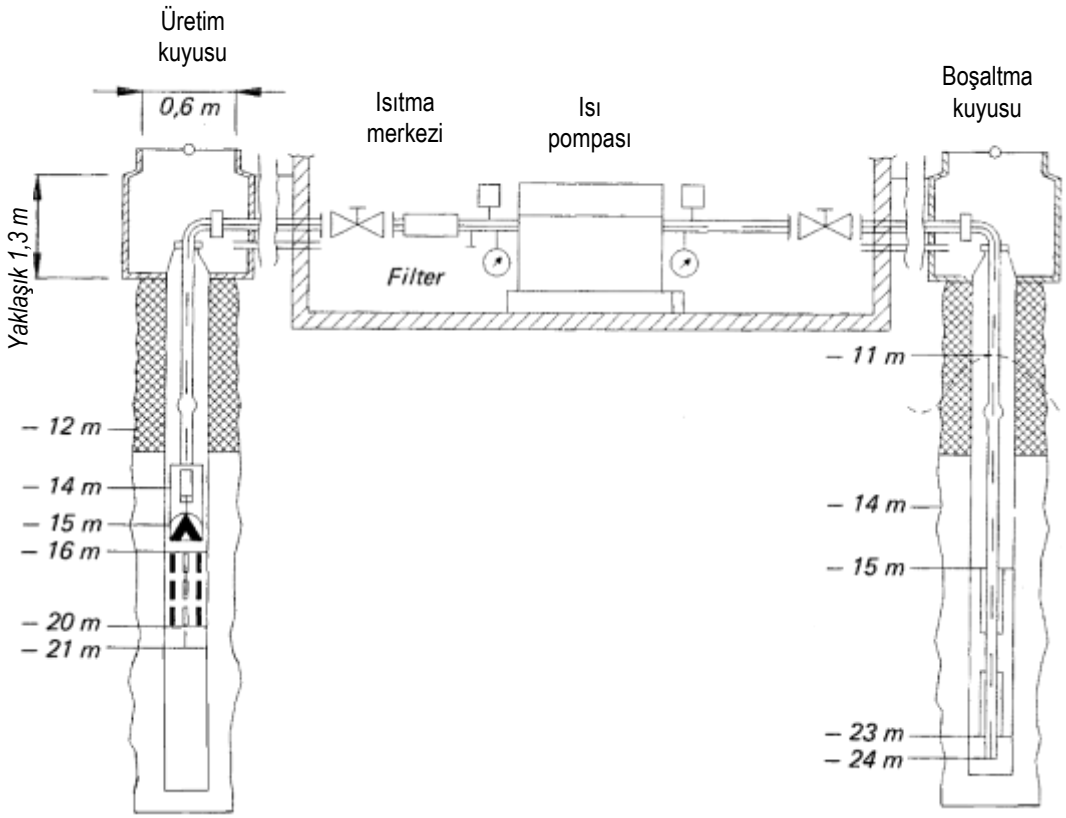
c. Özel Bileşenler

Besleme kuyuları

Besleme kuyularında korozyon dayanımı yüksek dalgıç pompalar kullanılmalıdır. Su kalitesine bağlı olarak belirlenecek plakalı eşanjörlerde, girişte mutlaka pislik tutucu konulmalıdır. Böylece ısı kaynağı devresi, ısı pompası devresinden güvenli bir şekilde ayrılmış olacaktır.

Boşaltma kuyuları

Boşaltma kuyusunda, boşaltma borusunun en alt seviyesi, durgun su seviyesinin altında olmalıdır.



Şekil 3.48. Örnek Kuyu Sistemi [115].

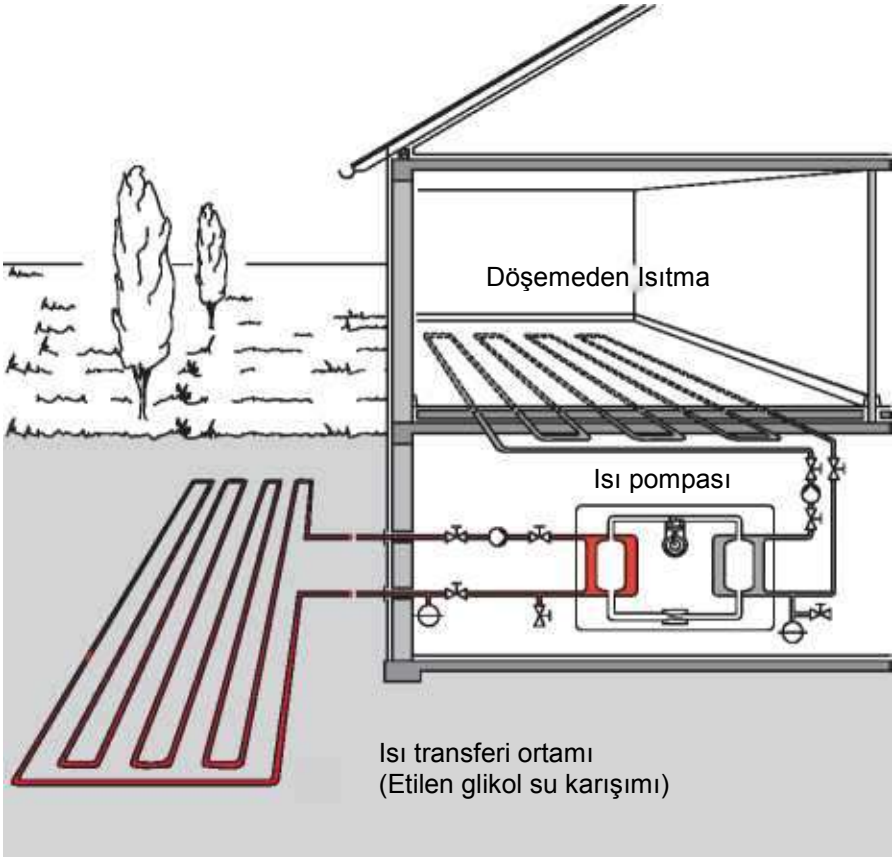
Borular ve bağlantı parçaları

- Borular ve bağlantı parçalan, uygulanan sistem tipine ve ısı değiştirici malzeme standardına göre belirlenmelidir (Bölüm 3.4.5.2). Duvarlara gömülü ve bina içinden geçen borular, ilgili standartlara göre yalıtılmalıdır. Bina dışında yer altı suyu taşıyan borular, donmaya karşı yeterli derinlikte yerleştirilmiş veya çok iyi yalıtılmış olmalıdır.
- Yer altı suyu kaynağından ısı pompasına kadar olan hatlar da en iyi şekilde yalıtılmalı, ısı kaybı veya kazancı en düşük seviyede tutulmalıdır.
- Isı pompasında soğutulan yer altı suyu, boşaltma kuyusuna gidene kadar donma riskine karşı çok iyi yalıtılmalıdır.
- Yer altı suyu bütün devre boyunca hiçbir zaman havayla temas etmemelidir. Isı pompası bağlantıları yapılmadan önce hattın sızdırmazlığı ve temizliği kontrol edilmelidir.

3.4.5.2. Yatay Toprak Isı Değiştiricileri

a. Tasarım

Sadece ısıtmaya çalışan ısı pompalarında bazı basit uygulamalarda (örneğin ısı pompası işletim süreleri 1.800 - 2.400 saat/yıl arası olan müstakil evlerde) yatay toprak ısı değiştiricilerinin tasarımında, belirli özgül ısı verilerinden (W/m2) yararlanılabilir. Şekil 3.49'da yatay toprak ısı değiştiricili bir ısı pompası sistemini göstermektedir.



Şekil 3.49. Yatay Toprak Isı Değiştiricili Isı Pompası Uygulaması [115](s.11).

Spiral ve diğer farkı yatay toprak ısı değiştiricileri tipleri için Tablo 3.19'deki değerler kullanılmamalı sistem ayrıca tasarlanmalıdır.

Tablo 3.19. Yıllık 1.800 ve 2.000 Saat Çalışma Koşullarında Yatay Toprak Isı Değiştiricilerinden Çekilebilecek Olası Özgül Isı Değerleri [88](s:27). [115](s:27)

Toprak	**Topraktan Çekilen Özgül Isı**	
	1.800 saat	**2.400 saat**
Kuru, yoğun temaslı olmayan toprak	10 W/m^2	8 W/m^2
Yoğun temaslı toprak, rutubetli	20-30 W/m^2	16-24 W/m^2
Doymuş kum/çakıl	40 W/m^2	32 W/m^2

Tablo 3.19 aşağıdaki işletim koşullarının geçerli olduğu durumlarda kullanılabilir:

- Sadece ısıtma yapılan sistemler,

- Isı pompası ile ısıtma + kullanım sıcak suyunun yarattığı pik yük saatlerinin dikkate alındığı durumlar.

Daha uzun çalışma süreleri söz konusu olduğunda, bahsedilen özgül ısı kapasitesinden farklı olarak, dikkate alınması zorunlu bir diğer konu ise ortamdan yıllık olarak çekilen ısı miktarıdır. Yatay toprak ısı değiştiricileri için bu değer, kWh/m^2.yıl olarak verilebilir ve 50-70 kWh/m^2.yıl arasında olmalıdır. Bu değer yalnız ısıtma yapan sistemler için geçerlidir, yaz boyunca toprağa ısı aktarımı yapılıyorsa bu değerler değişkenlik gösterecektir. Soğutma işletimi olan sistemlerin tasarımında, yer altı özellikleri, çekilen özgül ısı kapasite değerlerine daha az etki eder.

Sürekli işletimde (haftalık ortalamada), ısı taşıyıcı akışkanın yatay toprak ısı değiştiricisine dönüş sıcaklığı, toprağın denge sıcaklığına oranla ± 12 K sıcaklık fark değerini aşmamalıdır. Pik yüklerde bu değer ±18 K'i aşmamalıdır.

b. Uygulama

Dikkat edilmesi gereken hususlar:

- Yatay toprak ısı değiştiricileri üst üste konulmamalıdır.
- Yatay toprak ısı değiştiricilerinin üzerindeki katmanlar (hava/su) geçirgen olmalıdır.
- Bazı özel durumlarda, gerekli tasarım çalışmaları yapılarak bu konularda istisnai uygulamalar yapılabilir.
- Bazı durumlarda, uygulama ile ilgili yerel izinler almak gerekebilir

Isı değiştirici uygulama derinliği ve uzunluğu

Toprak altı sıcaklığı, 1 m derinlikte bile ısı çekişi olmadan donma sıcaklığına ulaşabilir. 2 m derinlikte ise minimum sıcaklık, ortalama 5°C mertebelerinde olmaktadır. Bu sıcaklık derinlik arttıkça artar, fakat zemin yüzeyinden gelen (güneş ışınımı ile) ısı miktarı azalmaktadır. Bu sebepten dolayı, kış işletimi ardından baharda, buzlar hemen çözülmemektedir. Bu nedenle, montaj derinliği 1,2 m olup 1,5 m'yi aşmamalıdır. Uygulamada boru aralıkları genellikle 0,3-0,8 m arasında olmaktadır.

Yeraltındaki soğuk hatlar, herhangi bir gidiş veya dönüş borusundan en az 70 cm uzaklıkta olmalıdır.

Toprak altı çalışmaları

Toprağın doğal yapısını etkilememek için her toprak altı devresi, farklı bir çukurda yer alabilir. Diğer bir olasılık ise devreler için toprağın geniş bir şekilde kazılması olacaktır. Boruların zarar görmemesi için uygulama kum bir katmanın içine yapılmalıdır. Boruların 30 cm yukarısına bir uyan bandı konulmalıdır. Daha sonra gerçekleşebilecek bir kullanım için uygulama alanı, ilgili düzenlemelere uygun olarak kapatılmalı ve sıkıştırılmalıdır.

Kullanılan malzemelerin özellikleri

- Yoğuşmaya karşı toprak kaynaklı sistemin bütün bileşenleri korozyon korumalı olmalıdır.
- Dış mekânda kalacak olan borular UV korumalı olmalıdır.
- Malzeme seçiminde, daha sonrası için atık malzemelerin ve kalıntıların çevreye etkileri de düşünülmelidir.
- Toprak ısı değiştiricisi boruları, korozyona karşı korumalı olmalıdır. Genellikle plastik borular kullanılmaktadır (DIN 8074 ve DIN 8075 normlarına göre PE-MRS 8). Borular, planlanan sıcaklık aralığında çalışmaya uygun olarak seçilmelidir.

Boruların döşenmesi

- Toprak ısı değiştirici boruları, paralel bağlı devreler, halinde düzenlenmelidir. Sistemin en yüksek noktasında bu paralel devreler, gidiş ve dönüş kollektörlerinde toplanmalı ve hava pürjörü veya uygun bir hava ayırıcı bileşen kullanılmalıdır.
- Her bir devreye açma-kapama ve debi ayar vanaların konulmalıdır.
- İzolasyon maliyetlerini azaltmak açısından, mümkün olduğunca çok ekipman, binanın dışarısında toprak altına yerleştirilmelidir. Her devrenin akışı bunların üzerinden sağlanmalıdır.

Basınç emniyeti

- Isı taşıyıcı akışkanın hacimsel değişimi uygun, önlemler alınarak dengelenmelidir. Basınç dengelemesinde "açık genleşme tankları" kullanılması durumunda yerel şartlar belirleyici olacaktır.

- Kapalı devre sistemlerde basınç maksimum 3 bar mertebesinde olmalıdır. Isı taşıyıcı akışkanın hacimsel değişimi (bütün sistemin hacminin ortalama %0,8-1,0), DIN 4807 normlarına uygun, membranlı bir genleşme tankı ile dengelenebilir. Aşırı doldurma veya herhangi bir sebepten oluşacak yüksek basınca karşı önlem olarak, membranlı bir emniyet vanası konulmalıdır. Bu vananın ucundaki tahliye borusu ise bir toplama kabına ulaştırılmalıdır.
- Sistem basıncını izleyebilmek için, minimum ve maksimum basınç değerlerinin altında ve üzerinde değerlere sahip bir manometre konulmalıdır. Sistemde herhangi bir sızıntı durumunda kaçak tespiti için sesli veya görsel uyarı verebilen bir donanım tavsiye edilir.

Akışkan doldurma işlemleri ve havanın alınması

- Toprak ısı değiştirici devresinin dolum işlemi, sadece hazır karışımlı ısı taşıyıcı akışkan kullanarak yapılmalıdır. Hazır ısı taşıyıcı akışkan, su ve antifriz karışımlı bir bileşendir.
- Karışım oranı, donma koruması için sağlanan en düşük etki sıcaklığı, evaporasyon (buharlaşma) sıcaklığından en az 7 K düşük olacak şekilde ayarlanmalıdır (Üretici teknik kataloglarından yararlanılabilir). Güvenli bir işletim için -20°C'ye kadar donma koruması sağlanmalıdır.
- Isı taşıyıcı akışkan, her bir toprak ısı değiştirici devresindeki hava tamamen tahliye edilene kadar dolaştırılmalıdır.

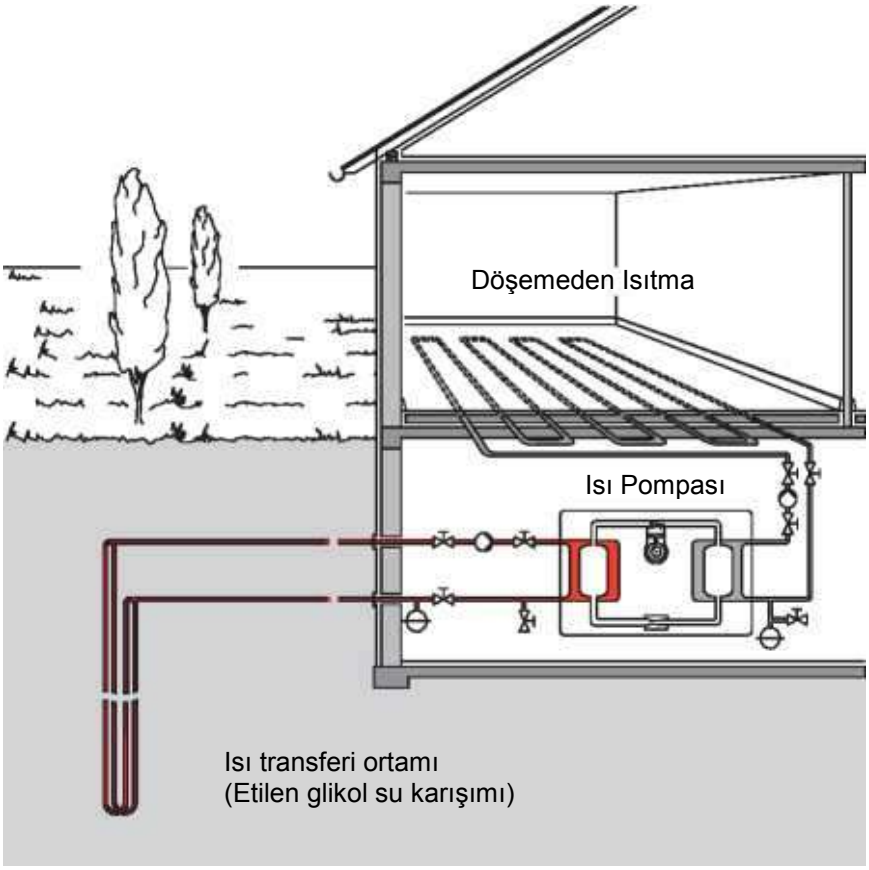
Devreye alma

- Devreye almadan önce bütün sistem, işletme basıncının 1,5 katı basınçta çalıştırılmalıdır. Yapılan bu test sonuçlan işletmeci ile paylaşılmalıdır.
- Bütün sistem bileşenlerinin işlevleri gözden geçirilmelidir.
- Her bir devreden geçen debinin eşit olduğu kontrol edilmeli ve eğer gerekliyse balanslama yapılmalı ve kayıt altına alınmalıdır. Sistemin işletmecisi, sistemin kullanılması ve korunması konusunda ve bir soran çıkarsa ne yapılacağı hakkında bilgilendirilmelidir.

3.4.5.3. Dikey Toprak Isı Değiştiricileri

a. Tasarım

Dikey toprak ısı değiştiricileri genellikle 10-200 m arası derinlikte olmaktadır. 400 m'den daha derin dikey toprak ısı değiştiricilerine yönelik esaslar bu bölümde yer almamaktadır. Şekil 3.50'de dikey toprak ısı değiştiricili bir ısı pompası sistemi görülmektedir.



Şekil 3.50. Dikey Toprak Isı Değiştiricili Isı Pompası Sistemi Uygulaması [115](s:15)

Sürekli işletimde, ısı taşıyıcı akışkanın yatay toprak ısı değiştiricisine dönüş sıcaklığı, toprağın denge sıcaklığına oranla ± 11 K sıcaklık fark değerini aşmamalıdır, pik yüklerde bu değer ±17 K'i aşmamalıdır.

Seçilecek dikey toprak ısı değiştiricisinin etkisi, kuyuyu çevreleyen toprağın etkisine nazaran düşük kalmaktadır. Küçük boru çapı, büyük et kalınlığı, düşük termal iletkenliğe sahip malzemelerin kullanıldığı devrelerde, kısa süreli de olsa ısı taşıyıcı akışkan sıcaklıklarının aşırı düşmesi söz konusu olabilir. Isı değiştiricilerinde düşük

akışkan sıcaklıklarını engellemek için, toprak ısı değiştiricisinde laminer akışı engellemek ve ısı değiştirici (boru) yüzeyleri ile toprak arasında uygun dolgu malzemesi kullanarak mümkün oldukça iyi bir ısı iletimi sağlamak gerekmektedir. Sondaj işlemi sırasında jeolojik özelliklere bağlı olarak tasarlanandan farklı bir süreç yaşanıyorsa, tasarım kontrol edilip şartlara ve gelişmelere uygun olarak yeniden tasarlanmalıdır.

Sadece ısıtma yapılan ve ısıtma kapasitesi 30 kW'a kadar olan ufak sistemler

Isı pompası sistemleri tasarımında, ısıtma kapasitesi 30 kW'a kadar olan ve sadece ısıtma yapılan ufak sistemlerde (gerektiğinde sıcak su kullanımı da sağlayan), dikey toprak ısı değiştiricileri uygulamaları için, katmanların yapısına bağlı olarak bazı özgül ısı çekişi değerleri (W/m) Tablo 3.20'de verilmiştir.

Söz konusu uygulamalarda, daha fazla yıllık işletim saatleri için uzun süreli etkiyi belirleyen yıllık ısı çekiş değerleri de göz önünde bulundurulmalıdır. Bu değer kWh/m.yıl şeklinde verilir ve dikey uygulamalar için 100-150 kWh/m.yıl arasında olmalıdır.

Bu değerler, yalnız ısıtma yapan sistemler için geçerlidir ve yaz boyunca soğutma yapılan sistemlerde farklı değerler elde edilecektir.

Tablo 3.20. Yıllık 1.800 ve 2.400 Saat Çalışma Koşullarında Dikey Toprak Isı Değiştiricilerinden Çekilebilecek Olası Özgül Isı Değerleri [115](s:17).

Toprak ve Kayaç Özellikleri		**Özgül Isı Çekme Kapasitesi**	
		W/m	
		1.800 saat	**2.400 saat**
Genel Kılavuz Değerleri			
Zayıf iletim özellikli (kuru çökelti)	<1,5 W/m°K	25	20
Normal kayaçlı ve ıslak toprak	1,5 - 3,0	60	50
Yüksek termal iletkenlikli birleştirilmiş kayaçlar	>3,0 W/m°K	84	70
Ayrıntılı Değerler			
Çakıl, kum, kuru		<25	<20
Çakıl, kum, doymuş		65 - 80	55 - 65
Yüksek yer altı su akışı olan çakıl kumlu zemin		80 - 100	80 - 100
Çamur, killi, nemli		35 - 50	30 - 40
Kireçtaşı		55 - 70	45 - 60
Kumtaşı		65 - 80	55 - 65
Sllisiyöz magmatit (Granit)		65 - 85	55 - 70
Bazik magmatit (Bazalt)		40 - 65	35 - 55
Gnays		70 - 85	60 - 70
Kayaç yapısı ve diğer etkenler bu değerlerin değişmesine yol açabilir.			
Verilen değerler aşağıdaki durumlarda geçerlidir. Değerler kadar 30 kW'a kadar ısı pompası sistemleri için geçerlidir. - Sadece ısı çekişi (ısıtma işletimi) - Her bir dikey ısı değiştirici devresi uzunluğu 40 İla 100 m arasında - İki kuyu arasındaki minimum uzaklık: - 40 - 50 m uzunluktaki ısı değiştiriciler için minimum 5m - 50 - 100 m uzunluktaki ısı değiştiriciler için minimum 6m - DN 20, DN 25, DN 32 mm çift U-borular veya minimum çapı 60 mm olan koaksiyel boruların dikey toprak ısı değiştiricileri olarak kullanımı			

Şekil 3.51'de gösterilen nomogram işletme saatlerinden bağımsız olarak, belirtilen durumlar gerçekleştiği takdirde kullanılabilmektedir. Bu nomogram İsviçre şartlarına göre geliştirilip "Enerji Ekonomisi Kurumu" tarafından hazırlanmıştır. Saha ölçümleri bakımından onaylanmamış olsa da Almanya'da ve Avusturya'da yapılan tasarımlar için referans noktaları vermektedir. Almanya'da hem güney hem de kuzey şartlan geçerli olduğundan kuzeydeki sistemler için dikey toprak ısı değiştiricisi uzunluğu daha fazla olacaktır. Unutulmamalıdır ki, nomogram için girdi değeri olan "α", COP veya Mevsimsel (yıllık) performans faktörünü değil, ek enerji tüketen diğer sistem bileşenleri için gerekli enerji miktarı çıkarıldıktan sonraki yıllık verim faktörünü simgeler. Aşağıdaki eşitlikten yararlanılarak hesaplanabilir.

$$a = \frac{Q_H}{(Q_H/\beta_a) - P_p} \tag{3.14}$$

a : Nomogram girdisi

Q_H : Yıllık ısıtma gereksinimi (kWh/yıl)

β_a : Yıllık performans faktörü

P_p : Yıllık ek enerji gereksinimi (sirkülasyon pompası, diğer ısı kaynağı sistem bileşenleri) (kWh/yıl)

Nomogram aşağıdaki sınır koşullarına göre uygulanır:

Yıllık ısı enerjisi gereksinimi	: 4-16 MWh/yıl
Isıtma Kapasitesi	: 3-8 kW
Yükseklik (deniz seviyesinden)	: 200-1.400 m
Toprağın ısıl iletkenliği	: 1,2-4,0 W/m.K
1 sondaj çukuru için ısı değiştirici uzunluğu	: 60-160 m
2 sondaj çukuru için ısı değiştirici uzunluğu	: 60-100 m
Nomogram girdisi "a"	: 3,8-4,6

Orta Avrupa için mevsimsel (yıllık) performans faktörü ($\beta_{a)}$ tipik değerleri, minimum ve hedef değerleri Tablo 3.21, Tablo 3.22, Tablo 3.23'de verilmiştir. [92] Yüksek mevsimsel (yıllık) performans faktörü (SPF) ulaşmayı hedefleyen, ısı pompası sistemleri tasarlanmalıdır

Tablo 3.21. C1 - Yeni binalarda ısıtma ve evsel su ısıtma için kullanılan ısı pompaları için mevsimsel performans faktörü, standart asgari ve hedef değerler. (Orta Avrupa için tipik değerler) [88](s:38).

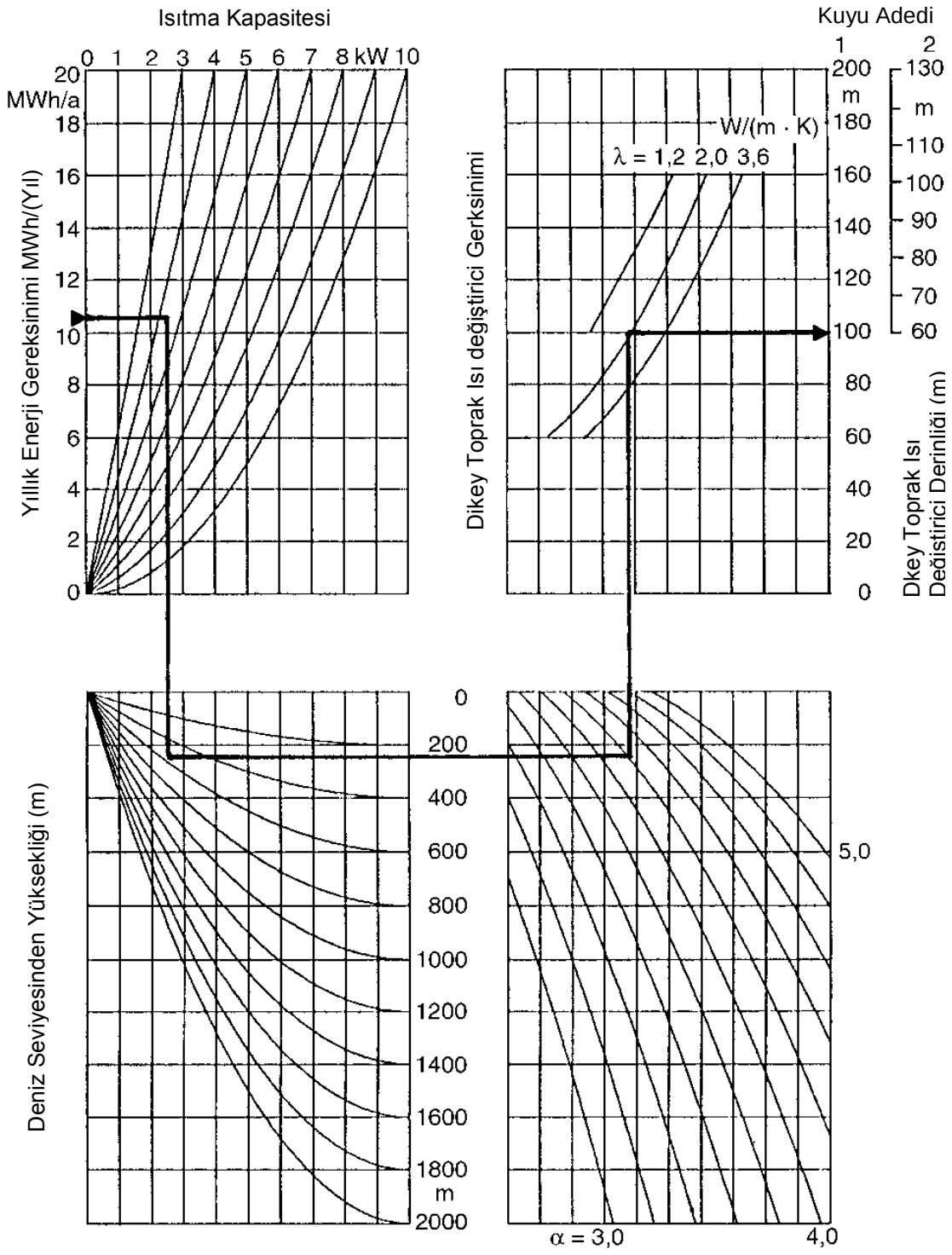
Enerji kaynağı / alıcı	**En az katsayı**	**Hedef katsayı**
Hava/Su	2,7	3,0
Toprak/Su	3,5	4,0
Su/Su	3,8	4,5

Tablo 3.22. C2 - Güçlendirilmiş binaların içinde ısıtma ve sıcak su için kullanılan ısı pompaları için mevsimsel performans faktörü, standart asgari ve hedef değerler. (Orta Avrupa için tipik değerler) [88](s:39).

Enerji kaynağı / alıcı	**En az katsayı**	**Hedef katsayı**
Hava/Su	2,5	2,8
Toprak/Su	3,3	3,7
Su/Su	3,5	4,2

Tablo 3.23. C3 - Sadece sıcak su için kullanılan ısı pompaları için mevsimsel performans faktörü standart asgari ve hedef değerler. (Orta Avrupa için tipik değerler) [88](s:39)

Enerji kaynağı / alıcı	**En az katsayı**	**Hedef katsayı**
Hava/Su	2,3	2,8
Toprak/Su	3,0	3,5
Su/Su	3,2	3,8



Şekil 3.51. Dikey Toprak Isı Değiştiricileri İçin Tasarım Nomogramı (Yıllık Çekiş Değerleri Aşılmamalıdır) [115](s:18)

Daha büyük kapasiteli sistemler (ısıtma kapasitesi > 30 kW)

Yıllık işletim süresi 2.400 saatten daha uzun olan, fazla sayıda cihaz ile ısı gereksiniminin sağlandığı, ısıtma haricinde soğutma işletiminin de olduğu veya toplam ısıtma yükü 30 kW'ın üzerinde olan sistemlerde tasarım, ayrıntılı hesaplamalarla yapılmalıdır. Yıllık çalışma süresinin tamamı için, hesaplanmış ısı yüküne bağlı olarak her durumda, sistem çalışma sıcaklıklarını ayrı ayrı hesaplamak gereklidir.

Hesaplamalar

Analitik çözümler için genellikle denklemleri basitleştirici varsayımlar gerekmektedir. Basit hesaplamalar ısı transferinin sadece iletim ile gerçekleşen kısmım kapsamaktadır ve yer altı suyu ile gerçekleşen ısı transferi hesaba katılmaz. 100 kW'a kadar olan işletmelerde yer altı suyunun akış etkisi ikinci işletim yılı sonunda oluşan sıcaklık değişimine göre değerlendirilmelidir.

İlk olarak, aylık ortalama ısıtma/soğutma gereksinimlerine ve buna paralel olarak kısa süreli maksimum yüklere göre hesap yapmanın yararlı olduğu kanıtlanmıştır.

Buradan yola çıkarak, ortalama ısı kaynağı sıcaklık düşüm eğrisi çıkartılabilir ve değişik işletim şekilleri için sıcaklık aralıkları tespit edilebilir (ısıtma, doğal soğutma, ısı pompası ile soğutma).

Dikey toprak ısı değiştiricileri çevresel sıcaklıklarının tespiti için 1950 yılında Amerika'da bir hesaplama metodu geliştirilmiştir. Kelvin'in çizgi kaynak teorisi ve Ingresoll'un bu teoriye dayalı formülü kullanılarak, termal iletkenliğe, ısı çekişi/aktarımı kapasitesine ve boru yüzeyinden uzaklığa bağlı olarak sıcaklıklar hesaplanabilir. Boru devresi akışkan sıcaklıkları, doğrudan hesaba katılmaz. Guernsey bu formülden yola çıkarak, pratik hesaplamalarda kullanılabilen basit deneysel bir formül üretmiştir. (α x t / r^2 > 1 olduğu durumlarda geçerlidir). SI birimlere çevrilmiş denklem:

$$\Delta T = \frac{0{,}1833\ x\ Q}{\lambda}\left(log_{10}\frac{\alpha\ x\ t}{r^2} + 0{,}106\ \frac{r^2}{\alpha\ x\ t} + 0{,}351\right) \qquad (3.15)$$

ΔT : Sıcaklık Farkı

Q : Borunun her bir m'sindeki ısı akışı

λ : Termal iletkenlik

r : Borunun merkezinden olan uzaklık

t : Zaman

α : Termal yayılma gücü

Termal yayılma gücü a aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho \; x \; c_P} \tag{3.16}$$

λ : Termal iletkenlik

ρ : Kayacın öz kütlesi

c_p : Sabit basınçtaki özgül ısıl kapasite

Dikey toprak ısı değiştiricilerini pratik olarak boyutlandırmak için başka bir metot da Claesson tarafından 1990 yılında İsveç'teki Lund üniversitesinde geliştirilmiştir. Algoritmalar, modelleme ve parametre çalışmaları sonucunda, ısı akışı için değişik sondaj kuyusu geometrilerinde (g-fonksiyonları) çeşitli fonksiyonlar için SBM simülasyon modeli kullanılarak çıkartılmıştır. Bu g-fonksiyonları, sondaj kuyularının sayısına, dizilişine ve aralarındaki mesafeye bağlıdır. Eğimli sondaj çukurları için eğim de hesaba katılır, g-fonksiyonları çok sayıda farklı sondaj kuyusu geometrisi için geliştirilmiştir. Bu metot, g-fonksiyonları hesaplamalarını içeren özel bilgisayar yazılımları vasıtası ile kullanıma uygundur, g-fonksiyonlarına göre, dikey toprak ısı değiştiricilerinin hesaplaması için İsviçre, Almanya ve ABD'de farklı yazılım programları geliştirilmiştir.

Bu metot Eskilson P.'nin "38 kuyu konfigürasyonu için sıcaklık tepki g-fonksiyonu" adlı kitabında detaylı olarak tanımlanmıştır.

Nümerik simülasyon

Büyük ölçekli toprak kaynaklı ısı pompalarının toprak ısı değiştiricilerinin tam olarak hesaplanması, sadece nümerik simülasyonlar kullanılarak yapılabilir. Özellikle, toprak ısı değiştiricileri birbirlerini etkileme olasılığı taşıyorsa veya yer altı suyu akışının da hesaba katılarak tasarım yapılması gerekiyorsa, bu simülasyonlara mutlaka

başvurulmalıdır. Bunun gibi metotlar, uzun süreli ve geniş bir alandaki toprak ısı değiştiricilerinin etkilerinin belirlenmesi için uygundur.

Özellikle, ısı transferi simülasyonu ve yer altı su akışı etkilerinin hesaplanması için iki metot uygundur:

- Sonlu Farklar (Daha basit matematik formülü)
- Sonlu Elemanlar (Daha geniş düzlemsel esneklik)

Her iki metot için de tasarımın yapılmasına olanak tanıyan bilgisayar programları mevcuttur. Fakat bu tarz çalışmalar, nümerik simülasyonlar konusunda tecrübeli kişiler tarafından yapılmalıdır. Böylece matematiksel sorunlar çözümlenip, güvenilir çözümler elde edilebilecektir.

b. Uygulama

Sondaj

Toprak ısı değiştiricileri ile bina duvarı arasında en az 2 m mesafe olmalıdır. Çalışmalar, binanın zeminini statik açıdan etkilememelidir.

Ön organizasyon çalışmaları

Sondajı yapacak firmanın ilgili kişi veya kuramlardan (yatırımcı, projeci, yüklenici vb.) sondaj işleminin planlaması, delme işlemleri ve kuyu yapımı için gerekli olacak bütün dokümanları temin etmesi gerekmektedir. Sondaj ve kuyu yapımını yetkili ve tecrübeli firmalar üstlenmelidir. Bu firmalar, gerekli alt yapıya sahip ve gerekli mercilerden sertifikalı olmalıdır. Planlama, müşteri ve proje mühendisleri iş birliğiyle yürütülmelidir. Aşağıdaki konularda fikir birliği sağlanmalıdır. Sondaj kuyularının sayısı, derinlikleri, çapları Bölüm 3.4.5.1'de anlatıldığı üzere müşteri ve tasarım mühendisi arasında kararlaştırılmalıdır.

30 kW'tan daha büyük ısıtma kapasiteli sistemlerde, toprağın jeolojik ve hidrojeolojik özelliklerinin net olmaması durumunda bir test kuyusu açılmalıdır. Bu test kuyusu, jeofiziksel ölçümler için kullanıldıktan sonra toprak ısı değiştiricisi için değerlendirilebilir.

Gerekli mercilerden alınacak onaylar ve tüm izinler müşteri ve proje mühendisi tarafından sondaj firmasına iletilmelidir. Üçten fazla sondaj kuyusu olan sistemler için sondaj şirketi bütün evrakları teslim aldıktan sonra bir uygulama planı hazırlamalıdır.

Bu uygulama planı, sondaj çalışması başlamadan önce müşterinin onayını almak üzere müşteriye gönderilmelidir.

Tüm organizasyon ve teknik iş hazırlıkları elden geçirilmelidir (Bölüm 3.4.5.1-b). Dikey ısı değiştiricileri için yapılması gereken teknik hazırlıklar, montaj veya boru malzemesi teminini de içermelidir.

Sondaj uygulaması

Bölüm 3.4.5.1'deki kuyu ve sondaj uygulaması başlığı ile aynı uygulamalar yapılır. Saha incelemeleri sonuçlarına göre sondaj mühendisi veya ilgili jeolog, en son sondaj kuyusu profilini oluşturmalıdır. Bu çalışmaya göre, sondaj kuyusuna yerleştirilecek ısı değiştiricilerinin montajı ve kuyu dolum işleri müşteri ile birlikte kesinleştirilmelidir.

Dikey toprak ısı değiştiricilerinin imalatı ve test edilmesi

Dikey toprak ısı değiştiricileri, dönüş parçası ve kangal halinde düz borudan oluşmaktadır. Uygun malzemeler için Bölüm 3.4.5.2-b'ye bakınız.

Şekil 3.52'da dikey toprak ısı değiştirici yerleşimi için örnekler gösterilmektedir. Dönüş parçası ve bileşenleri fabrika veya atölyede standart olarak üretilmektedir. Bağlantı metotları ve malzeme kaynak işleri için, termoplastik malzemelerin kaynak işleri ile ilgili meslek odaları ve diğer yetkili kuramların düzenleme ve yönetmelikleri göz önünde bulundurulmalıdır (DVS 2207 ve DVS 2208). Sahada montajı yapılan dönüş parçaları ve bileşenleri DIN 4279-7 normlarına göre basınç ve debi testinden geçirilmelidir. Basınç testi, boru malzemesi nominal basıncının 1,5 katı basınçta yapılmalıdır. Debi testinde, 1 m/s debili işletimde en fazla 10 mbar direnç değerine ulaşılmalıdır.



Şekil 3.52. Dikey Toprak Isı Değiştiricileri İçin Örnek Yerleşim Modelleri [115](s:23)

Dikey toprak ısı değiştiricilerinin montajı

Dikey ısı değiştirici uygulamaları, genellikle izin gerektirmektedir. Dikey ısı değiştiricileri, malzeme seçimi ve boyutlandırma işlemleri bakımından yatay ısı değiştiricileri ile aynı yöntem ile değerlendirilmelidir. Yatay ısı değiştiricilerinden farklı olarak, ön imalatı yapılmış dikey ısı değiştiricileri, toprağın altında dik olarak veya belirli bir açıyla yerleştirilmektedir. Toprağın altındaki soğuk hatları, gidiş ve dönüş borularından en az 70 cm uzakta olmalıdır.

Dikey toprak ısı değiştiricileri, sondaj kuyuları içerisine yerleştirilir. Doğru montaj ve dikkatli yapılan dolgu işlemleri sorunsuz bir işletim için temel ön koşullardır. Dikey toprak ısı değiştiricileri, fabrika üretimi olarak temin edilebilmektedir. Hazır dikey toprak ısı değiştiricileri montajı, genellikle sondaj firmaları taralından yapılmaktadır. Isı değiştiriciler, mekanik darbelere karşı korunmalıdır.

- Dikey ısı değiştiricilerin montajını kolaylaştırmak için kuyuya yerleştirilmeden önce içleri su ile doldurulur. Kuru sondaj çukurlarında, en son aşamada, dolgu yapmadan önce boruların dolgu malzemesi içerisinde yükselmesini engellemek için ısı değiştiricilerin su ile doldurulması gereklidir. Isı değiştiricinin uç kısmına ağırlık konulup konulmaması ayrıca değerlendirilmelidir.
- Dikey toprak ısı değiştiricilerin sondaj çukuruna yerleştirilmesinde, U-boruyu sondaj çukurunun iç yüzeyine kuvvet uygulayarak yerleştirmeye çalışmak yanlış olacaktır. Isı değiştirici boruların alt kısmında gerekli basıncı sağlayabilecek uygun bir araç kullanarak, borular düz bir şekilde sondaj çukurunun içerisine yerleştirilebilir. Genellikle su ile doldurulmuş ısı değiştirici boruların başta çok hızlı kaymasını önlemek için boruları tutmak ve derinlik artıkça yavaşça itmek gerekmektedir.
- Isı değiştirici boruları ile aynı anda dolgu borusu da, sondaj çukurunun içerisine yerleştirilmelidir. Sondaj çukura derinliğine bağlı olarak birden fazla dolgu borusu ile dolgu işleminin devamlılığını sağlamak gerekebilir.
- Isı değiştirici borular yerleştirildikten sonra, doldurulma işlemi, yapılmadan önce, su dolu ısı değiştiricisi borularına, basınç testi yapılması tavsiye edilir.
- Dolgu işlemi aşağıdaki işletim testi sonuçlarına bağlı olarak yapılmalıdır.
  - Test basıncı 6 bar,
  - Ön basınçlandırma 30 dak.

- Test süresi 60 dak.
- İzin verilen en yüksek basınç kaybı 0,2 bar

- Donmanın gerçekleşebileceği aylarda, ısı değiştirici borular basınçlı hava kullanarak kısmen boşaltılmalı ve bağlantıları tamamlanıncaya ve son dolum işlemi yapılıncaya kadar bu şekilde (akışkan seviyesi yaklaşık toprağın 2 m altında olacak şekilde) muhafaza edilmelidir.
- Dikey ısı değiştirici borular, bağlantıları yapılana kadar kapaklarla sıkıca kapatılıp, yapışkan bantlarla örtülmelidir.

Sondaj kuyularının dolgu işlemi

Dikey ısı değiştirici borular yerlerine yerleştirildikten sonra, boruların toprak ile teması düzgün bir dolgu işlemiyle yapılmalıdır. Isı değiştirici boruların çevresi, dip kısımdan en üst kısma kadar hiçbir boşluk kalmadan doldurulmalıdır. Bu dolgu işlemi aşağıdaki nedenlerden dolayı düzgün ve dikkatli şekilde yapılmalıdır:

- Kayaçlardan ısı taşıyıcı akışkana doğru veya tam ters yönlü gerçekleşecek ısı transferini iyileştirmek.
- Sondaj kuyusunun üst kısmından içeriye kirletici madde girmemesi ve yer altı su havzalarının kuyu içerisine sızmaması için sızdırmazlığın sağlanması. Dolgu işleminin uygunluğu için kuyu dibinden en üst kısma kadar uygun karışım ile dolum yapılmalıdır. Dolgu, su geçirmez, dayanıklı, dikey toprak ısı değiştiricisi ile kayaç arasında fiziksel ve kimyasal açıdan dengeli bir yapıya sahip olmalıdır. Hava boşlukları ve ceplerinin oluşumu engellenmelidir. Ancak, bazı özel durumlarda farklı yaklaşımlar yapılabilir. Dolgu işlemi sırasında aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir:
- Dikey ısı değiştirici borular sondaj kuyusuna yerleştirilirken, en dip noktaya kadar ulaşacak dolgu malzemesinin basılacağı bir boru ile birlikte indirilir. Dolgu işlemi ve kuyu derinliğine bağlı olarak bu boru, işlem devam ederken çıkartılabilir. Derin sondaj kuyusu işlemlerinde (derinlik > 60 m) dolgu borusunu çıkartmak zor olabilir ve bazen kuyu içerisinde bırakmak gerekebilir. Bu gibi durumlarda çift boru uygulaması yapılabilir. Biri en dip noktaya İkincisi de kuyunun yarı derinliğine yerleştirilebilir. Dolgu işlemi, en dip noktadan orta

seviyeye kadar aşağıda kalan boru ile gerçekleştirilir, kalan kısım yukarıdaki boru ile doldurulur.

- Üst dolgu borusunu çıkartırken, çıkan boru hacmi yerinde hava kalmaması için, dolum seviyesi her zaman ilk dolgu seviyesinin altında kalmalıdır. Sondaj çukuru içerisinde alt kısımda bırakılan dolgu borusu ise karışımla dolu kalmalıdır.
- Dolgu malzemesi bütün işletim sıcaklıklarına uygun olmalıdır. Özellikle sadece ısı çekişi yapılacaksa, dolgu malzemesi donmaya karşı dayanıklı olmalıdır. Uygulamalarda, bentonit (doğal kil minerali)-HOZ (yüksek derecede sulfata dayanıklı ve yavaş piriz alan özel çimento)-su veya bentonit-HOZ-kum-su karışımları tavsiye edilmektedir. Saf bentonit-su karışımları, düşük termal iletkenliğe sahip oldukları (10°C'de <0,7 W/m.K) ve donmaya karşı dayanıklı olmadıkları için kullanılmamaktadır. Çimento eklenmesi -15 dereceye kadar kullanım imkânı sağlamakta, kuvarslı kum eklenmesi ise termal iletkenliği arttırmaktadır (10°C'de 0,8 W/m.K den fazla).
- Bentonit-HOZ-kum-su karışımlarında, bentonit %10, çimento %10, kum ise yaklaşık %30 oranında olmalıdır. Sondaj kuyusu içerisine yerleştirilen dikey ısı değiştirici boruların termal genleşmesini engellememek ve kuyu dolgusunun esnek kalmasını sağlayabilmek için yoğun çimento veya aynı şekilde yoğun kaliteli harç veya çimento harcı kullanılmamalıdır.
- Kuvarslı kum eklemek, dolgu pompalarında yüksek miktarda aşınmaya sebep olabilir. Kuvarslı kum yerine, % 25/25/50 oranlarında saf bentonit-HOZ-su karışımına kuvars harcı ilavesi daha uygun olacaktır. Bentonit yerine diğer şişen killer veya topraktan elde edilen kil taşı da kullanılabilir.

Özel Durumlar

Geçirgen yapıdaki parçalanmış kayaçlar (gözenekli akiferler) ve 50 m'yi aşmayan sondaj kuyuları için, dikey toprak ısı değiştiricilerinin tamamen üst akifer katmanında bulunması ön koşulu ile daha önceden bahsedilen dolgu işlemlerinden farklı uygulamalar yapılabilir. İri çakıl veya yeterli büyüklükte iri taneli sondaj kesikleri içeriye dolacağından, yer altı su seviyesinin üzerinde sondaj kuyusu dolgusu, yukarıda belirtilen aşamalardaki gibi yapılabilir veya sondaj çukurundaki söz konusu derinlikler

Tablo 3.20'deki düşük özgül ısı çekme değerlerine göre yapılmalıdır. Yüzeyde killi bir katman oluşturulmalıdır ve ilgili yerel yönetmelik ve düzenlemelere uygun hareket edilmelidir.

Mevcut sondaj çamurları, dikey toprak ısı değiştiricilerinin ve dolgu borularının montajı yapıldıktan sonra, sondaj kuyusunu doldurmak için kullanılabilir. Endüstriyel olarak hazırlanmış bir karışım da (5:1 oranında bentonit-çimento karışımı veya farklı kireçtaşı harçları) sondaj çamuruna eklenmelidir. Sondaj çamurunun kuyu içerisine dolumu bir veya daha çok dolgu borusuyla sağlanabilir. Belirli bir miktar malzeme içeri pompalandıktan sonra dolgu borusunun bir kısmı çekilir ve yeni bir katman doldurulur.

Açılı dikey toprak ısı değiştiricileri

Açılı ısı değiştiriciler, toprak altına yerleştirilen kalın çeperli çelik borulardan oluşmaktadır. Açılı ısı değiştiricilerin kayaçlar ile olan teması için ek dolguya gerek duyulmamaktadır. Bu tarz ısı değiştiricilerinin montajları özel firmalar tarafından yapılmalıdır. Ancak, açılı ısı değiştiricilerini açılı sondaj kuyularına da yerleştirebilmek mümkündür.

Çelik dikey toprak ısı değiştiricileri ile yapılan uygulamalarda korozyon koruması büyük önem taşımaktadır. Gerekirse, katotik koruma yöntemleri ile borular güvence altına alınmalıdır.

Bağlantı borularının döşenmesi

- Toprak ısı değiştirici boruları, paralel bağlı devreler halinde düzenlenmelidir. Sistemin en yüksek noktasında bu paralel devreler, gidiş ve dönüş kollektörlerinde toplanmalı ve hava pürjörü veya uygun bir hava ayırıcı kullanılmalıdır.
- Her bir devreye açma-kapama ve debi ayar vanaları konulmalıdır.
- İzolasyon maliyetlerini azaltmak açısından, mümkün olduğunca çok ekipman, binanın dışarısında toprak altına yerleştirilmelidir. Her devrenin akışı bunların üzerinden sağlanmalıdır.

Basınç emniyeti

- Isı taşıyıcı akışkanın hacimsel değişimi uygun önlemler alınarak dengelenmelidir. Basınç dengelemesinde "açık genleşme tankları" kullanılması durumunda yerel şartlar belirleyici olacaktır.
- Kapalı devre sistemlerde basınç maksimum 3 bar mertebesinde olmalıdır. Isı taşıyıcı akışkanın hacimsel değişimi (bütün sistemin hacminin ortalama %0,8-l,0), DIN 4807 normlarına uygun, membranlı bir genleşme tankı ile dengelenebilir. Aşırı doldurma veya herhangi bir sebepten oluşacak yüksek basınca karşı önlem olarak, membranlı bir emniyet vanası konulmalıdır. Bu vananın ucundaki tahliye borusu ise bir toplama kabına ulaştırılmalıdır.
- Sistem basıncını izleyebilmek için, minimum ve maksimum basınç değerlerinin altında ve üzerinde değerlere sahip bir manometre konulmalıdır. Sistemde herhangi bir sızıntı durumunda kaçak tespiti için sesli veya görsel uyan verebilen bir donanım tavsiye edilir.

Akışkan doldurma işlemleri ve havanın alınması

- Toprak ısı değiştirici devresinin dolum işlemi, sadece hazır karışımlı ısı taşıyıcı akışkan kullanarak yapılmalıdır. Hazır ısı taşıyıcı akışkan su ve antifriz karışımlı bir bileşendir (Bölüm 3.4.4.9).
- Karışım oranı, donma koruması için sağlanan en düşük etki sıcaklığı, evaporasyon (buharlaşma) sıcaklığından en az 7 K düşük olacak şekilde ayarlanmalıdır (Üretici teknik kataloglarından yararlanılabilir). Güvenli bir işletim için -20°C'ye kadar donma koruması sağlanmalıdır.
- Isı taşıyıcı akışkan, her bir toprak ısı değiştirici devresindeki hava tamamen tahliye edilene kadar dolaştırılmalıdır.

Devreye alma

- Devreye almadan önce bütün sistem, işletme basıncının 1,5 katı basınçta çalıştırılmalıdır. Yapılan bu test sonuçları işletmeci ile paylaşılmalıdır.
- Bütün sistem bileşenlerinin işlevleri gözden geçirilmelidir.
- Her bir devreden geçen debinin eşit olduğu kontrol edilmeli ve eğer gerekliyse balanslama yapılmalı ve kayıt altına alınmalıdır. Sistemin işletmecisi, sistemin

kullanılması ve korunması konusunda ve bir sorun çıkarsa ne yapılacağı hakkında bilgilendirilmelidir.

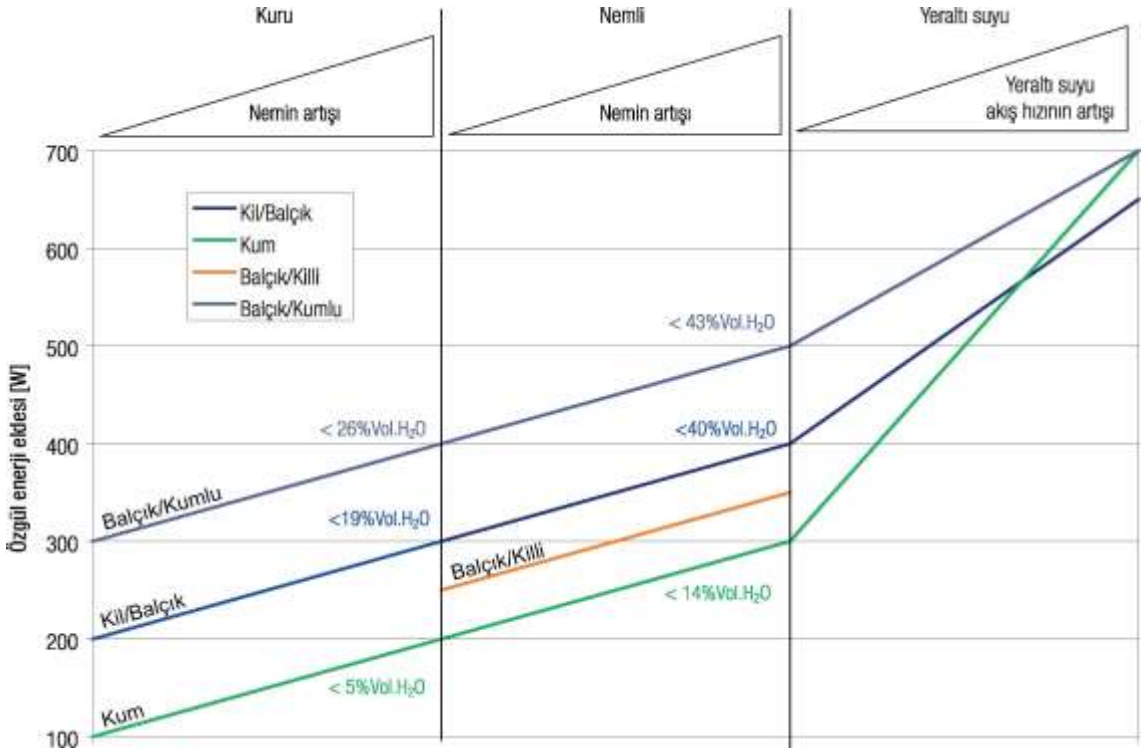
3.4.5.4. Helisel Toprak Isı Değiştiriciler

Helisel toprak ısı değiştiriciler sondaj kuyusunun açılmasının mümkün olmadığı ve buna ilaveten kullanılabilecek alanın bir yüzey kollektörü döşenmesi için yeterli olmadığı hallerde kullanılmaktadır. Sondaj kuyuları ile karşılaştırıldığında önemli ölçüde daha düşük uygulama derinliği nedeniyle, gereken izin zorunluluğu da ortadan kalkmadadır. Helisel toprak ısı değiştiricilerin yaklaşık hesaplanması için VDI 4640 Yönetmeliği'nin talimatları dikkate alınmalıdır. Helisel ısı değiştiriciler VDI 4640 Yönetmeliği uyarınca özel yapılandırılmış bir yer ısısı kollektörü olarak kabul edilmelidir. Şekil 3.54'da Helisel ısı değiştiricilerin montaj öncesi ve sonrası boyutundaki değişimin resmi görülmektedir 30 KW 'dan küçük tesisler için üretici firma tarafından verilen tasarım parametreleri Tablo 3.24'de ve Grafik olarak Şekil 3.53'de verilmiştir.

Tam yük işletim saatlerine, modülasyon aralığına, iklim koşullarına ve yer altı suyu etkisine bağlı olarak Tablo 3.24'de verilen değerler belirli kaymalar içermektedir. Devam eden planlama sürecinde yerel koşullara özel uyumlaştırılmış bir ölçümün yapılması tavsiye edilmektedir.

Tablo 3.24. Özgül ısı çekme gücü, yılda 1800 işletim saatinde 30 kW'a kadar ısıtma durumu [121](s:40)

Zemin	W / Helisel ısı değiştirici cinsinden çekilecek güç
Kum (kuru) < % 5 hacmen H2O	100 - 200
Kum (kuru) < % 14 hacmen H2O	200 - 300
Kum (ıslak yer altı suyu)	300 - 700
Kil/ şilt (kuru) < % 19 hacmen H2O	200 - 300
Kil/ şilt (kuru) < % 40 hacmen H2O	300 - 400
Kil/ şilt (ıslak yer altı suyu)	400 - 650
Balçık / kuvvetli kil	250 - 350
Kumlu balçık < % 26 hacmen H2O	300 - 400
Kumlu balçık < % 43 hacmen H2O	400 - 500
Kumlu balçık (ıslak yer altı suyu)	500 - 700



Veriler 1800 tam işletme saati süresi ve 30 kW'ye kadar ısıtma gücüne sahip sistemler için geçerlidir

Şekil 3.53. Bir Helisel Sonda İle Topraktan Çekilebilecek Isı Miktarı [122].(s:11)



Şekil 3.54. Helisel Isı Değiştirici [121](s:39).

Helisel toprak ısı değiştiricilerin ısı çıkarım gücünü esas olarak etkileyen zemin türleri ve ayrıca mevcut yer altı suyu durumu hakkındaki veriler jeolojik deneme sondajı/kazısı ile belirlenebilir. Özellikle yer altı suyu derinliği ve yer altı suyu debisi helisel toprak ısı değiştiricilerin erişeceği en fazla ısı çıkarım gücüne önemli derecede etki etmektedir. Kusursuz ve sürekli tesis işletimi sağlayabilmek için devam eden planlama sürecinde kesin zemin bilimsel veriler (zemin türü, yer altı durumları) mutlaka gereklidir.

Soğutma işletimi

Temel olarak ısıtma ve soğutma için kombine edilmiş yer ısısı kullanımı optimim bir tesis işletimi sağlamaktadır. Ek soğutma yükleri toprağın yenilenmesini sağlamaktadır. Toprağın bu ek "yüklenmesi" yüklenmenin zamanına, türüne ve süresine göre ısı çıkarım gücünün farklı yapılandırılmış değişikliğine yol açabilmektedir.

Helisel toprak ısı değiştiriciler koşullu olarak soğutma için de kullanılabilir. Bu durumda ve ayrıca ısıtmada/soğutmada mutlaka kesin bir ölçüm yapılmalıdır.

Kurulum/yerleştirme/montaj

Helisel toprak ısı değiştiricilerin kurulumunda, başka standartların ve yönetmeliklerin geçerli olmadığı durumda aşağıdaki mesafelere uyulmalıdır:

- Arsa sınırı/ bina: 1,5 m
- Su/ gaz hatları ve kanallar: 1,5 - 2 m
- Diğer besleme hatları: 0,5 m

Mevcut kanalların, hat döşemelerini ve binaları sağlamlığı olumsuz etkilenmemelidir. Besleme hatlarının donmaması garanti altına alınmalıdır. Gerektiğinde uygun koruma önlemleri alınmalıdır.

Helisel toprak ısı değiştiricilerin birbirine olan merkezi mesafesi 3-4 m olmalıdır. Optimal yer altı suyu durumlarında birbirlerine olan mesafe azaltılabilir.

Helisel toprak ısı değiştiricilerin montajı zemin durumuna veya kullanılabilir alana bağlı olarak çok farklı yapılandırılabilir. Tüm sistemin basınç kaybını olabildiğince düşük tutmak için Helisel toprak ısı değiştiricileri paralel bağlı devreler halinde kollektöre iletilmelidir ve bu esnada en fazla üç helisel toprak ısı değiştirici seri olarak bağlanmalıdır.

Genelde kollektör, optimum hava almanın sağlanması için, sistemin en yüksek noktasına kurulmalıdır. Bunun mümkün olmaması durumunda, tam bir hava almanın mümkün olması için, sistemin en yüksek noktasında uygun bir hava alma tertibatı öngörülmelidir.

Hazırlık

Önceden oluşturulan ve onaylanan sondaj planına göre helisel toprak ısı değiştiricilerin ve bağlantı odasının konumları işaretlenmelidir. Asgari mesafeler yerinde kontrol edilmelidir. Değişiklikler mutlaka projede belirlenmeli ve yükleniciye bildirilmelidir.

Mevcut toprak tane büyüklüğü nedeniyle sondajların doldurulmasına uygun değilse, gerekli miktarda kum inşaat sahibi tarafından hazır bulundurulmalıdır (bilgi olarak: her sondaj için yaklaşık 1 m^3, tane büyüklüğü 0-3 mm). Bunun dışında dolum için su bağlantısı ve yeterli uzunlukta bir hortum (en az ½") mevcut olmalıdır. Erişim yolları ve depolama alanları boş bırakılmalıdır.

Çukurun açılması

Tavsiye edilen döşeme yöntemi sondajın bir çukurda yapılmasıdır. Alternatif olarak sondaj yüzeyden toprak alındıktan sonra da yapılabilir.

Burada öncelikle çukur tabanının don bulunmayan bölgede olan bir çukur açılmalıdır. Yaklaşık 1,2 m derinliğin seçilmesi tavsiye edilmektedir.

İş güvenliği gereği olarak 1,25 m çukur derinliğinden itibaren toprak çökmesine karşı önlemler alınmalıdır.

Sondaj

Sondaj, toprak burgularının ya da toprak delici uçların monte edilebildiği basit araçlar ve inşaat makineleri ile yapılabilir. Matkabın asgari çapı yerinde karşılaşılacak zemin malzemesine bağlıdır.

Sondaj kuyusu çapı en az 0,42 m olmalıdır. Çukurdaki sondaj, toprak üst seviyeden toplam derinlik yaklaşık 4,2 m olacak şekilde 3 m derinliğe kadar indirilmelidir. Sondaj derinliği uygun ölçüm gereçleriyle kontrol edilip rapor edilmelidir.

Çok kumlu zeminde veya yoğun yer altı suyu etkisinde destek kılıfının kullanılması gerekli olabilir. Destek kılıfı sayesinde sondaj deliğine toprağın düşmesi ya da kendiliğinden kapanması önlenebilir.

Sondaj sırasında yer altı suyuna veya su taşıyan tabakalara rastlanırsa, yetkili onay makamı bilgilendirilmeli ve yapılacak işlemler kurum ile görüşülmelidir.

Helisel toprak ısı değiştiricilerin hazırlanması

Helisel toprak ısı değiştiricilerin montajdan önce hasara karşı kontrol edilmelidir. Helisel toprak ısı değiştiricilerin yerleştirilmesi için nakliye bağı çözülür ve Helisel toprak ısı değiştiricilerin 3 m'lik montaj uzunluğuna çekilir. Yaklaşık 4-5 m uzunluğunda bir yerleştirme latası yardımıyla Helisel sonda, Şekil 3.54'da gösterildiği gibi öngörülen tutma halkalarıyla sabitlenir.

Helisel Sonda'nın Kuyuya Yerleştirilmesi

Sondaj tamamlandıktan sonra Helisel sonda, sondaj deliğine yerleştirilir. Bu sırada komple uzunluğa çekilmiş olmasına ve doğrudan sondaj deliğinin zemininde durmasına dikkat edilmelidir. Bu sayede Helisel toprak ısı değiştiricinin istenilen derinlikte monte edildiği ve Helisel sondanın tabanında ısı aktarımını olumsuz etkileyecek boşlukların oluşmaması garanti edilebilmektedir.

Helisel toprak ısı değiştiriciyi sondaj deliğinde desteklemek ve böylece sondaj tabanında sabitlemek için Helisel sondasının ortasına kum dökülmelidir.

Boru tesisatlarının arasında mesafe oluşturmaya yarayan tutucu bantlara ağırlık takılmamalıdır.

Dolgu

Helisel toprak ısı değiştirici sondaj deliğine yeterince yerleştirilmişse, el ile doluma başlanır. Bunun için öncelikle sondaj deliğinin tabanına kadar bir su hortumu indirilip sondaj deliğine ön sulama yapılmalıdır.

Şimdi adımlar halinde kumla dolum yapılır. Helisel toprak ısı değiştirici ile dayandığı taban arasında iyi bir bütünleşmenin/oturmanın gerçekleşmesi için dolgu malzemesi su ile ıslatılmalıdır (bilgi olarak: 0,5 m'lik adımlar halinde). Hortum bu sırada adımlar halinde yukarıya çekilmelidir.

İhtiyaç duyulan ısı çıkarım gücünün garanti edilmesi için, doldurma sırasında boru ile sondaj duvarı arasında boşlukların oluşmamasına dikkat edilmelidir.

Dolgu malzemesi olarak çıkarılan zemin malzemesi, çamur haline getirilebildiği sürece, kullanılabilir. Zemin malzemesindeki ince tane oranı fazla yüksekse, biraz orta dereceli kumla karıştırılmalıdır. Enerji açısından kumlu ile çok kumlu arası balçık mükemmel dolgu malzemesi olarak görülmelidir.

Dolum tamamlandıktan sonra yerleştirme çubuğu çıkarılabilir. Bunun için gerektiğinde tutma halkaları kesilmeli ve ayrıca ardından tekrar toprak ıslatılmalıdır.

Eğer destek kılıfı kullanıldıysa bu da çıkarılmalıdır ve kalan boşlukların doldurulması için sondaj deliği tekrar kum/toprak ve su ile doldurulmalıdır.

Helisel toprak ısı değiştiricinin bağlanması

Koruma kapakları çıkarıldıktan sonra, boru uçları temizlenir ve bağlantı hattına bağlanır. Gidiş maviyle, dönüş ise kırmızıyla markalanmıştır.

Bağlantı standartlara uygun ve geçerli olan ilgili Teknik Kataloğa göre yapılmalıdır.

Basınç testi

Helisel toprak ısı değiştiriciler kurallara uygun biçimde monte edildikten sonra uygun debi ve basınç testi, yapılmalıdır. Test tek bir Helisel toprak ısı değiştiricide veya seri bağlanmış Helisel toprak ısı değiştiricilerde yapılabilmektedir.

Suyla doldurulmuş olan Helisel sonda donma tehlikesinde, arazi kotunun asgari 2 m altına dek boşaltılmalıdır. Bu, örnek olarak tek bir tarafa bağlanan basınçlı hava bağlantısı altında düşük basınç ile sağlanabilir.

Kollektör bağlantısı

Başarılı basınç testinden sonra salamura kollektörüne bağlantı gerçekleştirilir.

Çukur dolumu

Sistemin tamamının başarılı kurulumundan sonra çukur ve kollektör bağlantı odası etrafında icabında açılan boşluk tekrar kurallara uygun biçimde doldurulmalıdır.

Bu sırada özellikle uygun dolgu malzemesine ve daha sonraki çökmeleri engellemek amacıyla ayrıca zeminin yeterince sıkıştırılmasına özen gösterilmelidir.

Dolum, basınç testi, ayarlama

Toplam sistemi devreye almadan önce tekrar uygun son bir basınç testi, gerçekleştirilmelidir. Test tutanağı, saklaması için yapı sahibine teslim edilmelidir.

Son olarak tesis hazır karıştırılmış ısı taşıyıcı akışkan (örneğin etilen glikol) ile doldurulmalıdır. Donmaya karşı -15 °C'ye kadar ayarlanmalıdır.

Helisel toprak ısı değiştiricilerin düzenli debiyi kollektörden akış ölçerler aracılığıyla kontrol edilmeli ve gerektiğinde ayarlanmalıdır.

Bitki ekimi

Bahçe düzenlemesinde Helisel toprak ısı değiştirici alanının üzerinde, Helisel toprak ısı değiştiricilerin işlevine ve bitkilere olumsuz etkinin oluşmaması için derin kök salan ağaçların ekilmemesine özen gösterilmelidir.

3.4.5.5. Farklı Toprak Isı Değiştiricileri Uygulamaları

a. Temel Kazıklarının Isı Değiştirici Olarak Kullanılması (Enerji Kazıkları)

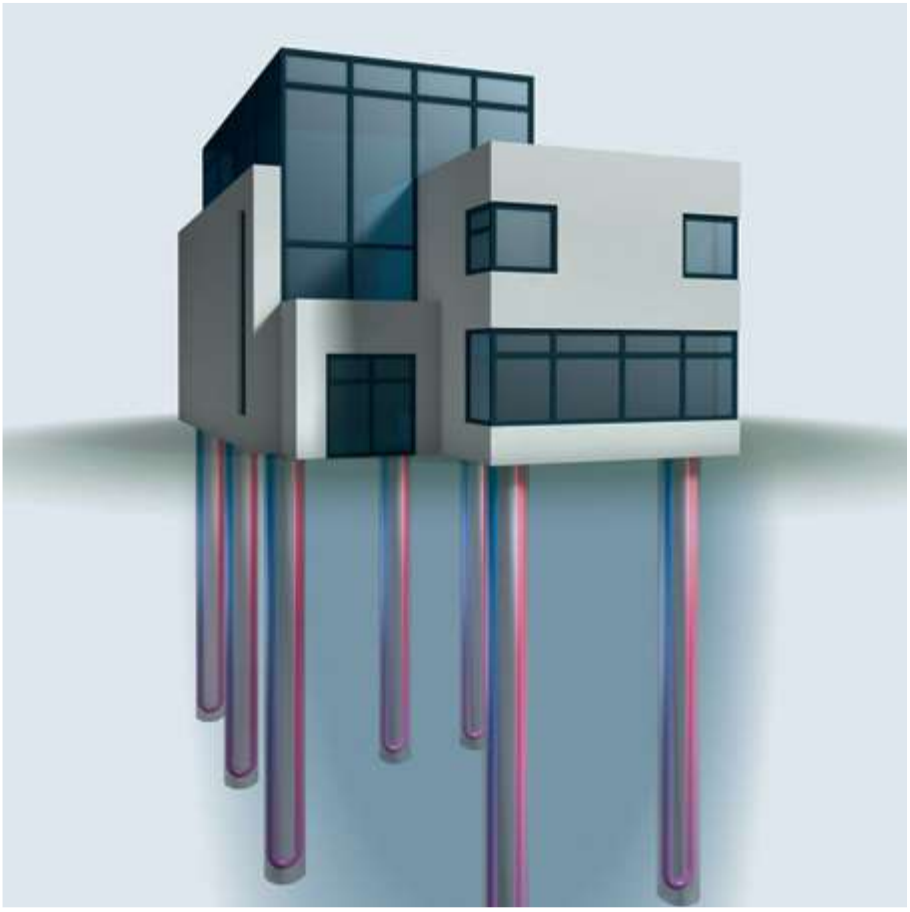
Yük taşıma özellikleri zayıf olan zeminlerde, yapıları inşa etmek için temel kazıkları çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Prensipte iki farklı tip temel kazık çeşidi bulunmaktadır:

- Fabrikada üretilip sahada toprağın yerleştirilen kazıklar
- Sahada üretilen itmeli beton kazıklar, matkaplı beton kazıklar gibi betonun sahada önceden açılmış deliklere döküldüğü tipler

Eğer enerji kazıklan kısmen veya tamamen yer altı suyunun içerisindeyse, bu tip uygulamalar özel izin gerektirmektedir. Enerji kazıklan, ısı pompaları için ısı kaynağı olabildikleri gibi ayrıca ısıtma ve soğutma özellikli sistemler için de uygun ısı değiştiriciler olarak kullanılabilirler.

Tasarım

Enerji kazıklarının tasarımı, dikey toprak ısı değiştiricileri tasarlanırken kullanılan metotların aynısı uygulanarak yapılabilmektedir. Fakat hesaplamalar, kazık sıcaklığı hiçbir zaman donma sıcaklığına ulaşmayacak şekilde yapılmalıdır. Eğer enerji kazıklan soğutma için kullanılacaksa, mümkün olan en yüksek sistem sıcaklığı sorumlu kişiler ile birlikte kararlaştırılmalıdır.



Şekil 3.55. Isı Değiştiricisi Olarak Kullanılan Enerji Kazıkları [123].(s:41)

Statik hesaplamalara göre gerekli olan önkoşullar her zaman öncelikli önem teşkil etmektedir. Güvenli bir temel için kullanılacak kazıkların sağlayabileceği termal enerji hesaplanır ve ısıtma veya soğutma işletimi için gerekli ek kapasite diğer bağımsız sistemlerle desteklenerek sağlanır. Müstakil villa inşaatlarında kullanılacak temel kazıklan ile ısı pompalarının tekli (monovent) işletim şekli ile ısıtma yapmasına yeterli olacak şekilde desteklenmesi sağlanabilir. 10 kW ısıtma gereksinimi ve 1.500 saat ısı pompası işletim süresi söz konusu olan örnek bir yapı için 20-26 adet her biri 12 m uzunluğunda enerji kazıklarına ihtiyaç duyulacaktır.

Fabrikada üretilen kazıklar

Değişik kesit alanlarına sahip temel kazıklan bulunmaktadır (dörtgen, altıgen, dairesel). Tipik dörtgen kazıkların boyutları 24x24 cm2, 30x30 cm2 veya 40x40 cm2 olabilir. Zayıf yapıya sahip kazıklar, kesit alanına bağlı olarak 2-14 m arasındaki uzunluklarda üretilirler.

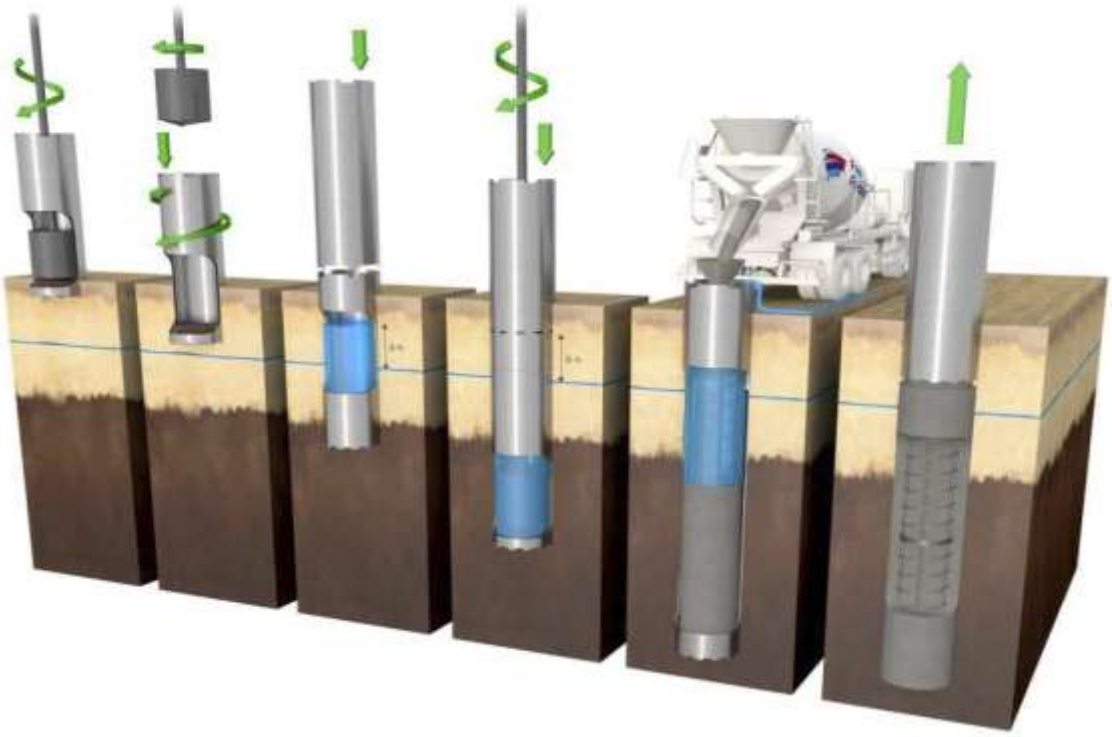
Enerji kazıklarının üretiminde nominal çapları 20 mm veya 25 mm olan PE borular (DIN 8075 normlarına göre), çelik kafeslere bağlanmaktadır. Kazığın üst kısmında yaklaşık 50 cm'lik kısmı bağlantı boruları için kullanılmalıdır. Borular yukarı ve aşağı birkaç tur döndürülmesi durumunda (dört tura kadar, bu durumda kazık kesitinde sekiz boru kullanılmış olur), kazığın boyuna göre her bir kazık için yaklaşık 50-100 m arası boru kullanılmış olacaktır. 6 m ve daha uzun kazıkların kullanılması durumunda, enerji verimli şekilde üretilmektedir. Enerji kazıklan olarak kullanılacak kazıklar için maksimum uzunluk 14 m'dir.

Fabrikada üretilmiş enerji kazıklarının kullanımında, yerleştirme için ekstra bir işçilik gerekmemektedir. Buna rağmen bağlantı boruları için bırakılan boşluğun, binanın dışarısında kalmamasına özen gösterilmelidir. Fabrikada üretilen kazıklan kullanmanın bir diğer avantajı da, bu kazıkların içerisine yerleştirilen boruların montajının fabrikada sızıntılara karşı test edilmesi, yerleşiminin kontrol edilmesi ve boruların beton ile temasının en yüksek seviyeye çıkartılarak optimum ısı transferinin sağlanabilmesidir.

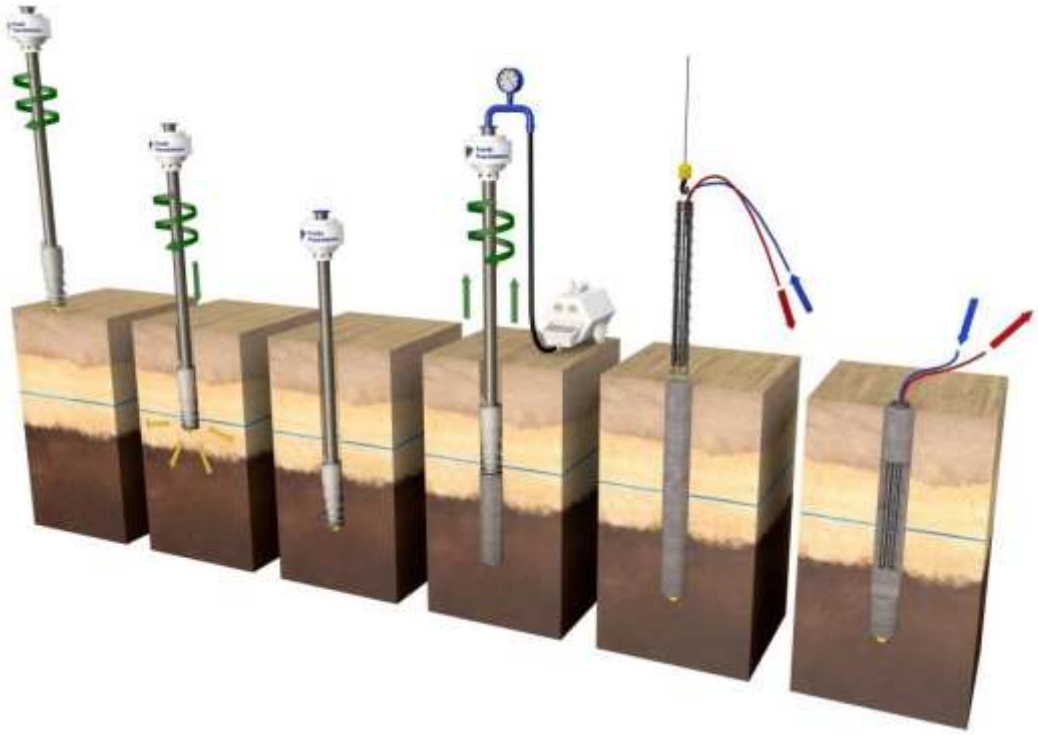
Fabrikada üretilen kazıkların bir diğer tipi de içi boş olanlarıdır. Borular hazır kazıkların içerisindeki boşluklara yerleştirilebilir. Kesit alanına bağlı olarak, ikiden dört boruya kadar uygulama yapılabilmesi mümkündür. Boşluk sonradan doldurulmalıdır. Bu kazıkların avantajı, bütün kazık boyunun enerji yüzeyi olarak kullanılabilir olmasıdır (birkaç ek parçadan oluşan derin kazıklarda bile kullanılabilir). Dezavantajları ise boruların konumlan tam olarak kontrol edilemez ve boşlukların sonradan sahada doldurulma zorunluluğudur.

Sahada üretilen beton kazıklar

Sahada üretilen beton kazıklar, itmeli beton kazıklar ve matkaplı beton kazıklar olarak ikiye ayrılır. İtmeli beton kazıklar için çelik bir boru, örneğin titreşimli bir itme makinesi kullanılarak, toprağın içerisine itilir. Destek çelik kafes, bu çelik borunun boşluğuna yerleştirilir ve betonla doldurma işlemi gerçekleştirilir. Çelik boru beton dökme işlemi yapılırken çıkartılır. Daha büyük yükler için, çapları 2,5 m'ye kadar olan kazıklar kullanılır.



Şekil 3.56. İtmeli Beton Kazık Uygulaması [124].



Şekil 3.57. Matkaplı Beton Kazık Uygulaması [125].

PE boruların, destek kafeslerine yerleşimi fabrikada yapılabilir. Kazıkların üst kısmında, gidiş ve dönüş borularına bir manometre ve bir vana takılmalıdır. Boru tesisatı yaklaşık 10 bar basınca getirilmelidir ve daimi (ulaşım, montaj, beton dökme işlemleri süresince gidiş-dönüş kollektörlerine bağlanana kadar) basınçta tutulup kayıt altına alınmalıdır. Uzun kazık uygulamalarında, tüm kazık uzunluğu kullanılacaksa ve her bir destek kafesi birbiri üzerine eklenerek uygulama yapılacaksa, destek kafesleri arasında mümkün olduğunca az boru bağlantısı kullanılmalıdır (her biri için bir gidiş ve dönüş devresi).



Şekil 3.58. Sahada Üretilen Beton Kazık Uygulamasında Çelik Kafesler [126].

b. Yer Yüzeyi İle Temas Halinde Olan Betonarme Yapı Bileşenleri

Topraktan binaya ısı çekişi veya binadan toprağa olan ısı atılması, büyük yatay veya dikey betonarme parçalar vasıtasıyla yapılabilir. Genel tasarım değerleri bu bölümde verilmeyecektir. Eğer sıcaklıklar 0°C'nin altına düşerse, buz oluşumunun beton yüzeylere çok zararlı etkisi vardır. Binanın dışında kalan ve toprak ile temas halindeki beton yapı bileşenleri, özellikle kışın taze havanın ön ısıtması, yazın ise ön soğutması yapmak için kullanılabilir.

Yatay yapısal elemanlarda çelik örgü bulunur. Çelik örgüler, PE boruların 20-30 cm aralıklarla sabitlenmesinde kullanılabilirler (DIN 8075 normlarına göre). Dikey yapısal elemanlarda ise (ince uzun duvarlar, istinat duvarı), destek kafesleri PE boruların sabitlenebileceği şekilde hazırlanmıştır (DIN 8075 normlarına göre). Her bir borunun devreler halinde eşit uzunluklarda olması gerekmektedir. Borular döşendikten ve hepsi kollektörlerde toplandıktan sonra, sistem 10 bar basınçta çalıştırılmak ve test edilmelidir. Yatay döşeme uygulamalarında, bütün testler uygun olduğu takdirde boru tesisatı ince betonla örtülmeli, daha sonra üst kısımda kalan yapısal inşai faaliyetler sürdürülmelidir.

c. Kompakt Yatay Toprak Isı Değiştiricileri

Yatay toprak ısı değiştiricilerim küçük arazilerde uygulayabilmek amacıyla çeşitli çözümler geliştirilmiştir. İki değişik tip ön plana çıkmış ve yaygınlaşmıştır:

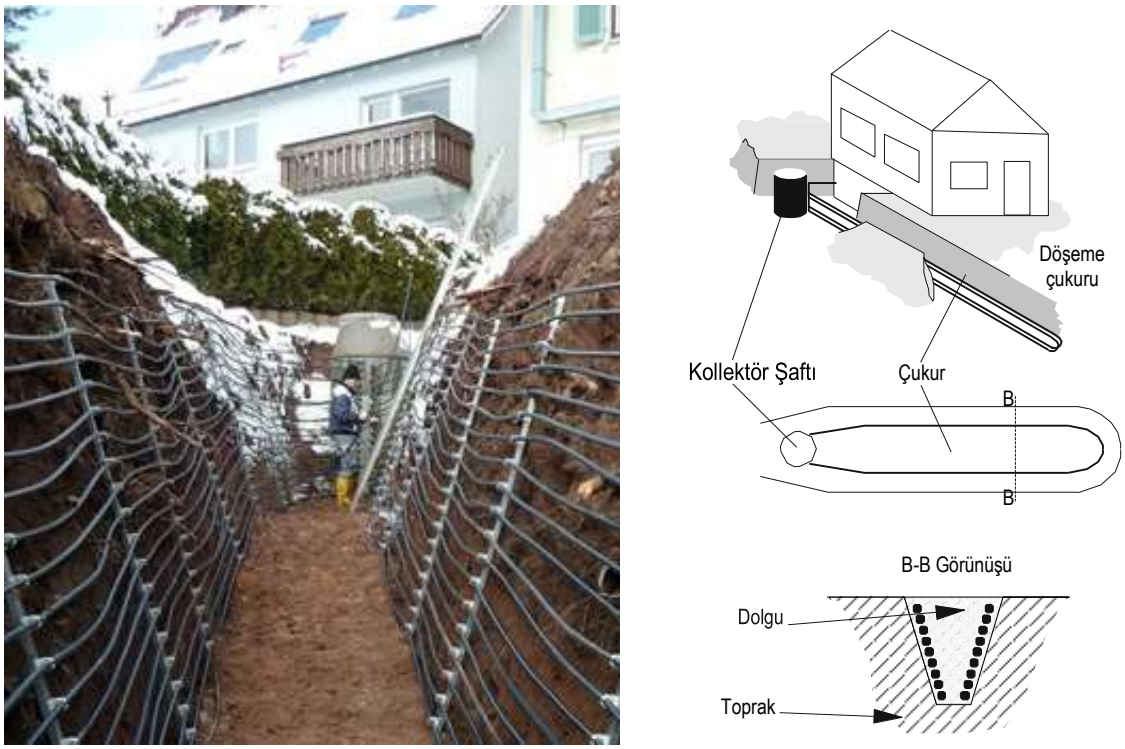
- Çukur içi ısı değiştiricileri
- Spiral ısı değiştiricileri

Diğer bir metot ise ısı transfer yüzeyini genişletmek için bakır borulara ve bakır levhalardan özel toprak ısı değiştirici uygulamasıdır. Fakat bu uygulama çok yaygın olmadığından bu bölümde bahsedilmeyecektir. Yatay kompakt toprak ısı değiştiricileri, ısıtma ve soğutma yapan sistemler için çok uygundur. Bu nedenle spiral kollektörler Kuzey Amerika'da son derece yaygındır. Fakat sadece ısıtma yapan sistemler için, kompakt tasarımlar ile sınırlı sonuçlar elde edilmektedir. Sadece ısıtma yapan sistemlerde, toprak sıcaklığının doğal dengesine ulaşması için geniş bir alan gerekmektedir.

V tipi çukur toprak ısı değiştiricileri

V tipi çukur toprak ısı değiştiricileri için 3 m derinliğinde eğimli yüzeyleri olan bir çukur kazılmalıdır. PE borular (DIN 8075 normlarına göre), yakın aralıklarla (yaklaşık 10 cm) çukurun içerisine döşenip taşıyıcı askılarla sabitlenmelidir. Daha sonra çukur yeniden doldurulmalıdır. İşlem sırasında DIN 4124 şartlan mutlaka dikkate alınmalıdır. Çukurun zemin yüzeyi, güvenlik şartları sağlandığı takdirde, kullanılabilir alan olarak kabul edilebilir. Tasarım değerleri burada verilmeyecektir. Uygulamalarda, yazın toprak altı için ısıtma periyodu (ısı pompası soğutma işletimi) olmayan

sistemlerde, zeminin doğal sıcaklık değişimini sağlaması ve uzun süreli işletimde buzlanmayı önlemesi için yeterli ısı değiştirici yüzeyi sağlanmalıdır.



Şekil 3.59. V Tipi Çukur Toprak Isı Değiştiricisi Uygulaması [127], [128](s.410).

Spiral toprak ısı değiştiricileri

İki değişik tipte spiral ısı değiştirici tipi bulunmaktadır.

- Slinky kollektör
- Svec kollektör

Bunların ilk uygulamaları kuzey Amerika'da yapılmıştır. Slinky uygulamalarında, standart sarmal plastik boru geniş bir çukur içerisine, sarmallar üst üste gelecek şekilde dairesel olarak döşenir. Daha sonra çukur doldurulur. Bu sistem, ısı pompasının her kW ısıtma kapasitesi başına 5-6 m uzunluğunda çukur gerektirmektedir.

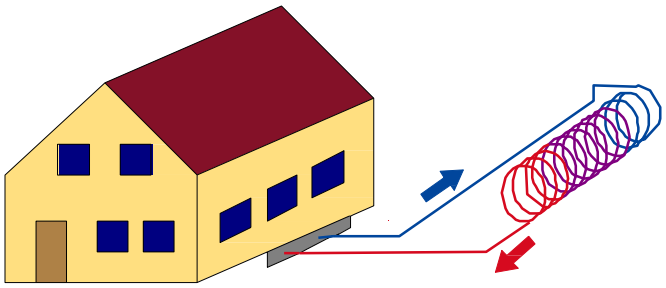


Şekil 3.60. Yatay Slinky Toprak Isı Değiştiricisi Uygulaması [129].



Şekil 3.61. Dikey Slinky Toprak Isı Değiştiricisi Uygulaması [130].

SVEC kollektörlerde ise plastik bir boru fabrikada davul şeklinde bir silindirin etrafına sarılmıştır. Montaj esnasında hazırlanan çukur boyunca halkalı yay şeklinde açılarak ve ardından sabitlenerek üzeri yeniden kapatılır.



Şekil 3.62. Svec Kollektör [131].

SLINKY kollektörler, ayrıca dik olarak dar çukurların içerisine yerleştirilebilir. Fakat bu tarz kollektörler, dik spiralleri yüzünden hava birikimi problemi yaşatmaktadır ve Avrupa'da henüz kullanılmamaktadır.

d. Madenler ve Tüneller

Toprak altında yapay olarak oluşturulan boşluklar ısı kaynağı olarak da kullanılabilir. Almanya ve Kuzey Amerika'da kullanılmayan madenlerden, İsviçre'de de büyük tren yollarından ve tünellerden gelen sular bu amaçla kullanılmaktadır.

Madenlerde bulunan su, toprağın üzerindeki sondaj kuyuları ile çekilip tekrar maden tünellerine gönderilir. Su, madenlere genellikle başka bir sondaj kuyusu ile gönderilir, fakat besleme ve boşaltım kuyuları arasında mümkün olabildiğince uzun bir mesafe olmalıdır. Dağ eteklerindeki madenlerde, vadilerden doğal olarak tünellere gelen sular da ısı kaynağı olarak kullanabilir. Bu sistemlerde, suyun miktarı ve kalitesine bağlı olarak kuyuların ve tünellerin tasarımları uygun olmalıdır.

BÖLÜM 4

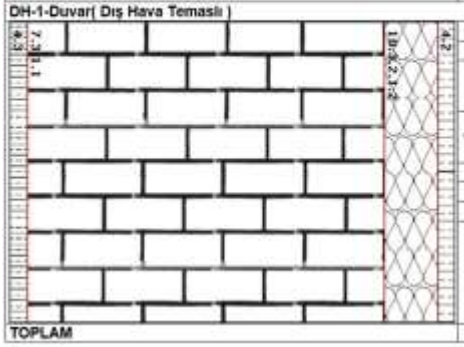
UYGULAMA

4.1. Bina Bilgileri

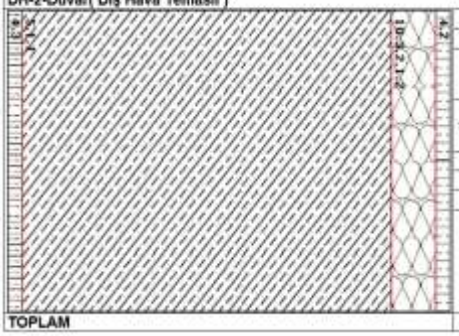
Edirne'de betonarme karkas 9 katlı olarak inşa edilmiş olup Bodrum katı depo ve kapıcı dairesi, Zemin Katı İşyeri diğer katlar da 1+1, 2+1, 3,1 şeklinde muhtelif büyüklüklerde konut olarak kullanılacaktır. Normal Katlardaki konut sayısı toplam 28 dairedir.

4.1.1. Bina Yalıtımı

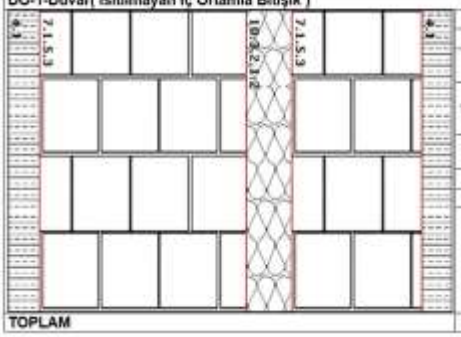
Bina'nın TS 825 e göre Isı Yalıtım projesi yapılmış ve uygulamada bu projeye sadık kalınmıştır. Yapılan ısı yalıtım projesine göre "Isı İhtiyacı Kimlik Belgesi"nde "B Tipi Bina", "İyi Enerji Verimli Bina" olarak bulunmuştur. Bu belge Şekil 4.6'da verilmiştir. Her ne kadar TS 825'e göre düzenlenen belgenin Enerji Performans Yönetmeliği açısından geçerliliği olmasa da, binanın yalıtım durumu hakkında bilgi vermektedir. Bina yapı elemanlarına ait detayların bir kısmı Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5'de verilmiştir.

BİNADAKİ YAPI ELEMANLARI			Yapı Elemanının Kalınlığı	Isıl İletkenlik Hesap Değeri	Isıl İletkenlik Direnci	Isıl Geçirgenlik Katsayısı
			d	λ_h	R	U
			(m)	(W/mK)	(m^2K/W)	W/m^2K
DH-1-Duvar(Dış Hava Temaslı)						
	$1/\alpha_i$	Yüzeysel ısıl iletim katsayısı (iç)			13	
	4.3	Alçı harcı,kireçli alçı harcı	0,01	0,70	0,01	
	7.3.1.1	Normal derz kalınlığında ve normal harçla yerleştirilmiş bloklarla yapılan duvarlar	0,2	0,20	1	
	10.3.2.1.2	Ekstrüde polistiren köpüğü - TS 11989 EN 13164 e uygun; yoğunluk ≥25; ısıl iletkenlik grubu 035	0,03	0,035	0,86	
	4.2	Çimento harcı	0,01	1,6	0,01	
	$1/\alpha_d$	Yüzeysel ısıl iletim katsayısı (dış)			0,08	
		Dış Cephe Kaplaması Vardır.				
TOPLAM					14,96	0,067

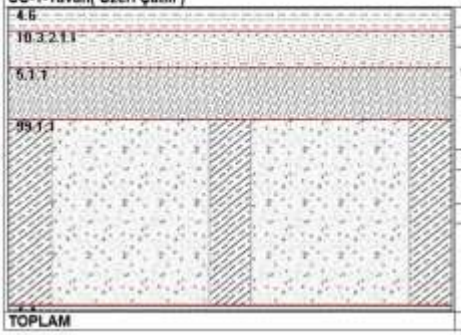
Şekil 4.1. Gazbeton Dış Duvar Yalıtım Detayı

BİNADAKİ YAPI ELEMANLARI			Yapı Elemanının Kalınlığı	Isıl İletkenlik Hesap Değeri	Isıl İletkenlik Direnci	Isıl Geçirgenlik Katsayısı
			d	λ_H	R	U
			(m)	(W/mK)	(m^2K/W)	W/m^2K
DH-2-Duvar(Dış Hava Temaslı)						
	1/α_i	Yüzeysel ısıl iletim katsayısı (iç)			0,13	
	4.3	Alçı harcı,kireçli alçı harcı	0,01	0,70	0,01	
	5.1.1	Donatılı - Normal beton (TS 500e uygun) doğal agrega veya mıcır kullanılarak yapılmış betonlar	0,25	2,5	0,1	
	10.3.2.1.2	Ekstrüde polistiren köpüğü - TS 11989 EN 13164 e uygun; yoğunluk ≥25; ısıl iletkenlik grubu 035	0,03	0,035	0,86	
	4.2	Çimento harcı	0,01	1,6	0,01	
	1/α_d	Yüzeysel ısıl iletim katsayısı (dış)			0,08	
		Dış Cephe Kaplaması Vardır.				
TOPLAM					1,19	0,842

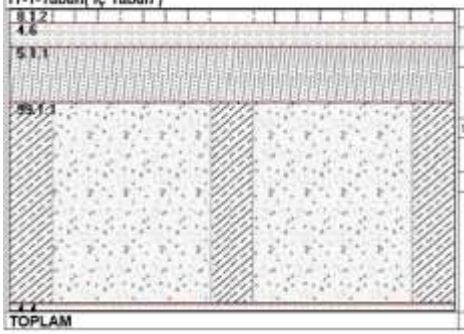
Şekil 4.2. Betonarme Elemanların Yalıtım Detayı

BİNADAKİ YAPI ELEMANLARI			Yapı Elemanının Kalınlığı	Isıl İletkenlik Hesap Değeri	Isıl İletkenlik Direnci	Isıl Geçirgenlik Katsayısı
			d	λ_H	R	U
			(m)	(W/mK)	(m^2K/W)	W/m^2K
DO-1-Duvar(Isıtılmayan İç Ortamla Bitişik)						
	1/α_i	Yüzeysel ısıl iletim katsayısı (iç)			0,13	
	4.1	Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,02	1,0	0,02	
	7.1.5.3	Yatay delikli tuğlalarla duvarlar (TS EN 771-1)	0,135	0,39	0,35	
	10.3.2.1.2	Ekstrüde polistiren köpüğü - TS 11989 EN 13164 e uygun; yoğunluk ≥25; ısıl iletkenlik grubu 035	0,03	0,035	0,86	
	7.1.5.3	Yatay delikli tuğlalarla duvarlar (TS EN 771-1)	0,085	0,39	0,22	
	4.1	Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,02	1,0	0,02	
	1/α_d	Yüzeysel ısıl iletim katsayısı (dış)			0,13	
TOPLAM					1,73	0,5x0,581

Şekil 4.3. Birimler (Daireler) Arası Duvar Yalıtım Detayı

BİNADAKİ YAPI ELEMANLARI			Yapı Elemanının Kalınlığı	Isıl İletkenlik Hesap Değeri	Isıl İletkenlik Direnci	Isıl Geçirgenlik Katsayısı
			d	λ_H	R	U
			(m)	(W/mK)	(m^2K/W)	W/m^2K
CC-1-Tavan(Üzeri Çatılı)						
	1/α_d	Yüzeysel ısıl iletim katsayısı (dış)			0,08	
	4.6	Çimento harçlı şap	0,03	1,4	0,02	
	10.3.2.1.1	Ekstrüde polistiren köpüğü - TS 11989 EN 13164 e uygun; yoğunluk ≥25; ısıl iletkenlik grubu 030	0,05	0,030	1,67	
	5.1.1	Donatılı - Normal beton (TS 500e uygun) doğal agrega veya mıcır kullanılarak yapılmış betonlar	0,07	2,5	0,03	
	99.1.1	Gazbeton Asmolen	0,25	0,2	1,25	
	4.4	Yalnız alçı kullanarak (agregasız) yapılmış sıva	0,01	0,51	0,02	
	1/α_i	Yüzeysel ısıl iletim katsayısı (iç)			0,13	
TOPLAM					3,2	0,8x0,3122

Şekil 4.4. Üzeri Çatı Örtülü Tavan Detayı

BİNADAKİ YAPI ELEMANLARI			Yapı Elemanının Kalınlığı	Isıl İletkenlik Hesap Değeri	Isıl İletkenlik Direnci	Isıl Geçirgenlik Katsayısı
			d	λ_H	R	U
			(m)	(W/mK)	(m^2K/W)	W/m^2K
IT-1-Taban(İç Taban)						
	$1/\alpha_i$	Yüzeysel ısıl iletim katsayısı (iç)			0.17	
	8.1.2	Kayın, meşe, dişbudak	0,017	0,20	0,08	
	4.6	Çimento harçlı şap	0,03	1,4	0,02	
	5.1.1	Donatılı - Normal beton (TS 500e uygun) doğal agrega veya mıcır kullanılarak yapılmış betonlar	0,07	2,5	0,03	
	99.1.1	Gazbeton Asmolen	0,25	0,26	0,96	
	4.4	Yalnız alçı kullanarak (agregasız) yapılmış sıva	0,01	0,51	0,02	
	$1/\alpha_d$	Yüzeysel ısıl iletim katsayısı (dış)			0.17	
TOPLAM					1,45	0,6878

Şekil 4.5. Birimler Arası Ara Kat Detayı

Burada özellikle diğer TS 825 de belirtilmesine rağmen gerek projelendirme aşamasında gerekse uygulama esnasında uygulanmayan Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'deki birimleri ayıran yapı elemanların yalıtılması ile ilgili detaylardır. Hem merkezi sistemlerde harcanan enerjinin ölçülmesi ile ilgili yasal zorunluluk, hem de bireysel ısınmada birim sahiplerinin mağduriyetinin önüne geçmek için uyulması gereken teknik bir zorunluluktur. Aynı zamanda binalarda asgari yaşam kalitesinin sağlanması sadece ısı yalıtımı ile değil, birlikte ses yalıtımı da sağlamalıdır. Bu binada bu detayların uygulaması yapılmıştır.

Tablo 3.25. Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı

YILLIK ISITMA ENERJİSİ İHTİYACI

Tarih : 10/10/2009
Sayfa : 9

Proje Adı : MEP4

Aylar	Isı Kaybı			Isı Kazançları			KKO	Kazanç Kullanım Faktörü	Isıtma Enerjisi İhtiyacı
	Özgül Isı Kaybı	Sıcaklık Farkı	Isı Kayıpları	İç Isı Kazancı	Güneş Enerjisi Kazanci	Toplam			
	$H=H_i+H_v$	$T_i - T_d$	$H(T_i - T_d)$	Φ_i	Φ_g	$\Phi_T=\Phi_i+\Phi_g$	γ	η_{ay}	Q_{ay}
	(W/K)	(K,°C)	(W)	(W)	W	(W)	(-)	(-)	(kJ)
Ocak	2613	16,1	42.068	9.590	6.833	16.423	0,39	0,923	69.757.437
Şubat	2613	14,6	38.148	9.590	8.733	18.322	0,48	0,875	57.310.166
Mart	2613	11,7	30.571	9.590	11.211	20.801	0,68	0,77	37.724.644
Nisan	2613	6,2	16.200	9.590	12.278	21.867	1,35	0,523	12.330.565
Mayıs	2613	1	2.613	9.590	14.960	24.550	9,40	(-)	
Haziran	2613	Td yüksek	(-)	9.590	15.844	25.434	(-)	(-)	
Temmuz	2613	Td yüksek	(-)	9.590	15.385	24.974	(-)	(-)	
Ağustos	2613	Td yüksek	(-)	9.590	14.157	23.747	(-)	(-)	
Eylül	2613	Td yüksek	(-)	9.590	11.479	21.069	(-)	(-)	
Ekim	2613	4,9	12.803	9.590	8.916	18.506	1,45	0,499	9.233.671
Kasım	2613	10,5	27.435	9.590	6.522	16.112	0,59	0,818	36.958.920
Aralık	2613	15,2	39.716	9.590	5.940	15.530	0,39	0,922	65.810.769

Toplam $Q_{yıl} = \Sigma\ Q_{ay} = 289.126.173$ kJ
$Q_{yıl} = 0,278 \times 1/1000 \times 289.126.173 = 80.377$ kWh

Bu bina için sınırlandırılan enerji ihtiyacı Q' = 16,63 kWh / m³
Bu bina için hesaplanmış olan ısı ihtiyacı Q = 13,41 kWh / m³

Q < Q' olduğundan bu bina için yapılmış olan ısı yalıtım projesi TS 825 standardına uygundur.

Tablo 3.26. Pencere ve Kapı Listesi

Pencere ve Kapı Listesi

Tarih : 10/10/2009
Sayfa : 10

Proje Adı : MEP4

Pencerelerin Toplam Alanı : 306,04 m^2

PENCERE - 1			
Toplam Alan		**U - Değeri**	**Güneş Enerjisi Geçirme Faktörü (g)**
306.04 m^2		2.1 W/m^2k	Çok Katlı Cam (0,75)
Yönler		**Gölgelenme Faktörü**	
Güney	72,66 m^2	Ayrık Binalı Bölgeler (0,8)	
Kuzey	60,66 m^2	Ayrık Binalı Bölgeler (0,8)	
Doğu	75,21 m^2	Ayrık Binalı Bölgeler (0,8)	
Batı	97,51 m^2	Ayrık Binalı Bölgeler (0,8)	

Kapıların Toplam Alanı : 6,6 m^2

KAPI - 1	
Toplam Alan	**U - Değeri**
4,40 m^2	Metal - Isı Yalıtımlı, Dış(4,0) W/m^2K
KAPI - 2	
Toplam Alan	**U - Değeri**
2,20 m^2	Isıtılmayan İç Ortama Açılan Kapı, (2,0) W/m^2K

Proje Adı : MEP4

Tarih : 10/10/2009
Sayfa : 6

ISI İHTİYACI KİMLİK BELGESİ

Ada/Parsel :2451/E17D07C2A
Binanın Tanımı :MEP4
Cadde ve Bina Numarası :K.KARABEKİR
Semt/İlçe/İl :KAVGAZ, MERKEZ, EDİRNE
Kullanılacak Yakıt Türü :Doğalgaz

	Müsaade Edilen Maksimum Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı	Hesaplanan Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı
A_{top} = **2363,64 m²** V_{brut} = **5993,44 m³** A/V = **0,39 m⁻¹** A_n = **1917,9 m²**	Q' = **16,63 kWh/m³** Q' = ---- **kWh/m²**	Qyıl = **13,41 kWh/m³** Qyıl = ---- **kWh/m²**

Birim hacim veya birim alan başına tüketilecek yakıt miktarı [kg. m³]
860 x Qyıl / (Yakıtın Kalorifik Değeri x Sistem Verimi) [Kcal / kg.m³] = 1,57 [kg.m³] yakıt

Önemli Not : Buradaki hesaplama sonucu elde edilen yakıt miktarı, binanın TS 825'teki kabullerine göre yalıtılması sonucu elde edilmektedir. Yerleşim birimlerindeki iklimsel koşullara göre değişiklik gösterebilecek olan bu değer her zaman gerçek tüketimi vermeyebilir.

Atop : Dış duvar, tavan, taban/döşeme, pencere, kapı. Dış ölçülere göre bulunur
Vbrüt : Binayı çevreleyen dış kabuğun ölçülerine göre hesaplanan hacmidir. Birimi "m3"tür.
A/V : Isı kaybeden toplam yüzeyin (Atop) ısıtılmış yapı hacmine (Vbrüt)oranıdır. Birimi "m-1" dir
Q' : A/V oranına bağlı olarak müsaade edilen maksimum yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacıdır. Birimi "kWh/m2, kWh/m3" tür
Qyıl :Bu bina için hesaplanmış olan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı. Birimi "kWh/m2, kWh/m3" tür.
An :Binanın net kullanım alanıdır (An = 0.32 Vbrüt formülü ile hesaplanır.)

Binanın Enerji Verimliliği Endeksi

C Tipi Bina	B Tipi Bina	A Tipi Bina
☐	X	☐
Normal Enerji Verimli Bina	**İyi Enerji Verimli Bina**	**Süper Enerji Verimli Bina**

Not : Qyıl/Q' < 0,99 veya ≥ 0,90 ise C tipi bina
Qyıl/Q' < 0,90 veya ≥ 0,80 ise B tipi bina
Qyıl/Q' < 0,80 ise A tipi bina

Düzenleyenler		Onay
Adı, Soyadı : A. Erdal ARSLAN Ünvanı : Mak. Müh. İmza:	Adı, Soyadı: Ünvanı: İmza:	

Kuruluşun Adı :MİTES MÜHENDİSLİK
Adresi :Atatürk Bulvarı No:121/D EDİRNE
Telefon : 284 213 90 23
Faks :
E-Posta : a.erdal.arslan@gmail.com

Şekil 4.6. Bina Isı İhtiyacı Kimlik Belgesi [TS825]

4.1.2. Bina Mekanik Tesisatı

a. Temiz Su Tesisatı

Binada temiz su ihtiyacı merkezi olarak karşılanmaktadır. Bodrum kat'da bulunan su deposu ve hidrofor tesisatıyla, birim sayaçlarından dağıtımı sağlanmıştır. Konumuzla ilgili olmadığından detaya girilmeyecektir.

b. Isıtma Tesisatı

Binada birimlerin ısıtılmasında kullanılan enerji çatı katında merkezi olarak tasarlanan ısı merkezinden sağlanmaktadır. Isı merkezinde 100 kWh kapasiteli 3 adet duvar tipi yoğuşmalı kazan (kombi) bulunmaktadır. Kazanlar hermetik bacalı olup yakma havasını ortamdan değil, hermetik baca vasıtasıyla dışarıdan almakta yine aynı baca vasıtasıyla yanma gazları dışarı atılmaktadır. Kazanlar binanın ısıtılmasıyla birlikte birimlerin kullanım sıcak suyunun ısıtılması için gereken enerjiyi de sağlamaktadır. Sıcak su ihtiyacının belirli saatlerde yoğunlaşması nedeniyle sistemdeki pik yüklemelere karşı 4. Bir kazan koymak yerine 2000 lt'lik akümülasyon tankları ile karşılanması sağlanmıştır. Isıtma sistemi merkezi bir otomasyon sistemi ile kontrol edilmekte olup kazanlar anlık gereken enerjiyi modüler olarak sağlayacak biçimde çalışmaktadır. Bu dur-kalk biçiminde çalışan kazanlara göre oldukça ciddi bir enerji tasarrufu sağlamaktadır. Dolaşım yine merkezi otomasyon tarafından kontrol edilen ve anlık ihtiyaca göre debi ve basıncı değişen inverter bir pompa ile sağlanmaktadır. Pompa arızası halinde kademesiz çalışan ikinci bir pompa ile yedeklenmiştir. Sistem 70/55 °C de çalışacak şekilde projelendirilmiş. Gerek radyatör boyutları gerekse kullanma sıcak suyunu üretecek olan plakalı ısı değiştiricilerin bulunduğu kat istasyonları buna göre seçilmişlerdir.



Şekil 4.7. Çatı Kazan Dairesi 100 KW'lık Kombi ve Akümülasyon Tankları



Şekil 4.8. Dolaşım Pompaları

Katlara dağıtım iki kolondan yapılmış olup hem kat hem de düşey (kolon) dağıtım sisteminde eşit basınç dengelenmesi sağlayan ters geri dönüş (Tichelman) sistemi uygulanmış, böylelikle hem katlar arasında hem de aynı kattaki daireler arasında dolaşımdan kaynaklanabilecek sorunların önüne geçilmiştir. İlk yatırım maliyeti kullanılan fazla boru nedeniyle bir miktar artsa da merkezi sitemlerde genellikle yaşanan bu sorun daha baştan çözülmüştür. Kolonlar ısıl genleşmelerle oluşacak uzamaların yaratacağı sorunlara karşı bu genleşmeleri karşılayacak boru tipi kompansatörler kullanılmıştır. Binanın ısı kaybı hesabı ve boru çapı hesapları yapılırken aşağıdaki hususlar dikkate alınmıştır.

c. Isı Kaybı Hesapları

Binaya ait ısı kaybı hesapları, ısı yalıtım projesindeki yapı elemanlarına ait U ısı geçiş sayıları kullanılarak şu an ülkemizde halen geçerli olan TS 1264 e göre hesaplanmıştır. TS 2164 den farklı olarak yeni çıkan yönetmelikler göz önünde bulundurularak, merkezi sistemlerde ısı pay ölçer konulmasından sonra mahal sıcaklıklarının 15°C'nin altına düşürülemeyeceği de dikkate alınmış ve mahal ısı yükleri hesaplanırken ve mahal ısıtıcıları seçilirken komşu birimlere bitişik mahal sıcaklıkları 15°C olarak alınarak hesaplanmıştır. Bu değerler birim ısıtıcıları seçiminde kullanılırken bunun yerine bu mahallerin normal olarak ısıtılacağı durum için hesaplanan değerler kullanılmıştır.

d. Boru Çapı Hesapları

Hem kat istasyonlarının kullanılması hem de diğer birimlerin 15°C'ye kadar düşürülebileceğini göz önüne alınarak bulunan mahal ısı yüklerinin dikkate alınmasıyla boru hesapları daha farklı yapılmaktadır. Kat istasyonlarının kullanıldığı binalarda boru çapı hesapları daha farklı yapılmaktadır. Dikkat edilmesi gereken nokta çapı hesaplanacak boru parçasındaki debi değeridir. Burada alınacak debi miktarı işletme şartlarına göre çok değişken olup esas olan en olumsuz koşullarda gerekli debiyi istenilen koşullarda sağlayacak olmasıdır.

- **Birim bağlantılarında**

Kat istasyonlarının bulunduğu birim bağlantı hatlarında en büyük debi genellikle kullanım sıcak suyu ihtiyacı karşılanırken oluşmaktadır. Anlık sıcak su çekişi yüksek enerji gerektirmektedir ancak burada dikkat edilmesi gereken husus kat istasyonundaki ısı değiştiricinin karakteristik özellikleridir. Mutlaka üretici firmanın bu konudaki teknik bilgileri sağlanmalıdır. Kat istasyonuna giren su sıcaklığı sabit iken radyatör ve ısı değiştiricinin çalışma koşullarının farklılığından dolayı çıkış sıcaklıkları da farklı olabilir. Bu açıdan üretici bilgileri zorunludur. Birimlerdeki kat istasyonları kullanma sıcak suyu öncelikli çalıştıklarından ve eşdeğer kullanım faktörü 1 olarak alınacağından önce ısı değiştirici için gereken en fazla debi sonra da mahal ısıtması için gereken en fazla debi hesaplanır hangisi büyükse boru parçasının debisi o kabul edilir. Normal dairelerde bu genellikle kullanım sıcak suyu ısı değiştiricisinin debisi olmaktadır. Mahallin ısıtılması için gerekli olan debi de en olumsuz koşullar (diğer komşu birimlerin 15°C ye düşürülebileceği) varsayımı ile yapılan hesap sonucu gereken enerjiyi sağlayacak debidir. Aynı zamanda ısıtıcıların çalışma koşularına yani gidiş-dönüş sıcaklıklarına bağlıdır.

- **Ana kolon hatlarında**

Ana kolon bağlantı borularında da boru ölçüsü belirlenirken en fazla debi üzerinden gidilir. Birim bağlantılarından farklı olarak kullanım sıcak suyu için gerekli enerjiyi taşıyacak debi hesabında, o hatta bağlı birim sayısına göre çarpan olarak hesaba giren eşdeğer kullanım faktörüdür. Birim sayısı arttıkça bu değer düşmektedir bu yüzden birim sayısı fazla olan binalarda ısıtma yükünü karşılayacak debi daha fazla çıkmaktadır. Isıtma yükünden gelen debi hesaplanırken birimlerdeki gibi en olumsuz

şartlara göre değil bütün birimlerin normal koşullarda olacağı (15°C ye düşmeyeceği) koşullardaki gerekli enerjiyi sağlayacak debi göz önüne alınmalıdır.

e. Kat istasyonları

Binada birimler hem ısınma ihtiyacını hem de kullanım sıcak suyunu üretecek kat istasyonlarıyla donatılmıştır. Merkezi sitemden gelen dağıtım boruları doğrudan kat istasyonlarına bağlanmaktadır. Kat istasyonlarında bulunan bir plakalı ısı değiştirici (eşanjör) vasıtasıyla birimin kullanım sıcak suyu üretilmektedir. Böylelikle zaten kullanım alanı sınırlı olan 1+1, 2+1 şeklindeki stüdyo tipi dairelerde yer tasarrufu da yapılmış olmaktadır. Ayrıca bu tip dairelerde yine yerden tasarruf amaçlı baca yapılmaması nedeniyle genellikle elektrikli ısıtıcı kullanılmakta; Bu birincil enerjiye (burada doğalgaza) göre oldukça pahalı ve verimsiz bir duruma düşmektedir. Kat istasyonları kullanım suyu öncelikli çalışmakta olup, kullanım suyu sıcaklığı bir termostat ile kontrol edilmektedir. Diğer bir hat'ta radyatörleri besleyen kollektörlere gitmektedir. Ortam sıcaklığı bir oda termostatı ile kontrol edilmektedir. Dairelerin küçük ve neredeyse tek mekân olması nedeniyle radyatörlere takılan termastatik vana yerine birimde uygun bir yere yerleştirilen dijital göstergeli bir oda termostatı kullanılmıştır. Termostatlar merkezi sistemlerde mahal sıcaklığının 15°C'nin altına düşürülmesini önleyecek şekilde ayarlanmıştır. Termostatlar kat kolletörleri girişinde bulunan bir selenoid vanayı kumanda ederek oda sıcaklığını set edilen değeri ± 1°C farkla kontrol etmektedir.

Kat istasyonlarının girişinde kullanılan toplam enerjiyi ölçen bir ısı sayacı bulunmaktadır. Bu sayaç hem birimin hem de kullanma sıcak suyunun kullandığı toplam enerjiyi ölçmektedir. Böylelikle hem merkezi sistemin tüm avantajlarından hem de bireysel kullanımın pek çok avantajından birlikte yararlanılmış olmaktadır. Isı sayacından hemen sonra bir başka kontrol ünitesi olarak ön yükleme modülü bulunmaktadır. Bu modül kullanılacak enerjinin ücretinin peşin ödenmesini sağlamaktadır. Bina yöneticisi tarafından satın alınan kontör karşılığı elektronik ortamda oluşturulmuş bir şifre üretilmekte, bu şifre ön yükleme modülüne girilerek kullanılacak enerji sisteme girilmektedir. Bu modül gerekli bilgileri ısı sayacından almaktadır.



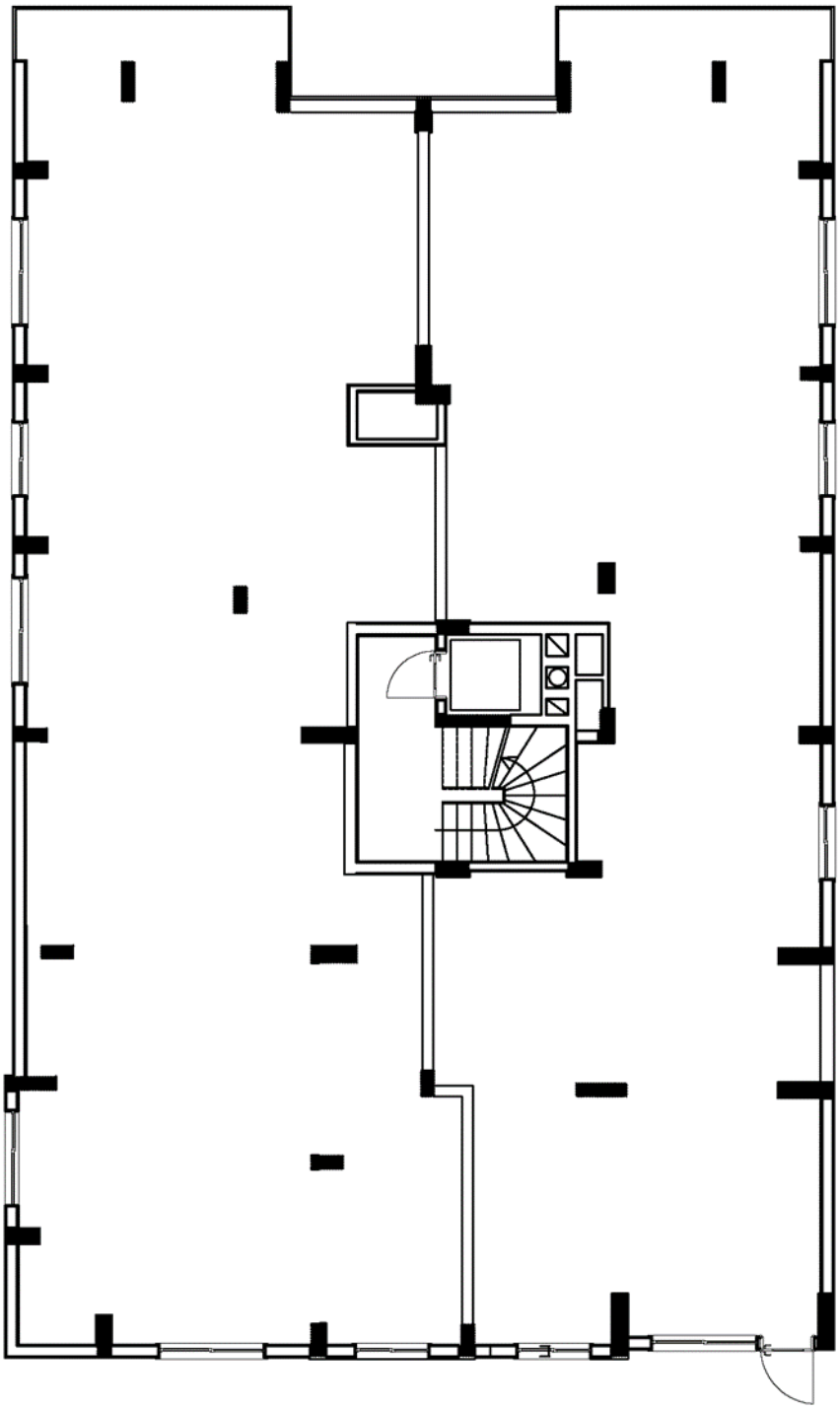
Şekil 4.9. Kat İstasyonu (Dolapsız)



Şekil 4.10. Dijital Göstergeli Oda Termostatı

4.1.3. Zemin Katın Isı Pompası İle Isıtılması

Dokuz katlı binanın zemin katında bulunan işyerinin kış uygulaması (ısıtma) ısı pompası yardımıyla yapılması düşünülmüştür. Zemin kat da diğer katlar gibi Isı Kaybı Hesabı yapılarak ısıtma kapasitesi tespit edilmiştir. Isı kaybı hesabı yapılırken üst kat en olumsuz durum için, üst kattaki dairelerin 15°C'e kadar düşürülebileceği göz önüne alınmış Mahal yerden ısıtma olarak yapılacağı için alt kata ısı kaybı hesaplanmamıştır. Kapasite belirlendikten enerji ihtiyacımızı karşılayacak olan boru ısı değiştiricilerimizi yerleştireceğimiz sonra toprak hakkında bilgiler toplanarak ısı değiştiricisi tipi ve boru boyu hesaplanmıştır. Sistemin diğer tüm elemanları belirlenmiştir. Uygulamanın yapılacağı binanın zemin kat planı Şekil 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4.11. Uygulama Yapılacak Zemin Kat Planı

Sistem Bilgileri

F_k : 350 m^2

Q_h : 14,6 KW

$T_{dış}$: - 9^o C

T_{max} : 40^{o}C (TMW 100 kataloğu)

T_{min} : 0^{o}C (TMW 100 kataloğu)

Isı kaynağı : Toprak

Çevrim akışkanı : R410A (TMW 100 kataloğu)

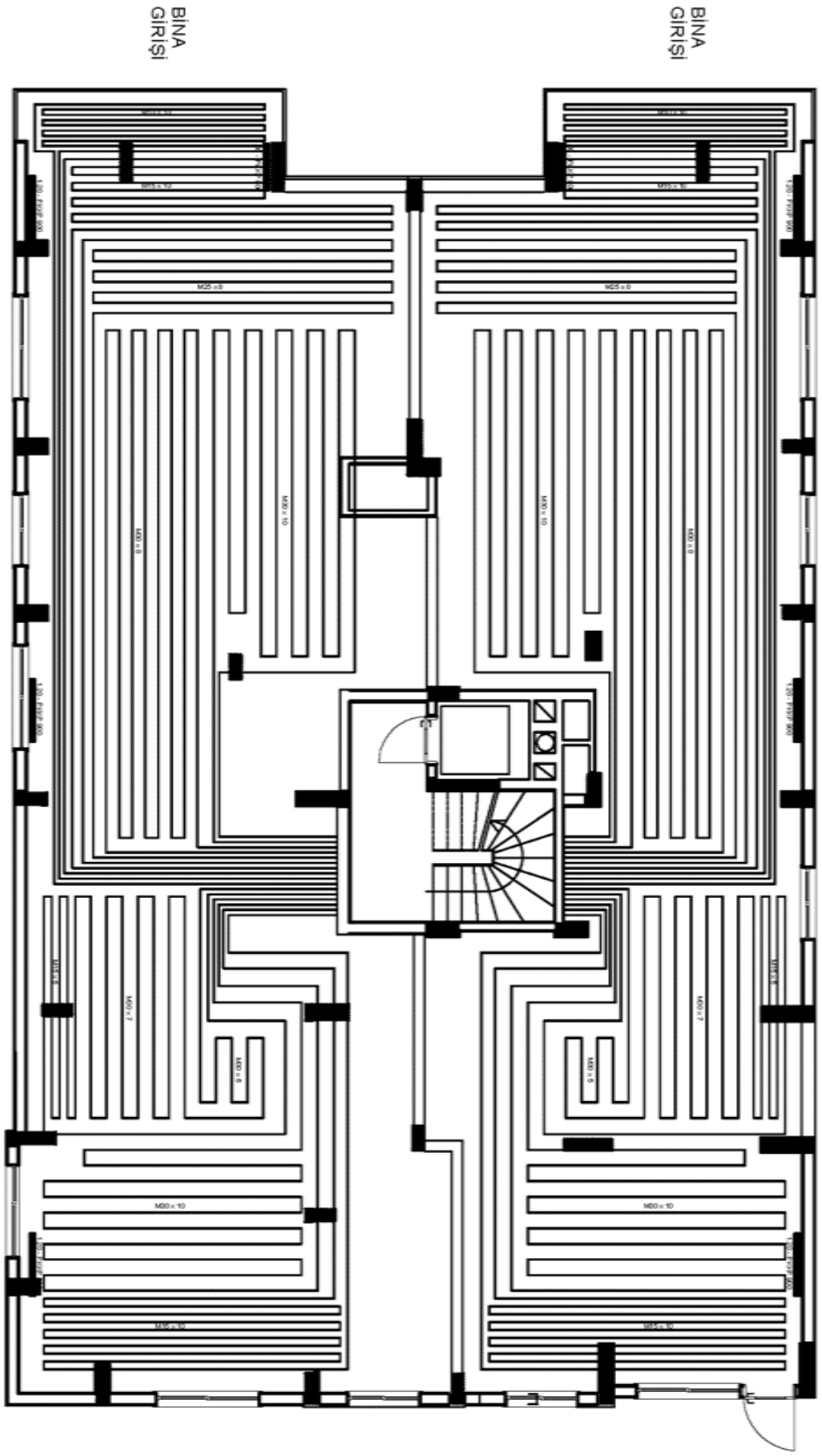
İşletme şekli : Tekli (sadece ısıtma)

Kat yükseklikleri vb. değerler ve ısı hesap sonuçları Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Bina içi ısı kayıpları

			B 01		İŞYERİ					20	℃					
TP	D		7,20	2,70	19,44	2		38,88	4,50	29	5074					
TP2			2,80	0,50	1,40	12		16,80	2,80	29	1364					
DD		20	71,45	2,70	192,92		55,68	137,24	0,50	29	1990					
DD2		20	12,25	2,70	33,08			33,08	0,70	29	671					
DD3		20	83,70	0,40	33,48			33,48	0,70	29	680					
İD		10		3,10					1,70	10						
DT			24,15	15,30	369,50	1	20,25	349,25	1,20	5	2095					
											11874	7			1,07	12705
					Ql = [2,00 x 38,40] x 0,977 x 0,90 x 29						1958				1,00	1958
																14663

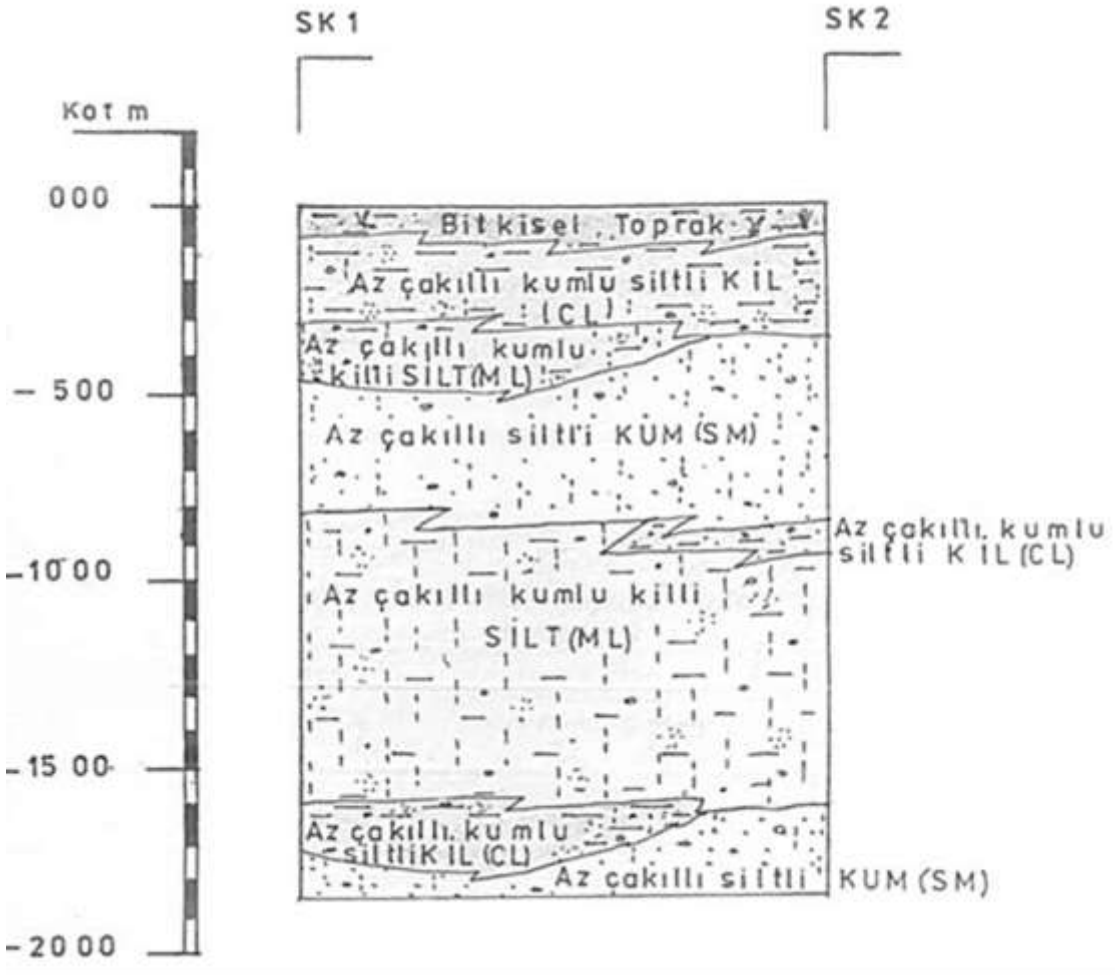
Zemin kat işyeri olarak planlanmış olup, Toplam Alanı 350 m^2'dir. Talebe göre tek veya iki işyeri olarak kullanılabilecek şekildedir. İşyeri ısınma için gerekli enerjinin tamamını merkezi sistemden alabilecek şekilde planlanmış olmakla birlikte merkezi sitemden bağımsız olarak Toprak Kaynaklı Isı Pompası ile de gerekli enerjiyi sağlayabilecek şekilde planlanmıştır. Isı pompasının yetersiz kalabileceği çok sınırlı günlerde merkezi sistemden destek alabilecek durumda olup, bu durumda merkezi sistemden çektiği enerji yine bir ısı sayacı ile ölçülmektedir. İşyerinde ısınma ısı pompasından en fazla yaralanmak amacıyla, düşük sıcaklık panel uygulaması olan yerden ısıtma sistemiyle yapılmış olup, cam yüzeylerinin ve ısı kayıplarının fazla olduğu vitrin önleri ve diğer alanlarda radyatörler ile desteklenmiştir. İşyerindeki ısıtıcı dağılımı Şekil 4.12'deki gibidir.



Şekil 4.12. Zemin Kat Isıtıcı Yerleşimleri

4.1.4. Hidrojeolojik Araştırma ve Toprak Analizi

Toprak kaynaklı ısı pompalarının tasarımında bilinmesi gerekli ilk parametre ısı kaynağı olan toprağın hidro-jeolojik olarak incelenmesi ve analizinin yapılmasıdır. Bu analiz sonucunda topraktan çekilebilecek enerji miktarı tayin edilebilmektedir. Bu konuda binanın Jeoloji Mühendisi tarafından hazırlanan "Zemin Etüdü"nden yararlanılmıştır. Şekil 4.13'da Sondaj kesiti ve Tablo 4.2'de bu rapordan alınan ilgili kısım verilmiştir.



Şekil 4.13. Sondaj Kesiti

Tablo 4.2. Zemin Raporu

İnceleme alanı içerisinde SK - 1 = 18,50 m ve SK - 2 = 18,50 m derinliğinde olmak üzere 2 adet zemin sondajı açtırılmıştır.

SK - 1 No'lu sondaj Kuyusu:

0,00- 0,80 m	BİTKİSEL TOPRAK
0,80- 3,00 m	Koyu kahve - kahvemsi bej renkli, orta plastisiteli, az çakıllı, kumlu, siltli KİL (CL)
3,00- 4,50 m	Sarımsı, kahvemsi bej renkli, düşük plastisiteli, az çakıllı, kumlu, killi
4,50 - 8,00 m	Kahvemsi bej renkli, az çakıllı, siltli KUM (SM)
8,00- 16,00 m	Kahvemsi bej renkli, düşük plastisiteli, az çakıllı, kumlu, killi SİLT
16,00- 17,00 m	Kahvemsi bej renkli, düşük plastisiteli, az çakıllı, kumlu, siltli KİL
17,00-18,50 m	Kahvemsi bej renkli, az çakıllı, siltli KUM (SM)

SK - 2 No'lu sondaj Kuyusu:

0,00- 0,80 m	BİTKİSEL TOPRAK
0,80- 3,50 m	Koyu kahve - kahvemsi bej renkli, orta plastisiteli, az çakıllı, kumlu, siltli KİL (CL)
3,50-8,00 m	Kahvemsi bej renkli, az çakıllı, siltli KUM (SM)
8,00-9,50 m	Kahvemsi bej renkli, orta plastisiteli, az çakıllı, kumlu, siltli KİL
9,50- 16,50 m	Kahvemsi - beyazımsı bej renkli, düşük plastisiteli, az çakıllı, kumlu, killi
16,50- 18,50 m	Kahvemsi bej renkli, az çakıllı, siltli KUM (SM)

Açtırılmış olan SK - 1 ve 2 No'lu sondaj kuyularında etüt tarihi itibariyle su seviyesi gözlenilmemiştir. Yeraltı su seviyesi temel seviyesinden önce beklenilmemektedir. Ancak özellikle yağışlı periyotlarda olası sızıntılara karşı temel drenajı yapılmalıdır.

4.1.5. Sistem Seçimi ve Tasarımı

İşyerinde yıllık 1800 saatlik çalışma süresi esas alınarak toprak analizlerine göre yatay toprak kaynaklı ısı pompası olarak tasarlanması durumunda Tablo 3.19'dan "Doymuş kum/çakıl" için 40 W/m^2 lik bir ısı yükü bulunacağı görülmektedir. Isı pompası kapasitesi 10 kW olduğuna göre yatay ısı değiştiricileri için asgari 250 m2 alan gerekmektedir.

Yine yıllık 1800 saatlik çalışma süresi esas alınarak toprak analizlerine göre dikey toprak kaynaklı ısı pompası olarak tasarlanması durumunda yani sondaj kuyularının açılması durumunda Tablo 3.20'den "Doymuş kum/çakıl" için 65-80 W/m'lik bir ısı yükü bulunacağı görülmektedir. Ortalama 70 W/m'lik Özgül ısı çekme kapasitesi kabul edilerek 10 kW'lık ısı pompası için olduğuna göre dikey ısı değiştiricileri için 143 m'lik sondaj boyu gerekmektedir. Pratik uygulamalar açısından 2 sondaj kuyusu açıldığı düşünülürse 70 m'lik iki sondaj kuyusu açılması gereği ortaya çıkmaktadır.

Yatay toprak ısı değiştiricileri için bulunan alan ve dikey toprak ısı değiştiricileri için bulunan sondaj derinlikleri göz önüne alınarak bir değerlendirme ve maliyet analizi yapılmıştır. Sondaj kuyuları yüksek maliyet nedeniyle daha başta dezavantajlı duruma gelirken yatay toprak ısı değiştiricileri için kullanılacak alanda alt yapı sisteminin bulunması da sıkıntı yaratmıştır. Bunun üzerine alternatif sistemler üzerine araştırmalar yapılmış ve bu iki sistemin bir birleşimi olan Helisel toprak ısı değiştiricisi üzerinde durulmuş ve uygulanmasına karar verilmiştir.

Isı kaybı hesaplarında 14,6 KW bulunan ısı ihtiyacının 12 KW'lık kısmının toprak kaynaklı ısı pompası ile karşılanması düşünülmüştür. 12 KW'lık bir ısı yükünü karşılayabilecek helisel toprak ısı değiştirici için yine diğer toprak ısı değiştiricilerde kabul edildiği gibi, jeolojik etüt sonucu bulunan toprak cinsi "Doymuş kum/çakıl" olarak kabul edilmiştir. Bu kabul ile bir helisel sondadan alınabilecek ısı miktarı üretici firmanın verilerine göre Tablo 3.24'den 300-700 W aralığı okunur. Ayrıntılı analize sahip olmadığımız için ortalama değer olarak 500 W kabul ediyoruz. Benzer şekilde yine üretici firma tarafından verilen Şekil 3.53'dan da 500 W'a yakın bir değer bulunur.

Hesap parametrelerini gözden geçirecek olursak;

Toplam ısı ihtiyacı : 14,6 KW

Isı pompası ile karşılanacak ısı yükü : 12 KW

Isı pompasının etkinlik katsayısı (COP) : 4 (Tablo 3.21)

İşletim süresi : 1800 saat/yıl

Zemin : Doymuş kum/çakıl

Uygulama derinliği : 4,2 m (toprak kotu altında)

Bir helisel sondadan elde edilen güç : 500 W/helisel sonda (Tablo 3.24)

Gerekli Helisel Toprak Isı Değiştirici Gücü:

Kış işletme koşullarında yani mahallin ısıtılması esnasında toprak altındaki ısı değiştirici, ısı pompası için evaporatör, yaz işletme koşullarında yani mahallin soğutulması esnasında ise kondenser görevi görmektedir. Evaporatör ve kondenserin boyutlandırılmasında öngörülen ve hedeflenen ısı pompası mevsimsel etkinlik katsayısı (COP) göz önünde bulundurulur. Yeni binalar için hedeflenen mevsimsel etkinlik katsayısı olarak EN 15450 de verilen, Tablo 3.21'den 4 olarak okunur. Buradan;

$$\text{Helisel Toprak Isı Değiştirici Gücü} = \frac{\text{Isı ihtiyacı x Etkinlik katsayısı -1}}{\text{Etkinlik katsayısı}} \quad (4.1)$$

Değerler yerine konursa,

Helisel Toprak Isı Değiştirici Gücü = 9 KW (9.000 W) bulunur.

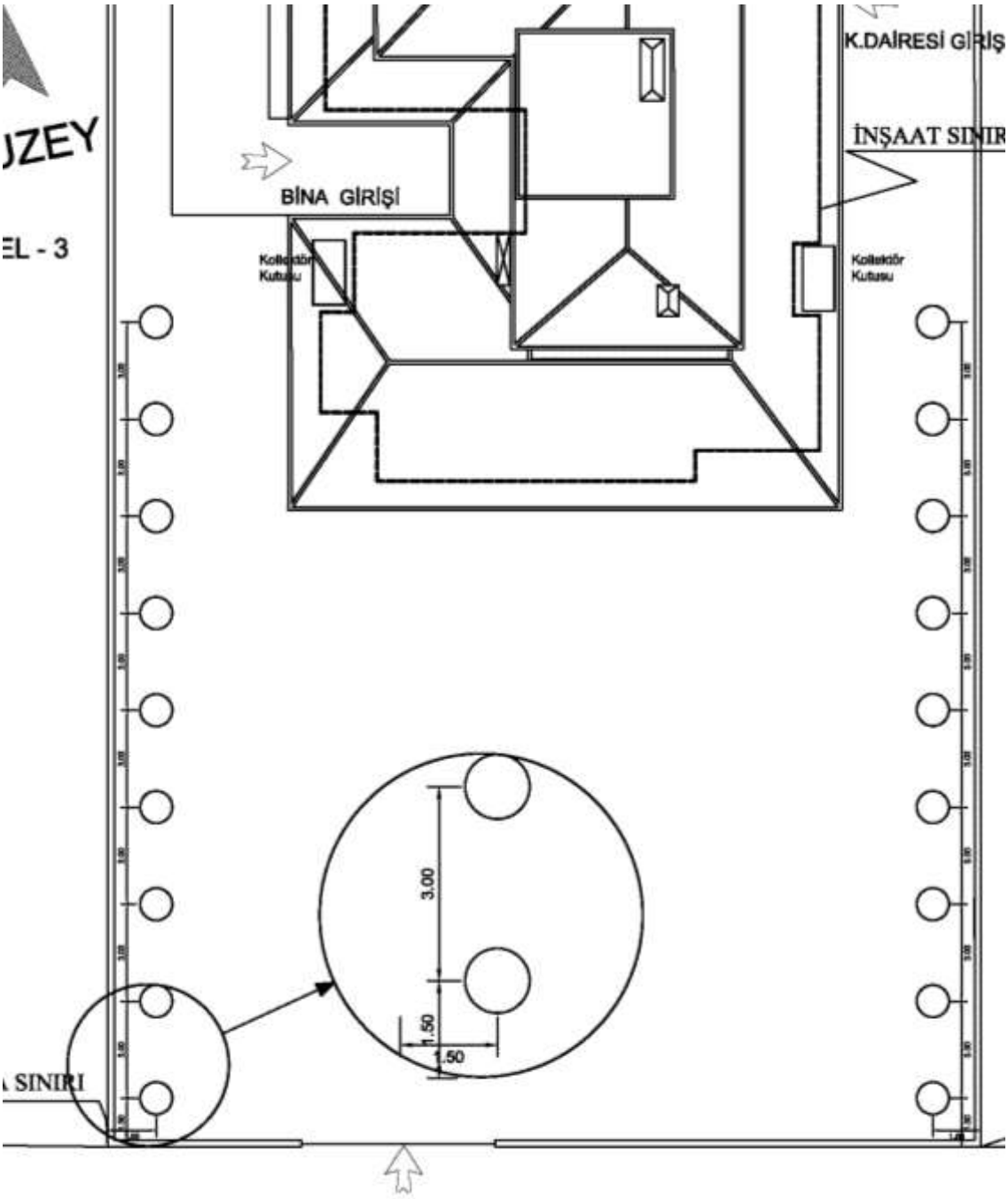
Gerekli olan helisel sonda sayısı ise belirtilen parametrelerden yola çıkılarak şu şekilde hesaplanır:

$$\text{Helisel Sonda Adedi} = \frac{\text{Helisel Toprak Isı Değiştirici Gücü (W)}}{\text{Bir helisel sondadan elde edilen güç (W)}} \quad (4.2)$$

Sonda Adedi = 18 adet bulunur.

Üretici firmanın tavsiye ettiği yerleşim ölçüleri dikkate alarak, komşu parselden 1,5 m, helisel sondalar arasında en az 3,00 m aralık bırakılarak, arsa üzerinde yerleşim planı Şekil 4.14'de verilmiştir.

Üretici firma tavsiyesi olarak helisel sondalar arası mesafe 3 m'nin altına düşürüldüğünde simülasyon biçimde tam bir ölçüm yapılmalıdır.



Şekil 4.14. Helisel Sondaların Yerleşim Planı

4.1.6. Helisel Toprak Isı Değiştiricilerin Montajı



Şekil 4.15. Çukurun açılması [121].

Montaj adımı 1

- Bir çukurun açılması veya don bulunmayan bölgede yüzeyden toprak alınması
- Öneri: 1,20 m derinlikte
- İş Güveliği kuralları uyarınca 1,25 m çukur derinliğinden itibaren toprak çökmesine karşı önlem alınmalıdır.



Şekil 4.16. Sondaj deliğinin hazırlanması [121].

Montaj adımı 2

- Çukurun içine, toplam derinlik üst seviyeden yaklaşık 4,2 m olacak şekilde, salyangoz veya toprak matkabıyla 3 m derinlikte bir delik açılır.
- Deliğin çapı zemin malzemesine bağlıdır, ancak asgari 0,42 m'dir.
- Zemine ve toprak yapısına bağlı olarak bir destek kılıfı, özellikle de kumlu zeminde veya yoğun yer altı suyu etkisinde kullanılır



Şekil 4.17. Helisel Toprak Isı Değiştiricinin Bağlama Bandının Sabitlenmesi [122].



Şekil 4.18. Helisel Toprak Isı Değiştiricinin Bağlama Bandının Sabitlenmesi, Yerleştirilmesi ve Ağırlaştırılması [121].

Montaj adımı 3

- Helisel sonda hasar kontrolünden geçirilir, sadece hasarsız Helisel sonda kullanılmalıdır!
- Nakliye bağı çözülür, Helisel sonda 3 m montaj uzunluğuna çekilir. 4-5 m'lik yerleştirme çubuğu tutma halkalarına sabitlenir.
- Helisel sonda sondaj kuyusuna yerleştirilir. Matkap deliğinin zemininde oturduğundan ve tam olarak çekildiğinden emin olunur.

- Helisel sonda'nın ağırlaştırılması için kum kullanılır, hiçbir şekilde tutma bantlarına ağırlıklar bağlanmaz!



Şekil 4.19. Sondaj Deliğinin Doldurulması [121].

Montaj adımı 4

- Sondaj kuyusuna ön sulama yapılır ve 0,5 m'lik adımlarla hafriyat toprağı (uygun ise) veya kum doldurulur. Ara ara sulama yapılır. Boşlukların kalması muhakkak engellenmelidir!
- Dolumun tamamlanmasından sonra yerleştirme çubuğu geri çekilir (gerekliyse tutma halkalarının uçları kesilir) ve olası destek kılıfı yerinden alınır. Meydana gelen boşluklar doldurulur ve sulanır.



Şekil 4.20. Yerleştirilmiş Helisel Sondalar [122].



Şekil 4.21. Helisel Sondaların Seri Bağlanması [122].

Seri bağlanmış sonda grupları kollektöre paralel iletilmelidir. Kollektör en yüksek noktaya monte edilmelidir. Hattın döşenmesi, tesisin en yüksek noktasında uygun bir hava alma tertibatıyla tam bir hava alma sağlanacak şekilde gerçekleşmelidir.



Şekil 4.22. Sistemin en yüksek noktasındaki kollektör kutusu [121].

Montaj adımı 5

Kollektör noktası olarak kollektör sisteminin en yüksek yeri seçilir.

Borular döşenmeden önce, gözle hasar kontrolünden geçirilir

Boru uçları toplam dolum işlemi sırasında, borunun kirlenmesinin önlenmesi için sızdırmaz şekilde kapatılır.



Şekil 4.23. Çukurun Doldurulması [121].

Montaj adımı 5

- Her Helisel sondada debi ve basınç testi yapılır.
- Gerektiğinde maksimum 3 Helisel sonda seri olarak bağlanır.
- Kollektördeki ısı taşıyıcı devrelerinin bağlantısı yapılır.
- Son, uygun basınç testi, örneğin EN 805'e göre yapılır. Test koşulları ve sonucu, bir test tutanaklarıyla kayıt altına alınır.
- Başarıyla sonuçlanan son basınç testinin ardından çukur, mevcut bulunan toprakla doldurulur. Sistem, iyice karıştırılmış su-glikol çözeltisiyle doldurulur.

4.2. Sistemin Enerji verimliliği yönünden DIN V 4701-10' göre incelenmesi

DIN V 4701-10, sistem teknolojilerinin enerji verimliliğinin değerlendirilmesi, ısı pompaları ile yapılan enerji tasarrufunun tarafsız olarak hesaplanmasını sağlamaktadır. Benzer sınır şartlan altında DIN V 4701-10'daki tablo yöntemi ile hesaplanan gaz yakıtlı yoğuşmalı kazan ve toprak kaynaklı ısı pompası kullanımına göre karşılaştırılma yapılmıştır.

Sınır değerler:

- A_N = 350 m^2 kullanım alanına sahip bir villa için yıllık ısıtma gereksinimi q_h = 50 kWh/m^2 yıl

  Isıtma (Yoğuşmalı kazan 55/45°C):
- Radyatörler, dış duvarlarda, termostatik vanalar 1 K aralığında çalışıyor.
- Dağıtım ısıl kabuk içinde, hatlar içeride, kontrollü pompalar.

  Isıtma (Isı pompası):
- Isıtıcı yerden (panel) ısıtma, bağımsız oda kontrolü 2 K
- Dağıtım ısıl kabuk dışında, Hatlar içeride, Kontrollü pompalar
- Depolama ısıl kabuk dışında

  Kullanım sıcak suyu (Yoğuşmalı kazan 55/45°C)
- Dağıtım ısıl kabuk içinde, sirkülasyon devresi yok
- Depolama Isıl kabuk içinde, dolaylı ısıtmalı depolama

  Kullanım sıcak suyu (Isı Pompası):
- Dağıtım ısıl kabuk dışında, sirkülasyon devresi yok
- Dolaylı ısıtılan depolama, Kurulum ısıl kabuk dışında

  Havalandırma:
- Sadece doğal havalandırma (mekanik havalandırma sistemi yok)

Sistem tüketim katsayısının DIN V 4701-10'a göre hesaplanması:

Q_p : Binanın toplam birincil enerji gereksinimi [kWh/ yıl]

Q_h : Mahal ısı gereksinimi [kWh/yıl]

Q_{tw} : Sıcak kullanım suyu ısı gereksinimi [kWh/yıl]

$Q_{H,P}$: Isıtma devresi birincil enerji gereksinimi [kWh/ yıl]

Q_{LP} : Havalandırma devresi birincil enerji gereksinimi [kWh/yıl], (sınır şartlarına göre = 0)

$Q_{TW,P}$: Sıcak kullanım suyu devresi birincil enerji gereksinimi [kWh/yıl] ile binanın birincil enerji gereksinimi şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$Q_P = Q_{H,P} + Q_{LP} + Q_{TW,p} \quad (4.3)$$

e_p : Sistem tüketim katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$e_p = [Q_p/(Q_h + Q_{tw})] \quad (4.4)$$

Yukarıda belirtilen sınır değerler ile mahal ısı gereksinimi:

$$Q_h = q_h \times A_N \quad (4.5)$$

$= 50$ [kWh/m^2.yıl] x 350 m^2 =17.500 [kWh/yıl]

Sıcak kullanım suyu ısı gereksinimi ENEV'de belirtilmiştir

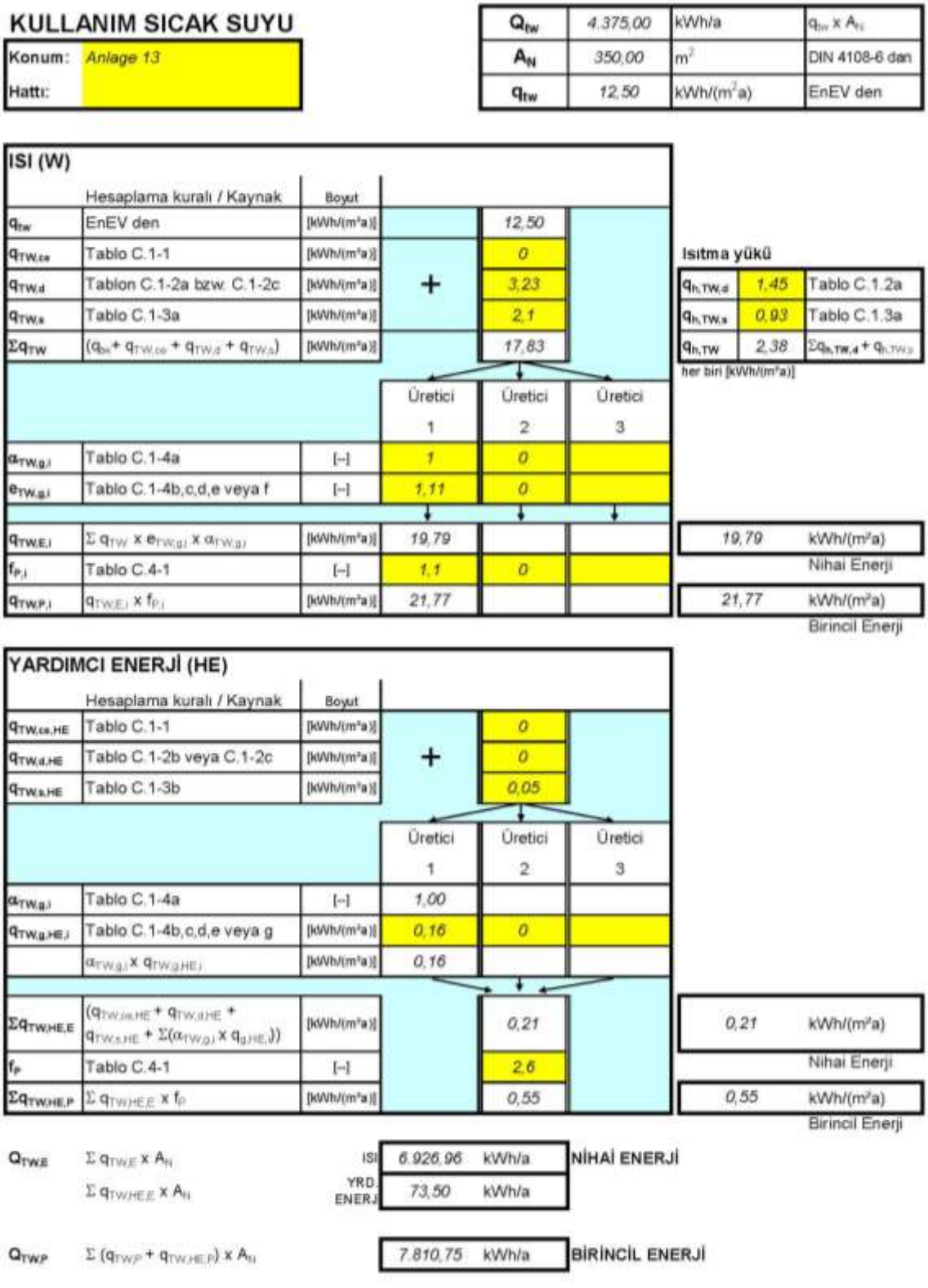
$Q_W = 12,5$ [kWh / m^2.yıl]

Böylece:

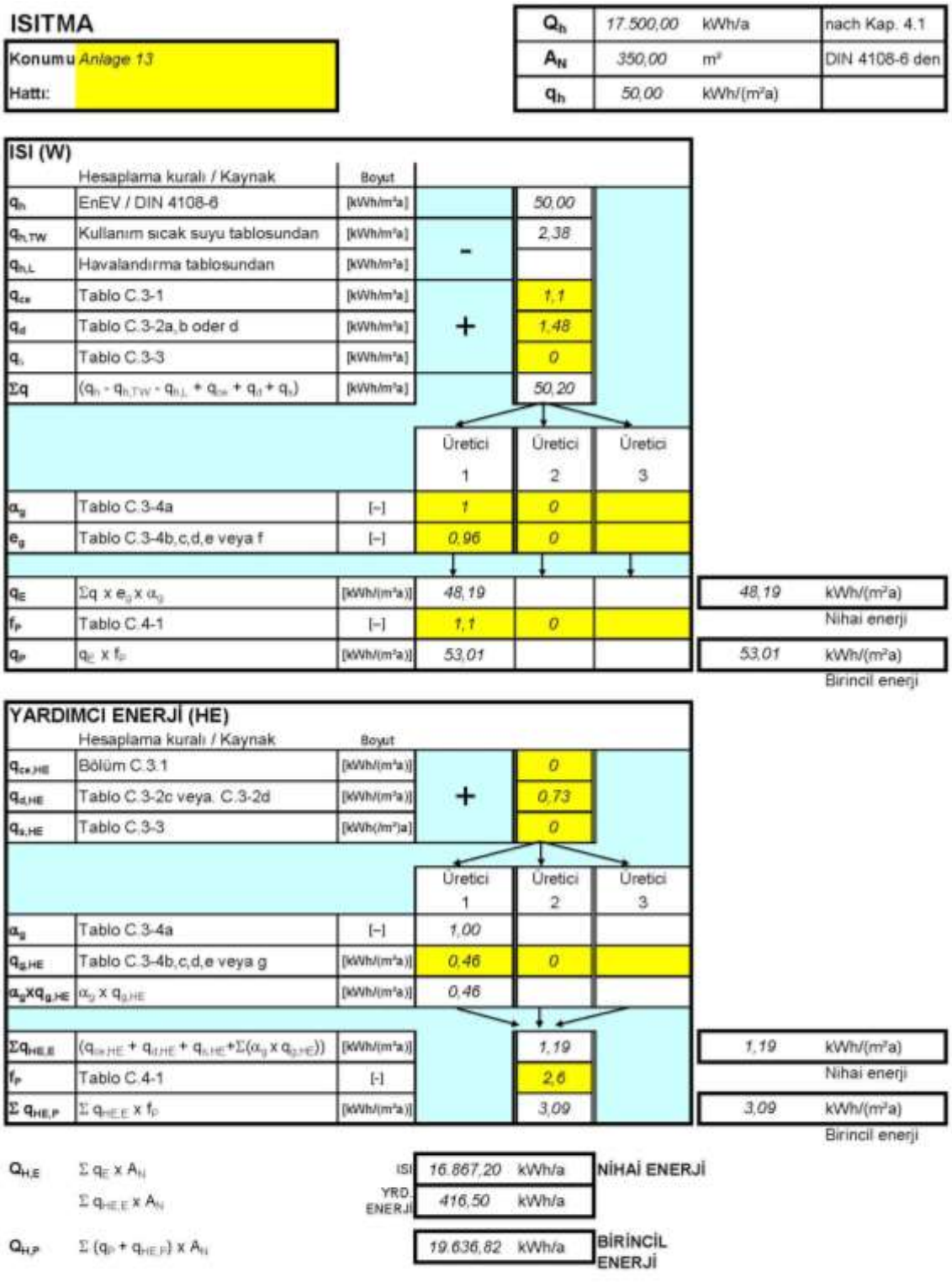
$$Q_{tW} = q_{tW} \times A_N \quad (4.6)$$

$= 12,5$ [kWh/m^2 yıl] x350 m^2 = 4.375 [kWh/yıl]

DIN V 4701-10'daki tablo yöntemi yardımıyla sonuçlar tablolar halinde aşağıdadır.



Tablo 4.3. Yoğuşmalı Kazan Kullanım Sıcak Suyu Hesap Tablosu



ISITMA

Konumu *Anlage 13*

Hattı:

Q_h	*17.500,00*	kWh/a	nach Kap. 4.1
A_N	*350,00*	m²	DIN 4108-6 den
q_h	*50,00*	kWh/(m²a)	

ISI (W)

	Hesaplama kuralı / Kaynak	Boyut			
q_h	EnEV / DIN 4108-6	[kWh/m²a]		*50,00*	
$q_{h,TW}$	Kullanım sıcak suyu tablosundan	[kWh/m²a]	-	*2,38*	
$q_{h,L}$	Havalandırma tablosundan	[kWh/m²a]			
q_{ce}	Tablo C.3-1	[kWh/m²a]		*1,1*	
q_d	Tablo C.3-2a,b oder d	[kWh/m²a]	+	*1,48*	
q_s	Tablo C.3-3	[kWh/m²a]		*0*	
Σq	$(q_h - q_{h,TW} - q_{h,L} + q_{ce} + q_d + q_s)$	[kWh/m²a]		*50,20*	

			Üretici 1	Üretici 2	Üretici 3
α_g	Tablo C.3-4a	[-]	*1*	*0*	
e_g	Tablo C.3-4b,c,d,e veya f	[-]	*0,96*	*0*	
q_E	$\Sigma q \times e_g \times \alpha_g$	[kWh/(m²a)]	*48,19*		
f_P	Tablo C.4-1	[-]	*1,1*	*0*	
q_P	$q_E \times f_P$	[kWh/(m²a)]	*53,01*		

48,19 kWh/(m²a) — Nihai enerji

53,01 kWh/(m²a) — Birincil enerji

YARDIMCI ENERJİ (HE)

	Hesaplama kuralı / Kaynak	Boyut			
$q_{ce,HE}$	Bölüm C.3.1	[kWh/(m²a)]		*0*	
$q_{d,HE}$	Tablo C.3-2c veya. C.3-2d	[kWh/(m²a)]	+	*0,73*	
$q_{s,HE}$	Tablo C.3-3	[kWh/(m²a)]		*0*	

			Üretici 1	Üretici 2	Üretici 3
α_g	Tablo C.3-4a	[-]	*1,00*		
$q_{g,HE}$	Tablo C.3-4b,c,d,e veya g	[kWh/(m²a)]	*0,46*	*0*	
$\alpha_g x q_{g,HE}$	$\alpha_g \times q_{g,HE}$	[kWh/(m²a)]	*0,46*		
$\Sigma q_{HE,E}$	$(q_{ce,HE} + q_{d,HE} + q_{s,HE} + \Sigma(\alpha_g \times q_{g,HE}))$	[kWh/(m²a)]		*1,19*	
f_P	Tablo C.4-1	[-]		*2,6*	
$\Sigma q_{HE,P}$	$\Sigma q_{HE,E} \times f_P$	[kWh/(m²a)]		*3,09*	

1,19 kWh/(m²a) — Nihai enerji

3,09 kWh/(m²a) — Birincil enerji

$Q_{H,E}$	$\Sigma q_E \times A_N$	ISI	*16.867,20* kWh/a	NİHAİ ENERJİ
	$\Sigma q_{HE,E} \times A_N$	YRD. ENERJİ	*416,50* kWh/a	
$Q_{H,P}$	$\Sigma (q_P + q_{HE,P}) \times A_N$		*19.636,82* kWh/a	BİRİNCİL ENERJİ

A. Erdal ARSLAN - Trakya Ünv. Fen Bil. Enst. Mak. Müh. Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi - Edirne 2014

Tablo 4.4. Yoğuşmalı Kazan Isıtma Hesap Tablosu

Sistem Değerlendirme DIN 4701 Teil 10

Bir bina için normal iç sıcaklık ile

Bina ya da bir kısmının tanımlanması	*MEP4 Binası*		
Şehir, Sokak, Bina nur	*Edirne*		
İlçe		Parsel No:	

I. Girişler

A_N = *350,00* m² t_{HP} = *185* Tage

	KULLANIM SICAK SUYU	ISITMA	HAVALANDIRMA
Mutlak gereksinim	Q_{tw} = *4.375,00* kWh/a	Q_h = *17.500,00* kWh/a	
Özel gereksinim	q_{tw} = *12,50* kWh/(m²a)	q_h = *50,00* kWh/(m²a)	

II. Sistem Açıklaması

	KULLANIM SICAK SUYU	ISITMA	HAVALANDIRMA
Aktarım	–	*Radyatörler, Dış duvarda, Termostatik vanalar 1 K*	–
Dağıtım	*Dağıtım ısıl kabuk dışında, Sirkülasyon yok*	*Dağıtım ısıl kabuk içinde, Hatlar içinde, Kontrollü pompalar*	–
Depolama	*Dolaylı ısıtılan depolama, Kurulum ısıl kabuk içinde*	–	

Üretim	Üretici 1	Üretici 2	Üretici 3	Üretici 1	Üretici 2	Üretici 3	Üretici WÜT	Üretici L/L-WP	Üretici ısıtma bobini
Güneş en. Payı	*1,00*			*1,00*					
Üretici	*BW-Kes. 55/45°C*			*BW-Kes. 55/45°C*					

III. Sonuçlar

Q_h Kapsamı	$q_{h,TW}$ = *2,38* kWh/(m²a)	$q_{h,H}$ = *47,62* kWh/(m²a)	$q_{h,L}$ = kWh/(m²a)
Σ ISI	$Q_{TW,E}$ = *6.926,96* kWh/a	$Q_{H,E}$ = *16.867,20* kWh/a	$Q_{L,E}$ = kWh/a
Σ YRD. ENERJİ	*73,50* kWh/a	*416,50* kWh/a	kWh/a
Σ BİRİNCİL ENERJİ	$Q_{TW,P}$ = *7.810,75* kWh/a	$Q_{H,P}$ = *19.636,82* kWh/a	$Q_{L,P}$ = kWh/a

NİHA ENERJİ	Q_E = *23.794,16* kWh/a	Σ ISI
	490,00 kWh/a	Σ YARDIMCI ENERJİ
BİRİNCİL ENERJİ	Q_P = *27.447,57* kWh/a	Σ BİRİNCİL ENERJİ
TÜKETİM KATSAYISI	e_P = *1,25* [-]	

A. Erdal ARSLAN - Trakya Üniv. Fen Bil. Enst. Mak. Müh. Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi - Edirne 2014

Tablo 4.5. Yoğuşmalı Kazan Sistem DeğerlendimeTablosu

KULLANIM SICAK SUYU

Konum:	Anlage 5
Hattı:	

Q_{tw}	4.375,00	kWh/a	$q_{tw} \times A_N$
A_N	350,00	m^2	DIN 4108-6 dan
q_{tw}	12,50	kWh/(m^2a)	EnEV den

ISI (W)

	Hesaplama kuralı / Kaynak	Boyut		Üretici 1	Üretici 2	Üretici 3
q_{tw}	EnEV den	[kWh/(m^2a)]			12,50	
$q_{TW,ce}$	Tablo C.1-1	[kWh/(m^2a)]			0	
$q_{TW,d}$	Tablon C.1-2a bzw. C.1-2c	[kWh/(m^2a)]	+		3,85	
$q_{TW,s}$	Tablo C.1-3a	[kWh/(m^2a)]			2,58	
Σq_{TW}	(q_{tw} + $q_{TW,ce}$ + $q_{TW,d}$ + $q_{TW,s}$)	[kWh/(m^2a)]			18,93	
$\alpha_{TW,g,i}$	Tablo C.1-4a	[--]		1	0	
$e_{TW,g,i}$	Tablo C.1-4b,c,d,e veya f	[--]		0,27	0	
$q_{TW,E,i}$	$\Sigma q_{TW} \times e_{TW,g,i} \times \alpha_{TW,g,i}$	[kWh/(m^2a)]		5,11		
$f_{P,i}$	Tablo C.4-1	[--]		2,6	0	
$q_{TW,P,i}$	$q_{TW,E,i} \times f_{P,i}$	[kWh/(m^2a)]		13,29		

Isıtma yükü

$q_{h,TW,d}$	1	Tablo C.1.2a
$q_{h,TW,s}$	0	Tablo C.1.3a
$q_{h,TW}$	1,00	$\Sigma q_{h,TW,d} + q_{h,TW,s}$

her biri [kWh/(m^2a)]

5,11	kWh/(m^2a)

Nihai Enerji

13,29	kWh/(m^2a)

Birincil Enerji

YARDIMCI ENERJİ (HE)

	Hesaplama kuralı / Kaynak	Boyut		Üretici 1	Üretici 2	Üretici 3
$q_{TW,ce,HE}$	Tablo C.1-1	[kWh/(m^2a)]			0	
$q_{TW,d,HE}$	Tablo C.1-2b veya C.1-2c	[kWh/(m^2a)]	+		0	
$q_{TW,s,HE}$	Tablo C.1-3b	[kWh/(m^2a)]			0,05	
$\alpha_{TW,g,i}$	Tablo C.1-4a	[--]		1,00		
$q_{TW,g,HE,i}$	Tablo C.1-4b,c,d,e veya g	[kWh/(m^2a)]		0,28	0	
	$\alpha_{TW,g,i} \times q_{TW,g,HE,i}$	[kWh/(m^2a)]		0,28		
$\Sigma q_{TW,HE,E}$	($q_{TW,ce,HE}$ + $q_{TW,d,HE}$ + $q_{TW,s,HE}$ + $\Sigma(\alpha_{TW,g,i} \times q_{g,HE,i})$)	[kWh/(m^2a)]			0,33	
f_P	Tablo C.4-1	[--]			2,6	
$\Sigma q_{TW,HE,P}$	$\Sigma q_{TW,HE,E} \times f_P$	[kWh/(m^2a)]			0,86	

0,33	kWh/(m^2a)

Nihai Enerji

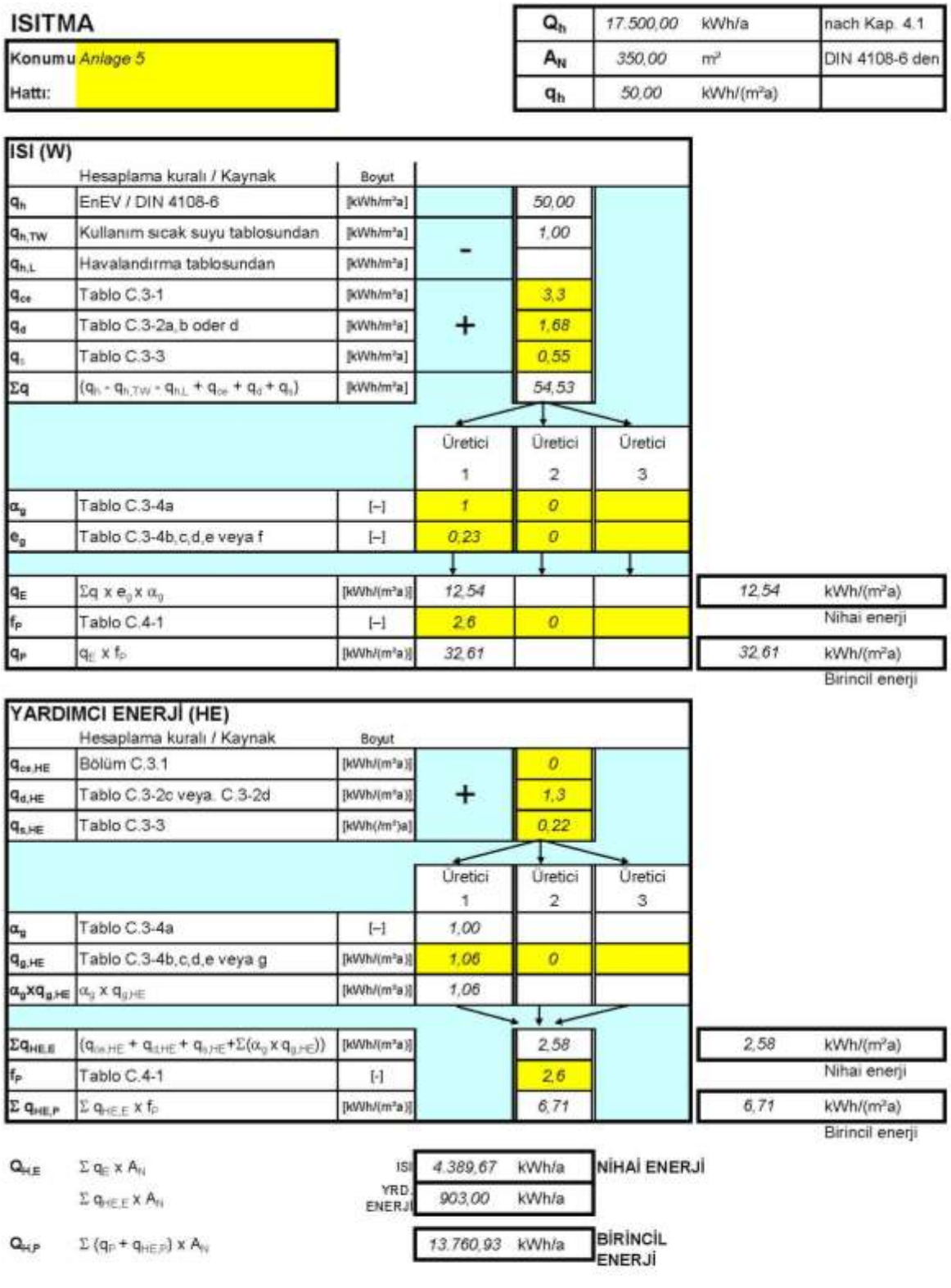
0,86	kWh/(m^2a)

Birincil Enerji

$Q_{TW,E}$	$\Sigma q_{TW,E} \times A_N$	ISI	1.788,89 kWh/a	NİHAİ ENERJİ
	$\Sigma q_{TW,HE,E} \times A_N$	YRD. ENERJ	115,50 kWh/a	
$Q_{TW,P}$	$\Sigma (q_{TW,P} + q_{TW,HE,P}) \times A_N$		4.951,40 kWh/a	BİRİNCİL ENERJİ

A. Erdal ARSLAN - Trakya Ünv. Fen Bil. Enst. Mak. Müh. Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi - Edirne 2014

Tablo 4.6. Isı Pompası Kullanım Sıcak Suyu Hesap Tablosu



ISITMA

Konumu *Anlage 5*

Hattı:

Q_h	17.500,00	kWh/a	nach Kap. 4.1
A_N	350,00	m²	DIN 4108-6 den
q_h	50,00	kWh/(m²a)	

ISI (W)

	Hesaplama kuralı / Kaynak	Boyut				
q_h	EnEV / DIN 4108-6	[kWh/m²a]			50,00	
$q_{h,TW}$	Kullanım sıcak suyu tablosundan	[kWh/m²a]		-	1,00	
$q_{h,L}$	Havalandırma tablosundan	[kWh/m²a]				
q_{ce}	Tablo C.3-1	[kWh/m²a]			3,3	
q_d	Tablo C.3-2a,b oder d	[kWh/m²a]		+	1,68	
q_s	Tablo C.3-3	[kWh/m²a]			0,55	
Σq	$(q_h - q_{h,TW} - q_{h,L} + q_{ce} + q_d + q_s)$	[kWh/m²a]			54,53	
			Üretici 1		Üretici 2	Üretici 3
α_g	Tablo C.3-4a	[–]	1		0	
e_g	Tablo C.3-4b,c,d,e veya f	[–]	0,23		0	
q_E	$\Sigma q \times e_g \times \alpha_g$	[kWh/(m²a)]	12,54			
f_P	Tablo C.4-1	[–]	2,6		0	
q_P	$q_E \times f_P$	[kWh/(m²a)]	32,61			

12,54 kWh/(m²a) Nihai enerji

32,61 kWh/(m²a) Birincil enerji

YARDIMCI ENERJİ (HE)

	Hesaplama kuralı / Kaynak	Boyut				
$q_{ce,HE}$	Bölüm C.3.1	[kWh/(m²a)]			0	
$q_{d,HE}$	Tablo C.3-2c veya. C.3-2d	[kWh/(m²a)]		+	1,3	
$q_{s,HE}$	Tablo C.3-3	[kWh/(m²a)]			0,22	
			Üretici 1		Üretici 2	Üretici 3
α_g	Tablo C.3-4a	[–]	1,00			
$q_{g,HE}$	Tablo C.3-4b,c,d,e veya g	[kWh/(m²a)]	1,06		0	
$\alpha_g x q_{g,HE}$	$\alpha_g \times q_{g,HE}$	[kWh/(m²a)]	1,06			
$\Sigma q_{HE,E}$	$(q_{ce,HE} + q_{d,HE} + q_{s,HE} + \Sigma(\alpha_g \times q_{g,HE}))$	[kWh/(m²a)]			2,58	
f_P	Tablo C.4-1	[-]			2,6	
$\Sigma q_{HE,P}$	$\Sigma q_{HE,E} \times f_P$	[kWh/(m²a)]			6,71	

2,58 kWh/(m²a) Nihai enerji

6,71 kWh/(m²a) Birincil enerji

$Q_{H,E}$	$\Sigma q_E \times A_N$	ISI	4.389,67 kWh/a	NİHAİ ENERJİ
	$\Sigma q_{HE,E} \times A_N$	YRD. ENERJİ	903,00 kWh/a	
$Q_{H,P}$	$\Sigma (q_P + q_{HE,P}) \times A_N$		13.760,93 kWh/a	BİRİNCİL ENERJİ

A. Erdal ARSLAN - Trakya Ünv. Fen Bil. Enst. Mak. Müh. Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi - Edirne 2014

Tablo 4.7. Isı Pompası Isıtma Hesap Tablosu

Sistem Değerlendirme DIN 4701 Teil 10

Bir bina için normal iç sıcaklık ile

Bina ya da bir kısmının tanımlanması	*MEP4 Binası*		
Şehir, Sokak, Bina nur	*Edirne*		
İlçe		Parsel No:	

I. Girişler

A_N =	*350,00*	m²	t_{HP} =	*185* Tage

	KULLANIM SICAK SUYU		ISITMA		HAVALANDIRMA
Mutlak gereksinim	Q_{tw} =	*4.375,00* kWh/a	Q_h =	*17.500,00* kWh/a	
Özel gereksinim	q_{tw} =	*12,50* kWh/(m²a)	q_h =	*50,00* kWh/(m²a)	

II. Sistem Açıklaması

Aktarım	–			*Panel ısıtma, Bağımsız oda kontrolü 2K*			–	
Dağıtım	*Dağıtım ısıl kabuk dışında, Sirkülasyon yok*			*Dağıtım ısıl kabuk dışında, Hatlar içeride, kontrollü pompalar*			–	
Depolama	*Dolaylı ısıtılan depolama, Kurulum ısıl kabuk dışında*			*Depolama, Kurulum ısıl kabuk dışında*				
Üretim	Üretici 1	Üretici 2	Üretici 3	Üretici 1	Üretici 2	Üretici 3	Üretici WÜT	Üretici L/L-WP	Üretici ısıtma bobini
Güneş en. Payı	*1,00*			*1,00*					
Üretici	*WP (Sole)*			*WP (Sole)*					

III. Sonuçlar

Q_h Kapsamı	$q_{h,TW}$ =	*1,00* kWh/(m²a)	$q_{h,H}$ =	*49,00* kWh/(m²a)	$q_{h,L}$ =	kWh/(m²a)
Σ ISI	$Q_{TW,E}$ =	*1.788,89* kWh/a	$Q_{H,E}$ =	*4.389,67* kWh/a	$Q_{L,E}$ =	kWh/a
Σ YRD. ENERJİ		*115,50* kWh/a		*903,00* kWh/a		kWh/a
Σ BİRİNCİL ENERJİ	$Q_{TW,P}$ =	*4.951,40* kWh/a	$Q_{H,P}$ =	*13.760,93* kWh/a	$Q_{L,P}$ =	kWh/a

NİHA ENERJİ	Q_E =	*6.178,55* kWh/a	Σ ISI
		1.018,50 kWh/a	Σ YARDIMCI ENERJİ
BİRİNCİL ENERJİ	Q_P =	*18.712,33* kWh/a	Σ BİRİNCİL ENERJİ
TÜKETİM KATSAYISI	e_P =	*0,86* [-]	

A. Erdal ARSLAN - Trakya Üniv. Fen Bil. Enst. Mak. Müh. Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi - Edirne 2014

Tablo 4.8. Isı Pompası Sistem Değerlendirme Tablosu

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1 Sonuç ve Değerlendirme

Ülkemizde toprak kaynaklı ısı pompaları kullanımı giderek yaygınlaşmakla beraber önündeki ciddi engel ilk yatırım maliyeti olmaktadır. Güneş enerjisinin toprakta depolanmış hali ve yasal tanımıyla "Yerkabuğundaki doğal ısı nedeniyle sıcaklığı sürekli olarak bölgesel atmosferik ortalama sıcaklığın üzerinde olan, erimiş madde ve gaz içerebilen doğal su, buhar ve gazlar ile kızgın kuru kayalardan elde edilen su, buhar ve gazları" [132] şeklinde ifade edilen Jeotermal kaynak şeklinde tanımlayacağımız yer ısısından yararlanılması için yasal düzenlemeler eksik bulunmaktadır. Şu anda 5346 No'lu "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun"u ile jeotermal enerjinin elektrik üretiminde kullanılmasına destek verilmektedir. Kanun çıkarılıp uygulamaya sokulmasına rağmen bu konuda ülke ölçeğinde uygulanması zorunlu uygulama esasları ve standartlar oluşmamıştır. Sadece jeotermal kaynaklardan elektrik üretimi jeotermal kaynağın sıcaklığına göre doğrudan kullanılması dikkate alınmıştır. Yer ısısından ısı pompaları vasıtasıyla dolaylı şekilde yararlanma hiç dikkate alınmamıştır. Jeotermal kaynakların bulunmadığı bölgelerde yer ısısından yararlanmanın en pratik yolu ısı pompalarıdır.

Önceki bölümde DIN 4701-10 standardı tablo yöntemiyle yapılan, yoğuşmalı kombi ve Toprak kaynaklı ısı pompasına ait sistem tüketim katsayıları Tablo 4.9'da gösterilmiştir.. Tablodan da görüleceği gibi birincil enerji tüketimi açısından Toprak kaynaklı ısı pompası sistemi %45 daha verimlidir.

Isı Üreticisi	Sistem Tüketim Katsayısı (e_p)
Gaz yakıtlı yoğuşmalı kombi	1,25
Toprak kaynaklı ısı pompası	0,86

Tablo 4.9. Sistem Tüketim Katsayıları Tablosu

Ülkemizde birincil enerjinin büyük bir oranı ( ) konut ısıtılmasında kullanılmaktadır. Ülkemizde yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına ilişkin bütünleşik bir enerji politikası henüz oluşmamıştır. Bu nedenle yer ısısının kullanımına ilişkin de bir teşvik mekanizması henüz yoktur.

"Türkiye'de jeotermal enerji ile ısıtılan bazı yerleşim bölgeleri ve halkın ödediği aylık jeotermal ısınma ve sıcak su ücretleri Tablo 4.10'deki gibidir (jeotermal ısıtma ücretleri Ekim - Kasım aylarında TL olarak belirlenmekte olup, tüm yıl boyunca sabit kalmaktadır [100 m2 konut başına, KDV Dahil]):" [133]

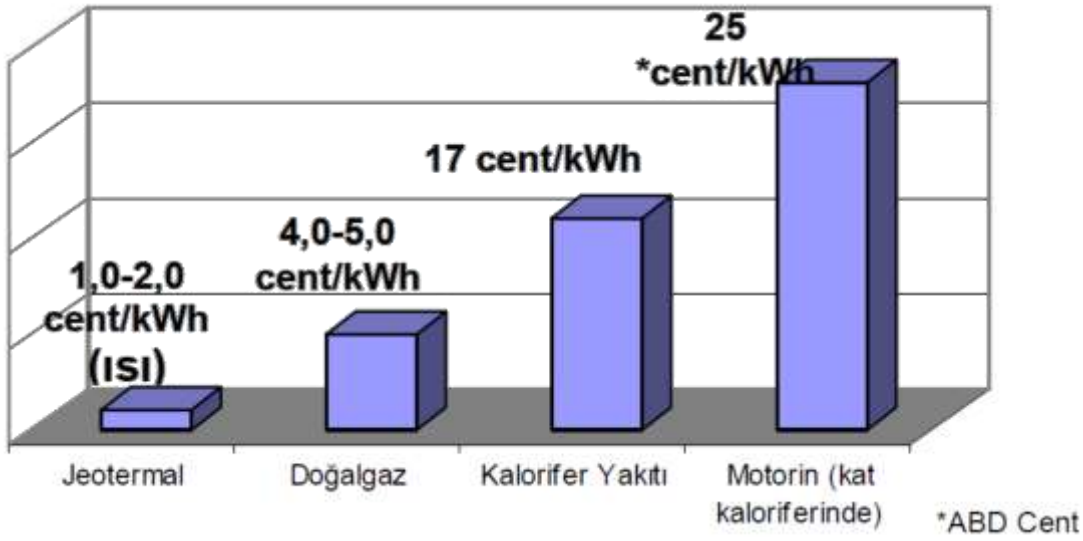
Tablo 4.10. Bazı Yerleşim Bölgelerinde Aylık Jeotermal Isınma ve Sıcak Su Ücretleri [133].

GÖNEN	90 TL	2011/12 Kış Sezonu
SİMAV	78,50 TL	2011/12 Kış Sezonu
KIRŞEHİR	74 TL	2011/12 Kış Sezonu
K.HAMAM	100 TL	2011/12 Kış Sezonu
BALÇOVA/İZMİR	81,50 TL	2011/12 Kış Sezonu
SANDIKLI	112 TL	2011/12 Kış Sezonu
KOZAKLI	125 TL	2011/12 Kış Sezonu
AFYON	112 TL	2011/12 Kış Sezonu
NARLIDERE/İZMİR	81,50 TL	2011/12 Kış Sezonu
EDREMİT	74 TL	2011/12 Kış Sezonu
SARAYKÖY	108 TL	2011/12 Kış Sezonu

Isı Bazlı (kWh) Isı Satış Bedelleri (KDV Dahil) [133].

Afyon : 5,28 TL / 1000 kcal

İzmir-Balçova : 6,88 TL / kWh



Şekil 4.24. Jeotermal ile Bazı Fosil Yakıtların Isı Satış Bedellerinin Karşılaştırılması [133].

Şekil 4.24'de Jeotermal ile Bazı Fosil Yakıtların Isı Satış Bedellerinin Karşılaştırılması grafik olarak verilmiştir. Isı pompaları ile bu konuda derlenmiş bir çalışma bulunmamasına rağmen aradaki fark kompresör tarafından çekilen enerji miktarı kadar olacağı açıktır. Bu durumda ısı pompalı sitemlerin maliyetinin Jeotermal enerji ile doğalgaz arasında kalacağını söyleyebiliriz. Bunun yanında ısı pompalı sistemler sadece ısıtma amaçlı değil soğutma amaçlı olarak da kullanılabilmektedir.

5.2 Öneriler

Toprak Kaynaklı Isı Pompalarının ilk yatırım masraflarının önemli bir kısmını toprak ısı değiştiricisinin montajı için gereken hafriyat ve sondaj delikleri almaktadır. İnşaatın başlangıç safhasında planlanması halinde özellikle yatay ısı değiştiricili TKIP sistemlerinin hafriyat masrafları bir ölçüde aşağı çekilebilir. Örnek uygulamada olduğu gibi sona bırakılması durumunda hem ısı değiştiriciler için gerekli alan hem de sondaj makinalarının çalışma alanı daralmakta ve sıkıntılara yol açmaktadır. Bu açıdan TKIP ısı değiştiricileri konumu ve yerleşimi mimari proje aşamasında çözülmelidir. Bunun yanında binanın statiği gereği yapılmakta olan jeolojik etüt, TKIP sistemi düşünülerek daha ayrıntılı hazırlanmalı ya da 30 KW'dan büyük sistemler için sadece bu amaçlı sondaj kuyuları açılmalı ve analizler yapılmalıdır.

Avrupa ve ABD'de TKIP projelendirilmesinde kullanılabilecek belirli derinliklerde yeraltı toprak sıcaklığını gösteren haritalar bulunmaktadır. Meteoroloji istasyonlarından ancak 1 m derinliğe kadar veri alınabilmektedir. Bu nedenle sağlık bir tasarım için bu verilerin elde edilmesi gerekmektedir.

Toprak Kaynaklı Isı Pompaları uygulamaların Türkiye'de yaygınlaşması için yenilenebilir enerji kaynaklı yatırımlar desteklenmeli ve teşvik edilmelidir. Bu yatırımların gerekli öz kaynağının belirli bir oranı kamu (Özel İdare, Belediye) tarafından karşılanmalıdır.

Jeotermal ve Yer enerjisinin sadece elektrik enerjisi değil diğer alanlardaki kullanımını düzenleyecek mevzuatın bir an önce çıkartılması gerekmektedir.

"Enerji sektöründe bütünleşik kaynak planlaması zorunludur. Bu planlama; enerji üretiminin dayanacağı kaynakların seçimi, enerji tüketim eğilimlerinin incelenmesi, talep tarafı yönetim uygulamalarının üzerinde yoğunlaşma, enerjinin daha verimli kullanımı, çevreye verilen zararın asgari düzeyde olması, yatırımın yapılacağı yerde yaşayan insanların hak ve çıkarlarının korunması vb. ölçütleri gözeterek yapılmalıdır." [97]

"Planlama çalışmaları katılımcı ve şeffaf bir şekilde yapılmalı, çalışmalara ilgili kamu kurumlarının yanı sıra; üniversiteler, bilimsel araştırma kurumları, meslek odaları, uzmanlık dernekleri, sendikalar ve tüketici örgütlerinin, katılım ve katkıları sağlanmalıdır." [97]

"Doğal gaz, petrol, ithal kömür gibi dışa bağımlı fosil yakıtların enerji tüketiminde ve elektrik üretiminde payını düşürmeye yönelik politikalar uygulanmalıdır."[97]

Daha öne doğalgazda yaşandığı gibi ülkemizin sanayi çöplüğüne dönüşmesinin önlenebilmesi için bu konuda ülke ölçeğinde uygulanması zorunlu uygulama esasları ve standartlar oluşturulmalı ya da uluslararası kabul görmüş standartlar tercüme edilerek uygulamaya sokulmalıdır.

KAYNAKLAR

[1] «BP Statistical Review of World Energy,» June 2013. [Çevrimiçi]. Available: http://www.bp.com/statisticalreview.

[2] «Elektrik Üretim Sektör Raporu 2013,» 2014. [Çevrimiçi]. Available: http://www.enerji.gov.tr/yayinlar_raporlar/Sektor_Raporu_EUAS_2013.pdf.

[3] R. Couvillion, «Field and Laboratory Simulation of Earth-Coupled Heat Pump,» *ASHRAE Transaction,* pp. 2b,91,1326-1334, 1985.

[4] P. J. Hughes, L. Looms, R. A. O'neil ve J. Rızzuto, «Results of the Residential Earth coupled Heat Pump Demonsration in Upstate New York,» *ASHRAE Transaction,* pp. Part 2b, Vol.91, 1307-1325., 1985.

[5] M. Sulatısky ve G. Vander Kamp, «Ground-Source Heat Pumps in the Canadian Prairies,» *ASHRAE Transaction,* pp. Part 1 Vol. 97, 374-385, 1991.

[6] C. BOISSAVY, «Ground Source Heat Pump Systems, Ch. 14, Geothermal District Schemes,» %1 içinde *International Summer School on Direct Application of Geothermal Energy*, Makedonya, 1997.

[7] I. F. Orkustofnun, «Geothermal Direct Use Around the World,» *Geothermal Resources Council (GRC) Bulletin,* pp. Vol.27, No:8, 235-239, November 1998.

[8] M. B. V. Catan, «An optimized ground coupled heat pump system design for Northern climate applications,» *ASHRAE Transactions,* pp. 2b No:91. 1185 - 1203, 1985.

[9] P. B. T. Franck, «Ground coupled heat pumps with low temperature heat storage: some Swedish experiences,» *ASHRAE Transactions,* pp. 2b, No:91, 1285-1296, 1985.

[10] W. Fleming, «Ground-source heat pump design and operation- experience within an Asian Country,» *ASHRAE Transactions,* pp. 1b, No: 104, 771-774, 1987.

[11] P. Eskilson, Thermal analysis of heat extraction borehole, Doctoral Thesis, Lund, Sweden: Department of Mathematical Physics, Lund Institute of Technology, 1987.

[12] S. Kavanaugh, «Design considerations for ground and water source heat pumps in Southern Climates,» *ASHRAE Transactions,* pp. 1, No: 95, 1139-1149, 1989.

[13] S. Martin, «A design and economic sensitivity study of single-pipe horizontal ground-coupled heat pump systems,» *ASHRAE Transaction,* pp. 1, No: 96, 634-642, 1990.

[14] V. C. Mei, «Experimental study of direct-expansion ground coil heat exchangers,» *ASHRAE Transactions,* pp. 1, No: 96, 821-28, 1990.

[15] P. E. J. J. R. M.-Z. Y. Safemazandarani, «Mathematical modeling of a direct expansion ground coupled heat pump system,» *ASHRAE Transactions,* pp. 1, No: 96, 583-589, 1990.

[16] S. P. M. Kavanaugh, «Lakewater applications of water-to-air heat pumps,» *ASHRAE Transactions,* pp. 1, No: 96, 813-20, 1990.

[17] M. V. D. K. G. Sulatisky, «Ground-Source heat pumps in the Canadian Prairies,» *ASHRAE Transactions,* pp. 1, No: 97, 374-385, 1990.

[18] M. E. D. M. M. R. Sorour, «Heating of the soil below a cold store,» *Applied Energy,* pp. 39, 1, 45-57, 1991.

[19] S. Kavanaugh, «Field test of a vertical ground coupled heat pumps in the Alabama,» *ASHRAE Transactions,* pp. 2, No: 98, 607-616, 1992.

[20] B. Meloy, «Free cooling works for Cowlitz Country Hall of Justice,» *ASHRAE Transactions,* pp. 1, No: 98, 1023-30, 1992.

[21] K. Rafferty, «Large tonnage groundwater heat pumps-experiences with two systems,» *ASHRAE Transactions,* pp. 1, No: 98, 587-92, 1992.

[22] M. Hatten, «Groundwater heat pumping: lessons learned in 43 years at the building,» *ASHRAE Transactions,* pp. 2, No. 98, 1031-37, 1992.

[23] C. M. G. Jacovides, «An underground pipe system as an energy source for cooling/heating purposes,» *Renewable Energy,* pp. 6, 8, 893-900, 1995.

[24] M. Kangas, «Thermohydraulic analysis of ground as a heat source for heat pumps using vertical pipes, Transactions of the ASME,» *Journal of Energy Resources Technology,* pp. Vol. 118, 300-305, Dec. 1996.

[25] P. M. J. Petit, «Economic potential of vertical ground-source heat pumps compared to air-source air conditioners in South Afrıca,» *Energy Journal,* pp. 23, 2, 137-43, 1998.

[26] W. T. V. A. A. Leong, «Effect of soil type and moisture content on ground heat pump performance,» *International Journal of Refrigeration,* pp. 21, 8, 595-606, 1998.

[27] G. a. S. W. Phetteplace, «Performance of a hybrid ground-coupled heat pump system,» *ASHRAE Transactions,* pp. 1b, No. 104, 763-770, 1998.

[28] K. Den Braven, «Antifreeze acceptability for ground-coupled heat pumps ground loops in the United States,» *ASHRAE Transactions,* pp. 1b, No. 104, 938-43, 1998.

[29] E. Spilker, «Ground coupled heat pump loop design usign thermal conductivity testing and the effect of different backfill material on vertical bore length,» *ASHRAE Transactions,* pp. 1b, No. 104, 775-79, 1998.

[30] S. Kavanaugh, «Development of Design Tools For Ground-Source Heat Pump Piping,» *ASHRAE Transactions,* pp. 1b, No. 104, 1932-1937, 1998.

[31] M. Salah El-Din, «On the Heat Flow Into The Ground,» *Renewable Energy,* pp. 18, 473 - 90, 1999.

[32] M. Piechowski, «Heat and Mass Transfer Model of A Ground Heat Exchanger: Theoretical Development,» *International Journal of Energy Research,* pp. 23, 571-858, 1999.

[33] V. G. F. W. B. G. Tarnawski, «Modelling Approaches to Predicting Thermal Conductivity of Soils At High Temperatures,» *International Journal of Energy Research,* pp. 24, 5, 403-23, 2000.

[34] S. A. M. Z. Z. D. M. T. H. Rees, «Ground Heat Transfer Effects on the Thermal Performance of Earth-Contact Structures,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* pp. 4, 3, 213-65, 2000.

[35] M. Bernıer, «Ground-Coupled Heat Pump System Simulation,» *ASHRAE Transactions,* pp. 107, No.1, 605-616, 2001.

[36] D. a. M. B. Pahud, «Comparison of the Thermal Performance of Double U Pipe Borehole Heat Exchangers Measured in Situ,» *Energy and Buildings,* pp. 33, 5, 503-507, 2001.

[37] C. Yavuzturk, «Field Validation of a Short Time Step Model For Vertical Groundloop Heat Exchangers,» *ASHRAE Transactions,* pp. 107, No. 1, 617-25.

[38] S. a. M. S. Kavanaugh, «Energy Use of Pumping Options For Ground- Source Heat Pumps,» *ASHRAE Transactions,* pp. 107, No. 1, 589-599, 2001.

[39] M. Parent, «A Simplified Tool For Assessing the Feasibility of Ground-Source Heat Pump Projects,» *ASHRAE Transactions,* pp. 1, 120-129, 2001.

[40] M. Sodha, «Simulatıon of Dynamic Heat Transfer Between Ground and Underground Structures,» *International Journal of Energy Research,* pp. 25, 15, 1391-94, 2001.

[41] M. Sodha, «Simulation of Periodic Heat Transfer Between Ground and Underground Structures,» *Internatıonal Journal of Energy Research,* pp. 25, 8, 689-93, 2001.

[42] C. M. J. De Swardt, «A Performance Comparision Between An Air Source And A Ground-Source Reversible Heat Pump,» *Internatıonal Journal of Energy Research,* pp. 25, 10, 899-910, 2001.

[43] G. Mihalakakou, «On Estimating Soil Surface Temperature Profiles,» *Energy and Buildings,* pp. 34,3, 251-59, 2002.

[44] Y. C. L. W. C. Bi, «Ground Heat Exchanger Temperature Distribution Analysis And Experimental Verification,» *Applied Thermal Engineering,* pp. 22, 2, 183-89, 2002.

[45] H. D. N. F. Z. Zeng, «A Finite Line-Source Model For Boreholes İn Ground Heat Exchangers,» *Heat Transfer-Asian Research,* pp. 31,7, 558-67, 2002.

[46] M. C. R. N. D. D. R. Sutton, «An Algorithm for Approximating The Performance of Vertical Bore Heat Exchangers İnstalled in a Stratified Geological Regime,» *ASHRAE Transactions,* pp. 108, No. 2, 177-84, 2002.

[47] B. K. C. M. D. R. L. Sanner, «Current Status Of Ground Source Heat Pumps And Underground Thermal Energy Storage in Europe,» *Geothermics,* pp. 32, 4-6, 579-588, 2003.

[48] J. Lund, «The Use Of Downhole Heat Exchangers,» *Geothermics,* pp. 32, 4-6, 535-43, 2003.

[49] B. M. E. a. S. M. Sanner, «Larger Geothermal Heat Pump Plants İn The Central Region of Germany,» *Geothermics,* pp. 32, 4-6, 589-602, 2003.

[50] J. a. C. W. Lam, «Energy Performance of Air-To-Water And Water-Towater Heat Pumps İn Hotel Applications,» *Energy Conversion and Management,* pp. 44,10, 1625-31, 2003.

[51] P. G. A. B. A. B. E. Roth, «First in Situ Determination Of Ground And Borehole Thermal Properties in Latin America,» *Renewable Energy,* pp. 29, 12, 1947-63, 2004.

[52] Y. G. T. Z. L. C. L. Bi, «Solar and Ground Source Heat-Pump System,» *Applied Energy,* pp. 78, 2, 231-245, 2004.

[53] N. L. Q. F. Z. Diao, «Heat Transfer İn Ground Heat Exchangers With Groundwater Advection,» *International Journal of Thermal Sciences,* pp. 43, 12, 1203-11, 2004.

[54] N. M. A. P. K. Kyriakis, «On The Maximum Thermal Load Of Ground Heat Exchangers,» *Energy and Buildings,* pp. 38, 1, 25-29, 2005.

[55] B. H. G. S. J. G. S. Sanner, «Thermal Response Test -Current Status and World-Wide Application,» %1 içinde *Proceedings World Geothermal Congress,* Antalya, Turkey, 2005 April 24-29.

[56] V. S. B. a. F. G. Trillat-Berdal, «Experimental Study Of A Ground Coupled Heat Pump Combined With Thermal Solar Collectors,» *Energy and Buildings,* pp. 38, 12, 1477-84, 2006.

[57] K. K. T. a. T. S. Nagano, «Development of a Design And Performance Prediction Tool For The Ground Source Heat Pump System,» *Applied Thermal Engineering,* pp. 26, 14-15, 1578-92, 2006.

[58] K. L. S. L. C. Lim, «An Experimental Study On The Thermal Performance Of Ground Heat Exchanger,» *Experimental Thermal and Fluid Science,* pp. 31, 8, 985-90, 2007.

[59] G. a. K. S. Florides, «First in Situ Determination Of The Thermal Performance Of A U-Pipe Borehole Heat Exchanger, in Cyprus,» *Applied Thermal Engineering,* pp. 28, 2-3, 157-63, 2008.

[60] S. B. S. P. D. K. T. Signorelli, «Numerical Evaluation Of Thermal Response Tests,» *Geothermics,* pp. 36, 2, 141-66, 2007.

[61] G. Phetteplace, «Geothermal Heat Pumps,» *Journal of Energy Engineering,* pp. 133, 1, 32-38, 2007.

[62] A. B. D. K. P. P. K. K. N. Michopoulos, «Three-Years Operation Experience Of A Ground Source Heat Pump System İn Northern Greece,» *Energy and Buildings,* pp. 39, 3, 328-34, 2007.

[63] D. A. Hepbaşlı A., «Isı Pompası Sistemleri ve Konut Isıtılması,» İstanbul, 1985.

[64] N. O. R. Babür, «Design and Construction of An Earth Source Heat Pump,» Ankara, 1986.

[65] H. Ataman, «Toprak Kaynaklı Bir Isı Pompası Tesisinin Tasarımı ve Optimizasyonu,» İstanbul, 1991.

[66] A. Savaş, «Toprak Kaynaklı Isı Pompası İle Konut Isıtılması,» Kütahya, 1996.

[67] Y. Kara, «Düşük Sıcaklıktaki Jeotermal Kaynakların Isı Pompası Yardımıyla Bina Isıtmada Kullanımı,» Erzurum, 1999.

[68] E. Hancıoğlu, *Güneş Enerjisi Destekli Toprak Kaynaklı Isı Pompası İle Bir Hacmin Isıtılması,* 2000, pp. 196-197.

[69] İ. Ersöz, «Toprak Kaynaklı Isı Pompası ile Bir Hacmin Soğutulması - Yüksek Lisans Tezi,» İzmir, 2000.

[70] T. Diz, «Minimum Enerjili Bina Tasarımı (Toprak Enerjisiyle),» İstanbul, 2001.

[71] O. T. G. Kıncay, «Toprak kaynaklı ısı pompalı sistemlerin ekonomik incelenmesi,» *Tesisat Mühendisliği Dergisi Mart-Nisan,* pp. 37-38, 2002.

[72] M. E. H. İnalli, «Experimental Thermal Performance Evaluation Of A Horizontal Ground-Source Heat Pump System,» *Applied Thermal Engineering,* pp. 24, 14-15, 2219-32, 2004.

[73] M. E. H. İnalli, «Seasonal Cooling Performance Of A Ground-Coupled Heat Pump System in a Hot And Arid Climate,» *Renewable Energy,* pp. 30, 9, 1411-24, 2005.

[74] O. H. A. Ö. L. Özgener, «A parametric Study On The Exergoeconomic Assessment of a Vertical Ground-Coupled (Geothermal) Heat Pump System,» *Building and Environment,* pp. 42, 3, 1503-09, 2007.

[75] H. I. M. E. M. Esen, «Technoeconomic Appraisal Of Ground Source Heat Pump System For A Heating Season İn Eastern Turkey,» *Energy Conversion and Management,* pp. 47, 9-10, 1281-97, 2007.

[76] H. I. M. E. M. Esen, «Numerical And Experimental Analysis Of A Horizontal Ground-Coupled Heat Pump System,» *Building and Environment,,* pp. 42, 3, 1126-34, 2007a.

[77] H. I. M. E. M. Esen, «A techno-Economic Comparison of a Ground Coupled And Air-Coupled Heat Pump System For Space Cooling,» *Building and Environment,* pp. 42, 5,1955-65, 2007b.

[78] H. I. M. E. M. P. K. Esen, «Energy and Exergy Analysis Of A Ground-Coupled Heat Pump System With Two Horizontal Ground Heat Exchangers,» *Building and Environment,* pp. 42, 10, 3606-15, 2007c.

[79] O. B. K. E. D. Ç. K. Özyurt, «Erzurum'da Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Deneysel İncelenmesi,» %1 içinde *ULIBTK'07 16. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi 30 Mayıs-2 Haziran,* Kayseri, 2007.

[80] K. Ö. O. Ç. Ö. Ġ. B. Bakırcı, «Soğuk İklim Bölgesinde Güneş Ve Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sisteminin Deneysel İncelenmesi,» %1 içinde *ULIBTK'07 16. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 30 Mayıs-2 Haziran,* Kayseri, 2007.

[81] K. Ç. S. Y. N. Ünlü, «Bursa ili Şartlarında Toprak Kaynaklı Isı Pompası İle Isıtma Uygulaması,» %1 içinde *ULIBTK'07 16. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 30 Mayıs-2 Haziran,* Kayseri, 2007.

[82] A. A. Dikici, «Güneş ve Toprak Enerjisi Kaynaklı Isı Pompasının Enerji, Ekserji Ve Ekonomi Analizi,» %1 içinde *15. Ulusal Isı Bilimi Ve Tekniği Kongresi, 7-9 Eylül,* Trabzon, 2005.

[83] A. Can, Isı Transferi Ders Notu, Edirne, 2006.

[84] J. Berghmans, Heat Pump Fundamentals, Kluwer Academic Publishers Group, 1983.

[85] R. Küçükçalı, Alternatif Enerjiler ve Alternatif Sistemler, İstanbul: Isısan, 2008.

[86] A. Hepbasli, «"Uzman Gözüyle Termodinamik ve Uygulamaları" Kursu,» Eskişehir, 2008.

[87] Y. A. B. M. A. Çengel, Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, Literatür, 2008.

[88] D. I. f. N. DIN EN 15450, «Heizungsanlagen in Gebauden - Planung von Heizungsanlagen mit Warmepumpen,» Deutsches Institut für Normung, 2007.

[89] W. C. Whitman, W. M. Johnson, J. A. Tomczyk ve E. Silberstein, Refrigeration and Air Conditioning Technology, 7 dü., NY: Delmar, 2013.

[90] G. F. Hundy, A. R. Trott ve T. C. Welch, Refrigeration and Air-Conditioning, 4 dü., TALLAHASSEE, FL: Butterworth-Heinemann, 2008, p. 50.

[91] ASHRAE, 2012 ASHRAE Handbook-HVAC Systems and Equipment (SI Edition), ASHRAE, 2012.

[92] T. Giampaolo, Compressor Handbook: Principles and Practice, 1. dü., The Fairmont Press, Inc., 2010.

[93] W. Kuhns, «Expedition Fridge Units,» 13 Mart 2014. [Çevrimiçi]. Available: http://www.expeditionportal.com/equipment/equipment_reviews/fridge/Research/

[94] Ü. Çallı, «Temel Soğutma,» MMO, İzmir, 2007.

[95] Alarko, «Spiral (Scroll) Kompresörler,» *Alarko Teknik Bülten,* no. 3, p. 5, 2005.

[96] Dalgakıran, «Kompresörler,» [Çevrimiçi]. Available: http://www.dalgakiran.com.tr/enerji-verimliligi/basincli-hava-sistemleri/kompresorler. [Erişildi: 15 Mayıs 2014].

[97] A. Ş. Arges, «Tek Vidalı Kompresörler ve Çift Vidalı Kompresörler ile Kıyaslanması,» [Çevrimiçi]. Available: http://www.argesas.com/index.php. [Erişildi: 15 Mayıs 2014].

[98] E. A. Avallone ve T. Baumeister, Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers, 10 dü., McGraw-Hill, 1999.

[99] K. G. BITZER, «Screw Compressors: Brochures,» 2014. [Çevrimiçi]. Available: https://www.bitzer.de/eng/products/docu/doc_det/11. [Erişildi: 2014].

[100] K. G. BITZER, «Reciprocating Compressors: Brochures,» 2014. [Çevrimiçi]. Available: https://www.bitzer.de/eng/products/docu/doc_det/3. [Erişildi: 2014].

[101] «Products: Tecumseh,» 2014. [Çevrimiçi]. Available: http://www.tecumseh.com/en/europe/products. [Erişildi: 15 Mayıs 2014].

[102] ISISAN, «Kullanma Kılavuzları,» 2008. [Çevrimiçi]. Available: http://www.ayterm.com/yeni/kullanma/servis/Sogutma/Highlife/INVERTER-2.pps. [Erişildi: 15 Mayıs 2014].

[103] R. Küçükçalı, Enerji Ekonomisi, İstanbul: ISISAN, 2005.

[104] Toshiba, «Grundlagen der Invertertechnologie,» 2011.

[105] T. Ristimäki, «Frekans Konvertörü ile Enerji verimliliği,» CentraLine c/o Honeywell GmbH, 2008. [Çevrimiçi]. Available: https://www.buildingexperts.info/uploads/tx_clbuildingexperts/paper/CL-VFD-0808-tr.pdf. [Erişildi: 15 Mayıs 2014].

[106] H. Bulgurcu, A. Onat ve O. Isıkan, «İklimlendirme Cihazlaeında Kullanılan Soğutucu Akışkanların Transfer Özellikleri ve Performans Analizi,» *Soğutma Dünyası,* no. 30, p. 22, 2005.

[107] M. Dameris ve D. Diego Loyola, Climate Change - Geophysical Foundations and Ecological Effects, J. Blanco ve K. H., Dü, InTech, 2011, pp. Ch.2, 10.

[108] H. Bulgurcu ve E. Şimşek, Soğutucu Akışkanlar Ders Notu, 2007.

[109] ASHRAE, 2010 ASHRAE Handbook - Refrigeration, ASHRAE, 2010.

[110] Daikin, Daikin Altherma Engineering Data, Daikin, 2011, p. 3.

[111] Synergy, «How do ground source heat pumps work?,» [Çevrimiçi]. Available: http://www.synergyboreholes.co.uk/cms_wysiwyg_uploads/media/3528.jpg. [Erişildi: 15 Mayıs 2014].

[112] R. Tamošiūnas, «Pagrindinis geoterminio šildymo trūkumas – didelė įrangos kaina,» [Çevrimiçi]. Available: http://www.technologijos.lt/upload/image/n/technologijos/statybos/S-21620/Geoterminis.JPG. [Erişildi: 14 Mayıs 2014].

[113] K. P. Rafferty, «An Information Survival Kit for the Prospective Geothermal Heat Pump Owner,» 2001.

[114] A. C. Gironde, «Les Pompes à Chaleur,» [Çevrimiçi]. Available: http://www.portail-artisans.com/concept-eco-energie/pompes.php. [Erişildi: 14 Mayıs 2014].

[115] VDI, «VDI 4640 Blatt 2 - Thermische Nutzung des Untergrundes Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen - Thermal use of the underground Ground source heat pump systems,» VDI, Düsseldorf, 2001-09.

[116] W. Wasserwirtschaftsamt, «Grundwasserwärmepumpen,» Wasserwirtschaftsamt Weilheim, 2014. [Çevrimiçi]. Available: http://www.wwa-wm.bayern.de/grundwasser_boden/geothermie/was_ist_geothermie/waermequellenanlage/grundwasserwaermepumpen/index.htm. [Erişildi: 13 Mayıs 2014].

[117] Hidro-Geodrilling, «Heat pump types,» [Çevrimiçi]. Available: http://www.hgd.hu/en/node/172. [Erişildi: 13 Nisan 2014].

[118] VDI, «VDI 4640 Blatt 1 - Thermische Nutzung des Untergrunds Grundlagen - Thermal use of the underground Fundamentals, approvals, environmental aspects,» VDI, Düsseldorf, 2010-06.

[119] DIN, «DiN V 4701-10 Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen - Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung,» DIN, 2003-08.

[120] DIN, «DIN V 18599-1 Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil!1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energ,» DIN, 2005-07.

[121] REHAU, «Raugeo Sistem Tekniği, Yer Isısı İle Yenilikçi Isıtma, Soğutma ve Tasarruf - Teknik Katalog 827600/1,» İstanbul, 2011.

[122] REHAU, «RAUGEO HELIX® PE-Xa Teknik Katalog (827610 TR 06.2010),» İstanbul.

[123] Uponor, «Ground Energy Technical Information,» [Çevrimiçi]. Available: http://www.uponor.com/handler/DirectDownload.ashx?did=7641B6798D8445DAAA85DA6E33B176CE. [Erişildi: 20 Nisan 2014].

[124] ArchiExpo, «Pipe bored pile,» [Çevrimiçi]. Available: http://img.archiexpo.com/images_ae/photo-g/pipe-bored-piles-61404-5029665.jpg. [Erişildi: 13 Nisan 2014].

[125] F. B. Franki, «the energy piles,» [Çevrimiçi]. Available: http://www.franki-geotechnics.be/Business-Units/Piles/Energiepaal.aspx?lang=en-US. [Erişildi: 19 Nisan 2014].

[126] R. Aditya., «Direct Geothermal Energy System for New Development in Monbulk,» [Çevrimiçi]. Available: http://eddge.com.au/monbulk/#more-657. [Erişildi: 10 Mayıs 2014].

[127] H. Peter, «Unsere Referenzen,» [Çevrimiçi]. Available: http://www.elektroheinle.com/referenz.html. [Erişildi: 15 Mart 2014].

[128] M. Kaltschmitt, W. Streicher ve A. Wiese, Erneuerbare Energien - Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte, 4. dü., Berlin: Springer, 2006.

[129] quality-assurance-inspection-of-well-field-as-it-is-pressure-tested-with-water-to-80-psi, «Geothermal Heating Installation,» [Çevrimiçi]. Available: http://ttherm.com/geothermal-installations.html. [Erişildi: 20 Mart 2014].

[130] SuperHomes, «Are heat pumps cost effective?,» [Çevrimiçi]. Available: http://www.superhomes.org.uk/resources/are-heat-pumps-cost-effective/. [Erişildi: 21 Mart 2014].

[131] S. Burkhard, «DESCRIPTION OF GROUND SOURCE TYPES FOR THE HEAT PUMP,» [Çevrimiçi]. Available: http://www.geothermie.de/wissenswelt/archiv/englisch/description-of-ground-source-types-for-the-heat-pump.html. [Erişildi: 4 Mart 2014].

[132] *Resmi Gazete (25819 - 18.05),* 2005.

[133] «Madencilik Politikaları Özel İhtisas Komisyonu Enerji Hammaddeleri Grubu Jeotermal Çalışma Alt Grubu,» T.C. Kalkınma Bakanlığı, Ankara, 2013.

[134] «Worldwide Look at Reserves and Production,» *Oil & Gas Journal,* 06 January 2014.

[135] O. Türkyılmaz, «2014 Yılı Başlarında Türkiye Enerji Görünümü,» MMO Enerji Komisyonu, Ankara, 2014.

[136] P. A.-H. S. R. S. A. N. Doherty, «Ground Source Heat Pump Description And Preliminary Results of The Eco House System,» *Applied Thermal Engineering,,* pp. 24, 17-18, 2627-41, 2004.

[137] Y. A. B. M. A. Çengel, Thermodynamics: An Engineering Approach, 5. dü., McGraw-Hill, 2006.

[138] A. Hepbasli, «TTMD Eskişehir Çalıştayı "Isı Pompaları",» %1 içinde *TTMD, 6-8 Şubat*, Eskişehir, 2009.

[139] «Toprak Isı Sistemleri,» 2014. [Çevrimiçi]. Available: http://www.toprakisi.com.tr/userfiles/image/7-e.PNG. [Erişildi: 15 Mayıs 2014].

[140] Ochsner, «Heat sources,» [Çevrimiçi]. Available: http://www.ochsner.com/uploads/pics/WQ-Erde_02.jpg. [Erişildi: 14 Mayıs 2014].

[141] C. Stanfield ve D. Skaves, AHRI Fundamentals of HVACR, 2. dü., Pearson, 2013.

ÖZGEÇMİŞ

1958 Tokat doğumlu.

İlk ve orta öğrenim Tokat'ta Liseyi İstanbulda bitirdi.

1983 yılında Trakya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisiği bölümünden mezun oldu.

1983-1988 yılları arasında muhtelif işyerlerinde tasarım, imalat yardımcı işletmeler mühendisi olarak çalıştı.

1988 de Mekanik tesisat konularında iş yapmak üzere kendi işyerini açtı. Proje, imalat ve taahhüt işleri yaptı.

Halen kendi işyerinde kısa zamanlı olarak çalımaktadır.

Evli bir kız çocuk babasıdır.