

**JEOTERMAL ENERJİDEN YARARLANILARAK KUYU İÇİ EŞANJÖRÜ
YARDIMIYLA KONUT ISITILMASI VE SICAK SU İHTİYACININ
KARŞILANMASI**

Ebru ARSLAN

Temmuz 2006

DENİZLİ

**JEOTERMAL ENERJİDEN YARARLANILARAK KUYU İÇİ
EŞANJÖRÜ YARDIMIYLA KONUT ISITILMASI VE SICAK SU
İHTİYACININ KARŞILANMASI**

**Pamukkale Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Ebru ARSLAN

Danışman: Prof. Dr. Mehmet ATILGAN

**Temmuz,2006
DENİZLİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ ONAY FORMU

Ebru ARSLAN tarafından Prof. Dr. Mehmet ATILGAN yönetiminde hazırlanan “**Jeotermal Enerjiden Yararlanılarak Kuyu İçi Isı Eşanjörü Yardımıyla Konut Isıtılması Ve Sıcak Su İhtiyacının Karşlanması**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.



Prof. Dr. Mehmet ATILGAN

Jüri Başkanı (Danışman)



Prof. Dr. Rasim KARABACAK

Jüri Üyesi



Yrd. Doç. Dr. Güngör DURUR

Jüri Üyesi

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

.../.../..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mehmet Ali SARIGÖL


Müdür

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı gerçekleştirmemde benden maddi ve manevi hiçbir desteğini esirgemeyen,her türlü fedakarlığı gösteren tez danışmanım Prof. Dr. Mehmet ATILGAN'a, kendi yoğun temposuna rağmen her zaman özveriyle yardımına koşan değerli arkadaşım Araş. Gör. Öner ATALAY'a, ısı kaybı hesapları ile ilgili ihtiyaç duyduğum tüm bilgileri sağlayan değerli arkadaşım Mak. Müh. Behice ÇETİNKAYA'ya ,çalışmamda emeği geçen TMMOB Makine Mühendisleri Odası çalışanlarına ve Mak.Müh. Fatih YAŞA'ya, son olarak da dönemimde dayanışma içerisinde çalıştığım değerli arkadaşım Mak. Müh.Ali Barlas ATLIHAN 'a sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Ayrıca bugünlere gelebilmem için her türlü fedakarlığı sevgiyle yapmış olan aileme, her zaman yanımda olarak bana sonsuz bir güven aşıladıkları için çok teşekkür ederim.

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünün olmayın bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğini beyan ederim.

İmza : 
Öğrenci Adı Soyadı : Ebru ARSLAN

ÖZET

JEOTERMAL ENERJİDEN YARARLANILARAK KUYU İÇİ ISI EŞANJÖRÜ YARDIMIYLA KONUT ISITILMASI VE SICAK SU İHTİYACININ KARŞILANMASI

Arslan, Ebru
Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği ABD
Tez Yöneticisi: Prof. Dr. Mehmet ATILGAN

Temmuz 2006, 135 Sayfa

Dünya nüfusu artıyor ve aynı zamanda endüstriyel teknoloji geliyor. Bundan dolayı, her geçen gün enerji gereksinimi büyüyor. Biz enerji gereksinimimizin çoğunu fosil yakıt kaynaklarından sağlıyoruz. Sonuç olarak, bu kaynaklar tükeniyor ve diğer taraftan yüksek gaz emisyonu global ısınmaya neden oluyor. Gelişmekte olan ülkeler ve araştırma merkezleri dikkatlerini yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları üzerine odaklanmışlardır. Jeotermal enerji yenilenebilir bir enerjidir ve Türkiye’de Menderes havzası boyunca dağılmıştır.

Bu çalışmada; genel jeotermal enerji konuları incelendi sonra bir konutun ısı ihtiyacı hesaplandıktan sonra, bu gereksinimi karşılamak için bir kuyu içi eşanjörü tasarlandı.

Hesaplarda hazır kişisel bilgisayar (PC) programı kullanıldı. Giriş değerlerine göre farklı durumlar karşılaştırıldı. Çıkış değerlerinin değişimleri hem muhafazalı ve hem de taşınım desteli tipteki kuyu içi eşanjörleri için tablo ve grafikler üzerinde gözlemlendi. Tek sarımlı serpantinli muhafazalı tipteki ısı eşanjörleri daha kararlı değişim gösterdi.

Anahtar Kelimeler: Enerji, jeotermal enerji, kuyu içi eşanjörü

Prof. Dr. Mehmet ATILGAN
Prof. Dr. Rasim KARABACAK
Yrd. Doç. Dr. Güngör DURUR

ABSTRACT**HEATING OF THE HOUSE AS UTILIZING GEOTHERMAL ENERGY BY
THE AID OF DOWNHOLE HEAT EXCHANGER AND PROVIDING OF HOT
WATER DEMAND**

Arslan, Ebru

M. Sc. Thesis in Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Mehmet ATILGAN

July 2006, 135 Pages

World population is increasing and also industrial technology is developing. Therefore, energy demand is growing with each passing day. We are providing the most of our energy demand from the fossil fuel resources. As a result, these resources are going to be exhausted and on the other hand high gas emission causes the global warming. Developing countries and research centers have been focusing their attention on the new and renewable energy sources. Geothermal energy is a renewable energy and spread out on the Menderes river basin in Turkey.

In this study; it was investigated general geothermal energy topics then after calculating the heat demand of a house, it was designed a downhole heat exchanger to overcome this demand. It was used already prepared PC programme in the calculations. According the input values it was compared alternative situations. The variation of the output values were seen both “casing” and “promotor” type downhole heat exchangers on the tables and graphes. One loop casing type downhole heat exchanger gave more stable variation.

Keywords: Energy, geothermal energy , downhole heat exchanger

Prof. Dr. Mehmet ATILGAN
Prof. Dr. Rasim KARABACAK
Yrd. Doç. Dr. Güngör DURUR

İÇİNDEKİLER

Yüksek Lisans Tezi Onay Formu.....	i
Sayfa Teşekkür.....	ii
Bilimsel Etik Sayfası	iii
Özet	iv
Abstract	v
İçindekiler	vi
Şekiller Dizini	viii
Tablolar Dizini	x
Simge ve Kısaltmalar Dizini	xiii
1. GİRİŞ	1
2. JEOTERMAL ENERJİ	3
2.1. Jeotermal Enerjinin Tanımı.....	3
2.2. Jeotermal Enerjinin Meydana Gelişi.....	4
2.3. Jeotermal Rezervuar.....	5
2.4. Re-enjeksiyon.....	6
3. JEOTERMAL ENERJİNİN KULLANIMI	7
3.1. Jeotermal Enerjinin Dünyadaki Durumu	7
3.2. Jeotermal Enerjinin Türkiye’deki Durumu	10
4. JEOTERMAL ISITMA SİSTEMLERİ	17
4.1. Bölge Isıtma Sistemleri	17
4.2. Jeotermal Enerjiyle Bölge Isıtma Sistemleri.....	17
4.3. Merkezi Isıtma Sistemleri	20
5. ISI EŞANJÖRLERİ	23
5.1. Isı Eşanjörlerinin Genel Tanımı	23
5.2. Plakalı Isı Eşanjörleri	23
5.3. Kuyu İçi Isı Eşanjörleri	26
5.3.1. Genel tanım	26
5.3.2. Bir kuyu içi ısı eşanjörü tasarımı ve kurulması.....	27
5.3.3. Taşınım hücreleri	31
5.3.4. Tasarım parametreleri	33
5.3.5. Türkiye’de kuyu içi ısı eşanjörlerinin kullanılması	38
6. KUYU İÇİ ISI EŞANJÖRLERİ İLE KONUT ISITILMASI	41
6.1. Konutun Bulunduğu Yer, Coğrafi İklim Özellikleri, Yerleşim Planı	42
6.2. Konutun Isı Yükünün Hesaplanmasında İzlenecek Yol	43
6.2.1. Isı kaybına esas teşkil edilecek olan verilerin belirlenmesi	43
6.2.1.1. Yapı konumunun belirlenmesi	43
6.2.1.2. Isıtma sistemi özellikleri	43
6.2.1.3. Hesabı esas alınacak dış sıcaklık ve iç sıcaklık değerleri	43
6.2.2. İletimle olan ısı kaybı (Q_0).....	48
6.2.3. Artırımlı iletimsel ısı kaybı (Q_i).....	51

6.2.3.1. Birleştirilmiş artırım katsayısı (Z_d)	52
6.2.3.2. Yön artırım katsayısı (Z_H)	53
6.2.3.3. Yüksek katlar ve yüksek artırım katsayısı (Z_W)	54
6.2.4. Hava sızıntısı(enfiltrasyon) ile ısı kaybı hesabı (Q_{inf}).....	54
6.2.4.1. Hava sızıntısı katsayısı (a)	55
6.2.4.2. Oda durum katsayısı (R)	56
6.2.4.3. Bina durum katsayısı (H)	56
6.2.4.4. Bina durum katsayısına etki eden artırım katsayısı (E)	57
6.2.4.5. Köşe pencere katsayısı (Z_e).....	58
6.2.4.6. ΔT iç ve dış sıcaklık farkı	58
6.2.5. Hacmin toplam ısı kaybı (Q_h)	58
6.3. Konutun Her Bir Hacminin Isı Yüğü Kaybı	59
6.3.1. Yalıtım hesabı	59
6.3.1.1. U ısı geçirgenlik katsayısı hesabı	59
6.3.1.2. Isı geçişi olan alanların hesaplanması	65
6.3.1.3. Özgöl ısı kaybı hesabı(H)	66
6.3.1.4.1. Aylık ortalama iç ısı kazançları	67
6.3.1.4.2. Aylık ortalama güneş enerjisi kazançları	68
6.3.1.5. Kazanç-kayıp oranı (KKO)	69
6.3.1.6. Kazanç kullanım faktörü (η_{ay}).....	71
6.3.1.7. Toplam aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı ($Q^?$).....	71
6.3.1.8. İzin verilen yıllık ısıtma enerjisi miktarı.....	72
7. KONUTUN ISI YÜKÜNÜ KARŞILAYAN KUYU İÇİ ISI EŞANJÖRÜNE AİT DEĞERLERİN HESAPLANMASI.....	74
7.1. Giriş.....	74
7.2. Kuyu İçi Isı Eşanjörlerinin Hesabı.....	74
7.2.1. Hesaplarda kullanılan programın tanımı.....	75
7.2.2. Programa giriş değerlerinin verilışı.....	76
7.2.3. Program çıkış değerleri	81
7.2.4. Programın mevcut yapıya uygulanması.....	83
7.2.4.1. Delikli muhafazalı tipteki kuyu içi ısı eşanjörü için programın kullanımı	84
7.2.4.1.1. Tek sarımlı serpantinli delikli muhafazalı tipteki kuyu içi ısı eşanjörü (Tek looplü).....	85
7.2.4.1.2. Çift sarımlı serpantinli delikli muhafazalı tipteki kuyu içi ısı eşanjörü (2 looplü)	92
7.2.4.1.3. Tek sarımlı serpantinli taşınım destekleyici tipteki kuyu içi ısı eşanjörü (Tek looplü).....	100
7.2.4.1.4. Çift sarımlı serpantinli taşınım destekleyici tipteki kuyu içi ısı eşanjörü (2 looplü)	108
8. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	117
8.1. Sonuçlar	117
8.2.Öneriler	118
KAYNAKLAR	119
EKLER.....	122
EK 1 Isı kaybı hesapları	122
EK 2 DHE programı	128
ÖZGEÇMİŞ	135

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1	Yerkürenin iç kısımları	4
Sayfa	Şekil 3.1 Sıcaklığa göre jeotermal enerjinin kullanım alanları	8
	Şekil 3.2 Türkiye'nin volkanik etkinliği ve jeotermal alanlar	13
Şekil 5.1	Plakalı ısı eşanjörü	24
Şekil 5.2	Contalı plakalı ısı eşanjörü	25
Şekil 5.3	Plakalı bir ısı eşanjörü içindeki akışkan akışı	26
Şekil 5.4	Tipik bir kuyu içi ısı eşanjörü sistemi ve kullanılan elemanlar	28
Şekil 5.5	Kuyu içi eşanjör montajının şematik görünümü	31
Şekil 5.6	Ucuna eski ısı eşanjörünün siyah çelik borusu bağlanmış 2 polietilen U tüpünün kurulmadan önceki durumu	30
Şekil 5.7	Jeotermal bir kuyu için muhafazalı ve muhafazasız durumlarda sıcaklığın derinlikle değişimi	32
Şekil 5.8	Yeni Zelanda'da kullanılan taşınım destekli borulu kuyu içi ısı eşanjörünün şematik gösterimi	33
Şekil 5.9	Taşınım destekli borulu kuyu içi eşanjörlerinde akış sirkülasyon yönleri ..	36
Şekil 5.10	Kuyu içi ısı eşanjöründeki akış debisinin ısı alımı miktarına karşı değişimi (32 mm taşınım destekli boru çapı ve 25,8 ml/s çapraz akış debisi)	37
Şekil 5.11	Kuyu içi ısı eşanjöründeki akış debisinin ısı alımı miktarına karşı değişimi (32 mm taşınım destekli boru çapı ve 31,4 ml/s çapraz akış debisi)	37
Şekil 5.12	Balçova' da kurulan bir kuyu içi ısı eşanjörünün resmi	39
Şekil 5.13	Kuyu içi ısı eşanjöründe kullanılan borular	39
Şekil 6.1	Zemin Kat Planı	41
Şekil 6.2	Normal Kat Planı	42
Şekil 6.3	İletim ve taşınım yoluyla ısı geçişi	50
Şekil 6.4	Yönler	59
Şekil 6.5	Dış duvar iç yapısı	60
Şekil 6.6	Kolon iç yapısı	60
Şekil 6.7	Kiriş iç yapısı	61
Şekil 6.8	Taban iç yapısı	62
Şekil 6.9	İç ortama bitişik taban iç yapısı	63
Şekil 6.10	Üzeri açık tavan iç yapısı	64
Şekil 7.1	Kuyu içi ısı eşanjör tipleri	75
Şekil 7.2	Tek sarımlı serpantinli delikli muhafazalı kuyu içi ısı eşanjöründe $Q_c, T_c, \eta = f(L)$ 'in değişimleri	86
Şekil 7.3	Tek sarımlı serpantinli delikli muhafazalı kuyu içi ısı eşanjöründe $Q_c, T_c, \eta = f(m)$ 'in değişimleri	88
Şekil 7.4	Tek sarımlı serpantinli delikli muhafazalı kuyu içi ısı eşanjöründe $Q_c, T_c, \eta = f(T_g)$ 'in değişimleri	90
Şekil 7.5	Tek sarımlı serpantinli delikli muhafazalı kuyu içi ısı eşanjöründe $Q_c, T_c, \eta = f(T_{rez})$ 'in değişimleri	92

Şekil 7.6 Çift sarımlı delikli serpantinli muhafazalı kuyu içi ısı eşanjöründe $Q_{\text{ç}}, T_{\text{ç}}, \eta = f(L)$ 'in değişimleri.....	94
Şekil 7.7 Çift sarımlı serpantinli delikli muhafazalı kuyu içi ısı eşanjöründe $Q_{\text{ç}}, T_{\text{ç}}, \eta = f(m)$ 'in değişimleri.....	96
Şekil 7.8 Çift sarımlı serpantinli delikli muhafazalı kuyu içi ısı eşanjöründe $Q_{\text{ç}}, T_{\text{ç}}, \eta = f(T_g)$ 'in değişimleri.....	98
Şekil 7.9 Çift sarımlı serpantinli delikli muhafazalı kuyu içi ısı eşanjöründe $Q_{\text{ç}}, T_{\text{ç}}, \eta = f(T_{\text{rez}})$ 'in değişimleri.....	100
Şekil 7.10 Tek sarımlı serpantinli taşınım destekli kuyu içi ısı eşanjöründe $Q_{\text{ç}}, T_{\text{ç}}, \eta = f(L)$ 'in değişimleri.....	102
Şekil 7.11 Tek sarımlı serpantinli taşınım destekli kuyu içi ısı eşanjöründe $Q_{\text{ç}}, T_{\text{ç}}, \eta = f(m)$ 'in değişimleri.....	104
Şekil 7.12 Tek sarımlı serpantinli taşınım destekli kuyu içi ısı eşanjöründe $Q_{\text{ç}}, T_{\text{ç}}, \eta = f(T_g)$ 'in değişimleri.....	106
Şekil 7.13 Tek sarımlı serpantinli taşınım destekli kuyu içi ısı eşanjöründe $Q_{\text{ç}}, T_{\text{ç}}, \eta = f(T_{\text{rez}})$ 'in değişimleri.....	108
Şekil 7.14 Çift sarımlı serpantinli taşınım destekli kuyu içi ısı eşanjöründe $Q_{\text{ç}}, T_{\text{ç}}, \eta = f(L)$ 'in değişimleri.....	110
Şekil 7.15 Çift sarımlı serpantinli taşınım destekli kuyu içi ısı eşanjöründe $Q_{\text{ç}}, T_{\text{ç}}, \eta = f(m)$ 'in değişimleri.....	112
Şekil 7.16 Çift sarımlı serpantinli taşınım destekli kuyu içi ısı eşanjöründe $Q_{\text{ç}}, T_{\text{ç}}, \eta = f(T_g)$ 'in değişimleri.....	114
Şekil 7.17 Çift sarımlı serpantinli taşınım destekli kuyu içi ısı eşanjöründe $Q_{\text{ç}}, T_{\text{ç}}, \eta = f(T_{\text{rez}})$ 'in değişimleri.....	116

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 3.1	Dünyadaki elektrik santralleri kapasitesi	8
Tablo 3.2	Elektrik santrali dağılımı	9
Tablo 3.3	Dünyada jeotermal enerjinin doğrudan kullanımı	9
Tablo 3.4	Dünyada değişik doğrudan kullanım kategorileri	10
Tablo 3.5	Jeotermal kaynakların dağılımı	11
Tablo 3.6	Jeotermal sahalar ve sıcaklıkları	12
Tablo 3.7	Türkiye’de merkezi olarak jeotermal enerjiyle ısıtılan yerler	13
Tablo 3.8	Türkiye ‘nin merkezi ısıtma sistemleri	14
Tablo 3.9	Türkiye’deki büyük sera alanları	15
Tablo 3.10	Türkiye’nin dönüşebilir jeotermal enerji kategorileri	16
Tablo 4.1	Jeotermal akışkanın içerdiği korozyon ve kabuklaşmaya yol açan kimyasallar	19
Tablo 4.2	Suyun sertlik sınıflandırılması	20
Tablo 5.1	2000 yılında Balçova’da yer alan kuyu içi ısı eşanjörlerine ait veriler	38
Tablo 6.1	Kalorifer tesisatı projelendirme illere göre dış hava sıcaklık değerleri	44
Tablo 6.2	Kalorifer tesisatı projelendirme iç hava sıcaklık değerleri	45
Tablo 6.3	Kalorifer tesisatı projelendirme iç hava sıcaklık değerleri	46
Tablo 6.4	Isıtılmayan mahallerin sıcaklıkları	47
Tablo 6.5	Binanın ısı kaybı hesabında kullanılacak λ, d ve $1/\alpha$ değerleri	48
Tablo 6.6	Kapı ve pencerelerin ortalama ısı geçirme katsayıları	50
Tablo 6.7	İç ve dış hava arasındaki ısı taşınım katsayıları	51
Tablo 6.8	Birleştirilmiş artırım katsayısı	53
Tablo 6.9	Yön artırım katsayısı	53
Tablo 6.10	Kat Yükseklik artırımı	54
Tablo 6.11	Pencere ve kapı çerçevesinin hava sızdırma katsayısı	55
Tablo 6.12	Oda durum katsayısı	56
Tablo 6.13	Bina durum katsayısı	57
Tablo 6.14	H için katsayı	57
Tablo 6.15	Isı kaybı hesap çizelgesi	58
Tablo 6.16	Kalorifer tesisatı projelerinde kullanılan semboller	59
Tablo 6.17	Yapı elemanları ısı iletkenlik katsayıları	60
Tablo 6.18	Yapı elemanları ısı iletkenlik katsayıları	61
Tablo 6.19	Yapı elemanları ısı iletkenlik katsayıları	62
Tablo 6.20	Yapı elemanları ısı iletkenlik katsayıları	62
Tablo 6.21	Yapı elemanları ısı iletkenlik katsayıları	63
Tablo 6.22	Yapı elemanları ısı iletkenlik katsayıları	64
Tablo 6.23	Cam ve çerçevenin tipine ve ısı geçirgenlik katsayılarına göre pencere sistemlerinin ısı geçirgenlik katsayıları	65
Tablo 6.24	Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı	68
Tablo 6.25	Aylara göre güneş enerjisi kazanç değerleri	69
Tablo 6.26	Aylık ortalama dış sıcaklık değerleri	70

Tablo 6.27 Aylara göre kazanç kayıp oranları	70
Tablo 6.28 Aylara göre kazanç kullanım faktörleri.....	71
Tablo 6.29 Aylara göre toplam ısıtma enerjisi ihtiyacı	72
Tablo 7.1 Boru pürüzlülük tasarım değerleri	77
Tablo 7.2 Bazı malzemelerin ısı iletkenlikleri	78
Tablo 7.3 Karışım Oranları	79
Tablo 7.4 Tek sarımlı serpantinli delikli muhafazalı kuyu içi ısı eşanjörü giriş verileri	85
Tablo 7.5 Tek sarımlı serpantinli delikli muhafazalı kuyu içi ısı eşanjörü çıkış verileri.....	86
Tablo 7.6 Tek sarımlı serpantinli delikli muhafazalı kuyu içi ısı eşanjörü giriş verileri	87
Tablo 7.7 Tek sarımlı serpantinli delikli muhafazalı kuyu içi ısı eşanjörü çıkış verileri.....	87
Tablo 7.8 Tek sarımlı serpantinli delikli muhafazalı kuyu içi ısı eşanjörü giriş verileri	89
Tablo 7.9 Tek sarımlı serpantinli delikli muhafazalı kuyu içi ısı eşanjörü çıkış verileri.....	89
Tablo 7.10 Tek sarımlı serpantinli delikli muhafazalı kuyu içi ısı eşanjörü giriş verileri	91
Tablo 7.11 Tek sarımlı serpantinli delikli muhafazalı kuyu içi ısı eşanjörü çıkış verileri.....	91
Tablo 7.12 Çift sarımlı serpantinli delikli muhafazalı kuyu içi ısı eşanjörü giriş verileri	93
Tablo 7.13 Çift sarımlı serpantinli delikli muhafazalı kuyu içi ısı eşanjörü çıkış verileri.....	93
Tablo 7.14 Çift sarımlı serpantinli delikli muhafazalı kuyu içi ısı eşanjörü giriş verileri	95
Tablo 7.15 Çift sarımlı serpantinli delikli muhafazalı kuyu içi ısı eşanjörü çıkış verileri.....	95
Tablo 7.16 Çift sarımlı serpantinli delikli muhafazalı kuyu içi ısı eşanjörü giriş verileri	97
Tablo 7.17 Çift sarımlı serpantinli delikli muhafazalı kuyu içi ısı eşanjörü çıkış verileri.....	97
Tablo 7.18 Çift sarımlı serpantinli delikli muhafazalı kuyu içi ısı eşanjörü giriş verileri	99
Tablo 7.19 Çift sarımlı serpantinli delikli muhafazalı kuyu içi ısı eşanjörü çıkış verileri.....	99
Tablo 7.20 Tek sarımlı serpantinli taşınım destekli kuyu içi ısı eşanjörü giriş verileri	101
Tablo 7.21 Tek sarımlı serpantinli taşınım destekli kuyu içi ısı eşanjörü çıkış verileri.....	101
Tablo 7.22 Tek sarımlı serpantinli taşınım destekli kuyu içi ısı eşanjörü giriş verileri	103
Tablo 7.23 Tek sarımlı serpantinli taşınım destekli kuyu içi ısı eşanjörü çıkış verileri	103
Tablo 7.24 Tek sarımlı serpantinli taşınım destekli kuyu içi ısı eşanjörü giriş verileri	105

Tablo 7.25 Tek sarımlı serpantinli taşınım destekli kuyu içi ısı eşanjörü çıkış verileri.....	105
Tablo 7.26 Tek sarımlı serpantinli taşınım destekli kuyu içi ısı eşanjörü giriş verileri	107
Tablo 7.27 Tek sarımlı serpantinli taşınım destekli kuyu içi ısı eşanjörü çıkış verileri	107
Tablo 7.28 Çift sarımlı serpantinli taşınım destekli kuyu içi ısı eşanjörü giriş verileri	109
Tablo 7.29 Çift sarımlı serpantinli taşınım destekli kuyu içi ısı eşanjörü çıkış verileri.....	109
Tablo 7.30 Çift sarımlı serpantinli taşınım destekli kuyu içi ısı eşanjörü giriş verileri	111
Tablo 7.31 Çift sarımlı serpantinli taşınım destekli kuyu içi ısı eşanjörü çıkış verileri.....	111
Tablo 7.32 Çift sarımlı serpantinli taşınım destekli kuyu içi ısı eşanjörü giriş verileri	113
Tablo 7.33 Çift sarımlı serpantinli taşınım destekli kuyu içi ısı eşanjörü çıkış verileri	113
Tablo 7.34 Çift sarımlı serpantinli taşınım destekli kuyu içi ısı eşanjörü giriş verileri	115
Tablo 7.35 Çift sarımlı serpantinli taşınım destekli kuyu içi ısı eşanjörü çıkış verileri.....	115

SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

MW	Megawatt
kW	Kilowatt
t	Termal
e	Elektrik
GWh	Gigawattsaat
CO ₂	Karbondioksit
ppm	Milyonda bir parça
A	Akiferdeki kuyunun izdüşüm alanı (m ²)
ρ	Yoğunluk (kg/m ³)
c _p	Özgül ısı (kJ/(kg.°C))
T _o	Akifer sıcaklığı (K)
T ₁	Akifere dönen suyun sıcaklığı(K)
Q ₀	Bir ortamdan diğer ortama geçen ısı miktarı (W)
U	Yapı bileşeninin toplam ısı geçirgenlik katsayısı (W/m ² K)
k	Hidrolik iletkenlik (m/s)
A	Yapı bileşeninin yüzey alanı (m ²)
ΔT	Yapı bileşeninin iki tarafındaki sıcaklık farkı (K)
d	Yapı bileşeninin kalınlığı (m)
λ_h	Yapı bileşeninin ısı iletkenlik hesap değeri (W/mK)
α_i	İç yüzeyin yüzeysel ısı taşınım katsayısı (W/m ² K)
1/ α_i	İç yüzeyin yüzeysel ısı taşınım direnci (m ² K/W)
ad	Dış yüzeyin yüzeysel ısı taşınım katsayısı (W/m ² K)
1/ad	Dış yüzeyin yüzeysel ısı taşınım direnci (m ² K/W)
Z _h	Yön artırım katsayısı
Z _w	Yüksek katlar ve yüksek kat artırım katsayısı
Q _{inf}	Hava sızıntısı (enfiltasyon) ile ısı kaybı hesabı (W)
a	Hava sızıntısı katsayısı
R	Oda durum katsayısı
H	Bina durum katsayısı
E	Bina durum katsayısına etki eden artırım katsayısı
Z _e	Köşe-pencere katsayısı
ΔT	iç ve dış sıcaklık farkı (K)
Q _h	Hacmin Toplam Isı Kaybı (W)
c	Özgül ısınma ısı (j/kgK)
V	Hacim (m ³)
n	Saatteki hava değişim sayısı
V _{brüt}	İki katlı bina içerisindeki havanın değişimi
A _n	Binanın kullanım alanı (m ²)
ri ,ay	Aylık ortalama gölgelenme faktörü
qi ,ay	Güneş enerjisini geçirme oranı
q _⊥	Laboratuar şartlarında ölçülen ve yüzeye dik gelen ışınlar için güneş enerjisini geçirme faktörü.
Ii, ay	Birim yüzeye dik olarak gelen aylık ortalama güneş ışınım şiddeti

KKO	Kazanç-kayıp oranı
Ti ay	Aylık ortalama iç ortalama sıcaklığı (°C)
Td ay	Aylık ortalama dış ortalama sıcaklığı (°C)
R _m	Karışım oranı
m _{eklenen}	Eklenen yeni akışkanın kütleli debisi(kg/s)
m _{toplam}	Taşıyan akışkanın toplam kütleli debisi (kg/s)

1. GİRİŞ

Günümüzde yaşamımızın bir parçası haline gelen enerji; madde veya maddeler sisteminin iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanır. Tarihi süreçte; insanlar önce ısınma, yemek pişirme gibi ihtiyaçlarını karşılamak için ve gelişen endüstri ile birlikte enerjiye olan gereksinimleri gün geçtikçe artmış ve artmaya devam etmektedir. Dolayısıyla enerji kullanımı arttıkça beraberinde global ısınma ve kirlenme gibi birçok çevresel sorunu da getirmektedir. Çoğunlukla fosil kaynaklı yakıtların sebep olduğu bu sorunlara karşın, hidrolik, güneş, rüzgâr, jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynaklarını gündeme getirmiş ve bilhassa 1973 teki petrol ambargosundan sonra, bu konudaki araştırmalara hızla yer verilmiştir.

Gelişmekte olan ülkeler arasında olan ülkemizde, enerji tüketimi hızla artmakta ve enerji ihtiyacının çoğu dışa bağımlı olarak karşılanmaktadır.

Dünyadaki aşırı nüfus artışı, sanayileşme ve bunun sonucu yaşam standartlarının yükselmesi olarak ifade edilen enerji tüketimi yalnız ülkemiz için değil tüm dünya ülkeleri için en önemli sorun olarak ortaya çıkmaktadır.

Öte yandan fosil yakıtların ömrü kesin olarak bilinmemekle beraber her geçen gün azalma eğiliminde olduğu ve giderek tükeneceği doğrultusunda bir beklenti vardır. Sonuçta üretimin tüketimi karşılayamama gibi bir durumla karşı karşıya gelmemiz ve bu dengenin olumsuz yönde bozulması söz konusudur.

Ülkemizde yaygın olarak bulunan jeotermal enerji kaynaklarından şimdiye kadar daha ziyade termal tesislerde ve ılıçalarda hizmete sunulmuş ve çok sınırlı olarak İzmir-Balçova, Afyon-Sandıklı, Simav, Kızılcahamam, Kırşehir, Balıkesir-Gönen gibi yerlerde merkezi ısıtma amaçlı kullanılmaktadır.

Elektrik enerjisi üretimi; sadece Denizli Kızıldere'deki 20 MW lık tesiste gerçekleştirilmektedir. Şu anda yapımı sürmekte olan Aydın Salavatlı da yeni bir tesis kurulmaktadır. Jeotermal tesisler uygun teknolojiler kullanılarak kirlenme etkileri en az

düzele indirmek suretiyle kullanımı son derece faydalı bir enerji kaynağı haline getirilebilir. Fakat günümüzde özellikle Kızıldere'deki jeotermal akışkan re-enjeksiyon yapılmadığından, içindeki bor ve benzeri zararlı maddeler çevre ve bilhassa Menderes nehrinde yaşayan canlılar ve buradaki su ile sulanan tarım alanları için büyük tehdit oluşturmaktadır.

Jeotermal enerji dünyada ve ülkemizde son yıllarda geniş uygulama alanları bulmaktadır. İlk elektrik enerjisi üretimi İtalya'da yapıldı. İzlanda da ısıtma için enerjisinin büyük bir kısmını jeotermal kaynaklardan sağlarken Filipinler ve El Salvador gibi ülkelerde elektrik enerjisinin % 20'ler civarındaki ihtiyacını jeotermal kaynaklardan elde etmektedir. ABD'de bugün yaygın bir bölge ısıtma sistemi vardır.

Dünyada ve özellikle ABD Oregon'da GEO-HEAT CENTER'da jeotermal enerji konusunda oldukça geniş çalışmalar yapılmakta ve bu konuda en son hazırlanan el kitabı 1998 yılında Lund vd tarafından yazılmış ve Türkçe'ye de çevrilmiştir (İlken 2001). Burada jeotermal enerji ile ilgili birçok konu anlatılmakta ve özellikle ısı değiştiricileri ısıtma ve soğutma sistemlerinin yanında seracılık, su ürünleri, endüstriyel uygulamalar, mühendislik maliyet analizi ve çevresel hususlara geniş yer verilmiştir.

Makine Mühendisleri Odası tarafından iki yılda bir yapılmakta olan Tesisat Mühendisliği Kongre ve Sergisi kapsamında jeotermal enerji, ilgili seminerlerde birçok uzman tarafından çeşitli konular ele alınmış ve ayrıntılı olarak incelenmiştir (Toksoy 2001 ve 2003, Aksoy 2005).

Ülkemiz önemli deprem kuşaklarından biri üzerinde olup oldukça yaygın jeotermal kaynaklara sahiptir. Son yıllarda kamu kurumları, özel sektör ve üniversiteler gibi araştırma kurumlarında bu konuda önemli çalışmalar yapılmaktadır.

Bu çalışmada; özellikle küçük ve orta büyüklükteki sıcak su ve ısı ihtiyaçlarımızı karşılamak için kullanılan kuyu içi ısı eşanjörleri üzerinde durulacaktır. Jeotermal akışkan sistem içinde dolaşmadığı için kimyasal kirlenmeye karşı son derece uygun bir sistemdir. Bu konuda hazır olan bir proje ile uygun bir sistem tasarımının yapımı anlatılacaktır.

2. JEOTERMAL ENERJİ

2.1 Jeotermal Enerjinin Tanımı

Jeotermal enerji ; yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde bulunan ve yeryüzündeki havzalardan beslenen sularla potansiyelini oluşturan birikmiş ısının meydana getirdiği sıcaklıkları bölgesel olarak değişen ve bünyesinde daha çok erimiş mineral tuzlar ve gazlar içeren su ve buhardan oluşan bir hidrotermal küttedir. Yeraltındaki bazı granit gibi sert kayaların oluşturduğu sistemlerde bünyesinde su içermemesine rağmen bir jeotermal enerji kaynağı olarak nitelendirilir.

Jeotermal enerjinin kaynağı yerkürenin derinlikleridir. Yerkürenin merkezi çok sıcak olduğundan ısı akışı yüzeye doğru olup sıcaklık derinlikle artar. Yerküredeki termal rejimler kaynak tiplerine göre sınıflandırılır. Bunlar sırasıyla aşağıdaki gibi sıranabilir:

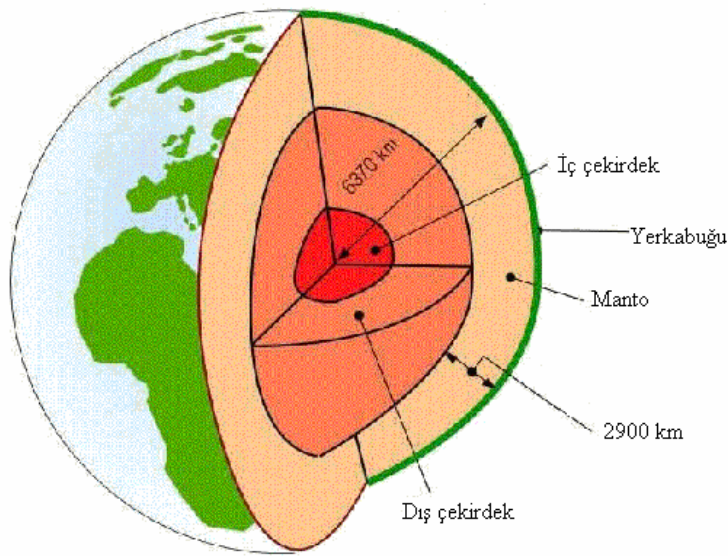
- Hidrotermal enerji
- Basınçlı yer altı enerjisi
- Mağma enerjisi
- Sıcak kuru kaya
- Yerküre enerjisi

Bunlar jeolojik süreçte yeraltında biri veya birkaçı tarafından yeraltının farklı bölgelerinde yerküre konsantrasyonu olarak oluşurlar. Yerküre enerjisi yerkabuğuna yakın bölgelerde oluşan bir ısı enerjidir. Genelde bu enerji dünyanın farklı bölgelerinde mevcut olup endüstriyel ısı ihtiyaçlarımızı karşılamada, konutların ısıtılması ve soğutulması ve sıcak su ihtiyaçlarımızı karşılamada kullanılırlar. Yerin 8-16 km derinliklerinde olan sıcak kuru kaya enerjisi ise hemen hemen yeraltının her yerinde bulunur. Fakat deneysel birçok çalışma yapılmasına karşın bu enerjiden henüz tam verimli olarak yararlanılmamaktadır. Teknolojik bazı gelişmelerle gelecekte başvuracağımız bir enerji kaynağı olarak görülmektedir.

Hidrotermal enerjiler doğal olarak oluşan sıcak su ve buhar kaynaklarıdır. Bu enerji kaynaklarının kullanımı jeotermal suyun içindeki kimyasal maddelere ve sıcaklığın durumuna göre en ekonomik olan kaynaklardan biridir. Bu kaynaklardan hem elektrik enerjisi üretimi ve hem de doğrudan kullanım için yararlanılmaktadır (İlken 2001).

2.2 Jeotermal Enerjinin Meydana Gelişi

Dünya; kabuk, manto ve çekirdek olmak üzere üç kısımdan oluşmuştur(Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Yerkürenin iç kısımları(Dickson ve Fanelli 2002)

Kabuk : Dünyanın kabuk kısmı kalınlık olarak elma kabuğuna benzetilebilir. Kabuğun kalınlığı, yaklaşık olarak 6370 km ortalama yarıçapa sahip Dünyanın küçük bir kısmını oluşturmaktadır. Okyanus sahanlığı altlarında 7 km, kıta sahanlığı altında ise 20 – 65 km kalınlığa sahiptir. Sismik dalga çalışmaları sayesinde okyanus altlarında kabuğun daha ince olduğu sonucu çıkartılmıştır. Sismik dalgalar okyanus altı kabukta daha hızlı ilerler. Bu bölgede yoğunluk farkı vardır, okyanus altı kabuk bazalttan oluşmuştur, kıta altı kabuğun büyük bir kısmı ise granit esastır.

Manto: Kabuk kısmından manto başlar. Kabukta 2900 km derinliğe kadar manto kısmı vardır. Yaygın olarak kabul gören hipoteze göre, manto ultrabazik kayalardan (Fe ve Mg yönünden zengin) oluşmuştur. Yerkürenin kabuk kısmı ve mantonun üst bölgesi litosfer olarak adlandırılır. Litosfer bloklar halinde, kıtalar kadar veya daha büyüktür. Bu bloklar litosferik plakalar olarak isimlendirilir. Litosfer okyanus altında yaklaşık 70

km, kıta altında ise 100 – 125 km kalınlıktadır. Mantonun iç kısmında sismik dalgaların daha yavaş ilerlediği, bir sınır yüzeyinden başlayarak altlara inen bir bölge mevcuttur, bu kısım astenosfer olarak bilinir. Yüzeyden 200 km 'ye kadar inen bir kalınlıktadır. Astenosferdeki kayalar alt ve üst bölgelere nazaran ergime noktalarına daha yakındır. Litosferdeki kayalara göre daha zayıftırlar ve plastik şekil değiştirebilirler. Isı taşınımı, mantonun daha alt bölgelerinde olduğu kadar astenosferde de etkilidir.

Çekirdek: Yerküre çekirdeği 2900 km ile 6370 km arasında merkeze kadar olan kısımdır. Kalınlığı 3470 km civarındadır (İlken 2001).

Bir jeotermal sistemin oluşabilmesi için gerekli olan parametreler; yer kabuğunun derinliklerindeki ısı kaynağı, ısıyı taşıyan akışkan, akışkanı bünyesinde barındıran rezervuar kayaç ve ısının kaybını önleyen örtü kayaçtır. Yeryüzünden kırık ve çatlaklar boyunca süzülen sular derinlerde ısıdıktan sonra gözenekli ve geçirimli olan rezervuar kayaç içerisinde birikir. Bu suların bir kısmı fay hatları boyunca yükselerek yeryüzüne ulaşır ve jeotermal kaynakları oluştururlar. Üzeri geçirimsiz kayalar ile kaplanan ve çoğu zaman yer yüzüne ulaşamayan rezervuar kayaç içerisindeki jeotermal akışkan, sondaj çalışmalarıyla yüzeye çıkarılır.

Jeotermal araştırmalarda jeoloji, jeofizik ve jeokimya çalışmaları birlikte yürütülür ve elde edilen veriler değerlendirilerek uygun sondaj lokasyonları belirlenir. Yapılan sondaj çalışmaları ve testler sonucunda jeotermal akışkanın sıcaklığı, debisi ve kimyasal özellikleri tespit edilir. Bu özellikler elde edildikten sonra jeotermal enerjinin kullanımına yönelik proje ve tesisler yapılır (Dönmez 2003).

2.3 Jeotermal Rezervuar

Isı geçişi derinlerde iletimle ve yüzeye yakın yerlerde taşınım ile gerçekleştirilir. Isı iletimi kayaç ortamında oluşurken, ısı taşınımında taşıyıcı jeotermal akışkandır. Jeotermal rezervuarlar, yararlı bir sıcaklıkta içinde akışkan bulunduran hacim olarak tanımlanır. Rezervuar kayacının gözenekliliği içindeki akışkan miktarını gösterirken, geçirgenlikte üretilen akışkanın hızını belirler. Dolayısıyla gözeneklilik ve geçirgenlik yere bağlı olarak değişebilir. Bir üretim kuyusu açıldığında genel olarak geçirimsiz kayaçlar delinir ve sıcak suda kuyuya doğru çatlaklı ve sınırlı bir geçirgen bölgeden hareket eder. Çatlaklar genelde birkaç mm ile birkaç cm ye kadar değişen

büyükölüklerdedir. Çatlakların çok olması üretim açısından önem taşır. Böylece üretim yapılan zonlar gözenekliliği fazla olan yerler olup bunlar rezervuarı oluştururlar. Eğer kuyu önemli bir fay ve çatlak sistemiyle kesişirse buradaki oluşan hacimlerde sürekli olarak suyla dolar ve akışkan üretimi o nispette artar (Satman 2001).

2.4 Re-enjeksiyon

Suyun etken olduğu jeotermal rezervuarlardan çok yüksek miktarlarda sıcak su üretimi yapılır. Üretilen sıcak suyun bir kısmı doğrudan kullanılırken büyük bir kısmı da merkezi jeotermal ısıtma sistemlerinde kullanılıp ısısı alındıktan sonra bir artık su olarak kalır. Bu atık su yakındaki göl,deniz,ve akarsu gibi yerlere verilir. Fakat her zaman bu tür imkanlar olmayabilir. Her ne kadar bu tür imkanlar olsa bile jeotermal atıklar içerdiği kimyasallar nedeniyle çevresel sorunlar oluşturacağından bu suların doğaya serbestçe bırakılması büyük sorunlar yaratır. Bu tür sorunlar Kızıldere,Afyon vb jeotermal tesislerde sorun olmuş nehirlerin kirlenmesine ve yaşayan canlılar için tehdit oluşturmuştur. Bundan dolayı yapılması gereken suyu uygun yer altı yapılaşmalarına doğal veya yapay olarak geri basmaktır. Suyun geldiği yere basılması yani çıktığı yere basılması uygun değildir. Ama üretim kuyuları ile yer altından bağlantılı olan ve takriben 1-1,5 km mesafedeki bir başka kuyu ile bu işlemin sürdürülmesi son derece yararlanır. Re enjeksiyonun 3 önemli amacı vardır:

- 1- Yeryüzünde üretildikten sonra atık sudan kurtulmak yani çevreyi korumak.
- 2- Rezervuar basıncını korumak
- 3- Fazla enerji ihtiyacı için rezervuardan daha fazla ısı üretimi sağlamak.

Re-enjeksiyon çalışması doğru bir şekilde yapılması durumunda, rezervuardaki basınç ve sıcaklık düşümünü önleyecek ve azaltacak dolayısıyla rezervuar ömrünü uzatacak bir çalışmadır (Satman 2005).

3. JEOTERMAL ENERJİNİN KULLANIMI

Jeotermal enerji, yer kabuğunda depolanmış ısı enerjilerinin tümünü kapsar. Isı akıları yer kabuğundan ortalama 40 mW/m^2 olarak akarlar ve yer kabuğunda tahminen 40 milyon MW_t ısı dışarı çıkar. Bu ısı akısı erimiş kaya kütlelerinin yer kabuğuna girişiyle artmaktadır. Karasal kabuktaki ısı akısı, mantodan ısı iletimiyle olmaktadır. Isı; yer kabuğunun ince olduğu yerlerden zorlanmış konveksiyonla aktif derin fay zonlarından yeryüzüne çıkar.

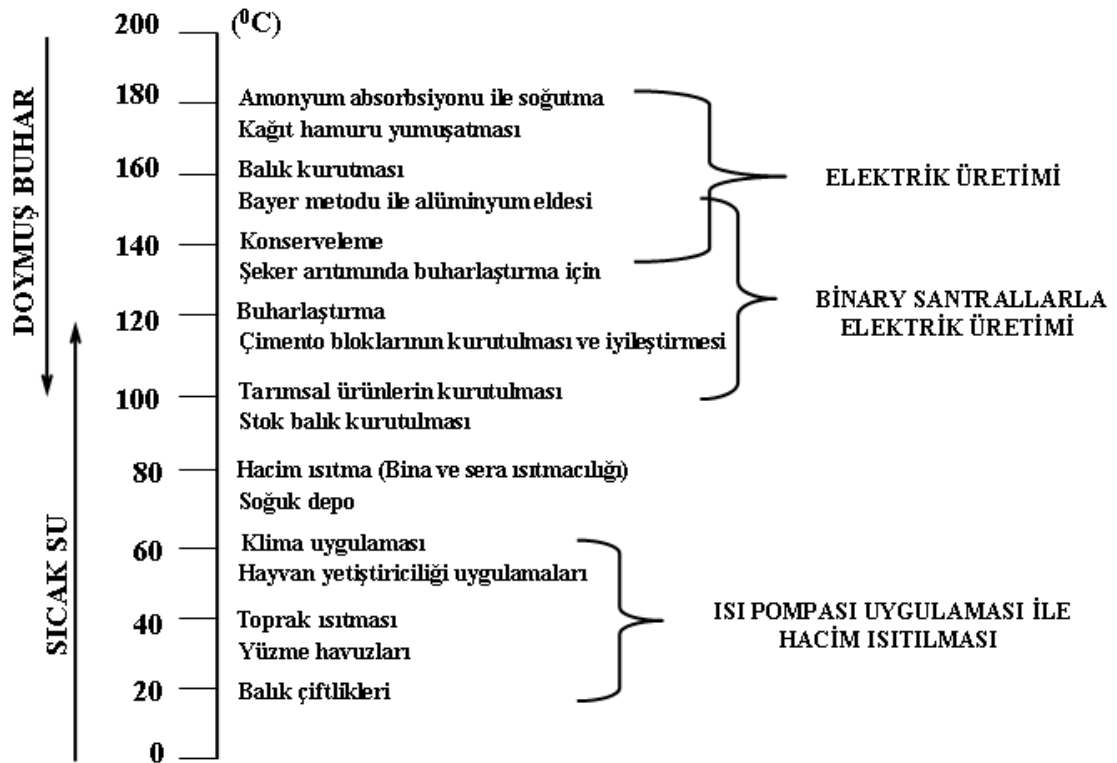
Jeotermal enerjinin en önemli özelliği depolanmış olması ve yer yüzüne yakın bulunmasıdır. Bu kaynaklardan iletim ve taşınım yoluyla yer yüzüne ulaşan jeotermal akışkan; havzadaki beslemeden daha çok tüketilirse; zamanla sıcaklığı ve basıncı azalarak kaynak tükenmeye yüz tutabilir. Eğer kaynağın kendi doğal beslenmeleri kadar veya daha az tüketilirse, o zaman tam yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak nitelenebilir.

Jeotermal enerji sıcaklığa bağlı olarak; ısıtma, sıcak su ihtiyacı, elektrik enerjisi üretimi, seracılık, balıkçılık, kurutma ve termal sağlık gibi amaçlar için kullanılır. Şekil 3.1 de jeotermal enerjinin kullanım alanları gösterilmiştir.

3.1 Jeotermal Enerjinin Dünyadaki Durumu

Jeotermal enerji başlangıçta sağlık amaçlı kullanılmış ve 1827 yılında İtalya'da asitborik elde edilmesinde kullanılmıştır. İlk enerji üretimi İtalya da Larderello sahasında 1920 lerde kuru buhar üretimiyle başlamış ve ilk kurulan turbo jeneratör ile 250 kW_e üretilmiştir. 1930'larda ısıtma amaçlı olarak İzlanda'nın Reykjavik kentinde kullanılmıştır. 1950 lerde Yeni Zelandada ki Wairakei'de bir otel ısıtmasıyla başlayan sondajlar daha sonra elektrik enerjisi elde etmek için çalışmalara devam etmiştir. 1954'te 200 MW_e kapasiteli bir santral kurulmuş ve 1980 lerde Rankine çevrimiyle çalışmalar sürdürülmüştür. 1960 da ABD, 1961 de Meksika ve 1966 da Japonya da

santraller kurulmuştur. Tablo 3.1 de jeotermal enerjiden elektrik üreten ülkelerin kurulu güçleri gösterilmiştir (Serpen 2005).



Şekil 3.1 Sıcaklığa göre jeotermal enerjinin kullanım alanları (Atalay 2004)

Tablo 3.1 Dünyadaki elektrik santralleri kapasitesi (Serpen 2005)

Ülkeler	1995 (MW)	2000 (MW)	2005 (MW)	Artış (%)
Avustralya	0,2	0,2	0,2	-
Avusturya	0	0	1	Yeni Giriş
Çin	29	29	28	-
Kostarika	55	143	163	14
El Salvador	105	161	151	-
Etopya	0	7	7	-
Fransa	4	4	15	275
Almanya	0	0	0,2	Yeni Giriş
Guatemala	0	33	33	-
İzlanda	50	170	202	19
Endonezya	310	590	797	35
İtalya	632	785	790	1
Japonya	414	547	535	-
Kenya	45	45	127	182
Meksika	753	755	953	16
Yeni Zelanda	286	437	435	-
Nikaragua	35	70	77	10
Papua Yeni Gine	0	0	6	Yeni Giriş
Filipinler	1227	1909	1931	-
Portekiz	5	16	16	-
Rusya	11	23	79	244
Tayland	0,3	3,3	0,3	-
Türkiye	17,8	17,8	17,8	-
ABD	2817	2228	2544	3
Toplam	6795	7972	8910	12

Jeotermal enerjideki kullanım 1973'teki petrol krizinden sonra artmış ve 1983-2003 periyodunda ise düşük petrol fiyatları nedeniyle biraz hızını azaltmıştır. Son zamanlardaki petrol fiyatlarındaki artış dünyadaki jeotermal enerji üretimini tetikleyebilir. Elektrik santrallerinin dağılımı Tablo 3.2 de görüldüğü gibi 5 kategoride toplanabilir. Klasik buhar çevrimlerinin çoğunlukta olduğu fakat yüksek verimlilikleri nedeniyle kombine sistemlerin(klasik buhar+binary) revaçta olduğu görülmektedir

Tablo 3.2 Elektrik santrali dağılımı (Serpen 2005).

Kategori	Kurulu GüçKapasitesi (MW)	Artış (%)
Kuru Buhar	2545	29
Tek Flaş	3294	37
İki Flaş	2268	25
Binary, Kombine Çevrim	685	8
Geri Basınç	119	1
Toplam	8910	100

Dünyada jeotermal enerjinin ısıtma, soğutma ve termal tedavi gibi doğrudan kullanım kapasitesi 2000 yılı itibariyle 17174 MW'tir. Türkiye 820 MW, doğrudan kullanım kapasitesiyle dünyada 5.sıradadır. Tablo 3.3 de dünyada jeotermal enerjinin doğrudan kullanımı ülkelere göre dağılımı gösterilmiştir (Arslan vd 2001).

Tablo 3.3 Dünyada jeotermal enerjinin doğrudan kullanımı (Arslan vd 2001)

Ülkeler	Kurulu Güç (MW _t)	Üretim (GWh/yıl)
Çin	2814	8724
Japonya	1159	7500
ABD	5366	5640
İzlanda	1469	5603
Türkiye	820	4377
Yeni Zelanda	308	1967
Gürcistan	250	1752
Rusya	307	1703
Fransa	326	1360
Macaristan	391	1328
İsveç	377	1147
Meksika	164	1089
İtalya	326	1048
Romanya	152	797
İsviçre	547	663

2004 sonu itibariyle doğrudan kullanım 27825 MW_t (Serpen 2005) dır. Tablo 3.4 te 1995 ile 2005 yıllarında değişik alanlarda dünyada doğrudan kullanım miktarları gösterilmektedir. Tablodan görüldüğü gibi doğrudan ısı enerjisi kullanımı ısı pompalarında son 10 yılda 8,5 katlık bir artış göstermiştir.

Tablo 3.4 Dünyada değişik doğrudan kullanım kategorileri (Serpen 2005)

	Kapasite (MW ve kapasite faktörü)		
	2005	2000	1995
Jeotermal ısı pompaları	15723- 0,17	5275-0,14	1854-0,25
Mekan ısıtma	4158- 0,4	3263-0,42	2579- 0,47
Sera ısıtma	1348- 0,46	1246- 0,45	1085-0,46
Akuakültür	616- 0,56	605- 0,65	1097- 0,39
Tarımsal kurutma	157-0,41	74- 0,44	67- 0,53
Endüstriyel kullanım	489- 0,72	474- 0,68	544- 0,59
Banyo ve yüzme	4911- 0,49	3957- 0,64	1085- 0,46
Soğutma	338- 0,18	114-0,3	115- 0,31
Diğerleri	86- 0,39	137- 0,70	238- 0,30
Toplam	27825- 0,3	15145- 0,4	8664- 0,41

WEC tarafından belirlenen coğrafi jeotermal enerji potansiyeli dağılımı Tablo 3.5'te verilmiştir. Bölgeler arasındaki büyük farklılık göze çarpmaktadır.

3.2 Jeotermal Enerjinin Türkiye'deki Durumu

Türkiye, Alp-Himalaya orojenik kuşağı üzerinde bulunması, magmatik ve volkanik aktivitelerin çok olması nedeniyle jeotermal açıdan büyük bir potansiyele sahiptir. Şekil 3.2 de Türkiye'nin volkanik etkinliği ve jeotermal alanları görülmektedir. Ülkemizde aktif faylara ve volkanizmaya bağlı olarak başta Ege Bölgesi olmak üzere, Kuzeybatı, Orta Anadolu, Doğu ve Güney Anadolu bölgelerinde 600'ün üzerinde jeotermal kaynak vardır. Türkiye'deki 600 jeotermal kaynak alanı dikkate alındığında teorik olarak muhtemel jeotermal potansiyel 31500 MW_t tahmin edilmektedir. Bu güne kadar 600 kaynak alanından sadece 124'ünde sondajlı çalışmalar yapılmıştır. Bu durum jeotermal

arama çalışmalarının yetersiz olduğunu ve daha fazla sondajlı çalışmalar yapılması gerektiğini göstermektedir. Tablo 3.6'te önemli sahaların sıcaklık değerleri verilmiştir.

Türkiye'de ilk jeotermal enerji aramaları 1960'lı yıllarda başlamıştır. Elektrik enerjisi üretimi amaçlı olan bu çalışmalar sonunda yüksek entalpili olan Kızıldere ve Germecik sahaları bulunmuştur. Daha sonraki çalışmalarda Seferihisar, Salavatlı, Tuzla, Dikili, Caferbeyli gibi orta entalpili sahalar keşfedilmiştir.

Kızıldere jeotermal sahasındaki santral klasik buhar çevrimleri 17,8 MW_e kurulu güce sahip olup ortalama 10 MW_e lik güçle elektrik elde edilmektedir. Salavatlı da 8,5 MW_e lık Binary çevrimli jeotermal santralin montajı bitmiş deneme çalışmaları yapılmaktadır. Germecik - Ömerbeyli'de 25 MW_e kapasiteli bir Binary santral kurulmasına karar verilmiştir.

Tablo 3.5 Jeotermal kaynakların dağılımı (Serpen 2005)

Coğrafik Bölgeler	%
Kuzey Amerika	20,99
Orta amerika	0,66
Güney Amerika	13,91
Batı Avrupa	3,90
Doğu Avrupa	17,09
Asya	20,75
Afrika	13,67
Pasifik Adaları	9,03
Toplam	100

Tablo 3.6 Jeotermal sahalar ve sıcaklıkları (Atalay 2004)

Saha adı	Rezervuar Sıcaklığı (° C)
Kızıldere (Denizli)	242
Germencik (Aydın)	232
Salavatlı (Aydın)	171
Yılmazköy-İmamköy (Aydın)	142
Salihli-Caferbeyli (Manisa)	155
Salihli-Kurşunlu (Manisa)	96
Alaşehir-Kavaklıdere (Manisa)	116
Urganlı-Turgutlu (Manisa)	86
Simav (Kütahya)	162
Gediz-Abide (Kütahya)	97
Gölemezli	65
Karahayıt	55
Pamukkale	35
Seferihisar (İzmir)	153
Balçova (İzmir)	130
Dikili	130
Aliağa	96
Çeşme (İzmir)	62
Tuzla (Çanakkale)	174
Bigadiç (Balıkesir)	95
Hisaralan (Balıkesir)	100
Gönen (Balıkesir)	80
Saraycık (Manisa)	74
Emir-Kula (Manisa)	63
Kızılcahamam (Ankara)	86
Terme (Kırşehir)	57
Gecek-Ömer (Afyon)	98
Sandıklı (Afyon)	70
Kozaklı (Nevşehir)	93
Ziga (Aksaray)	65
Sıcak Çermin (Sivas)	49
Sorgun (Yozgat)	75
Van (Erciş)	80
Diyadin (Ağrı)	78
Nemrut (Bitlis)	59
Çermik (Diyarbakır)	51
Karaali (Şanlıurfa)	49
Çekirge (Bursa)	82
Armutlu (Yalova)	77
Terme (Yalova)	66
Kurşunlu (Çankırı)	54
Reşadiye (Çankırı)	47
Kaplıca (Bolu)	45
Ayder (Rize)	56



Türkiye’de neotektoniği-volkanik etkinliği ve jeotermal alanlar

Şekil 3.2 Türkiye’nin volkanik etkinliği ve jeotermal alanlar (Yılancı 2004)

Türkiye ‘de jeotermal enerji uygulamaları; daha çok konut ısıtması, sera ısıtması ve kaplıca amaçlı olarak yapılmaktadır. Tablo 3.7’de belli başlı ısıtma sistemleri ve kapasiteleri gösterilmiştir. Elektrik enerjisi üretimine yönelik yüksek sıcaklıklı sahalar bulunmasına rağmen üretim düşük seviyelerde kalmıştır.

Bunun dışında Denizli Kızıldere sahasında karbondioksit üretimi de yapılmaktadır. 2000 yılı itibari ile Türkiye’nin ısıtma kapasitesi 52000 konut eşdeğeri olarak 493 MW_t’dir (Dönmez 2003).

Tablo 3.7 Türkiye’de merkezi olarak jeotermal enerjiyle ısıtılan yerler (Atalay 2004)

Bölge	Kurulu Kapasite (Konut)	Mevcut Isıtma (Konut)	Akışkan Sıcaklığı (°C)
Gönen (Balıkesir)	4500	3000	80
Simav (Kütahya)	6500	2700	120
Kızılcahamam (Ankara)	2250	2000	80
Balçova (İzmir)	15000	6500	125
Narlıdere (İzmir)	5000	700	98
Sandıklı (Afyon)	5000	1000	70
Kırşehir	1800	1800	57
Afyon	10000	4000	95
Kozaklı (Nevşehir)	1000	1000	90
Diyadin (Ağrı)	1500	1500	78

Ülkemizde jeotermal enerjinin doğrudan kullanımı daha çok merkezi ısıtma sistemleriyle yapılmaktadır. 1987’de kurulan ilk merkezi sisteme 1991-2004 yıllarında 11 adet daha eklenmiştir. Merkezi ısıtma sistemlerinin toplam ısıtma kapasitesi 250 MW_t olup yaklaşık 35000 konut ısıtıldığı tahmin edilmektedir. Tablo 3.8 de Türkiye’de merkezi ısıtma sistemlerinin kuruluş tarihleri ve kapasiteleri gösterilmiştir.

Tablo 3.8 Türkiye ‘nin merkezi ısıtma sistemleri (Serpen 2005)

Yer	Tarih	Kurulu Güç (MW _t)
Gönen (Balıkesir)	1987	10,6
Simav (Kütahya)	1991	26,2
Kırşehir	1994	5,6
Kızılcahamam (Ankara)	1995	17,6
Balçova (İzmir)	1996	71,3
Afyon	1996	33,9
Kozaklı (Nevşehir)	1996	16,7
Sandıklı (Afyon)	1998	29,3
Diyadin (Ağrı)	1998	10,9
Salihli (Manisa)	2002	17,0
Sarayköy (Denizli)	2002	8,0
Edremit (Balıkesir)	2004	6,0
Toplam		253

Türkiye ‘de diğer doğrudan kullanım alanı seracılıktır. Tablo 3.9’da önemli sera ısıtmacılığı yapılan yerler, alanları ve tahmini güçleri verilmektedir (Serpen 2005). 809 dekarlık alana ek olarak son günlerde artan talep karşısında 800 dekarlık yeni alanlar için projeler gerçekleştirilmektedir. Jeotermal sahalardaki CO₂ gazı seraların gelişmesi için bir kaynak teşkil etmektedir.

Tablo 3.9 Türkiye’deki büyük sera alanları (Serpen 2005)

Yer	Sera Alanı (dekar)	Tahmini Güç (MW _t)
Dikili	240	42
Urganlı	20	3,5
Simav	180	31,5
Gümüslük-Kuşadası	80	14
Edremit	50	9
Tuzla	50	9
Gediz	9	1,5
Afyon	20	3,5
Alaşehir	20	3,5
Urfa	60	10,5
Balçova	80	14
Toplam	809	142

Jeotermal enerji gıda kurutma işlemlerinde de kullanılmaktadır. Urganlı’da TÜBİTAK destekli bir pilot uygulama mevcuttur. Turistik ve tedavi amaçlı birçok kaplıca ve oteller vardır. Bunların toplam güçleri tahminen 110 MW_t civarındadır. Türkiye’deki tüm doğrudan kullanımlı jeotermal kaynakların gücü 500 MW_t civarındadır. Türkiye’nin temel kaynak potansiyeli 2.8×10^{23} J olarak tahmin edilmiştir (Serpen 2005).

Türkiye’nin jeotermal temel kaynak potansiyeli daha ayrıntılı olarak Serpen ve Mihçakan tarafından 1999’da incelenmiştir. Simülasyonla dönüştürülebilir jeotermal enerji kategorileri Tablo 3.10’da verilmiştir (Serpen 2005). Tablo incelendiğinde en büyük potansiyel 2.sınıf jeotermal kaynaktaki olduğu görülür. Düşük entalpili akışkanlara sahip; mekan ve sera ısıtmacılığı, yiyecek kurutma ve akuakültür ve diğer alanlarda kullanılacak çok miktarda kaynak bulunmaktadır. Ülkemizin en büyük jeotermal bölgesi olan Büyük Menderes havzasının potansiyeli için yeni bir yöntem geliştirildi (Serpen 2005).

Tablo 3.10 Türkiye'nin dönüşebilir jeotermal enerji kategorileri (Serpen 2005)

Sıcaklık Aralığı (°C)	Dönüşebilir Enerji (J)
1.Sınıf(<100°C),doğrudan kullanım	4.9×10^{21}
2.Sınıf(100-180°C),doğrudan kullanım	8.0×10^{21}
3.Sınıf(180-250°C),dolaylı kullanım	1.3×10^{18}

4. JEOTERMAL ISITMA SİSTEMLERİ

4.1 Bölge Isıtma Sistemleri

Bölge ısıtma sistemlerinde ; bir veya birden fazla ısı merkezinde elde edilen ısının , seçilen boru hattı şebekesi sistemleri ile belirli bölgelerin (toplu konutların, büyük mahallelerin, endüstriyel tesislerin vd) ısıtılmasıdır. Bugün, bu sistem üniversite kampüslerinde, sitelerde ve şehirlerde uygulanmaktadır. İlk bölge ısıtma sistemleri 1930' lu yıllarda ABD'de başlamış ve özellikle dış hava sıcaklığının düşük olduğu Rusya ve Kuzey Amerika gibi ülkelerde yıllardır uygulanmaktadır. Bu sistemlerin başlıca üstünlükleri sırasıyla ekonomik, temiz işletme rahatlığı ve emniyeti, şehircilik gibi unsurlar sıralanabilir. Bu sistemlerde yanma tek merkezden olduğu için diğer sistemlerle karşılaştırıldığında hem hava kirliliği çok düşüktür hem de düşük kaliteli yakıtların ekonomik olarak kullanımını imkan verir. Bunun ötesinde jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde ise sadece ısı eşanjörleri ve ekipmanları kullanılır. Bu nedenle hava kirliliği gibi herhangi bir zararlı maddenin oluşması söz konusu değildir. Bu ısıtma sistemlerinde ayrıca daha az işgücü kullanıldığından işletme masrafları daha düşüktür. Fakat şunu unutmamalı ki bu sistemlerde muhakkak jeotermal akışkanın ısını verdiğinden sonra tekrar geri basılması gerekir.

4.2 Jeotermal Enerji İle Bölge Isıtma Sistemleri

Jeotermal enerji ile bölgesel ısıtma yapıldığında, enerji taşınımında sadece üretilen sıcak su kullanılmaktadır. Dolayısıyla binalarda kazan, yakıt deposu ve benzeri ekipmanlar kullanılmamaktadır. Sadece bina altında ısı eşanjörleri bulunmaktadır. Tabiatıyla jeotermal üretim alanından sıcak suyu taşıyan boru sistemi de burada ilk yatırımında göz önünde bulundurulacak ana elemanlardan biridir. Ülkemizde halen birçok yörede bölgesel ısıtma sistemi uygulanmış ve gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Bunlardan en önemlileri: Balçova, Narlıdere, Afyon, Gönen, Simav, Kızılcabamam, Kırşehir, Sandıklı, Kozaklı ve Diyarbakır'dır. Bu sistemlerin çoğunda bazı sorunlar yaşanmaktadır. Bunların en önemlisi re-enjeksiyon sorunudur. Re-enjeksiyon yani

kullanılan termal akışkanın tekrar kuyuya geri basılmasıdır. Bugün 247°C civarında maksimum sıcaklığa sahip olan Kızıldere'deki jeotermal kaynaktan ısıtmada kullanılmamasının sebebi budur. Öte yandan Kızıldere deki kaynağın Denizliye mesafesi 31 km olması ve ayrıca buraya ait tam bir fizibilite etüdünün yapılmamış olması, bu kaynağın jeotermal ısıtma için uygun olup olmadığı kesinleşmemiştir. Bunun dışında bu kaynaktan tüm sene boyunca 10MW_e lik bir güçle devamlı elektrik enerjisi üretilirken, eğer ısıtma için kullanılmış olsaydı sadece yılın belirli aylarında kullanılmış olacaktı. Elektrik enerjisi üretildikten sonra atılan jeotermal su, bugün Sarayköy'ün ısıtılmasında kullanılmaktadır.

Jeotermal enerjinin bölge ısıtma sistemlerinde kullanılmasında en önemli üstünlükleri sırasıyla şunlardır (Gürses 2001):

- Yerli ve temiz enerji
- Esnek sistem büyüklüğü
- Kullanım çeşitliliği
- Modülerlik
- Yüksek verim
- Birleşik kullanım kolaylığı
- Düşük işletme ve bakım maliyeti

Jeotermal bölgesel ısıtma sistemlerinin tasarımında; kaynağın genel özellikleri dışında birçok faktör vardır.

Sınırlayıcı faktörler:

- Jeotermal akışkanın kompozisyonu
- Kuyu başı debisi
- Jeotermal kaynak sıcaklığı
- Enerji kullanım yoğunluğu
- Jeotermal kaynak derinliği
- Jeotermal kuyularla uygulama alanları arası uzaklık
- Alternatif enerji maliyeti

Tasarım parametreleri :

- Kuyu başı ve kuyu içi ünitelerin seçimi
- Jeotermal dağıtım sistemi

- Sıcaklık düşümü
- Sistem yükü faktörü ve toplam yükü
- Son kullanıcı üniteler, ısıtıcılar
- Uygun malzeme seçimi

olarak 2 ayrı grupta toplanabilir. Karar ve tasarımda bu faktörler göz önünde bulundurularak tüketiciye gidecek enerjinin ekonomik ve uygulanabilir sınırlarda kalıp kalmadığı kontrol edilir.

Jeotermal bölge ısıtma sistemleri, rezervuarın performansı, jeotermal akışkanın kimyasal özellikleri, debisi, basınç ve sıcaklığa, ısıtılacak bölgenin topografik özellikleri, meteorolojik koşulları, konutların yerleşim şekilleri ve binaların termofiziksel özellikleri gibi bir çok parametre dikkate alınarak tasarlanmalıdır. Sistemde ısının akışkan yoluyla dağıtımını iki şekilde gerçekleştirilebilir.

- Açık devreli jeotermal bölge ısıtma sistemleri
- Kapalı devreli jeotermal bölge ısıtma sistemleri

Tablo 4.1 Jeotermal akışkanın içerdiği korozyon ve kabuklaşmaya yol açan kimyasallar

Element veya bileşik	Etkisi	Formu
Hidrojen	Korozyon	İyon
Kloridler	Korozyon	Katı
Hidrojen sülfid	Korozyon	Gaz
CO ₂	Korozyon	Gaz
Amonyak	Korozyon	Gaz
Sülfatlar	Korozyon	Katı
Oksijen	Korozyon	Gaz
Geçiş metalleri	Korozyon	Katı
Silikatlar	Kabuklaşma	Katı
Karbonatlar	Kabuklaşma	Katı
Sülfidler	Kabuklaşma	Katı
Oksitler	Kabuklaşma	Katı

Sistemin açık veya kapalı olması jeotermal akışkanın kimyasal özellikleri ile ilgilidir. Kabuklaşma ve korozyona yol açmayan jeotermal akışkan açık devreli olarak tasarlanabilir. Jeotermal akışkandaki kabuklaşma ve korozyon Tablo 4.1'deki kimyasallar neden olmaktadır (Yılancı 2004).

Jeotermal akışkanın içerdiği bu kimyasalların miktarları kabuklaşma ve korozyonu artırıcı etkide bulunmaktadır. Korozyon ve kabuklaşma kuyulardan ısıtma elemanlarına kadar sistemdeki tüm elemanları etkileyip performanslarının düşmesine ve elemanların yıpranmasına neden olmaktadır. Jeotermal akışkanın sertliği kabuklaşmaya neden olarak kuyuları ve sistem elemanlarını devreden çıkarabilmektedir. Suyun sertliğinin sınıflandırılması literatürde farklılık arz etmesine rağmen genel olarak içindeki CaCO_3 seviyesi 100 ppm ' den yüksek olan sular sert olarak tanımlanmaktadır. Tablo 4.2'de suyun sertlik sınıflandırılması verilmektedir (Yılancı 2004).

Tablo 4.2 Suyun sertlik sınıflandırılması

CaCO₃ (ppm)	Sınıflandırma
<15	Çok yumuşak
15 – 50	Yumuşak
50 – 100	Orta sertlikte
100 – 200	Sert
>200	Çok sert

4.3 Merkezi Isıtma Sistemleri

Jeotermal enerjiyle ısıtılan konutlardaki ısıtma sistemleri diğer ısıtma sistemlerinden önemli bir farklılık göstermezler. Tasarımda bilinen yöntemler aynen burada da uygulanır. Isı ihtiyacı hesabı akışkanın sıcaklığına bağlı olarak seçilen ısıtıcıların belirlenmesidir. Eğer mevcut bir konuttaki bileşenler farklı tasarım parametrelerine göre seçilmiş ise jeotermal akışkanla çalışmaya başlandığında, sıcaklık ve debideki farklılıklar sistem performansını etkileyebilir. Sıcak sulu ısıtma sistemlerinde suyun ısıtıcıya giriş ve çıkış sıcaklıkları 90°C/70°C kabulüyle 20°C' lık bir sıcaklık düşümüne göre hesaplar yapılır (İlken 2001).

Konut ısıtılmasında jeotermal enerji kullanılması söz konusu olduğunda; sistemin çalışma sıcaklıkları jeotermal kaynağın rezervuar sıcaklığına bağlı olduğundan standart dışı durumlar karşımıza çıkabilir. Duruma göre; daha yüksek ΔT aralıkları ve daha düşük debilerle çalışma durumunda kaldığımız gibi tersi durumlarla da karşılaşabiliriz. Tabii ki bu son durumda daha düşük ΔT ve daha büyük debilerle çalışmamız söz konusu olabilir. Sonuç itibariyle pompa ve tesisatta değişiklikler söz konusudur. Ayrıca pompa için daha fazla enerji sarfetmemiz gerekir.

Jeotermal Merkezi Isıtma Sisteminde enerji sıvı akışkan olarak hazır üretilmesi nedeniyle hammadde gideri yoktur. Sistemin işletme giderleri içinde en büyük payı enerjinin taşınması için gerekli pompaların tükettiği elektrik enerjisidir. Sistem tam otomatik kontrol ile desteklenen değişken debili olması nedeni ile tüketilen ısı enerjisi oranınca elektrik enerjisi tüketilmesi sağlanır. İşletme giderlerinin büyük bölümünü oluşturan elektrik tüketimi de bu sayede minimum hale getirilir. Binlerce konuta ısıtma hizmeti veren güç merkezinin tek bir yerde olması iyi seviyede enerji kontrolü yapan bir otomasyon sistemini ekonomik olarak çözüme imkanı sağlar. Sistemin tam otomatik çalışabilmesi yalnızca bakım ve idari işler için personel bulunmasını gerektirir. Böylece personel giderleri en aza indirgenmiş olur.

Tasarımda ve uygulamada uygun teknolojilerin optimize edilmesi ve kalifiye elemanlarca kontrolü, işletme sarf malzemesi ve bakım giderlerini en az düzeye indirir. Sistemin en büyük bölümünü oluşturan boru şebekesinin teknolojisine uygun tasarım ve uygun malzeme ile yapılarak hareket eden elemanların en az kullanımı; bakım onarım maliyetlerini en aza indirir.

İyi bir araştırma geliştirme çalışmasından sonra açılan kuyulardan jeotermal sıcak akışkan artezyen olarak veya kuyu içi pompalı olarak üretilir. Üretimde karşılaşılabilecek kabuklaşma ve korozyon problemleri günümüzde tamamen çözülmüş değildir.

Üretilen jeotermal sıcak akışkanın enerjisi plakalı ısı eşanjörleri ile temiz sıcak suya aktarılır. Ardından enerjisi alınan jeotermal akışkanın düşük sıcaklıklarda (40-45°C) sera ısıtılmasında, kaplıcalarda ve balık çiftliklerinde kullanılır. Geriye kalan atık miktar bir başka jeotermal kuyuya geri basılır (re-enjekte). Isı tüketicilerinin ve jeotermal kaynağın karakterine bağlı olarak sistem ısı pompası ile kombine kullanılabilir.

Yatırımın büyük bölümünü oluşturan dağıtım ağı (boru şebekesi) tasarımında ısı kaybı, sürtünme kaybı ve maliyet minimuma indirilir. Uzun ömür, hızlı yapım, esneklik şartları çok iyi optimize edilmelidir. Binalar genelde önceden yapılmış olduğundan, binalarda bulunan mevcut tesisatlarının öncelikle bölge ısıtmasına, daha sonra jeotermal enerji ile (düşük sıcaklıklar için bu çok daha önemlidir) ısıtmaya uygun hale getirilmelidir. Bunun için bazı adaptasyon işlemleri yapılır.

Binalara jeotermal su ile ısıtılmış temiz su doğrudan verilebildiği gibi, jeotermal kaynağın ve ısıtma yapılacak yerin karakterine bağlı olarak bina altına konulacak bir eşanjör ile bina ana sistemden bağımsız hale getirilebilir.

Merkezi ısıtma sistemleri sahanın ve akışkanın özelliğine göre kuyu dışı ve kuyu içi eşanjörleri şeklinde ikiye ayrılabilir (Lund vd 2004).

Bundan sonraki bölümde ısı eşanjörleri ve özellikle kuyu içi ısı eşanjörleri ayrıntılı olarak anlatılacaktır.

5. ISI EŞANJÖRLERİ

5.1 Isı Eşanjörlerinin Genel Tanımı

Isı eşanjörleri ısının bir ortamdan diğerine aktarılmasında kullanılır. Diğer ısıtma sistemlerinde kullanıldığı gibi, jeotermal ısıtma sistemlerinde de; kuyu başı ve kuyu içinde, plakalı, boru-kovan ve firkete tipi (U tipi) ısı eşanjörleri kullanılmaktadır. Jeotermal akışkanların çoğunda yüksek sıcaklıklardan dolayı çözünür halde kimyasal maddeler bulunur. Bu maddelerin çoğu metallere karşı koroziftirler. Jeotermal akışkandan kapalı devre ısı sistemlerinde ısı transferi genelde plakalı ısı eşanjörleri ile yapılır. Bunlar çoğunlukla lehimli ve contalı plakalı ısı eőanjörleridir. Düşük sıcaklıkta ve yüksek kapasiteli jeotermal sistemler için en uygun çözümdür. Plakalı ısı eşanjörlerinde gerek temizleme ve gerekse kapasite artırım kolaylığının yanı sıra, ısı eşanjörlerinde birincil (jeotermal) akışkanla sirkülasyon akışkanı arasında sıcaklık farkını 2 °C 'ye kadar indirmek mümkündür.

Isı ihtiyacının düşük olduğu ve fazla korozif olmayan jeotermal kaynaklarda çoğunlukla kuyu içi eşanjörler kullanılır. Bunlar kuyudan jeotermal akışkanın çekilmesini gerektirmezler. Tesisattan; ısıtma ve kullanım için gelen ısıtılacak akışkan eşanjörden dolaştırılır. Öte yandan yıllardır kullanılmakta olan; boru-kovan tipi ısı eşanjörleri düşük sıcaklıktaki doğrudan ısıtma sistemlerinde uygulama alanı bulmuştur. Bu çalışmada jeotermal ısıtma sistemlerinde kullanılan plakalı ısı eşanjörleri ve kuyu içi ısı eşanjörleri ayrıntılı olarak anlatılacaktır. Diğer ısı eşanjörlerinden burada fazla söz edilmeyecektir .

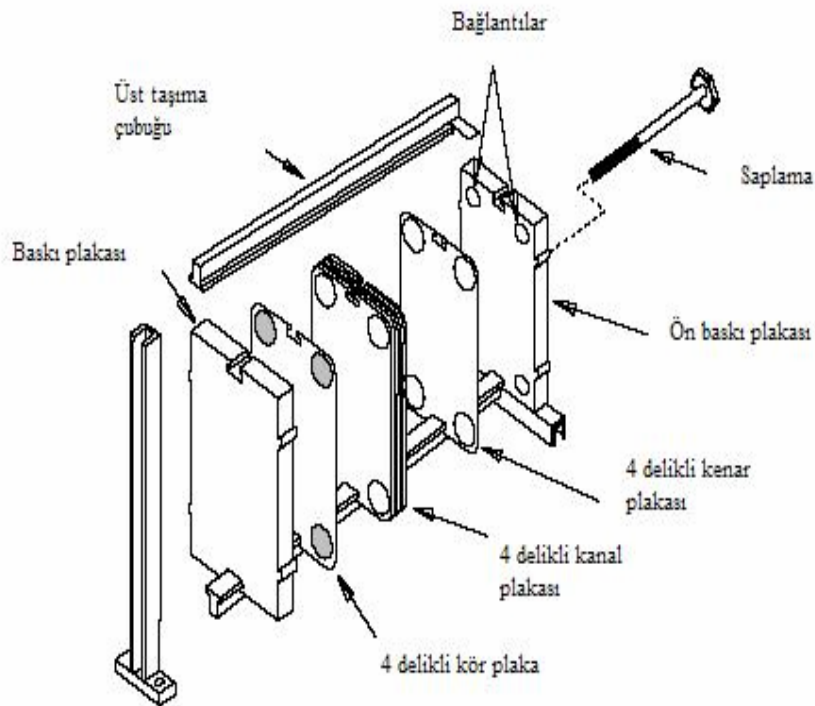
5.2 Plakalı Isı Eşanjörleri

Plakalı ısı eşanjörleri son yıllarda jeotermal sistemlerde çok yaygın biçimde kullanılan yüksek verimli ısı eőanjörlerdir. Bu eőanjörlerde ısı geçişinin olduğu yüzeyler ince metal levhalar olup düz veya dalgalı biçimde olabilir. Bunlar borulu tipte olan ısı eşanjörlerine göre yüksek basınçlarda ve sıcaklıklarda dayanıklı değıllerdir.

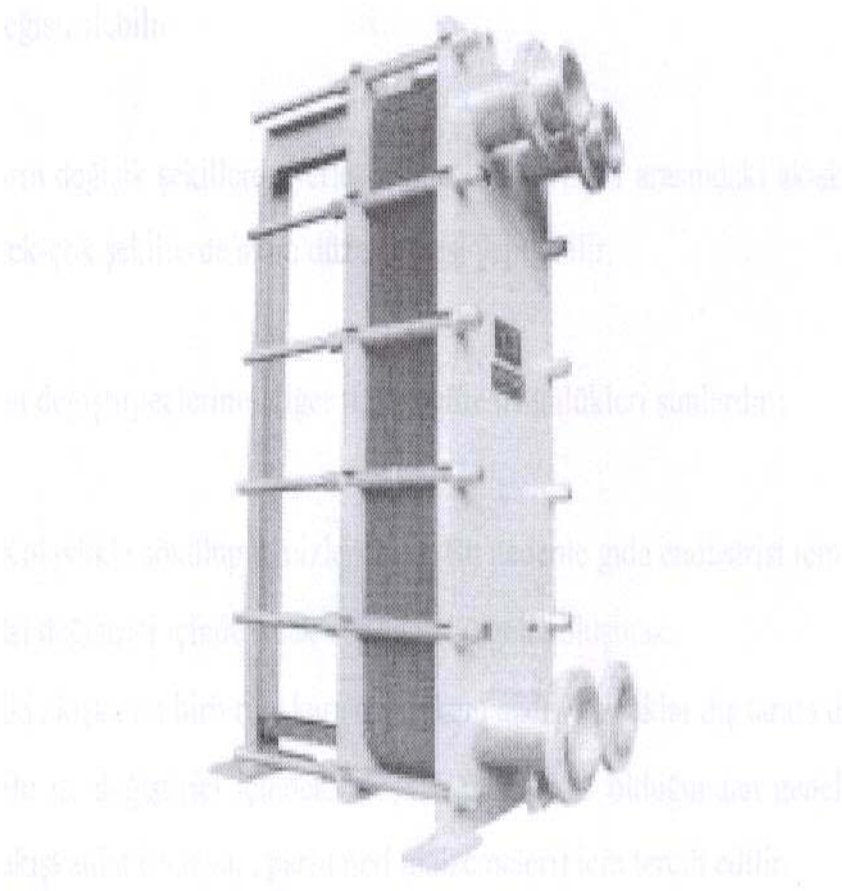
Bu tip eşanjörlerin cazibesi aşağıdaki özelliklerinden dolayı oldukça yüksektir:

1. Isıl performansları yüksektir.
2. Çeşitli tipte alaşımlar kullanılmak suretiyle korozyona karşı dirençleri artar.
3. Bakımları oldukça kolaydır.
4. Isı ihtiyacına göre plaka sayısını değiştirmek suretiyle tasarım esnekliği sağlanır.
5. Isıl performansları yüksek olduğu için daha az yer kaplarlar.

Şekil 5.1’de plakalı bir ısı eşanjörünün parçaları görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi her bir levha arasına conta yerleştikten sonra ön ve arka baskı plakaları arasına yerleştirilen plakalar saplama veya sıkıştırma civataları ile tek bir parça haline getirilir. Şekil 5.2 de de böyle bir ısı eşanjörünün montajı görülmektedir.

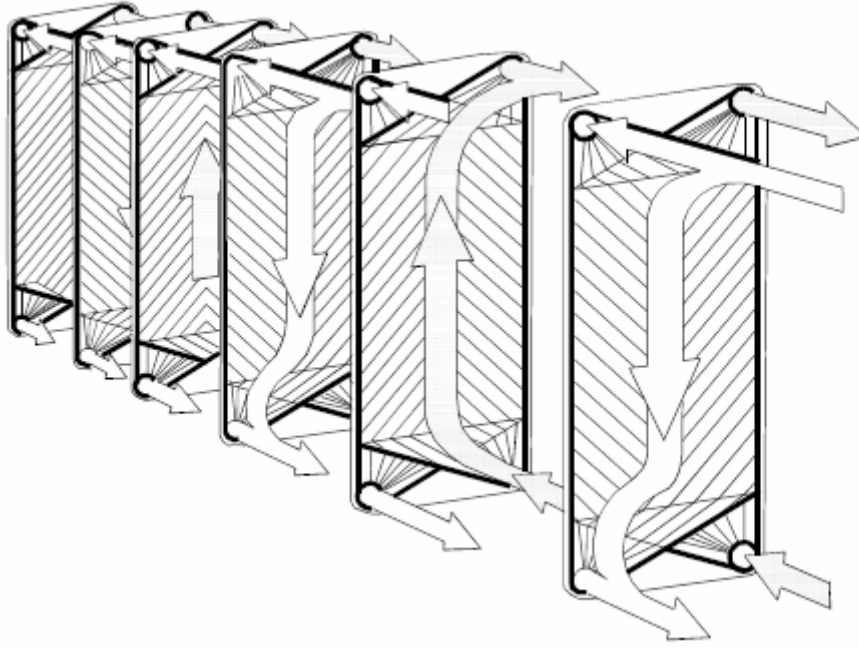


Şekil 5.1 Plakalı ısı eşanjörü (Rafferty ve Culver 2001)



Şekil 5.2 Contalı plakalı ısı eşanjörü (Dönmez 2003)

Plakalı ısı eşanjörlerinden akışkan akışı ya paraleldir ya da çaprazdır. Paralel akışlarda levhalar arasında akan akışkan; levhanın bir yüzeyinde yukarıdan aşağıya doğru dik hareket ederken diğer yüzeydeki akışkan ters yönde aşağıya doğru hareket ederek işlevini yerine getirir. Hâlbuki çapraz akışlı plakalı ısı eşanjörlerinde plakanın bir yüzeyine giren akışkan çapraz hareket ederken diğer yüzeydeki akışkan da birincisine göre çapraz hareket ederek ısı transferinin oluşumuna neden olur. Bazı uygulamalarda plaka yüzeylerinde oluşturulan su dolaşım kanallarının yatay, düşey ve açılı imal edilmeleri sayesinde akışlar paralel ve çapraz akışa ilaveten karışık akış oluşturmak suretiyle eşanjörün ısı verimleri artırılabilir. Plakalı ısı eşanjörlerindeki akışkan akışının yani sıcak ve soğuk akışkanların plakalar arasında hareketleri Şekil 5.3'te görülmektedir. Bütün bu yönlendirmeler plakalar arasında yerleştirilen contalarla sağlanır.



Şekil 5.3 Plakalı bir ısı eşanjörü içindeki akışkan akışı (Lund vd 2004)

5.3 Kuyu İçi Isı Eşanjörleri

5.3.1 Genel tanım

Kuyu içi ısı eşanjörleriyle, jeotermal kuyudan akışkanın çekilmesi söz konusu olmadığından; sadece jeotermal kaynaktaki ısının çekilmesi söz konusudur. Böylece jeotermal akışkan içindeki zararlı maddelerden kaynaklanan problemlerde ortadan kalkmış oluyor. Bu sistemler uygun jeotermal akışkanın bulunduğu ve düşük ısı ihtiyaçları için daha verimli sistemlerdir.

Kuyu içi ısı eşanjörleri genelde hacim veya konutların ve ticari alanların ısıtılması veya sıcak su ihtiyacının karşılanması durumlarında diğer ısı ihtiyacını karşılama yöntemine göre özellikle kuyudan akışkan çekilmemesi nedeniyle oldukça avantajlıdır. Hâlbuki plakalı ısı eşanjörlerinde olduğu gibi kuyudan alınan akışkanın ısısı alındıktan sonra bu akışkanın tekrar kuyuya basılması zorunludur. Bu geri basma işlemi suyun alındığı kuyudan en az 1-1,5 km uzaklıkta olması gerekir. Bu da ilave masraflar gerektirdiğinden ve kullanılan suyun doğaya serbest verilmesi durumunda çevresel kirlenmeler söz konusu olacağından kuyu içi eşanjörler bu bakımdan önem kazanmaktadır. Ayrıca ek masraf olarak jeotermal akışkanı pompalanması için harcanan

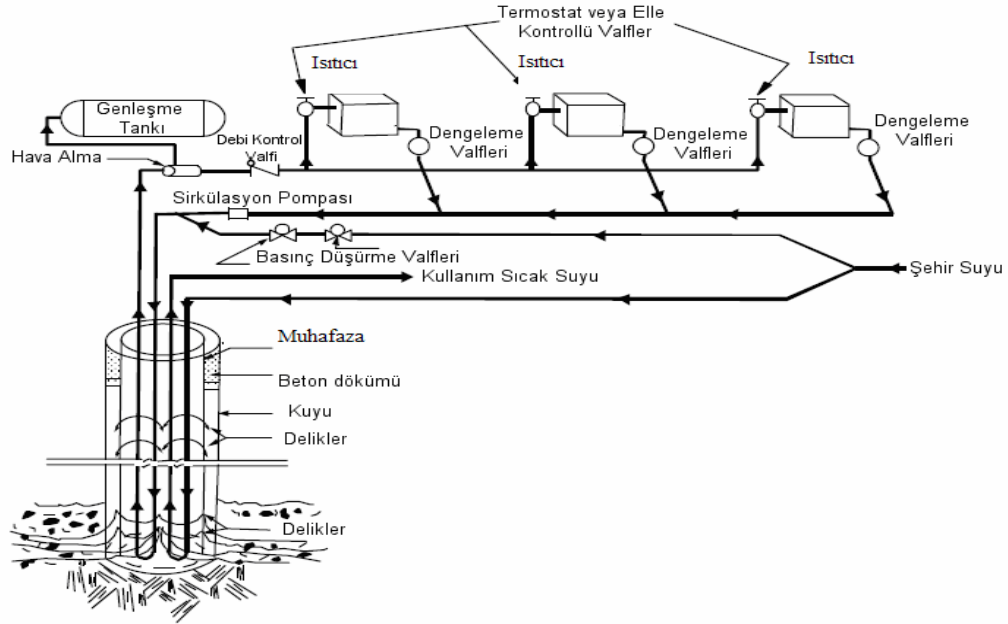
ilk yatırım ve işletme masraflarının yanında bu pompaların korozyona karşı korunması da söz konusudur. Bu da kuyu içi eşanjörlerin üstünlüğünü göstermektedir. Öte yandan kuyu içi ısı eşanjörlerinin sadece küçük termal sistemlerde kullanıldığını da unutmamak gerekir.

5.3.2 Bir kuyu içi ısı eşanjörü tasarımı ve kurulması

Bir kuyu içi ısı eşanjörü kuyunun dibinde boruların U biçiminde bükümüyle elde edilen kapalı sarımlı bir boru sistemidir ve jeotermal kuyu içerisine daldırılır. Bunlar konut ısıtılmasında ve sıcak su ihtiyacımızı karşılamak için kullanılır. En yaygın kullanılan ülkeler A.B.D, Türkiye ve Yeni Zelanda'dır. Daha az kullanılan veya üzerinde deneysel çalışmalar yapılan sistemlerin kullanıldığı ülkeler ise İzlanda, Macaristan, Rusya, İtalya, Yunanistan ve Japonya'dır. A.B.D 'de en yoğun kullanılan yer ise Oregon'daki Klamath Falls'dur. Burada 500 civarında kurulu tesis olduğu bilinmekte ve çoğunluğu konutların ve okulların ısıtılmasında ve bazıları da kar eritme amacıyla kullanılmaktadır. En çok kullanılan kuyu içi eşanjörün yapısı: Maliyetinin ucuzluğu ve nispeten kolay tesis edilebilmesinden dolayı siyah çelik borudan yapılanlardır. Bununla beraber; siyah çelik borunun çabuk korozyona uğraması bir dezavantajdır. 1974 'te Klamath Falls'daki kuyu içi eşanjörlerin ömürleri 5ile 22 yıl arasında olup ortalama 14 yıl civarında olduğu görülür. Eğer kuyu içi eşanjörleri artezyen şeklinde ise bunların ömürleri 30 yıla kadar çıkabilir. Siyah çelik boruların korozyon problemi nedeniyle diğer boru seçenekleri üzerinde durulmaktadır. Zaman içinde birçok kuyu içi eşanjörü konstrüksiyon malzemesi denenmiş olup ucuz ve bakım kolaylığı ön plana çıkmıştır. Bu arada plastik malzemeler üzerinde durulmuş olup bunların her ne kadar ömürleri uzun olsa bile, ısı iletim katsayıları klasik metal borulu sistemlere göre daha düşüktür. Aynı koşullarda bir metal boruya göre 2 misli uzunluktaki plastik bir boruya ihtiyaç olduğu görülmüştür. Polietilen malzeme molekül yapısına bağlı olarak çeşitli şekillerde bulunabilir. Örneğin yüksek yoğunluklu polietilen jeotermal ısı pompası sistemlerinde kullanılan standart borudur. Uzun moleküler zincirli bir kimyasal yapıya sahip olan polietilen malzemeler daha sağlam ve büyük basınç ve sıcaklıklar aralığına dayanabilen sağlam bir malzeme biçimindedir.

En basit kuyu içi eşanjör sistemi kuyu içine daldırılan bir U borusu ve bu U borusu içerisinde dolaştırılan bir su devresinden ibarettir. Şekil5.4'te Klamath Falls'daki bir kuyu içi eşanjör sistemi görülmektedir. Burada 6 ve daha fazla metrelik delik içerisine

yerleştirilen kuyuların çapları 10–12 inç olup ayrıca 8 inç'lik bir muhafaza da yerleştirilmiştir. Soğuk su gevşek kayaların bulunduğu kayaların altında genellikle 6–15 m boyundaki tıkaç kaplamanın etrafına yerleştirilmiş ve tıkaçtan yüzeye kadar muhafazanın etrafı betonla çimentolanmıştır. Muhafazaya statik su seviyesinin hemen altında delikler açılmış deliklerin uzunluğu 0,4-0,8 m uzunluğundadır.



Şekil 5.4 Tipik bir kuyu içi ısı eşanjörü sistemi ve kullanılan elemanlar (Culver ve Reistad 1978)

Hacim ısıtmasında genellikle 1 ½ - veya 2 inçlik siyah demirden U borusu, sıcak su içinde ¾ veya 1 inçlik boru kullanılır. Uygulanan diğer kuyu içi eşanjörleri kısaca şöyle sıralanabilir (Rafferty ve Culver 2001):

1. Ok tüplü kuyu içi eşanjörleri: Bunlar boru-kovan tipi ısı eşanjörlerine benzer olup bir tüp demetinden oluşurlar. Doğal sirkülasyonu sağlamak için tüpler delikli bölgenin altına yerleştirilir.
2. Kuyunun dibine kadar uzanan ve ucunda bakır veya çelik serpantin bulunan düz borular.
3. Isı pompası uygulamalı kuyu içi eşanjörler.
4. Tek bir kuyuda pompa ile kuyu içi eşanjör sisteminin birlikte kullanılması
5. Isı borusu uygulamaları
6. Eş merkezli kuyu içi ısı eşanjörleri
7. Yeni Zelanda'da delikli borular (promotör) ve kuyu içi ısı eşanjörleriyle yapılan araştırmalar

Isı eşanjörlerinin ömrü ve yenileme masrafları göz önüne alındığında korozyona dayanıklılığı bakımından en ekonomik malzemenin seçilmesi gerekir. Muhafazanın değiştirilmesi oldukça pahalıdır. Bundan dolayı muhafaza ile eşanjör arasında katodik korunma için gerekli önlemler alınması gereklidir.

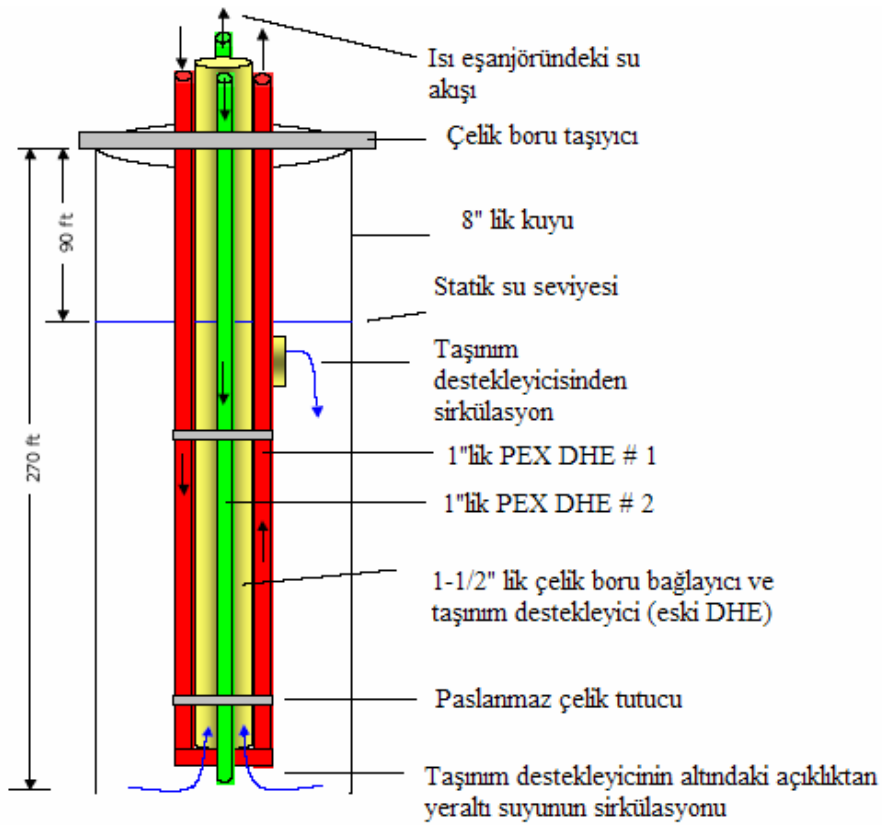
Korozyon daha çok hava ile suyun bulunduğu ara kesitte meydana gelir bundan dolayı eğer kaçak elektriğe karşı bir önlem alınmazsa su altında kalan bölgelerde yerel korozyonlar oluşur.

Bundan dolayı kuyu başlarında yalıtım yapılması gereklidir. Bu açıdan metal olmayan cam elyaf ile takviye edilmiş epoksi ve polibütlen gibi malzemeler kullanılarak uygulama yapılır. Metal olmayan malzemelerin ısı iletim katsayıları metallere göre daha düşüktürler. Öte yandan metal olmayan borular metallere göre daha kalındır. Bu şekilde ısı iletim katsayısı metal olanlara göre daha düşüktür.

Bir kuyu içi eşanjörü montajının şematik gösterimi Şekil 5.5'te gösterilmekte olup bir kuyu içerisine kuyu içi eşanjörünün yerleştirilmesi Şekil 5.6'da ki fotoğrafta görülmektedir. Bu tipteki bir kuyu içi eşanjöründe, gerekli birçok teorik ve pratik düşünceler aşağıda açıklanmıştır.

Burada polietilen plastik kuyu içi eşanjörün boyutlandırılmasını kontrol eden 2 ana tasarım parametresi vardır bunlar borunun çapı ve uzunluğudur. Genel kuyu içi eşanjörü 2 adet polietilen U tüpünden ibaret olup bu da akış sistemi içerisindeki basınç düşümünü kabul edilebilir bir seviyede tutmak ve yeterli bir ısı değişim uzunluğuna erişmeyi sağlar. Diğer bir tasarım düşüncesi ise bu ısı eşanjörüne uygun bir kuyu çapı seçimidir. Bu da kuyu içi eşanjörün müsaade edilebilir bir çapını belirtir.

Bu durumda kuyu öncelikle kuyu içi eşanjör tesisatının genişletilmesini gösterir. Burada delinen deliğin çapı 203mm derinliği 82m dir. Fakat daha sonra delik 152mm ye daraltılmıştır. 25,4mm lik polietilen U tüpünün montajı genel çap olarak takriben 146mm dir. Genel çap ta 152mm ye indirmekle bir riske itilmiş oluyor. Yeni bir polietilen ısı eşanjörü için su sütunu 54,9 m'dir



Şekil 5.5 Kuyu içi eşanjör montajının şematik görünümü (Chiason vd 2005)



Şekil 5.6 Ucuna eski ısı eşanjörünün siyah çelik borusu bağlanmış 2 polietilen U tüpünün kurulmadan önceki durumu (Chiason vd 2005)

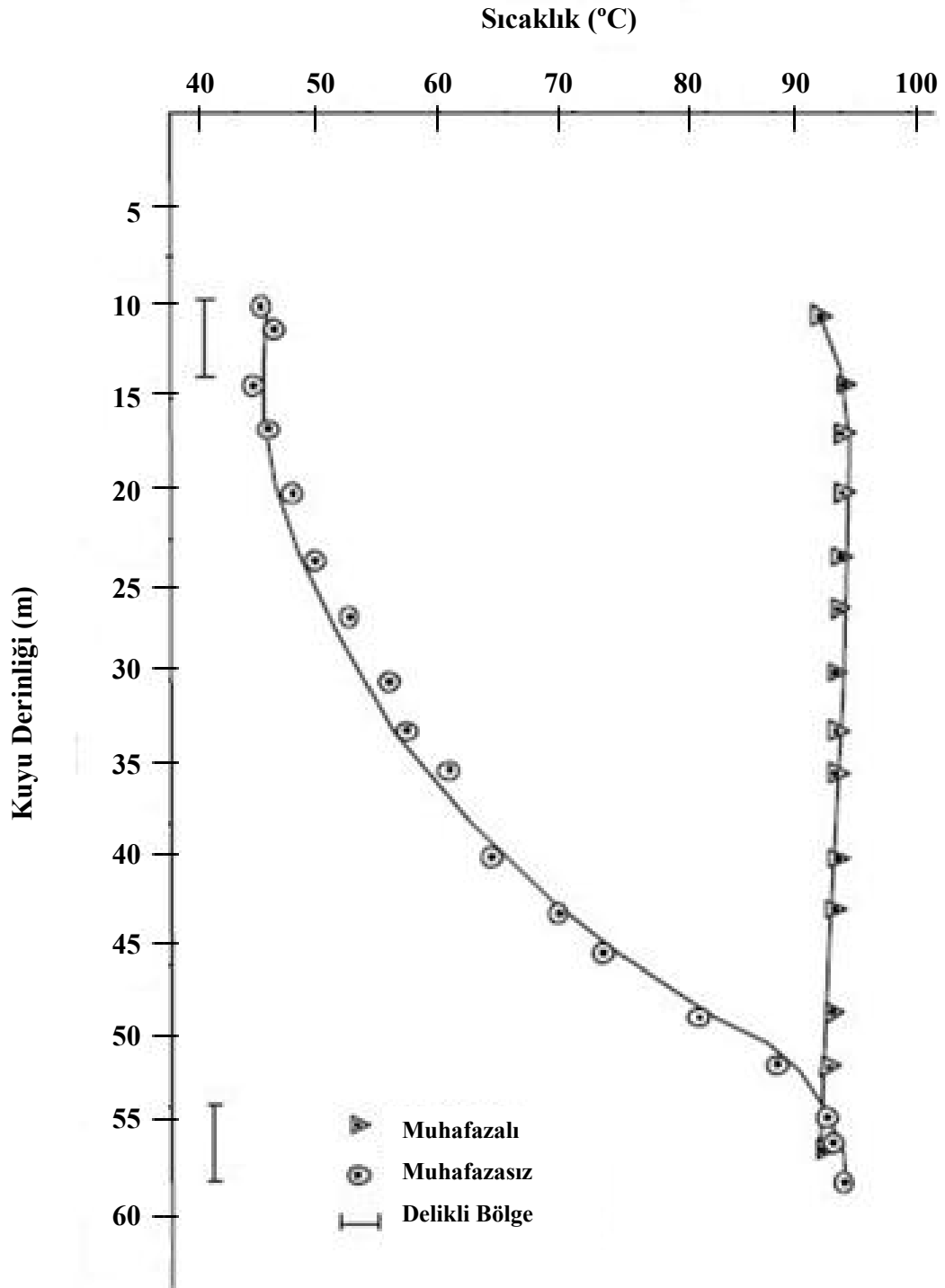
5.3.3 Taşınım hücreleri

Jeotermal kuyu içerisindeki ve rezervuardaki akışkanlar ve kuyu çevresindeki sıcak kayalar arasındaki etkileşim fazla anlaşılılmamakla beraber , kuyu içerisine taşınım hücresi yerleştirilmesi durumunda ısı kapasitesinin önemli derecede artabileceği bilinmektedir. Bu da akışkanlar arasındaki doğal bir karışım olarak ortaya çıkmaktadır. Rezervuardan gelen suyun içerisine gelerek kuyu içerisindeki suyla karışması veya bunun tersi kuyu içerisindeki suyun da rezervuara akarak karışması şeklinde olur. Bu sistem için 2 yöntem vardır:

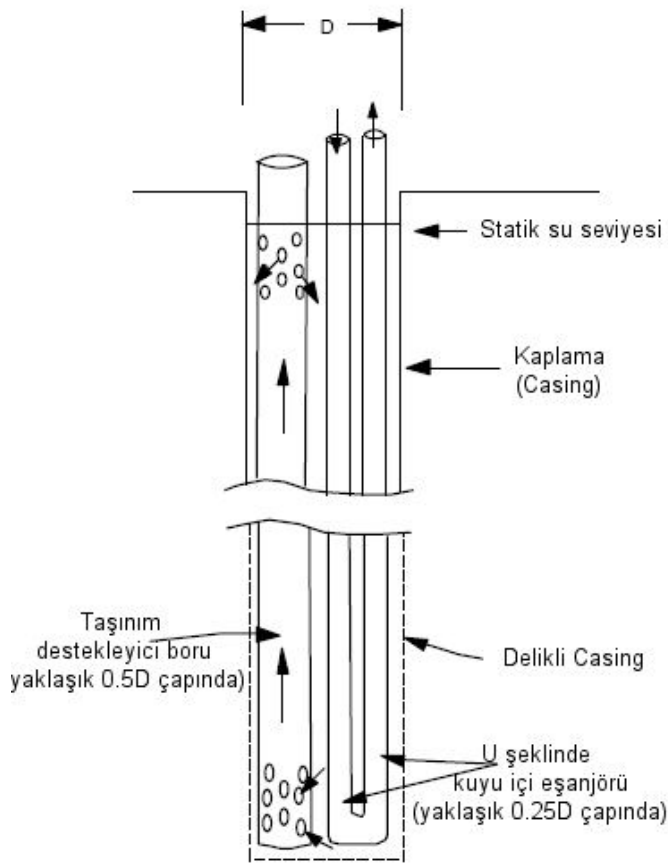
Birinci yöntemde; kararlı bir şekilde açılan kuyunun ağzı açık bırakılır. Bunun içine çapı daha küçük bir muhafaza borusu yerleştirilir. Minimum statik su seviyesinin hemen altı ile kuyu dibinin hemen üstünde muhafaza borusuna delik açılırsa; bir taşınım hücresi oluşur. böylece delikler arasında yaklaşık bir izotermal sıcaklık profili elde edilir (Şekil 5.7). Borunun üst tarafı çimentolanır. Kuyu içi ısı eşanjörünü kurduktan ve ısı çekmeye başladıktan sonra , muhafaza içerisinde aşağıya doğru ve muhafaza ile kuyu çeperleri arasında yukarı doğru bir akış meydana gelir. Bu olayın esas meydana gelişi her iki ortamdaki yoğunluk farklarının oluşmasındandır. Çekilen ısı akışkanının hızıyla ilgili olup normal kuyularda 0,012-0,12 m/s arasındadır. 0,6 m/s 'lik yüksek hızlarda çok miktarda ısı çekildiği görülmüştür.

İkinci yöntem ise; kuyunun ağzının açık bırakılmadığı bir durum olup Yeni Zelanda da geliştirilmiş delikli taşınım borularıdır (Şekil 5.8). Boru kuyunun dibine yerleştirilir ve her iki ucu da açıktır. Yine aynı şekilde borunun her iki ucunda (kuyunun dibinde ve statik su seviyesinin hemen altında) delikler vardır. Kuyu içi eşanjör taşınım borusunun içine veya dışına yerleştirilebilir. Daha küçük çaplı taşınım borusu kullanıldığında ısı eşanjörü borusunun, borunun dışına yerleştirilmesi daha ekonomiktir (Chiasson vd 2005). Kuyu içi ısı eşanjörünün yüzey alanının maksimum olduğu durumlarda optimum koşullar elde edilir ve bu şekilde ısı transferi de maksimumdur. Küçük çaplı muhafaza borusu kullanılan sistemlerde ve taşınım borusu içine kuyu içi eşanjörü yerleştirilen sistemlerde, muhafaza ve taşınım borusu çapının kuyu çapının 0,7 kat olduğu durumlarda gerçekleşir. Kuyu içi ısı eşanjörü taşınım borusu dışında ise; taşınım borusu çapı kuyu çapının 0,5 katı olduğu zaman bu olay gerçekleşir. U borusu kuyu içi ısı

eşanjörünün çapının 0,25 katıdır. Çok sarımlı kuyu içi eşanjörlerinde ısı farklı oranlarda elde edilir (Rafferty ve Culver 2001).



Şekil 5.7 Jeotermal bir kuyu için muhafazalı ve muhafazasız durumlarda sıcaklığın derinlikle değişimi (Culver ve Reistad 1978)



Şekil 5.8 Yeni Zelanda’da kullanılan taşınım destekli borulu kuyu içi ısı eşanjörünün şematik gösterimi (Rafferty ve Culver 2001)

5.3.4 Tasarım parametreleri

Kuyu içi eşanjörleri ıstıyı iki türlü açığı çıkarırlar. Bunlar akiferde akan akışkandan veya kuyu etrafındaki kayaçların ıstısından olmaktadır. Kuyu içi ısı eşanjörü ıstıyı alır ve bir taşınım hücresi oluşturulursa, kuyuya giren yeni akışkan taşınan akışkanın bir oranı olacaktır. Kuyuyu terkeden akışkan ve akifere giren akışkan miktarı kadar akışkan taşınmayı gerçekleştirilmektedir. Böylece, bu akışkanın miktarının yeni akışkana (kuyuya giren) oranı karışma oranı olarak tanımlanır ve aşağıdaki gibi ifade edilir (Lund vd 2004):

$$R_M = 1 - \frac{\dot{m}_{eklenen}}{\dot{m}_{toplam}} \quad (5.1)$$

burada,

$$R_M = \text{Karışım oranı}$$

$\dot{m}_{eklenen}$ = Eklenen yeni akışkanın kütleli debisi

\dot{m}_{toplam} = Taşınan akışkanın toplam kütleli debisi

Bu oranın yüksek çıkması, taşınım hücrelerinde yer alan yeni akışkan miktarının az olduğunu göstermektedir. Karışma oranı aynı akiferde yer alan kuyular arasında çeşitlilik gösterir ve esas olarak akifer geçirgenliğine bağlıdır. Isı alım miktarı arttığında, taşınım hücreindeki kütleli debi miktarı artmaktadır, fakat karışma oranı belli bir noktaya kadar sabit bir değerde kalmaktadır. Daha fazla ısı alımında, bu sabitlik bozularak karışım oranı artmaktadır. Isının teorik olarak alınabileceği maksimum durum karışım oranının sıfır olmasıyla mümkün olmaktadır. Bu, tüm akışkanın taşınım hücreleri boyunca geçerek dipte kuyuyu terk ettiğini göstermektedir. Fakat karışım oranının 0,5'ten küçük olduğu durumlar oluşmamaktadır, genellikle karışım oranı 0,5-0,94 aralığında olmaktadır (Lund vd 2004).

Eğer K , hidrolik iletkenlik (geçirgenlik katsayısı) ve $\partial h/\partial l$ hidrolik gradyan ise; Darcy kanunundan, akiferdeki akışkanın özgül hızı aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$g = K \times \frac{\partial h}{\partial l} \quad (5.2)$$

Bir alandan gerçekleşen kütleli debi, A akışa dik alanı belirtiyorsa;

$$g \times A \times \rho = K \times A \times \rho \times \frac{\partial h}{\partial l} \quad (5.3)$$

olarak yazılabilir. Burada ρ , akışkanın yoğunluğudur. O halde kararlı bir akıştaki ısı miktarı aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$Q = K \times A \times \rho \times c_p \times (T_0 - T_1) \times \frac{\partial h}{\partial l} \quad (5.4)$$

Burada;

A = Akiferdeki kuyunun izdüşüm alanı (m^2)

ρ = Akışkanın yoğunluğu (kg/m^3)

c_p = Özgül ısı ($\text{kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$)

T_o = Akifer sıcaklığı ($^\circ\text{C}$)

T_I = Akifere dönen suyun sıcaklığı ($^\circ\text{C}$)

Bu ifadeyi (R_m-1) veya yaklaşık olarak 0,4-0,5 ile çarparsak kuyu içi ısı eşanjöründen alınacak ısı miktarını bulabiliriz.

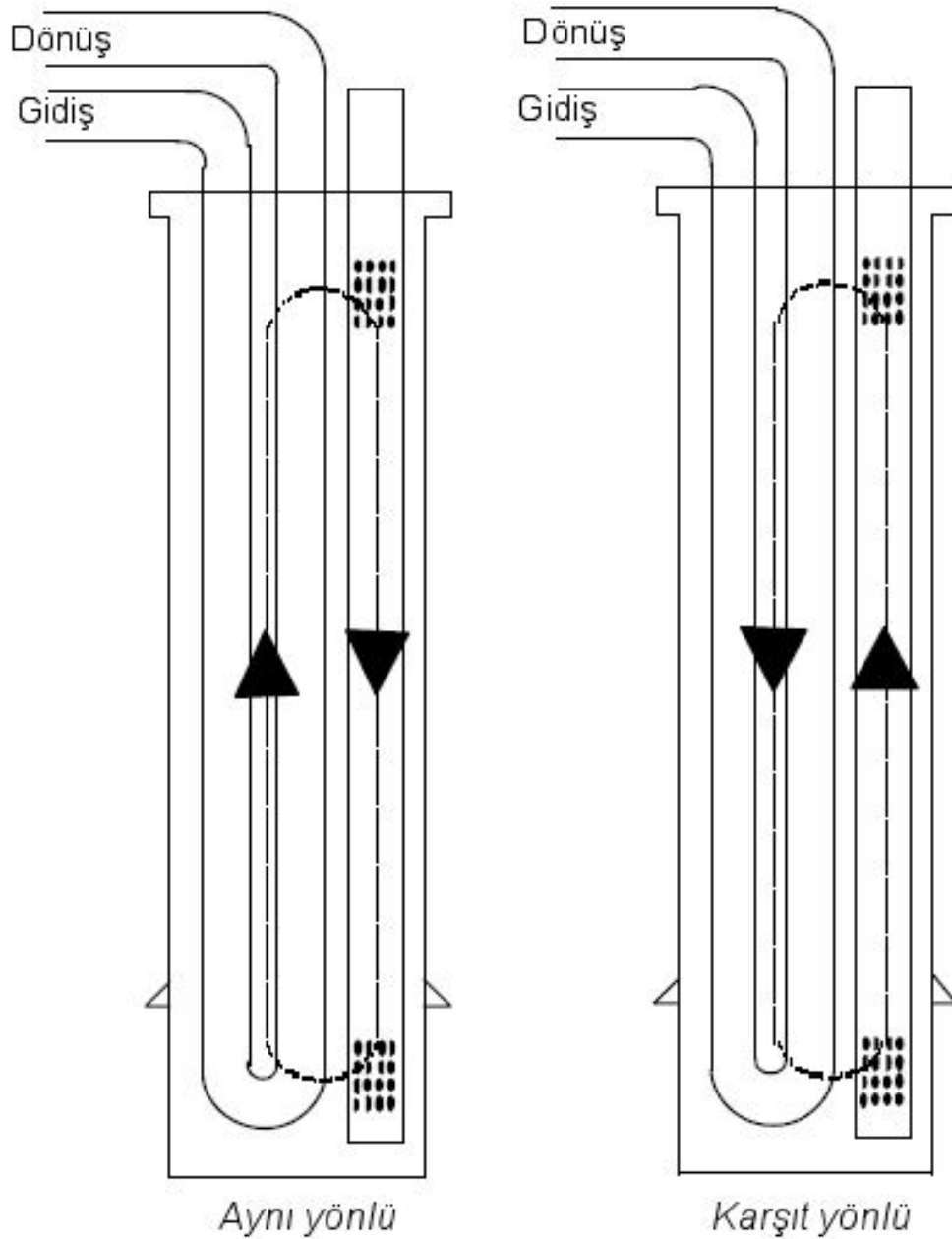
Buradaki en önemli faktör K değeridir. Bu değer çok farklı olabilmekte, aynı akiferde bile değişebilmektedir. Kesişen çatlak ve kırıklara, sondaj çamuruna veya akiferi tıkayan yığıntı, çöküntülere bağlı olarak değişmektedir.

Yapılan deneyler ve çalışmalar, kuyu içi ısı eşanjöründen alınacak ısının kuyu dibindeki akiferde çapraz akışın artmasıyla ve kuyu içi ısı eşanjörü debisinin artmasıyla mümkün olacağını göstermektedir.

Bu ikisi arasında düşük akışkan debisinde lineer bir ilişki olmakta, fakat eğri yüksek debilere ulaşıldığında herhangi bir performans iyileştirmesi olmadan, düz bir eğriye dönüşmektedir.

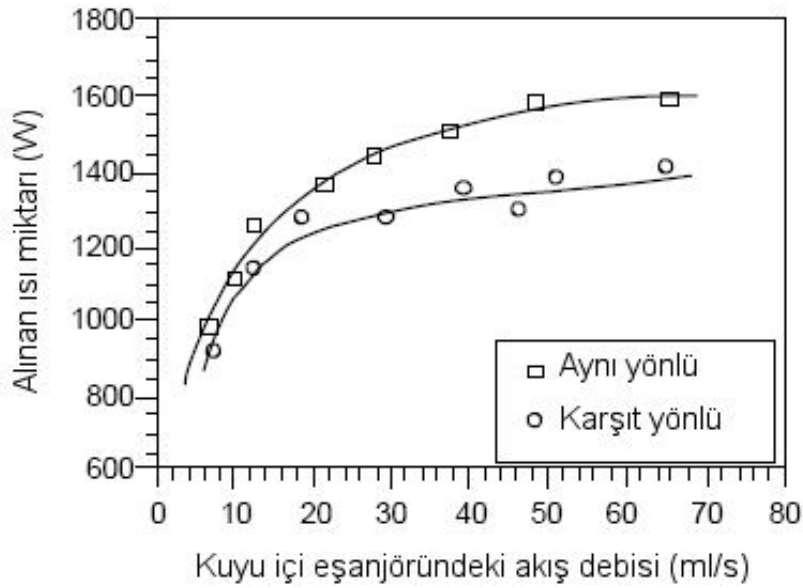
Büyük kuyu çaplarında, kuyu içi ısı eşanjörünün gidiş kısmı (sıcak tarafı) sıcaklığı kuyu sıcaklığından daha düşük olmaktadır, bu durumda iletimle ısı kaybı gerçekleşmez

Bir taşınım destekleyici boru kullanıldığında, kuyu içindeki akışkan sirkülasyonu esas olarak aynı yönlü veya karşıt yönlü olmak üzere iki biçimde gerçekleşir (Şekil 5.9). Aynı yönlü akış (girişten taşınım destekli boru içine doğru akış), kuyu içi ısı eşanjöründen alınacak ısı miktarında %10-20 arasında bir artış getirmektedir (Şekil 5.10 ve 5.11). Bu yüzden kuyu içi dönüş kısmının (soğuk tarafı) taşınım destekleyici borunun içinde yer alarak sıcak gidiş tarafı ile aynı yönlü akış oluşturacak şekilde yerleştirilmesi tavsiye edilmektedir.

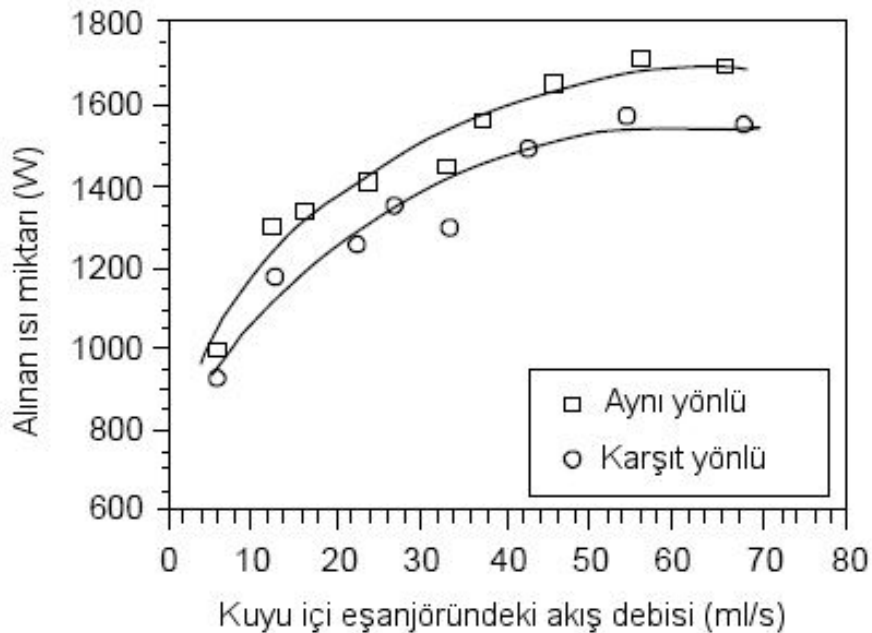


Şekil 5.9: Taşınım destekli borulu kuyu içi eşanjörlerinde akış sirkülasyon yönleri (Culver ve Lund 1999)

Aksi takdirde, aynı yönlü akış bir pompa yardımıyla oluşturulmak zorunda kalmaktadır. Çalışmalarla elde edilen bir başka sonuç ise PVC kuyu içi ısı eşanjörü borularının bakırlara göre daha fazla ısı alımına olanak sağlamasıdır. Bunun nedeni toplam ısı transferi direncinin daha düşük bir değer alması ve sıcak olan gidiş borusunda meydana gelen ısı kaybının PVC'lerde hemen hemen olmamasıdır. Aslında, dönüş borularının bakır, gidiş borularının ise PVC olarak yapıldığı, hibrid kuyu içi eşanjörleri daha yüksek performans sağlamaktadır.



Şekil 5.10 Kuyu içi ısı eşanjöründeki akış debisinin ısı alımı miktarına karşı değişimi (32 mm taşınım destekli boru çapı ve 25,8 ml/s çapraz akış debisi) (Culver ve Lund 1999)



Şekil 5.11 Kuyu içi ısı eşanjöründeki akış debisinin ısı alımı miktarına karşı değişimi (32 mm taşınım destekli boru çapı ve 31,4 ml/s çapraz akış debisi) (Culver ve Lund 1999)

5.3.5 Türkiye’de kuyu içi ısı eşanjörlerinin kullanılması

1981-1990 yılları arasında Türkiye’de kuyu içi ısı eşanjörü kullanılmaya başlanarak, bu yıllar arasında çeşitli örneklerle sayıları artmıştır. İzmir-Balçova da bu sistemlerin kurulduğu yerlerden biridir. Balçova ‘da yer alan kuyu içi ısı eşanjörleri alınan ısı miktarları ile dünyanın sayılı büyük kuyu içi ısı eşanjörlerinden olmuşlardır. 1981 – 1997 arasında toplam 11 kuyu içi ısı eşanjörü Türkiye’de kullanılmıştır. 2000 yılına gelindiğinde bu sayı 5’e düşmüştür. Bunlardan ikisi Kütahya-Simav, diğer üçü de Balçova ‘da (Tablo 5.1) bulunmaktaydı. Bu beş kuyu içi ısı eşanjörü bir kuyuda yer alan boru demetlerinden oluşmaktaydı. Balçova ‘da 2000 yılında bulunan bu kuyu içi eşanjörleri Şekil 5.12’de görülmektedir. Kuyular, 100 m derinlikte ve ısı eşanjörü boruları 10 m uzunluğunda kurulmuştur. (Lund 1999) Borular, Şekil 5.13’de görüldüğü gibidir.

Tablo 5.1 2000 yılında Balçova’da yer alan kuyu içi ısı eşanjörlerine ait veriler
(Lund 1999)

Kuyu No	Isı ve Debi Alımı	Kuyu Dibi Sıcaklığı	Dolaşım Sıcaklıkları	Akış Hızı	Loop sayısı
B-1	1,16 MWt (13,8 kg/s)	114	70/50	3,5 m/s	2
B-5	0,65 MWt (7,7 kg/s)	124	70/50	1,9 m/s	2
B-7	0,46 MWt (5,5 kg/s)	114	70/50	1,4 m/s	2

İzmir-Seferihisar’da, bir kuyu açılarak yapılan çalışmada artezyenik olarak 200 t/h debide akışkan çıkarılmıştır ve kısa sürede meydana gelen kabuklaşma problemlerini aşmak için bir kuyu içi ısı eşanjörü denenmiştir. 5 l/s’ lik debi ile 5 MWt güç üretmiştir. Kuyu içi ısı eşanjörünün debisi, seralarda kullanılacak 70-80°C akışkan sıcaklığını sağlayacak şekilde sabit tutulmuştur. Artık kullanımda olmayan bu kuyu içi ısı eşanjörünün 1990 yılındaki karakteristiği aşağıdaki gibidir .(Lund 1999)

Derinlik: 250 m, muhafaza: 30 cm ile 200 m arası, kuyu dibi sıcaklığı: 153°C basınç: 2.5 bar, kuyu içi ısı eşanjörü: 4 sarımlı (looplu), 5 cm çapında, 187 m uzunluğunda.



Şekil 5.12 Balçova' da kurulan bir kuyu içi ısı eşanjörünün resmi (Lund 1999)



Şekil 5.13 Kuyu içi ısı eşanjöründe kullanılan borular (Lund 1999)

1990'dan sonra kuyu içi ısı eşanjörü kullanımında düşüş gözlenmektedir. Bunun belirli 3 ana nedeni vardır: (1) yüksek sıcaklıklarda çalıőan kuyu içi pompaların olması. (2) eşitli kimyasalların kabuklaşma ve korozyon problemini azaltması. (3) Kuyu içi ısı eşanjörlerinin artezyenik veya kuyu içi pompalı kuyulara göre 1/7 oranında daha az ısı alımına olanak tanınması olarak belirtilebilir.

6.KUYUİÇİ EŞANJÖRLERİ İLE KONUT ISITILMASI

6.1 Konutun Bulunduğu Yer, Coğrafi İklim Özellikleri, Yerleşim Planı

Konutun Bulunduğu Yer: Aydın (Birinci Isı Bölgesi)

Dış Ortam Sıcaklığı : -3 °C

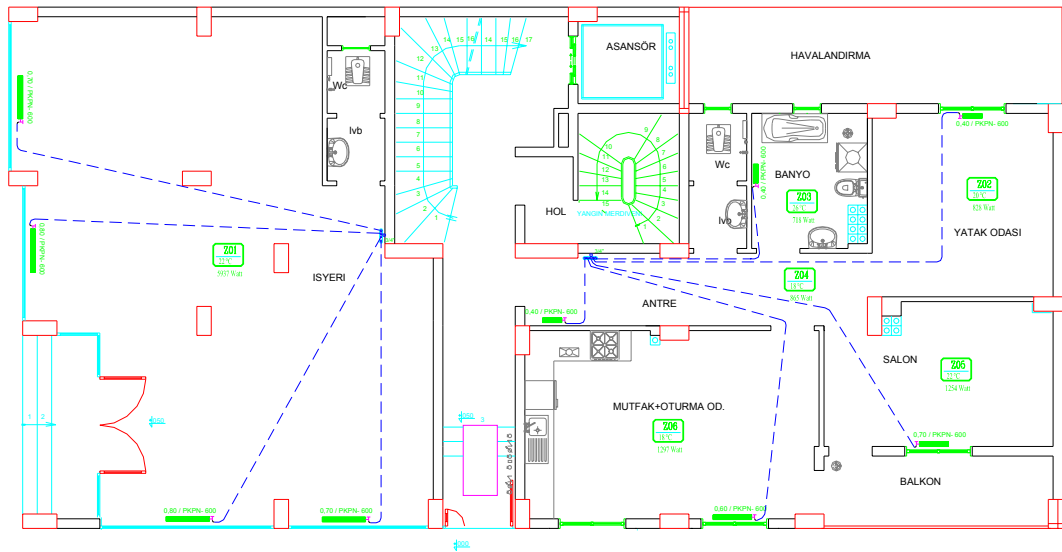
Kat Sayısı: İki (Bodrum + Zemin + 1. Kat)

Kat Yüksekliği: 9 m

Bölge Rüzgar Durumu : Rüzgarlı

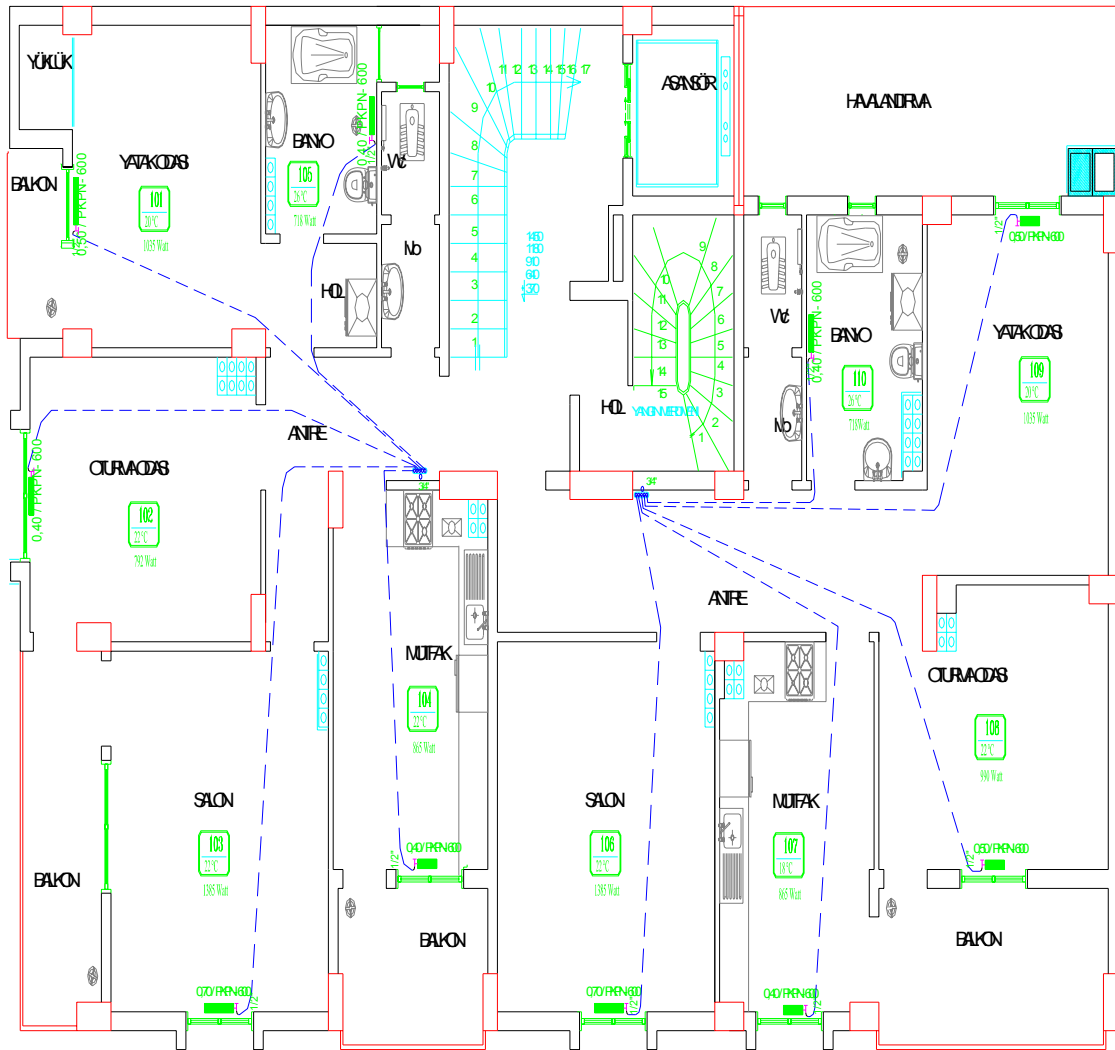
Binanın Konumu : Serbest

Isı kaybı hesabı yapılacak olan binaya ait yerleşim planları Şekil 6.1 ve Şekil 6.2 de gösterilmiştir.



ZEMİN KAT PLANI Ö:1/50

Şekil 6.1 Zemin kat planı



1.NORMAL KAT PLANI Ö: 1/50

Şekil 6.2 Normal kat planı

6.2 Konutun Isı Yükünün Hesaplanmasında İzlenecek Yol

Isı yükü hesabına esas olarak, TSE 825 esas alınmış, ve öncelikle ısı yalıtım projesi yapılmıştır. Bütün binaya ait hesaplarda depreme dayanıklılık ve dış kabuk olarak nitelendirilen duvar ve çatı bileşenlerinin bu yalıtım esaslarına göre hesapları yapılmıştır.

Isı kaybı projesi bu yalıtım hesapları esas alınarak yapılacaktır. Hesaplarda SI birim sistemi uygulanmıştır.

Isı kaybı hesapları için gerekli sayısal değerler, Şekil 6.1 ve Şekil 6.2 de verilmiştir. Hesaplar aşağıdaki yöntemler takip edilerek yapılacaktır (Karakoç 2001).

6.2.1 Isı kaybına esas teşkil edecek olan verilerin belirlenmesi

6.2.1.1 Yapı konumunun belirlenmesi

Yapının bulunduğu şehir ve ısı bölgesine ait veriler yukarıda verilmiştir. Bina serbest cepheli olup, kalorifer tesisatı ile ısıtılacaktır. Yukarıda mimari projede gösterildiği gibi her bir hacim numaralandırılmış ve ayrıca iç ve dış sıcaklıklar belirlenmiştir (Şekil 6.1 ve Şekil 6.2)

6.2.1.2 Isıtma sistemi özellikleri

Isı kaybı hesabı yapılacak olan bina jeotermal sistem ile ısıtılacaktır. Kuyu içi ısı eşanjörüne giriş sıcaklığı 50 °C olup, kuyu içi eşanjörün tasarım parametlerine bağlı olarak eşanjörden çıkış sıcaklığı değişmekte olup, hesaba esas olan ısı yükü eşanjörün çıkış sıcaklığına bağlı olarak debi ile dengelenmektedir. Sistem alttan dağıtım olmalı olup, alttan toplmalıdır. Sistemde jeotermal kaynaklı kuyu içi eşanjör kullanılacağı için, kazan, kazan ekipmanları ve eşanjör kullanılmamaktadır. Sadece su sirkülasyonunu sağlamak için sirkülasyon pompası kullanılacaktır (Genceli ve Parmaksızoğlu 2006).

6.2.1.3 Hesaba esas alınacak dış sıcaklık ve iç sıcaklık değerleri(Karakoç 2001)

Isı kaybına esas dış sıcaklık değerleri Tablo 6.1 den Aydın ili için -3 °C ve iç sıcaklık değerleri Tablo 6.2 den alınmış olup, standart olan bu değerler TS 2164 numaralı standartta verilmiştir. Buna göre ısıtılacak mahallere ait iç sıcaklık değerleri Tablo 6.3 te ayrıca verilmiştir. Depo, çatı arası, bodrum kat gibi sık kullanılmayan hacimler ısıtılmaz. Isıtılan hacimlerle komşu olan ısıtılmayan hacimlerin sıcaklıkları bilinmiyorsa bu durumda ısıtılan hacimlerin ısı kayıpları hesaplanamaz. Bundan dolayı ısıtılmayan mahallerin iç sıcaklıkları deneme yoluyla belirlenmiş olup Tablo 6.4 te verilmiştir.

Tablo 6.1 Kalorifer tesisatı projelendirme illere göre dış hava sıcaklık değerleri
(Genceli ve Parmaksızoğlu 2006)

Şehir İsmi	Sıcaklık Değeri(°C)	Şehir İsmi	Sıcaklık Değeri(°C)
Adapazarı	-3 R	Hakkari	-24
Adana	0 R	Isparta	-9
Adıyaman	-9	İstanbul	-3 R
Afyon	-12 R	İzmir	0 R
Ağrı	-24	İzmit	-3 R
Aksaray	-15	Karabük	-12
Amasya	-12	Kastamonu	-12
Ankara	-12 R	Kayseri	-15
Antakya	0 R	Kırklareli	-9 R
Antalya	+3 R	Kırşehir	-12
Artvin	-9	Konya	-12
Aydın	-3 R	Kütahya	-12
Balıkesir	-3 R	Malatya	-12
Bartın	-3 R	Manisa	-3 R
Batman	-9	Maraş	-9
Bilecik	-9 R	Mardin	-6
Bingöl	-18 R	Mersin	+3
Bitlis	-15	Muğla	-3 R
Bolu	-15	Muş	-18
Burdur	-9	Nevşehir	-15
Bursa	-6 R	Niğde	-15 R
Çanakkale	-3 R	Ordu	-3
Çankırı	-15	Rize	-3
Çorum	-15	Samsun	-3 R
Denizli	-6	Siirt	-9
Diyarbakır	-9 R	Sinop	-3 R
Edirne	-9	Sivas	-18
Elazığ	-12	Tekirdağ	-6 R
Erzincan	-18	Tokat	-15
Erzurum	-21	Trabzon	-3
Eskişehir	-12	Tunceli	-18
Gaziantep	-9	Urfa	-6 R
Gemlik	-3 R	Uşak	-9 R
Giresun	-3	Van	-15
Gümüşhane	-12	Yozgat	-15
		Zonguldak	-3 R

Tablo 6.2 Kalorifer tesisatı projelendirme iç hava sıcaklık değerleri(Karakoç 2001)

ISITILACAK HACMİN ADI	SICAKLIK(°C)	ISITILACAK HACMİN ADI	SICAKLIK(°C)
KONUT		HASTANE YAPILARI	
Oturma odası (salon)	+22	Hastane yatak ve poliklinik odası	+20
Yatak odası	+20	Banyo,duş ve ameliyathaneler	+22
Antre,hela,mutfak	+18	Röntgen ve röntgen soyunma odaları	+22
Banyo	+26	Eczane ve laboratuvar hacimleri	+20
Merdiven	+10	Merdiven ve asansör boşluğu	+18
İŞ VE İDARE BİNALARI		Koridor,bekleme salonu,hol ve helalar	+18
Berber,terzi dükkanı	+20	CEZA VE TUTUK EVİ	
Lokanta,otel ve pansiyon odası	+20	Tek odalı ,yatak odaları	+20
Bekleme odası	+20	Hafif iş atölyesi ve koğuş	+18
İş atölyesi oturarak çalışma	+20	Banyo,duş ,soyunma hacimleri	+26
Tesviye,torna,marangoz vb atölye	+18	Hela	+15
Demir,döküm,pres vb atölyeler	+18	ÇEŞİTLİ YERLER	
Elektrik,bobinaj vb atölyeler	+20	Sergi evleri,müzeler genel gardroplar	+15
Motor ve yenileştirme atölyesi	+20	Sinema ve tiyatro salonları	+18
Kaporta,boya vb iş atölyesi	+18	Garajlar	+10
Merdiven ve asansör boşluğu	+15	Ahır ve ağıl	+12
Koridor,hela	+15	Yüzme havuzu	
Toplantı salonu	+20	Bekleme salonu	+18
Sinema,tiyatro,gazino vb eğlence sal.	+18	Banyo ve duş odalarına geçiş yolu	+20
Büro hacimleri (Md. Memur odası)	+20	Soyunma ve giyinme odaları	+22
Arşiv hacimleri	+15	Kurna ve duş odaları	+20-+22

(Tablo 6.2'nin devamı)

OKULLAR		Yüzme havuzu hacmi	+20-+22
Derslik,doğal bilim öğretimi için hacimler	+22	Roma hamamı ve sauna	
Pedagoji merkezleri,kreş odaları	+22	Soyunma ve son terleme odası	+22
Çeşitli amaçlara sahip eğitim salonları	+22	Birinci terleme hacmi	+40-+50
Öğretmen ve yönetici odaları	+22	İkinci terleme hacmi	+50-+60
Dersli öğretim mutfağı ve iş atölyesi	+15-+18	Yıkanma ve duş hacmi	+26
Öğretim aracı deposu,labaratuar,vestiyer	+15	Sıhhi banyo hacmi	+26
Duş,soyunma ve giyinme odaları	+26	Ser binaları	
Revir,doktor ve muayene odaları	+24	Normal çiçek ve bitkiler	+15
Koridor,merdiven ve asansör boşluğu	+10-+15	Sıcak iklim bitkileri	+25
Kapalı teneffüs salonları ve helalar	+10-+15		
Kreşlerde koridor ve merdivenler	+15	Büro hacmi	+20
Kreşlerde asansör boşluğu ve hela	+15	Merdiven ve asansör boşluğu	+18
Okullarda konferans salonları	+18	Jimnastik salonu	+18
Jimnastik (spor) salonları	+15	Kütüphane ve okuma salonu	+20
Ortopedik jimnastik salonu	+20	Ambar ve depolar	+10
FABRİKA YAPILARI		Çoğunluklu dükkanlar	+18
Ağır iş yapan atölye ve montaj yeri	+15		
Hafif iş yapan atölyeler	+18		
Kadın işçilerin çalıştığı dikiş atölyeleri	+20		

Tablo 6.3 Kalorifer tesisatı projelendirme iç hava sıcaklık değerleri(Karakoç 2001)

İşyeri	22 °C
Yatak Odası	20 °C
Banyo	26 °C
Salon	22 °C
Mutfak	18 °C

Tablo 6.4 Isıtılmayan mahallerin sıcaklıkları (Karakoç 2001)

DIŞ SICAKLIKLAR	°C	3	0	-3	-6	-9	-12	-15	-18	-21	-24	-27
ÇATI ARASINDAKİ ISITILMAYAN YERLER	K<2	9	7	4	2	-1	-3	-6	-8	-11	-13	-16
	2<K<5	6	4	1	-1	-4	-6	-9	-11	-14	-16	-19
	K>5	3	1	-2	-4	-6	-9	-12	-14	-17	-19	-22
ISITILMAMIŞ YERLER	İçeriye veya bodruma kapı veya pencere, bü yük bir kısmı ısıtılmış yerlerle çevrili	15	14	12	10	9	7	5	3	2	0	-1
	Dışa kapı veya pencere, bir kısmı ısıtılmış yerlerle çevrili	12	8	6	5	3	1	0	-2	-4	-6	-7
TOPRAK SICAKLIĞI	Döşeme altındaki	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
	Dış duvara bitişik	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5
BİTİŞİK EVLERİN SICAKLIĞI	Merkezi ısıtmalı	15										
	Mahalli ısıtmalı	10										
	Kazan dairesi	20										
	Kömürlük	10										

6.2.2 İletimle olan ısı kaybı hesabı (Q_0)

İletim ve taşınım yoluyla ısı kaybı aşağıdaki ifade ile hesaplanır.

$$Q_0 = A \cdot U \cdot \Delta T \quad (6.1)$$

Burada:

Q_0 : Bir ortamdan diğer ortama geçen ısı miktarı (W)

U: Yapı bileşeninin toplam ısı geçirgenlik katsayısı (W/m²K)

A: Yapı bileşeninin yüzey alanı (m²)

ΔT : Yapı bileşeninin iki tarafındaki sıcaklık farkı (K)

Denklem 6.1'deki toplam ısı geçirgenlik katsayısı U, çeşitli kalınlıklardaki katmanlardan (iç sıva + delikli tuğla + dış sıva gibi) oluşan yapı bileşeninin 1 m²'sinden 1 °C'lik sıcaklık farkı bulunması durumunda saatte Watt cinsinden geçen ısı miktarını vermektedir. Her bir yapı bileşeninin ısı iletkenlik hesap değerleri λ (W/mK) tablolardan bulunabilir (Tablo 6.5).

Tablo 6.5 Binanın ısı kaybı hesabında kullanılacak λ , d ve $1/\alpha$ değerleri (Karakoç 2001)

Binadaki Yapı Elemanları		Yapı elemanının Kalınlığı d (m)	Isı iletkenlik hesap değeri λ (W/mk)	d/ λ (m ² K/W)
Duvar yüzeyleri	İç yüzey film katsayısı (α_i)			0,13
	Kireç-çimento harcı	0,02	0,87	0,023
	Gaz beton	0,25	0,15	1,667
	Poliüretan sert köpük levhalar	0,02	0,035	0,571
	Çimento harcı	0,01	1,4	0,007
	Dış yüzey film katsayısı (α_d)			0,04
Duvar yüzeyleri Kolon	İç yüzey film katsayısı (α_i)			0,13
	Kireç-çimento harcı	0,02	0,87	0,023
	Gaz beton	0,30	2,10	0,143
	Poliüretan sert köpük levhalar	0,02	0,035	0,571
	Çimento harcı	0,01	1,4	0,007
	Dış yüzey film katsayısı (α_d)			0,04
Duvar yüzeyleri	İç yüzey film katsayısı (α_i)			0,13
	Kireç-çimento harcı	0,02	0,87	0,023
	Gaz beton	0,25	2,10	0,143
	Poliüretan sert köpük levhalar	0,02	0,035	0,571

Kiriş	Çimento harcı	0,01	1,4	0,007
	Dış yüzey film katsayısı (α_d)			0,04
İç ortama bitişik döşeme	İç yüzey film katsayısı (α_i)			0,17
	Ahşap parke	0,01	0,13	0,077
	Çimento harçlı şap	0,05	1,4	0,036
	Poliüretan sert köpük levhalar	0,05	0,035	1,429
	Donatılı beton	0,12	2,1	0,057
	Kireç-çimento harcı	0,02	0,87	0,023
İç ortama bitişik döşeme	İç yüzey film katsayısı (α_i)			0,17
	Fayans	0,01	3,5	0,077
	Çimento harçlı şap	0,05	1,4	0,036
	Poliüretan sert köpük levhalar	0,05	0,035	1,429
	Donatılı beton	0,12	2,1	0,057
	Kireç-çimento harcı	0,02	0,87	0,023
Dış havaya açık tavan	İç yüzey film katsayısı (α_i)			0,17
	Fayans	0,01	3,5	0,077
	Çimento harçlı şap	0,05	1,4	0,036
	Poliüretan sert köpük levhalar	0,05	0,035	1,429
	Donatılı beton	0,12	2,1	0,057
	Kireç-çimento harcı	0,02	0,87	0,023

U toplam ısı geçirgenlik katsayısı denklem 6.2’de verilen ifadelerden hesaplanabilir.

$$1/U = 1/\alpha_i + \sum(d/\lambda_h) + 1/\alpha_d \quad (6.2)$$

U : Yapı bileşeninin toplam ısı geçirgenlik katsayısı (W/m²K)

1/U : Yapı bileşeninin toplam ısı geçirgenlik direnci (m²K/W)

d : Yapı bileşeninin kalınlığı (m)

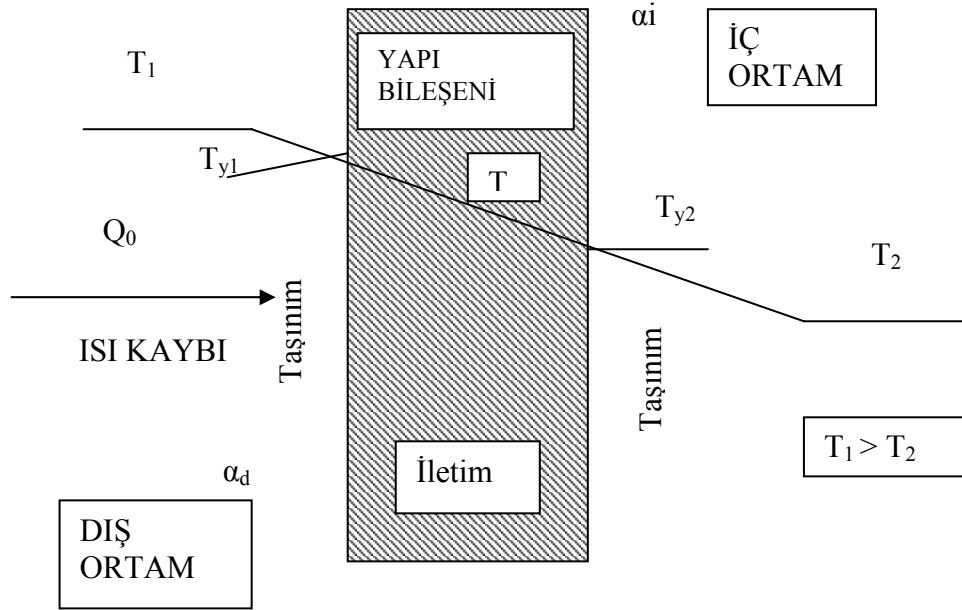
λ_h : Yapı bileşeninin ısı iletkenlik hesap değeri (W/mK)

α_i : İç yüzeyin yüzeysel ısı taşınım katsayısı (W/m²K)

1/ α_i : İç yüzeyin yüzeysel ısı taşınım direnci (m²K/W)

α_d : Dış yüzeyin yüzeysel ısı taşınım katsayısı (W/m²K)

1/ α_d : Dış yüzeyin yüzeysel ısı taşınım direnci (m²K/W)



Şekil 6.3 İletim ve taşınım yoluyla ısı geçişi

T_1 sıcaklığındaki iç ortamdaki duvara doğru taşınım ile ısı geçişi olmaktadır. T_{y1} sıcaklığındaki duvar iç yüzeyinden T_{y2} sıcaklığındaki duvar dış yüzeyine doğru iletimsel bir ısı geçişi söz konusudur. T_{y2} sıcaklığındaki dış yüzeyden, T_2 sıcaklığındaki dış ortama ise taşınım yoluyla bir ısı geçişi olmaktadır.

Biz yapı bileşenleri için ısı geçirgenlik katsayılarını bu şekilde hesaplıyoruz. Kapı ve pencereler için ısı geçirgenlik katsayılarını Tablo 6.6'dan okuyabiliriz. İç ve dış yüzeylerin yüzeyel ısı taşınım katsayıları değerlerini de Tablo 6.7'den okuyabiliriz.

Tablo 6.6 Kapı ve pencerelerin ortalama ısı geçirme katsayıları (Genceli ve Parmaksızoğlu 2006)

PENCERE VE KAPILAR	ISI GEÇİRME KATSAYISI (U) W/m ² K
AHŞAP PENCERE VE KAPILAR	
Basit tek camlı pencere ve dış kapı	5,24
Özel birleştirilmiş çift camlı pencere ve dış kapı (iki cam arası 6 mm)	3,26
Özel birleştirilmiş çift camlı pencere ve dış kapı (iki cam arası 9 mm)	3,02
Özel birleştirilmiş çift camlı pencere ve dış kapı (iki cam arası 12 mm)	2,80
Camsız dış kapı	3.49

Bitişik çift kanatlı pencere dış kapı	2,56
Kasalı çift kanatlı pencere ve dış kapı	2,56
METAL PENCERE VE KAPILAR	
Basit tek camlı pencere ve dış kapı	5,82
Özel birleştirilmiş çift camlı pencere ve dış kapı (iki cam arası 6 mm)	3,96
Özel birleştirilmiş çift camlı pencere ve dış kapı (iki cam arası 9 mm)	3,72
Özel birleştirilmiş çift camlı pencere ve dış kapı (iki cam arası 12 mm)	3,61
Bitişik (muntabık) çift kanatlı pencere dış kapı	3,49
Kasalı çift kanatlı pencere ve dış kapı	3,26
Tepe penceresi (basit)	5,82
Tepe penceresi (çift)	3,49
PLASTİK (PVC) PENCERELER	
Basit tek camlı pencere	5,0
Özel birleştirilmiş çift camlı pencere ve dış kapı (iki cam arası 6 mm)	3,02
Özel birleştirilmiş çift camlı pencere ve dış kapı (iki cam arası 9 mm)	2,80
Özel birleştirilmiş çift camlı pencere ve dış kapı (iki cam arası 12 mm)	2,67
Özel birleştirilmiş çift camlı pencere	2.59

Tablo 6.7 İç ve dış hava tarafındaki ısı taşınım katsayıları (Genceli ve Parmaksızoğlu 2006)

YÜZEY VE ISI AKIMI YÖNÜ	ISI TAŞINIM KATSAYISI (α) m ² K/W
(Hava akımı normal, kapalı hacimlerde)	
Duvar ve iç pencere yüzeyleri iç tarafında	0,13
Dış pencere yüzeyleri iç tarafında	0,08
Isı akımı aşağıdan yukarıya olan döşeme yüzeyleri	0,13
Isı akımı yukarıdan aşağıya olan döşeme yüzeyleri	0,17
Dış yüzeylerde	0,04

Q_0 , artırısız iletimsel ısı kaybıdır. Bize gerekli olan ise artırılı ısı kaybıdır. Her hacmin artırısız ısı kaybına yüzde olarak artırım katsayıları eklenerek artırılı iletimsel ısı kaybı bulunur.

6.2.3 Artırılı iletimsel ısı kaybı hesabı (Q_i)

$$Q_i = Q_0(1 + \%Z_D + \%Z_H + \%Z_W) ; (W) \quad (6.3)$$

6.2.3.1 Birleştirilmiş artırım katsayısı [Z_D]

İşletme zammı olarak da adlandırdığımız Z_D , soğuk dış yüzey ısı artırımı (Z_A) ile kesintili ısıtma rejimi (Z_U) toplamına eşittir. Z_A artırımı, ısıtılan hacimde soğuk dış yüzeylere radyasyonla olan ısı kaybının olumsuz etkilerini karşılamak için kabul edilen bir artırım katsayısıdır.

Hacmi çevreleyen dış yüzey oranına bağlıdır. Z_A artırımı, ısıtma rejiminin azaltılmasından ve işletmeye bir süre ara verilmesinden sonra, soğuyan yapı bileşenlerinin ve ısıtma sistemi elemanlarının kısa zamanda tekrar eski sıcaklıklarına getirilmesi için göz önüne alınan ısı kapasitesi artırımıdır. Yapı ve ısıtma sistemi ne kadar ağırsa ve ne kadar çok kesintili çalışıyorsa bu artırım o kadar büyük olmalıdır.

Bir hacmin kullanılma maksadına göre günlük ısıtma süreleri birbirinden farklı olabilir. Diğer taraftan aynı ısı kaybına sahip olan ve aynı iç ve dış sıcaklık farklarına sahip olan hacimlerin yüzey alanları birbirinden farklı olabilir.

İşte bu iki durumu dikkate alan zamma "kesintili çalışma zammı" ya da "işletme zammı" denir. % olarak ifade edilir. D işletme katsayısı ve işletme durumu belirler(Karakoç 2001).

$$D = Q_0 / [A_{top}(t_i - t_d)] \quad ; \quad \text{kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C} \quad (\text{W/m}^2\text{K}) \quad (6.4)$$

Burada Q_0 artırımısız iletimsel ısı kaybı, A_{top} ise ısı kaybı hesaplanan hacmi çevreleyen tüm yüzeylerin m^2 olarak alanları toplamıdır. Isıtma tesisatının çalıştırılmasında verilen araya göre üç tip işletme tanımlanmıştır.

I.İşletme : Tesisat sürekli çalıştırılır ve yalnız geceleri ateş azaltılır

II.İşletme : Ateş her gün 10 saat tamamen söndürülür.

III.İşletme : Ateş her gün 14 saat veya daha uzun süre tamamen söndürülür.

Tablo 6.8 Birleştirilmiş artırım katsayısı(Karakoç 2001)

İşletme Durumu	D			
	0.1-0.29	0.30-0.69	0.70-1.49	≥ 1.50
I.İşletme	7	7	7	7
II.İşletme	20	15	15	15
III.İşletme	30	25	20	15

6.2.3.2 Yön artırım katsayısı (Z_H)

Güneşin hareketine bağlı olarak özellikle kuzey yarım küredeki binaların güneye bakan hacimleri,kuzeye bakan hacimlere göre güneş enerjisinden daha fazla yararlanır. Bu durumu dikkate alan zamma "yön zammı" denir.

Güneş ışınlarının radyasyonu nedeniyle bir hacmin iletimsel ısı kaybına dış duvarlarının baktığı yöne göre Z_H yön artırımı uygulanır (Karakoç 2001).

Z_H yön artırımı seçiminde;

- Eğer hacimde sadece bir tek dış duvar var ise dış duvarın baktığı yön esas alınır.
- Eğer bir hacmin birbirine bitişik iki dış duvarı var ise o duvarların köşegeninin yönü esas alınır.
- Eğer bir hacmin ikiden fazla dış duvarı var ise bu durumda zammı en yüksek olan duvarın bulunduğu yön esas alınır.

Tablo 6.9 Yön artırım katsayısı (Karakoç 2001)

YÖN	G	GB	B	KB	K	KD	D	GD
% Z_H	-5	-5	0	5	5	5	0	-5

6.2.3.3 Yüksek katlar ve yüksek kat artırım katsayısı (Z_w)

Yapı bileşenlerinin U ısı geçirme katsayılarının hesaplanmasında önemli terimlerden biri bina dış yüzeyindeki ısı taşınım katsayısıdır. Daha önce hesaplamalarda kullandığımız $\alpha_d = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$ değeri 2 m/s rüzgar hızı için hesaplanmış bir değerdir. Halbuki zemin (dış toprak) seviyesinden yukarıya doğru çıkıldıkça rüzgar hızı ve rüzgar basıncı da artmaktadır. Bu nedenle çok katlı binaların üst katlarına doğru çıkıldıkça α_d ısı taşınım katsayıları da rüzgar hızı arttıkça artar. Böylece üst katların yüzeylerinden olan ısı kaybı alt katlara göre oldukça fazlalaşır. Diğer taraftan ısıtıcı akışkanların ısıtıldığı kazan daireleri zeminde olup üst katları ısıtmak üzere gönderilen sıcak su, üst katlara ulaşmaya kadar çevreye olan ısı kaybı nedeniyle sıcaklığı düşer. Bunun anlamı aynı sıcak suyun üst katlardaki ısıtma performansının alt katlara göre daha az olması şeklinde ifade edilebilir. O halde bu her iki etkiyi dikkate alan bir zam yapılması gereklidir. Buna "Kat Yükseklik Zammı" yani Z_w denir uygulanır (Karakoç 2001, MMO 2001). Bu nedenle, artırısız iletimsel ısı kayıplarına Tablo 6.10'da belirtilen oranlarda kat yükseklik artırımları eklenmelidir.

Tablo 6.10 Kat Yükseklik artırımını (Karakoç 2001)

	Bina Toplam Kat Adedi												Z_w
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
12Kat Numaraları	3.2.1	3.2.1	3.2.1	3.2.1	3.2.1	3.2.1	3.2.1	3.2.1	3.2.1	3.2.1	4.3.2.1	5.4.3.2.1	0
	4	4	5.4	5.4	5.4	6.5.4	6.5.4	6.5.4	6.5.4	6.5.4	7.6.5	8.7.6	%5
		5	6	6	7.6	8.7	9.8.7	9.8.7	6.5.4	6.5.4	7.6.5	8.7.6	%10
				7	8	10	10	11.10	11.10	12.11.10	13.12.11	14.13.12	%15
								11	12	13	14	15	%20

O halde artırımlı iletimsel ısı kaybını şu şekilde hesaplayabiliriz:

$$Q_i = Q_0(1 + \%Z_D + \%Z_H + \%Z_w) \text{ ya da}$$

$$Q_i = Q_0(1 + \sum Z) \quad (W) \quad (6.5)$$

6.2.4 Hava sızıntısı (enfiltasyon) ile ısı kaybı hesabı (Q_{inf})

Kapatılmış durumda olan pencere ve kapıların açılan kanatları kasaları ile tam çakışmamakta ve arada bir boşluk kalmaktadır. Dış hava ile hacmin iç havası arasındaki

basınç farkı nedeniyle bu aralıktan içeriye soğuk olan dış hava sızmaktadır. Odaya sızan dış hava, aynı miktarda ve sıcak olan iç havanın dışarıya sızmasına neden olmaktadır. Bu durumda, odaya sızan soğuk dış havanın oda sıcaklığına kadar ısıtılması gerekmektedir. Bu soğuk sızıntı havasını ısıtmak için gereken ısı miktarına hava sızıntısı (enfiltrasyon) ısı kaybı denir. Hava sızıntısı ısı kaybı:

$$Q_{inf} = \sum(a.L).R.H.E.Ze.\Delta T \quad (W) \quad (6.6)$$

şeklinde ifade edilir.

6.2.4.1 Hava sızıntısı katsayısı (a)

Bir binanın veya bir hacmin hava sızdıran balkon veya pencere gibi elemanlarının 1 m uzunluğundan sızan hava miktarıdır. Birimi m^3/mh olarak ifade edilir. Pencere ve kapı çerçevelerinin malzemesine göre çizelgeden okunur.

Hava sızıntısı ısı kaybı hesabında iki farklı duvarda pencere varsa en geniş pencere alanı olan duvardaki pencereler göz önüne alınır.

Tablo 6.11 Pencere ve kapı çerçevesinin hava sızdırma katsayısı (Karakoç 2001)

Malzeme	Pencere ve kapı şekli	a
Ahşap	Tek pencere	3,0
Ahşap	Çift camlı pencere	2,5
Ahşap	Çift pencere	2,0
Plastik çerçeve	Tek veya çift camlı pencere	2,0
Plastik çerçeve	Tek pencere	1,5
Çelik veya metal çerçeve	Çift camlı pencere	1,5
Çelik veya metal çerçeve	Çift pencere	1,5
İç kapılar	Eşiksiz kapılar	40,0
İç kapılar	Eşikli kapılar	15,0
Dış kapılar aynen pencere gibi		

6.2.4.2 Oda durum katsayısı (R)

Oda katsayısı hesaplanan $\sum(a.L)$ değeri ile oda içine giren havanın akıp gidebilme durumunu belirtir. Çoğu halde pencereler vasıtası ile içeri sızan hava iç kapılardan dışarı sızar ve en gayri müsait halde odaya giren hava kadar hava dışarı sızar. R katsayısı hesaplanan hava miktarına oda durumunun gösterdiği direnci belirtir. R katsayısının tam olarak hesabı imkânsızdır.

Normal ebatta pencere ve kapıları olan odalar için $R = 0,9$ büyük pencereleri, buna mukabil bir tek iç kapısı olan odalar için ise $R = 0,7$ değeri kullanılır. Oda durum katsayısı $\sum A_p/A_i$ kapı oranına, iç kapının eşikli veya eşiksiz oluşuna ve malzemeye göre aşağıdaki tablodan okunur.

Tablo 6.12 Oda durum katsayısı (Karakoç 2001).

	İç Kapı	Ap (Pencere alanı)	R
		Ai (iç kapıların alanı)	
Tahta veya Plastik pencere	Aralıklı	< 3	0,9
	Aralıksız	< 1,5	
Çelik veya Metal pencere	Aralıklı	< 6	
	Aralıksız	< 2,5	
Tahta veya Plastik pencere	Aralıklı	3 ile 9	0,7
	Aralıksız	1,5 ile 3	
Çelik veya Metal pencere	Aralıklı	6 ile 20	
	Aralıksız	2,5 ile 6	

6.2.4.3 Bina durum katsayısı (H)

Yapı durum katsayısı çeşitli inşaat tarzları ve bölgenin rüzgar durumunu kapsayan bir katsayıdır. Binanın bulunduğu bölgenin rüzgarlı veya normal oluşu ile binanın korunmuş, serbest veya çok serbest durumlarına göre ve binanın çevre binalara göre

bitişik yada ayrıık nizamda oluşuna göre belirlenen bir katsayıdır. Birimi : $\text{kJ/ m}^3\text{K}$ ya da $\text{kcal/ m}^3\text{K}$ olarak gösterilir. Hesaplarda kullanılan H değerleri Tablo 6.13 ten seçilir.

Tablo 6.13 Bina durum katsayısı (Karakoç 2001)

Bölgenin durumu	Binanın durumu	H Katsayısı	
		Bitişik Nizam	Ayrıık Nizam
Normal bölge	Korunaklı	0,24	0,34
	Serbest	0,41	0,58
	Çok Serbest	0,60	0,84
Rüzgârlı bölge	Korunaklı	0,41	0,58
	Serbest	0,60	0,84
	Çok serbest	0,82	1,13

6.2.4.4 Bina durum katsayısına etki eden artırım katsayısı (E)

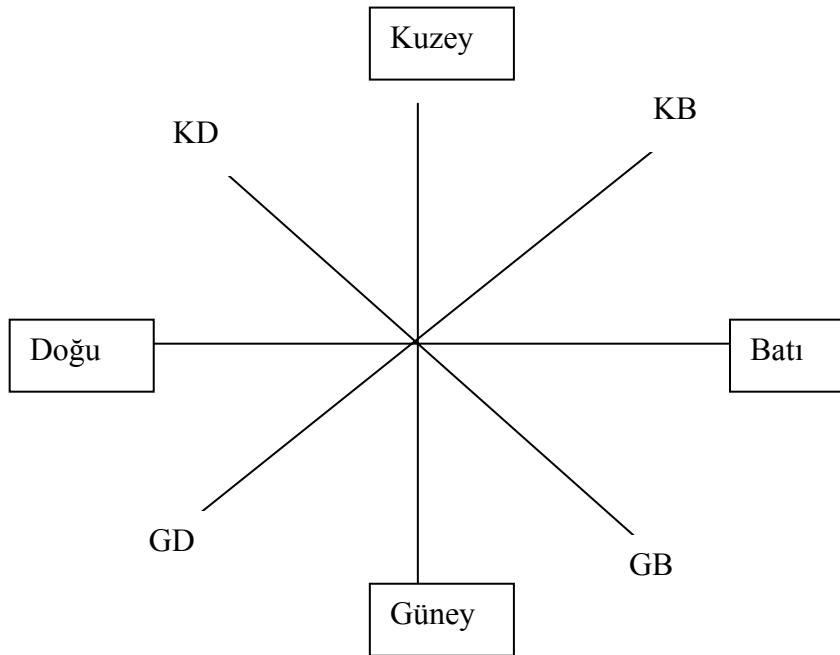
Yukarıya doğru çıkıldıkça rüzgar hızı ve buna bağlı olarak rüzgar basıncı da çok artacaktır. Bu nedenle iç ve dış ortam arasındaki basınç farkı değeri yukarıya doğru çıkıldıkça artacaktır.

Böylece içeriye yüksek katlara giren hava alt katlara göre daha fazla olacaktır. Bunu göz önüne almak üzere H yapı durum katsayıları yüksekliğe bağlı bir katsayı ile çarpılmaktadır. Tavsiye edilen artırım katsayıları Tablo 6.14'te verilmektedir.

Tablo 6.14 H için katsayı (Karakoç 2001)

Y(m)	5	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
	10												75
E	1,0	1,2	1,4	1,5	1,6,	1,7	1,9	2	2	2,1	2,2	2,3	2,4

Y : Yerden yükseklik



Şekil 6.4 Yönler

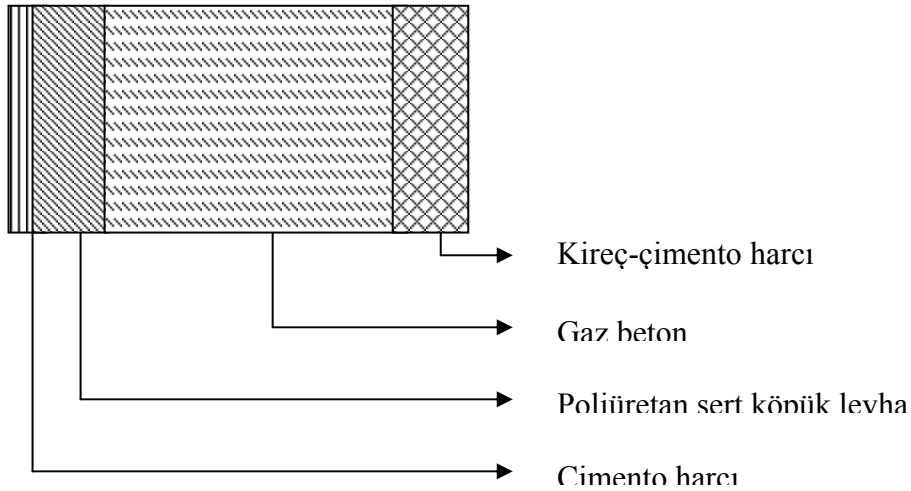
6.3 Konutun Her Bir Hacminin Isı Yüğü Hesabı

6.3.1 Yalıtım hesabı

6.3.1.1 U ısı geçirgenlik katsayısı hesabı ve uygunluğu

Tablo 6.16 Kalorifer tesisatı projelerinde kullanılan semboller (Genceli ve Parmaksızoğlu 2006)

Sembol	Anlamı
T.P.	Tek pencere
Ç.P.	Çift pencere
Ç.C.P.	Çift camlı pencere
D.K.	Dış kapı
İ.K.	İç kapı
B.K.	Balkon kapısı
D.D.	Dış duvar
İ.D.	İç duvar
Ta	Tavan
Dö	Döşeme



Şekil 6.5 Dış duvar iç yapısı

Tablo 6.17 Yapı elemanları ısı iletkenlik katsayıları

	Yapı elemanının Kalınlığı d (m)	Isı iletkenlik hesap değeri λ (W/mK)	d/ λ (m^2K/W)
İç yüzey film katsayısı (α_i)			0,13
Kireç-çimento harcı	0,02	0,87	0,023
Gaz beton	0,25	0,15	1,667
Poliüretan sert köpük levhalar	0,02	0,035	0,571
Çimento harcı	0,01	1,4	0,007
Dış yüzey film katsayısı (α_d)			0,04

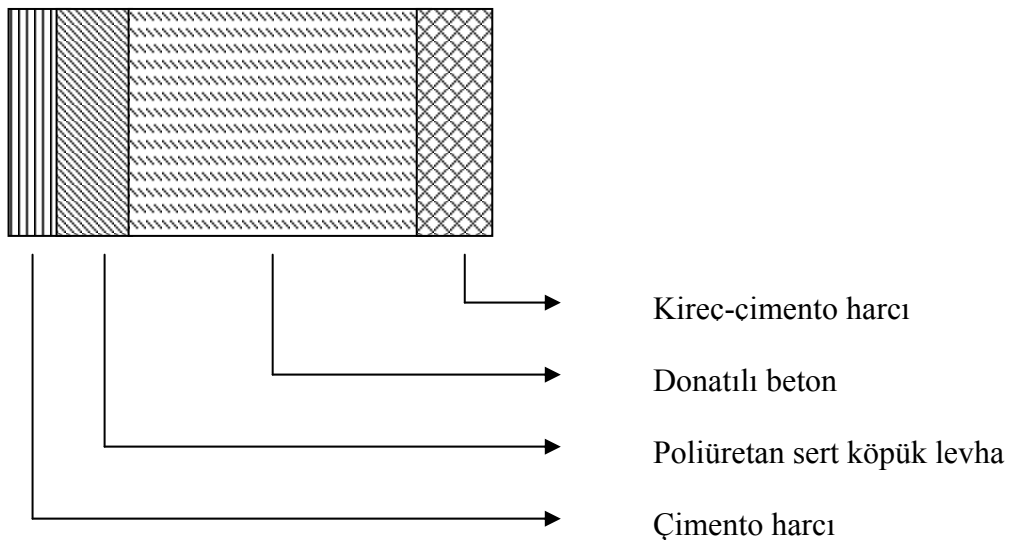
$$1/U = 1/\alpha_i + d_1/\lambda_1 + d_2/\lambda_2 + d_3/\lambda_3 + d_4/\lambda_4 + 1/\alpha_d$$

$$1/U = 1/0,13 + 0,02/0,87 + 0,25/0,15 + 0,02/0,035 + 0,01/1,4 + 1/0,04$$

$$U_D = 0.41 \text{ W/m}^2\text{K} < 0.80 \text{ W/m}^2\text{K} \text{ Uygundur.}$$

* Değerler Tablo 6.5'den alınmıştır.

(b) Kolon (Dış havaya açık)



Şekil 6.6 Kolon iç yapısı

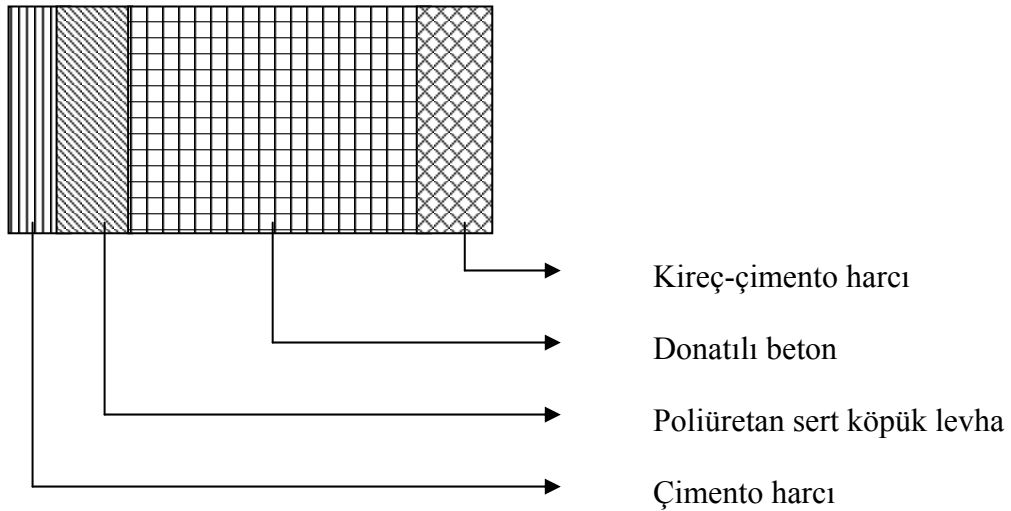
Tablo 6.18 Yapı elemanları ısı iletkenlik katsayıları

	Yapı elemanının Kalınlığı d (m)	Isı iletkenlik hesap değeri λ (W/mK)	d/λ (m ² K/W)
İç yüzey film katsayısı (α_i)			0,13
Kireç-çimento harcı	0,02	0,87	0,023
Gaz beton	0,30	2,10	0,143
Poliüretan sert köpük levhalar	0,02	0,035	0,571
Çimento harcı	0,01	1,4	0,007
Dış yüzey film katsayısı (d)			0,04

$$1/U = 1/i + d_1/\lambda_1 + d_2/\lambda_2 + d_3/\lambda_3 + d_4/\lambda_4 + 1/\alpha_d$$

$$1/U = 1/0,13 + 0,02/0,87 + 0,30/2,10 + 0,02/0,035 + 0,01/1,4 + 1/0,04$$

$$U_D = 1,094 \text{ W/m}^2\text{K}$$

(c) Kiriş (Dış havaya açık)**Şekil 6.7** Kiriş iç yapısı

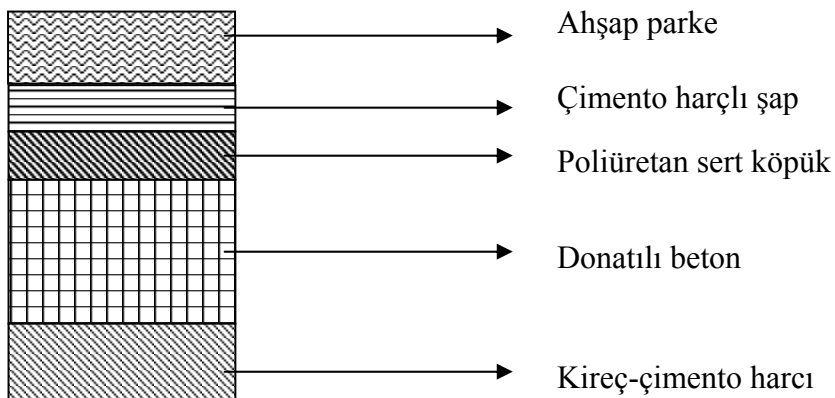
Tablo 6.19 Yapı elemanları ısı iletkenlik katsayıları

	Yapı elemanının Kalınlığı d (m)	Isı iletkenlik hesap değeri λ (W/mK)	d/λ (m ² K/W)
İç yüzey film katsayısı (α_i)			0,13
Kireç-çimento harcı	0,02	0,87	0,023
Gaz beton	0,25	2,10	0,143
Poliüretan sert köpük levhalar	0,02	0,035	0,571
Çimento harcı	0,01	1,4	0,007
Dış yüzey film katsayısı (α_d)			0,04

$$1/U = 1/\alpha_i + d_1/\lambda_1 + d_2/\lambda_2 + d_3/\lambda_3 + d_4/\lambda_4 + 1/\alpha_d$$

$$1/U = 1/0,13 + 0,02/0,87 + 0,25/2,10 + 0,02/0,035 + 0,01/1,4 + 1/0,04$$

$$U_D = 1,124 \text{ W/m}^2\text{K}$$

(d) İç ortama bitişik taban**Şekil 6.8** Taban iç yapısı

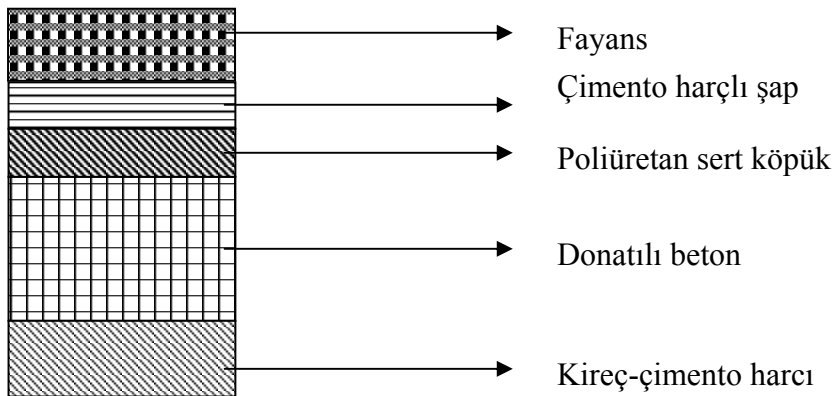
Tablo 6.20 Yapı elemanları ısı iletkenlik katsayıları

	Yapı elemanının Kalınlığı d (m)	Isı iletkenlik hesap değeri λ (W/mK)	d/ λ (m ² K/W)
İç yüzey film katsayısı (α_i)			0,17
Ahşap parke	0,01	0,13	0,077
Çimento harçlı şap	0,05	1,4	0,036
Poliüretan sert köpük levhalar	0,05	0,035	1,429
Donatılı beton	0,12	2,1	0,057
Kireç-çimento harcı	0,02	0,87	0,023
Dış yüzey film katsayısı (α_d)			0,17

$$1/U = 1/\alpha_i + d_1/\lambda_1 + d_2/\lambda_2 + d_3/\lambda_3 + d_4/\lambda_4 + 1/\alpha_d$$

$$1/U = 1/0,17 + 0,01/0,13 + 0,05/1,4 + 0,05/0,035 + 0,12/2,1 + 0,02/0,87 + 1/0,17$$

$$U_D = 0,51 \text{ W/m}^2\text{K}$$

(e) İç ortama bitişik taban**Şekil 6.9** İç ortama bitişik taban iç yapısı**Tablo 6.21** Yapı elemanları ısı iletkenlik katsayıları

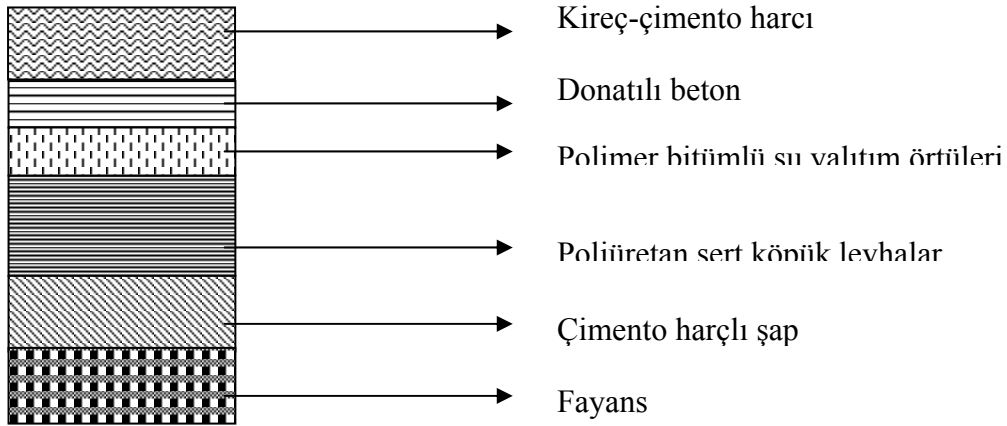
	Yapı elemanının Kalınlığı d (m)	Isı iletkenlik hesap değeri λ (W/mK)	d/ λ (m ² K/W)
İç yüzey film katsayısı (α_i)			0,17
Fayans	0,01	3,5	0,077
Çimento harçlı şap	0,05	1,4	0,036
Poliüretan sert köpük levhalar	0,05	0,035	1,429
Donatılı beton	0,12	2,1	0,057
Kireç-çimento harcı	0,02	0,87	0,023
Dış yüzey film katsayısı (α_d)			0,17

$$1/U = 1/\alpha_i + d_1/\lambda_1 + d_2/\lambda_2 + d_3/\lambda_3 + d_4/\lambda_4 + d_5/\lambda_5 + 1/\alpha_d$$

$$1/U = 1/0,17 + 0,01/3,5 + 0,05/1,4 + 0,05/0,035 + 0,12/2,1 + 0,02/0,87 + 1/0,17$$

$$U_D = 0,53 \text{ W/m}^2$$

(f) Üzeri Açık Tavan



Şekil 6.10 Üzeri açık tavan iç yapısı

Tablo 6.22 Yapı elemanları ısı iletkenlik katsayıları

	Yapı elemanının Kalınlığı d (m)	Isı iletkenlik hesap değeri λ (W/mK)	d/λ (m ² K/W)
İç yüzey film katsayısı (α _i)			0,13
Kireç çimento harcı	0,02	0,87	0,023
Donatılı beton	0,12	2,1	0,057
Polimer bitümlü su yalıtım örtüleri	0,08	0,19	0,042
Poliüretan sert köpük levhalar	0,05	0,035	1,429
Çimento harçlı şap	0,05	1,4	0,036
Fayans	0,01	3,5	0,003
Dış yüzey film katsayısı (α _d)			0,04

$$1/U = 1/\alpha_i + d_1/\lambda_1 + d_2/\lambda_2 + d_3/\lambda_3 + d_4/\lambda_4 + d_5/\lambda_5 + 1/\alpha_d$$

$$1/U = 1/0,13 + 0,02/0,87 + 0,12/2,10 + 0,008/0,19 + 0,05/0,035 + 0,05/1,4 + 0,01/3,5 + 1/0,04$$

$$U_D = 0,568 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Not: Yukarıdaki Tablo 6.1'den 6.22'ye kadar tüm değerler Tablo 6.5'ten alınmıştır.

(e) Pencere

Pencere için ısı geçirgenlik katsayısı U_H (camın ısı geçirgenlik katsayısı) ve U_f (çerçevenin ısı geçirgenlik katsayısı)'ye göre Tablo 6.23'ten seçilir.

Tablo 6.23 Cam ve çerçevenin tipine ve ısı geçirgenlik katsayılarına göre pencere sistemlerinin ısı geçirgenlik katsayıları (Karakoç 2001)

Cam tipi	U_H W/m ² K	U_f W/m ² K								
		1,0	1,4	1,8	2,2	2,6	3,0	3,4	3,8	7,0
Tek cam	5,7	4,8	4,8	4,9	5,0	5,1	5,2	5,2	5,3	5,9
Çift cam	3,3	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,4	3,5	4,0
	3,1	2,8	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,9
	2,9	2,6	2,7	2,8	2,8	3,0	3,0	3,1	3,2	3,7
	2,7	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,0	3,6
	2,5	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,7	2,8	2,9	3,4
	2,3	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,7	3,3
	2,1	2,0	2,1	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	3,1
	1,9	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,3	2,4	3,0
	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,8
	1,5	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	1,9	2,0	2,1	2,6
	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,5
1,1	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,3	
Üçlü cam	2,3	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,6	2,7	3,2
	2,1	2,0	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	3,1
	1,9	1,8	1,9	2,0	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,9
	1,7	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,2	2,8
	1,5	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	1,9	2,0	2,1	2,6
	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,5
	1,1	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,3
	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,6	2,2
	0,7	0,9	1,0	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	2,0
0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,2	1,3	1,8	

Burada en uygun U değeri $U_p = 2.2$ W/m²K 'dir (Genceli ve Parmaksızoğlu 2006).

6.3.1.2 Isı geçişi olan alanların hesaplanması

Isı geçişi olan alanların hesaplanması aşağıdaki gibi yapılmaktadır.

(a) Pencere ve balkon kapılarının alanı $\sum A_p$

$$\sum A_p = 52 \text{ m}^2$$

(b) Dış duvar alanı A_D

$$A_D = A_{Dbrüt} - A_p$$

$$A_D = 298 \text{ m}^2$$

(d) Tavan alanı

$$A_{tavan} = 171 \text{ m}^2$$

(e) Döşeme alanı

$$A_{döşeme} = 171 \text{ m}^2$$

6.3.1.3 Özgül Isı Kaybı Hesabı (H)

$$H = H_i + H_h \quad (6.8)$$

(a) İletim yoluyla ısı kaybı

$$H_i = \sum A \times U \quad (6.9)$$

$$H_i = (A_D \times U_D) + (0.5 \times A_{döşeme} \times U_{döşeme}) + (0.8 \times A_{tavan} \times U_{tavan}) + (A_p \times U_p) + (A_k \times U_k)$$

$$H_i = (194 \times 0,41) + (53,76 \times 1,094) + (51,96 \times 1,124) + (0,5 \times 28,5 \times 0,51) + (0,5 \times 123 \times 0,53) + (0,8 \times 171 \times 0,568) + (52 \times 2,2) + (11,88 \times 3,5)$$

$$H_i = 470 \text{ W/K}$$

(b) Havalandırma yoluyla ısı kaybı

$$H_h = \rho \times c \times V' \quad (6.10)$$

ρ : Havanın yoğunluğu ; kg/m^3

c : Özgül ısınma ısısı ; j/kgK

V' : Hacim ; m^3

$$V' = n \times V_h \quad (6.10a)$$

n : Saatteki hava değişim sayısı

$$H_h = \rho \times c \times n \times V_h$$

$n=1$ ve $(\rho \times c)=0.33$ ise;

$$H_h = 0.33 \times V_h$$

$$V_h = 0.8 \times V_{\text{brüt}} \quad (6.10b)$$

$V_{\text{brüt}}$: İki katlı bina içerisindeki havanın değişimi

$$V_{\text{brüt}} = 952 \text{ m}^3$$

O halde;

$$V_h = 0.8 \times 952 = 761 \text{ m}^3 \text{ olur.}$$

Sonuç olarak;

$$H_h = 0.33 \times 761$$

$$H_h = 251,328 \text{ W/K}$$

(c) Özgül ısı kaybı

$$H = H_i + H_h$$

$$H = 470,612 + 251,328$$

$$H = 721,94 \text{ W/K}$$

6.3.1.4 Aylık ortalama iç ısı kazançları

6.3.1.4.1 Aydınlatmadan olan ısı kazancı

$$\Phi_{i \text{ ay}} = A_n \times 5 \quad (6.11)$$

A_n : Binanın kullanım alanı

$$A_n = V_{\text{brüt}} \times 0.32$$

$$A_n = 0.32 \times 952$$

$$A_n = 304,64 \text{ m}^2$$

$$\Phi_{i \text{ ay}} = 1523 \text{ W}$$

6.3.1.4.2 Aylık ortalama güneş enerjisi kazançları

$$\Phi_{g,ay} = \sum r_{i,ay} \times q_{i,ay} \times I_{i,ay} \times A_i \quad (6.12)$$

$r_{i,ay}$: Aylık ortalama gölgeleme faktörü

- Müstakil yada 3katlı ise $r_{i,ay} = 0,8$
- Ağaçlardan kaynaklanan gölgeleme varsa $r_{i,ay} = 0,6$
- Bitişik nizam ya da çok katlı ise $r_{i,ay} = 0,5$ alınır.

$q_{i,ay}$: Güneş enerjisini geçirme oranı

$$q_{i,ay} = 0.8 \times q_{\perp} \quad (6.12a)$$

q_{\perp} : Laboratuvar şartlarında ölçülen ve yüzeye dik gelen ışınlar için güneş enerjisini geçirme faktörü.

- Tek cam için $q_{\perp} = 0,85$
- Çok katlı cam için $q_{\perp} = 0,75$
- U değeri = $2,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ olan camlar için $q_{\perp} = 0,5$ alınır.

$I_{i,ay}$: Birim yüzeye dik olarak gelen aylık ortalama güneş ışınım şiddeti.

Tablo 6.24 Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı (Genceli ve Parmaksızoğlu 2006)

Aylar	Isı Kaybı			Isı Kazançları			KKO	Kazanç Kullanım Faktörü	Isıtma Enerjisi İhtiyacı
	Özgül Isı Kaybı	Sıcaklık Farkı	Isı Kayıpları	İç Isı Kazancı	Güneş Enj. Kazancı	Toplam			
	$H = H_i + H_h$ (W/K)	$T_i - T_d$ (K, C)	$H(T_i - T_d)$ (W)	Φ_i (W)	Φ_g (W)	$\Phi_T = \Phi_i + \Phi_g$ (W)	γ (-)	η_{ay} (-)	Q _{ay} (kJ)
OCAK	726,911	11	7996	1523,2	932	2455	0,307	0,962	14.603.328
ŞUBAT		9,7	7051		1145	2668	0,378	0,929	11.850.624
MART		7,5	5451		1397	2920	0,536	0,845	7.731.936
NİSAN		3,3	2398		1408	2931	1,222	0,559	1.967.328
MAYIS		0	0		1669	3192	0	0	0
HAZİRAN		0	0		1756	3279	0	0	0
TEMMUZ		0	0		1708	3231	0	0	0
AĞUSTOS		0	0		1613	3136	0	0	0
EYLÜL		0	0		1382	2905	0	0	0
EKİM		0,9	654		1146	2669	4,081	0,217	0
KASIM		5,7	4143		878	2401	0,58	0,822	5.622.048
ARALIK		9,6	6978		819	2342	0,336	0,949	12.324.960

Önce ocak ayını ele alalım

$r_{i,ay} = 0.8$ (üç kata kadar olan yapılar için)

$$q_{\perp}=0.50$$

$$q_{i\text{ ay}}=0.8 \times 0.50$$

$$q_{i\text{ ay}}=0.40$$

$$\Phi_{g,\text{ocak}}=932 \text{ W}$$

Buna bağılı olarak diğler ayların da ortalama güneş enerjisi kazançları aşığıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 6.25 Aylara göre güneş enerjisi kazanç değlereri

AYLAR	ORTALAMA GÜNEŞ KAZANÇLARI (W)	ENERJİSİ
OCAK	932	
ŞUBAT	1145	
MART	1397	
NİSAN	1408	
EKİM	1146	
KASIM	878	
ARALIK	819	

6.3.1.5 Kazanç-kayıp oranı (KKO)

$$KKO_{\text{ay}} = \text{Kazançlar} / \text{Kayıplar}$$

$$KKO_{\text{ay}} = (\Phi_{g\text{ ay}} + \Phi_{i\text{ ay}}) / [H \times (T_{i\text{ ay}} - T_{d\text{ ay}})] \quad [\text{TS 825/2.2.4}] \quad (6.13)$$

$T_{i\text{ ay}}$: Aylık ortalama iç ortalama sıcaklığı (°C)

$T_{d\text{ ay}}$: Aylık ortalama dış ortalama sıcaklığı (°C)

$$T_{i\text{ ay}}=19 \text{ °C} \quad [\text{Bina konut olarak alınacağı için } 19 \text{ °C alınır.}]$$

$T_{d \text{ ocak}} = 8 \text{ } ^\circ\text{C}$ [Birinci derece gün bölgesi için bu değer Tablo 6.26'dan alınır.]

Tablo 6.26 Aylık ortalama dış sıcaklık değerleri (Karakoç 2001)

	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge
OCAK	8,0	3,3	1,3	-5,2
ŞUBAT	9,3	4,5	2,0	-4,2
MART	11,5	7,2	5,0	-1,3
NİSAN	15,7	12,6	9,8	5,1
MAYIS	20,6	17,8	14,1	10,1
HAZİRAN	25,4	21,9	18,1	13,5
TEMMUZ	28,0	24,4	21,1	17,2
AĞUSTOS	27,2	23,8	20,6	17,2
EYLÜL	23,3	19,6	16,5	13,2
EKİM	18,1	14,1	11,3	6,9
KASIM	13,3	9,1	6,5	1,3
ARALIK	9,4	4,9	2,6	-3,0

Bu değerlere göre ocak ayı için;

$KKO_{\text{ocak}} = 0,307 = \%31$ bulunur.

Bu verilere göre diğer ayların kazanç kayıp oranları Tablo 6.27' de verilmektedir.

Tablo 6.27 Aylara göre kazanç kayıp oranları(Karakoç 2001)

AYLAR	KAZANÇ KAYIP ORANLARI
OCAK	0,307
ŞUBAT	0,378
MART	0,536
NİSAN	1,222
EKİM	4,081
KASIM	0,58
ARALIK	0,336

6.3.1.6 Kazanç kullanım faktörü (η_{ay})

$$\eta_{ay}=1-e^{-1/KKO_{ay}} \quad [TS\ 825/2.2.4] \quad (6.14)$$

$$\eta_{ocak}=1-e^{-1/KKO_{ocak}}$$

$$\eta_{ocak}=1-e^{-1/0.307}=0.962$$

Diğer aylara göre kazanç kullanım faktörü Tablo 6.28'de gösterilmiştir.

Tablo 6.28 Aylara göre kazanç kullanım faktörleri(Genceli ve Parmaksızoğlu 2006)

AYLAR	KAZANÇ KULLANIM FAKTÖRLERİ
OCAK	0,962
ŞUBAT	0,929
MART	0,845
NİSAN	0,559
EKİM	0,217
KASIM	0,822
ARALIK	0,949

6.3.1.7 Toplam aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı

$$Q_{ay}=[(H \times (T_{i\ ay}-T_{d\ ay})- \eta_{ay} \times (\Phi_{i\ ay}+\Phi_{g\ ay}))] \times t \quad (6.15)$$

t: Zaman

$$Q_{ocak}=14603328\ kJ$$

Diğer aylar için toplam ısıtma enerjisi ihtiyacı Tablo 6.29 'de gösterilmiştir.

Tablo 6.29 Aylara göre toplam ısıtma enerjisi ihtiyacı

AYLAR	TOPLAM ISITMA ENERJİSİ İHTİYACI (KJ)
OCAK	14603328
ŞUBAT	11850624
MART	7731936
NİSAN	1967328
KASIM	5622048
ARALIK	12324960

$$Q_{yil}=54100224 \text{ kJ}$$

$$Q_{yil}=15039,862 \text{ kWh}$$

Birim alan başına düşen miktar;

$$Q = Q_{yil} / A_n$$

$$Q = 15039,862 / 304,64 = 49,47 \text{ kWh/m}^2 \text{ olmaktadır.}$$

6.3.1.8 İzin verilen yıllık ısıtma enerjisi miktarı (Q')

TS 825 Ek-1-B'den 1.bölge için Q' hesabını aşağıdaki şekilde yaparız.

$$Q' = 46.62 \times (A / V) + 17,38 \text{ kWh/m}^2 \quad (6.16)$$

$$A = \sum A_p + \sum A_D + \sum A_{tavan} + \sum A_{döşeme}$$

$$V = V_{brüt} = 952 \text{ m}^3$$

$$A/V = (75.526 + 604.474 + 300 + 300) / 1440 = 0.88$$

$$Q' = 46.62 \times 0,742 + 17.38 = 51.97 \text{ kWh/m}^2$$

$Q < Q'$ ($49.47 \text{ kWh/m}^2 < 51.97 \text{ kWh/m}^2$) olduğundan yalıtım uygundur.

$$Q/Q' = 49.47 / 51.97 = 0.95$$

$Q \leq Q'] \times 0.99$ olduğu için buna C tipi yani normal enerji verimli bina denir.

Binamız C tipi binadır. Isı kaybı hesapları Ek 1 de ayrıntılı olarak tablolar halinde sunulmuştur.

7. KONUTUN ISI YÜKÜNÜ KARŞILAYAN KUYU İÇİ ISI EŞANJÖRÜNE AİT DEĞERLERİN HESAPLANMASI

7.1 Giriş

Kuyu içi ısı eşanjörleri kuyudan sadece jeotermal akışkanın çekilmesini ortadan kaldırdığı için, akışkanın kirliliği ile ilgili problemleri de ortadan kaldırmıştır. Özel karaktere sahip jeotermal kaynaklarda, küçük sistemler için kuyu içi ısı eşanjörler ısı çekmek için uygun elemanlardır.

Diğer jeotermal ısı çıkarma teknikleri ile karşılaştırıldığında; kuyu içi ısı eşanjörlerin jeotermal enerji ile konut ısıtılması ve sıcak su elde edilmesinde üstünlükleri vardır. Genel olarak çevresel ve kurumsal kısıtlamalar nedeniyle haznedenden alınan suyun tekrar hazneye verilmesi gerekir ve bunun için ikinci bir kuyuya gerek vardır. Bu da küçük jeotermal ısıtma projeleri için fazladan bir maliyet getirebilir hatta bazen bir pompa ile bu suyun alınması gerekebilir. Tüm bunlar bir kuyu içi ısı eşanjörünün bakımından daha pahalıya mal olabilir.

Kuyu içi ısı eşanjörünün sakıncası belki de kısmen içine konduğu bir kuyuda doğal bir ısı akışına bağımlılığıdır. Öte yandan ısı akışındaki potansiyel sınırlamalardan dolayı, kuyu içi ısı eşanjörünün uygun küçük ve orta büyüklükteki termal uygulamalar için oldukça kullanışlıdır.

Bu bölümde, kuyu içi ısı eşanjörlerinin hesap yöntemleri üzerinde durulacak ve bunlara ait boyutlar belirlenecektir.

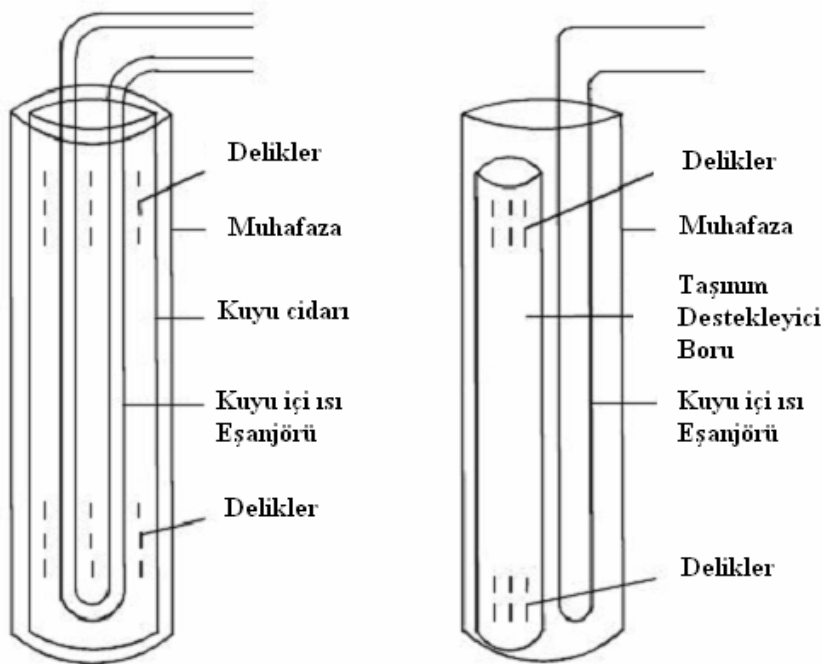
7.2 Kuyu İçi Isı Eşanjörlerinin Hesabı

Günümüzde kuyu içi ısı eşanjörleri için çok gelişmiş olmamakla birlikte birçok hesap yöntemi geliştirilmiştir. Kuyu içi ısı eşanjörü tasarımı ile ilgili yapılan ilk hesaplar, ABD’de enerji bakanlığı için hazırlanmış fakat hesaplar oldukça karışıktır (Chiu 1982). Daha sonra yapılan hesaplar daha karışık olup ileri ısı tekniği bilgisi gerektirmektedir (Caroteneu vd 1997, Kohl vd 2000 ve Kujawa 2000).

Bu çalışmadaki program; eski olmasına rağmen daha pratik ve kullanışlı olması nedeniyle tercih edilmiştir. Program ilk defa orijinal olarak FORTRAN dilinde yazılmış (Culver ve Reisted 1978) ve daha sonra HP-85 BASIC programına (Pan 1983) dönüştürülmüştür. Bu programla; ısı karışım oranı bilinmesi durumunda kuyudan alınan ısı miktarı %10–15 hata ile hesaplanabilmektedir.

7.2.1 Hesaplarda kullanılan programın tanıtımı

IBM PC' ye uyumlu bilgisayar için Quick BASIC dilinde yazılan program, bir kuyu içi ısı eşanjörü ile taşınım vasıtasıyla elde edilebilecek ısı miktarını (kW_t) hesaplanmasında kullanılmaktadır. Bu program, kuyu içi ısı eşanjörlerinin hesabında kullanılmak üzere Oregon Institute of Techonology–Geo Heat Center'da bulunmakta olup EK2'de sunulacaktır. Program iki ayrı tipteki eşanjörlerin hesaplanması için hazırlanmış olup; birincisi “delikli muhafazalı” ve ikincisi ise “delikli taşınım destekleyici borulu” (promotor) tipindedir. Bu tip ısı eşanjörleri Şekil 7.1 de görülmektedir.



a) Delikli muhafazalı

b) Taşınım destekleyicili borulu

Şekil 7.1 Kuyu içi ısı eşanjör tipleri (Lienau 1990)

Program giriş verileri için 15 adet değişken kullanılmakta ve bunlar sırasıyla: muhafaza iç çapı ve cidar kalınlığı, kuyu çapı, kuyu, muhafaza ve kuyu içi eşanjörü için

pürüzlülük katsayıları, muhafaza ve kuyu eşanjörün ısı iletkenlikleri, kuyu içi ısı eşanjörünün uzunluğu, kuyu içi ısı eşanjöründeki delikler arası uzunluk, kuyu içi ısı eşanjörünün giriş sıcaklığı, hazne (rezervuar) sıcaklığı, kuyu içi ısı eşanjöründeki akışkanın kütleli debisi, karışım oranı, kuyu içi eşanjörünün sarım (loop) sayısından ibarettir. Program; kararlı durumda elde edilen ısı miktarını hesaplar. Duyarlı bir analiz için bu 15 giriş verilerinden birisi değişken seçilerek hesaplar yapılır. Eğer giriş değerleri uygun seçilmezse istenilen ısı miktarı belki de doğru olmayabilir. Bu nedenle sadece değişken olarak seçilen verinin değeri yeterli olmayıp, deneme- yanılma yöntemi ile diğer verilerinin de değiştirilmesi gerekebilir. Bununla ilgili irdelemeler daha sonra yapılacaktır.

Program çıkış değerleri: kuyu içi ısı eşanjörünün çıkış sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), toplam ısı iletim katsayısı ($\text{kW}/\text{m}^2\text{C}$), alınan ısı (kW_t), kuyu içi ısı eşanjörünün verimi (%), kuyu içi ısı eşanjörü boyunca basınç düşümü (mSS) olarak elde edilmektedir. Burada SI birim sistemi kullanılmıştır. Sırasıyla;

Uzunluklar (m)

Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)

Kütleli debi (kg/s)

Isıl iletkenlik ($\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$)

7.2.2 Programa giriş değerlerinin verilmesi

Bilgisayara (PC), program yüklendikten sonra aşağıdaki işlemler; sırasıyla giriş verileri girilerek yapılır. Eğer çoklu veri girilecekse; veriler arasında virgül konulması gerekir. Buna göre aşağıdaki talimat takip edilirse;

Kuyu No: İncelenecek kuyuya 3 rakamlı bir sayıya kadar numara verilir.

- Delikli Muhafazalı mı veya taşınım destekli mi?

Eğer delikli muhafazalı ise1, taşınım destekli (promotor) ise diğer bir sayı girilir.

Buda kullanıcıya delikli muhafazalı veya taşınım destekli seçimini müsaade eder.

1. Muhafaza iç çapı(m): Muhafaza iç çapı girilir.

Muhafaza cidar kalınlığı (m): Muhafazanın cidar kalınlığı girilir.

2. Kuyu içi ısı eşanjörünün iç çapı (m): Kuyu içi ısı eşanjörünün iç çapı girilir.

Kuyu içi ısı eşanjörünün cidar kalınlığı (m): Kuyu içi ısı eşanjörünün cidar kalınlığını girilir.

3. Kuyu çapı (m): Kuyu çapı girilir.

4. Muhafazanın mutlak pürüzlülüğü (m): Tablo 7.1’de verilen ticari olarak mevcut borular için cidar pürüzlülüklerinin tasarım değerlerinin uygun olanı girilir.

Tablo 7.1 Boru pürüzlülük tasarım değerleri (Lienau 1990)

Malzeme	Pürüzlülük, ϵ (m)
Plastik	$1,5 \times 10^{-6}$
Dökme Demir	$2,4 \times 10^{-4}$
Ticari çelik ve kaynaklı çelik	$4,6 \times 10^{-5}$
Dövme demir	$4,6 \times 10^{-5}$
Kuyu malzemesi	$2.54 \times 10^{-3} - 2.54 \times 10^{-2}$

Bunlar yeni ve temiz borular için ortalama değerlerdir. Belirli bir zaman serviste kaldıktan sonra, cidarda oluşan kirlenmeler veya korozyondan dolayı pürüzlülük değişebilir. Kuyunun pürüzlülüğü, cidardaki kireçlenmesine ve açılan kuyunun tipine bağlı olarak değişebilir.

Kuyu içi eşanjörün mutlak pürüzlülüğü (m): Literatürden veya Tablo 7.1’den uygun bir değeri girilir.

Kuyunun mutlak pürüzlülüğü (m): Literatürden veya Tablo 7.1’den uygun bir değeri girilir.

Muhafaza için ısı iletkenlik katsayısı (W/m°C):

Isıl iletkenlik, malzemenin bir iletim özelliği olup, difüzyon işlemi ile transfer edilen enerji miktarlarının bir göstergesidir ve sıcaklığa bağlıdır. Tablo 7.2’de çeşitli sıcaklıklar için tipik değerler verilmektedir.

Kuyu içi ısı eşanjörünün ısı iletkenliği (W/ m°C):

Literatürden veya Tablo 7.2’den uygun bir değer girilir..

Tablo 7.2 Bazı malzemelerin ısı iletkenlikleri (Lienau 1990)

Malzeme	Fazla Sıcaklıklardaki Isıl İletkenlikler		
	Sıcaklıklar (°C)		
	27	128	327
Plastik	0,26	-	-
Ticari çelik	60,5	56,7	48,0
Dövme demir	80,2	69,5	54,7

5. Kuyu içi ısı eşanjörünün uzunluğu (m): Toplam kuyu içi ısı eşanjörünün boyundan statik su derinliğinin çıkarılmasıyla elde edilen değerdir.

Delikler arası mesafe (m): Üst ve alt kesitlerin orta noktaları arası uzunluktur.

6. Kuyu içi ısı eşanjörünün giriş sıcaklığı(°C): Eğer biliniyorsa gerçek kuyu içi ısı eşanjörü giriş su sıcaklığını yoksa rezervuar sıcaklığından takriben 20°C düşük bir sıcaklık seçilir.

Hazne (rezervuar) sıcaklığı (°C): Ölçülenin maksimum hazne sıcaklığı girilir.

7. Kuyu içi ısı eşanjörünün kütleli debisi (kg/s):

Uygun bir değeri veya ısı yükünü esas alan kuyu içi eşanjörün kütleli akış miktarı girilir.

Örneğin; eğer bir ev için en yüksek ısı yükü 14,7 kW ise ve ısı yükü boyunca suyun sıcaklık düşüşü 5°C ise, o zaman kütleli ısı miktarı (Lienau 1990)

$$M_w = q / c_p \Delta T = 14,7 \text{ kW} / (4,195 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}) (5^\circ\text{C}) = 0,07 \text{ kg/s} \quad (7.1)$$

burada;

M_w : kütleli debi (kg/s)

q : ısı yükü (kW_t)

c_p : 80 °C suyun özgül ısı (kJ/kg°C)

Karışım Oranı (boyutsuz): Kuyuya yeni suyun sistemde dolaşan suya göre belirlenen bir oran olup aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$R_m = 1 - M_a / M_t \quad (7.2)$$

burada ;

R_m : Karışım oranı

M_a : Yeni suyun kütleli debisi (kg/s)

M_t : Taşınımdaki suyun toplam kütleli debisi (kg/s)

Burada görüleceği gibi taşınım hücrelerinde karışım oranının yüksek çıkması, taşınım hücrelerinde yer alan yeni akışkan miktarının az olduğunu göstermektedir. Haznenin geçirgenliğine bağlı olarak hatta aynı hazne içinde bile karışım oranı büyük çapta değişebilir. Maalesef, şu anda, karışım oranı ile geçirgenlik arasında bir ilişki kurmak için bir yol yoktur. Tablo 7.3'te karışım oranlarının tipik değerleri verilmiştir.

Tablo 7.3 Karışım Oranları (Lienau 1990)

<u>Kaya T ipi</u>	<u>Karışım Oranı</u>
Kırılmış Kaya	0,5
Kaba Kum	0,8
Killi Kum	0,9-0,94

Sarım (Loop) Sayısı: Kuyuya daldırılan kuyu içi eşanjörün sarım veya dolanım sayısıdır.

8. Giriş değerlerinde, aşağıdaki talimata göre program kullanıcıya hazır olacaktır.

Veriler tamam mı? Evet, ise 1; Hayırsa diğer rakamı girilir.

Bu da kullanıcının tekrar giriş değerlerine dönmesini ve giriş hatalarını düzeltmesini sağlar. 1'i seçmekle, ekranda giriş değerleri görülecektir. Diğer rakamı seçmekle programda input #1'e dönecek, bu noktada tüm veriler tekrar girilmelidir.

12. Program şimdi kullanıma hazırdır. Eğer kuyu içi ısı eşanjörü ve muhafaza için tek değer alınacaksa "scaled"; yazılır, değilse "No" yazılır. Tek hesap yapılırken muhafaza ve kuyu içi eşanjör için toplam ısı iletim katsayılar aşağıdaki gibi değiştirilir:

$$U=1/(1/U+1/U_{scale}) \quad (7.3)$$

13. Giriş değerlerinin bir kopyası; "shift" ve "print screen" birbiri ardına basılarak elde edilir.

Giriş değerleri :

Muhafaza iç çapı, m	(I1)
Muhafaza cidar kalınlığı, m	(H1)
Kuyu içi ısı eşanjörü iç çapı, m	(I2)
Kuyu içi ısı eşanjörü cidar kalınlığı, m	(H2)
Kuyu çapı, m	(D3)
Muhafaza için mutlak pürüzlülük, m	(D1)
Kuyu içi ısı eşanjörü için mutlak pürüzlülük, m	(G3)
Kuyu için mutlak pürüzlülük, m	(G2)
Muhafazanın ısıl iletkenliği, W/m °C	(K1)
Kuyu içi ısı eşanjörünün ısıl iletkenliği, W/m °C	(K2)
Kuyu içi ısı eşanjörünün uzunluğu, m	(L)
Delikler arası uzunluk, m	(L1)
Kuyu içi ısı eşanjörü giriş su sıcaklığı, °C	(T1)
Rezervuar su sıcaklığı, °C	(T2)
Kuyu içi ısı eşanjörü kütlelel debisi, kg/s	(M1)
Karışım oranı	(M2)
Kuyu içi ısı eşanjörün sarım sayısı	(N1)

14. Giriş değişkenlerinden biri değiştirilmek isteniyorsa 1'e, istenmiyorsa diğer bir sayı girilir. Bu da kullanıcıyı aşığıdaki giriş değişkenlerden birini değiştirmeyi müsaade eder.

Değişkenler:

- 1-Kuyu içi ısı eşanjörü giriş su sıcaklığı
- 2-Rezervuar su sıcaklığı
- 3-Kuyu içi ısı eşanjörünün uzunluğu
- 4-Kuyu içi ısı eşanjörünün çapı
- 5-Kuyu içi ısı eşanjörünün kütlelel debisi
- 6-Kuyu içi ısı eşanjörün paralel sarım sayısı
- 7-Kuyu içi ısı eşanjörü cidar kalınlığı
- 8-Delikler arası uzunluk
- 9-Karışım oranı

10-Kuyu içi ısı eşanjörü için mutlak pürüzlülük

11-Kuyu çapı

12-Muhafaza cidar kalınlığı

13-Muhafaza için mutlak pürüzlülük

14-Kuyu için mutlak pürüzlülük

15-Muhafaza çapı

15. Değişken numarası, adım miktarı ve adım sayısı girilir.

Örneğin kuyu içi ısı eşanjörünün kütleli debisi seçilmişse (5 girilir), her bir döngü için kuyu içi eşanjörü kütleli debisini 0,1 kg/s arttırmak için (0.1 girilir), Hesaplama döngüsünün adım sayısı için (5 girilir)

16. Girilen veriler tamam mı? Evetse 1'e basılır değilse diğer bir rakama girilir.

Bu da kullanıcıya değişkeni, adım ve adım sayılarını değiştirme imkânı verir. "1'e basınız" uyarısı çıkış ekranında görülecektir.

7.2.3 Program çıkış değerleri

Çıkışın formatı aşağıdaki gibi olacaktır.

Değişken no'sunu gir (N2)=5

Değişken adımını gir (N3)=0,10

Adımların sayısını gir (N)=5

Çıkış değerleri görüntüsü aşağıdaki gibidir.

N	T _{çıkış}	U _{DHE}	EFF	Yük kaybı	Q _{çıkış}	Değişken
Adım no	°C	kW/ m ² °C	(%)	mSS	kW	Adım miktarı

0

1

2

3

4

5

6

1. N Adım Numarası: Seçilen bir değişken için her bir döngüde "0"la başlayan bir numara verilir.
2. T_{çıkış} (°C): Kuyu içi ısı eşanjörden çıkış su sıcaklığını verir. Aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$T_{\text{çıkış}} = T_{\text{giriş}} - q_h / m \cdot c_p \quad (7.4)$$

burada;

$T_{\text{çıkış}}$: Kuyu içi ısı eşanjörünün çıkış su sıcaklığı, °C

q_h : Kuyu içi ısı eşanjöründen ısı çıkışı, kW_t

m : Kuyu içi ısı eşanjörünün kütleli debisi, kg/s

c_p : Suyun özgül ısısı, kJ/kg°C

3. U_{DHE} (kW/ m²°C) : Her bir durum için hesaplanan toplam ısı iletim katsayısıdır.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o} \left(\frac{D_o}{D_i} \right) + \frac{Y_w \cdot D_o}{k(D_o + D_i)/2} \quad (7.5)$$

burada;

U : Toplam ısı transfer katsayısı, W/m²K

h_i ve h_o : İçteki ve dıştaki film katsayısı

D_o ve D_i : Muhafazanın hidrolik iç çapı ve muhafazanın dış çapı, m

k : hidrolik iletkenlik, m/s

4. Verim(%): Kuyu içi ısı eşanjörünün verimi için kullanılan denklem:

$$E_H = Q_{\text{gerçek}} / Q_{\text{max}} \quad (7.6)$$

burada;

$Q_{\text{gerçek}}$

$$Q_{\text{max}} = m \cdot c_p \cdot (T_o - T_i) \quad (7.7)$$

5. Yük Kaybı(mSS): Suyun ısı eşanjörü boyunca metre olarak basınç kaybıdır.

$$p = f \cdot V^2 \frac{L}{2g \cdot D_h} \quad (7.8)$$

burada;

f = sürtünme faktörü

V =hız, m/s

L =boru uzunluğu, m

g = yer çekimi ivmesi, m/s²

D_h = kuyu içi ısı eşanjörünün iç çapı, m

6. $Q_{\text{çıkış}}(\text{kW})$: Kuyu içi eşanjöründen ısı çıkışı

$$Q_{\text{çıkış}} = \frac{2c_p}{2-L} (W_1 + W_2 + W_3) \quad (7.9)$$

burada;

c_p = suyun özgül ısısı, kJ/kg°C

L =Kuyu içi eşanjörün uzunluğu/ delikler arasındaki toplam uzunluk

$W_1+W_2+W_3$ = Kübik denklem katsayıları

7. Değişken adım ölçüsü: Her bir döngü için hesaplanan seçilmiş değişkenin değerindeki artıştır. Çıkışın bir kopyasını almak için “shift” e ve “print sceen” e basılır.

Aşağıdaki değerler, kuyu içi eşanjörün kütleli debisi için örnek bir giriş ve çıkışı verir. Burada kuyu içi eşanjörün kütleli debisi 5 adımda 0,5 kg/s değişir.

7.2.4. Programın mevcut yapıya uygulanması

Program için kullanılacak ısı ihtiyacı (veya kaybı), bundan önceki bölümde 20470 W olarak hesaplanmıştır. Kuyu içi eşanjörden geçmesi gereken debi miktarı (7.10) denkleminde yararlanılarak hesaplanır.

$$m = \frac{Q_{\text{çıkış}}}{c_p \cdot \Delta T} \quad (7.10)$$

burada;

$$Q_{\text{çıkış}} = 20,471 \text{ kW}_t$$

$$C_p = 4.188 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$m = \frac{20,471}{4,188 \cdot 20} = 0,24440 \text{ kg/s} \equiv 0,245 \text{ kg/s}$$

Daha önce belirtildiği gibi; program iki tip kuyu içi ısı eşanjör sisteminin kullanımına olanak sağladığından, burada yukarıda belirtilen ısı yükünü karşılayacak şekilde her iki tip içinde gerekli veriler programa girilerek sonuçlar elde edilecektir.

Program yanlış rakam girme dışında eğer veri girişinde herhangi bir hata yapılırsa kullanıcı uyarılmakta ve hatta verilerin bir listesi verilerek kontrol yapılabilir.

Hatanın duruma göre; program içinde geriye dönüş veya tamamen baştan program yüklenmektedir. Her iki tip ısı eşanjörü için programın çalıştırılması aşağıda verilmiştir.

7.2.4.1. Delikli muhafazalı tipteki kuyu içi ısı eşanjörü için programın kullanımı

Programda kullanılacak giriş değerleri yani verilerin, seçiminde gerçeğe yakın literatürde bulunan değerlerin alınmasına özen gösterilmiştir.

Muhafaza ve kuyu içi eşanjör malzemesi çelikten seçilmiş ve pürüzlülükler aynı şekilde kullanılan borunun vasıflarına uygun olarak seçilmiştir. Pürüzlülükler Tablo 7,1 ve borulara ait ısı iletkenler Tablo7.2'den seçilmiştir.

Kuyu içi eşanjörüne giriş sıcaklığı 50 °C ve rezervuar sıcaklığı 80 °C olarak alınmıştır. Kuyu civarındaki kayaçların kumlu olduğu kabul edilerek karışım oranı 0.8 olarak seçilmiştir.

Kuyu içi eşanjörlerin muhafaza içine yerleştirilmeleri ya tek sarımlı (tek loop'lu şeklinde), veya çok sarımlı (çoklu loplular) olarak tasarlanmıştır.

Bu çalışmada; 15 değişken sadece; kuyu içi ısı eşanjörün uzunluğu, eşanjörden geçen suyun debisi, ısı eşanjöre giriş sıcaklığı ve hazne sıcaklığı sırasıyla seçilerek; bunlara göre; kuyudan ısı alımı, verim ve eşanjörden çıkış sıcaklığı değerlerinin değişimleri incelenmiştir.

Burada; eğer giriş değerlerini uygun seçmezsek, çıkıştaki ısı alımı talep edilen değerlerin altında-üstünde olabilir veya program yanlış değerlerle çalışmayabilir. Burada deneme- yanılma yöntemi kullanılmakta ve bu değerler içinde en uygun verim şartlarıyla en iyi performansı veren giriş değerlerini seçebilme imkânı ortaya çıkmaktadır.

7.2.4.1.1 Tek sarımlı serpantinli delikli muhafazalı tipteki kuyu içi ısı eşanjörü (Tek Looplu)

a) $T_{\text{çıkış}}$, η , $Q_{\text{çıkış}}$ ' in ısı eşanjörü boru uzunluğuna göre değişimi.

Tek sarımlı serpantinli ısı eşanjörü için giriş değerleri Tablo 7.4'te verilmiştir. Tablo 7.5'de de çıkış değerleri, Şekil 7.2'de uzunluğa göre değişimleri elde edilmiştir. Konut için gerekli ısı miktarı 20,45 kW olduğuna göre; Tablo 7.5'ten veya Şekil 7.2'den uygun boru uzunluğuna göre talep edilen ısı miktarı, verim ve çıkış sıcaklığı seçilir.

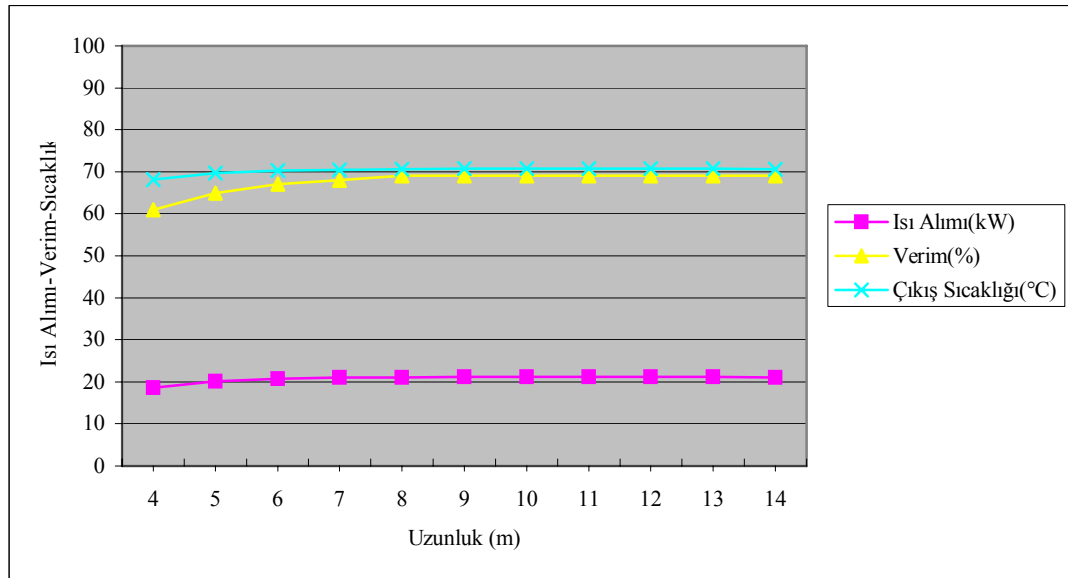
Burada boru uzunluğu seçimi son derece hassastır. Tablo ve grafikten görüldüğü gibi boru uzunluğuna göre verim, ısı alımı ve çıkış sıcaklığı fazla değişim göstermemektedir. Dolayısıyla burada boru uzunluğunun seçimi oldukça önemlidir. Isı talebimizi karşılayan boru uzunluğu takriben 6m civarındadır. Bunun üzerindeki seçtiğimiz boru uzunlukları da fazla bir ısı alımı, verim ve çıkış sıcaklığı değişimi gözlenmemektedir.

Tablo 7.4 Tek sarımlı serpantinli delikli muhafazalı kuyu içi ısı eşanjörü giriş verileri

SIRA NO	MALZEME ADI VE ÖZELLİĞİ	BİRİMİ	DEĞERİ
1	Muhafaza iç çapı	m	0.10
2	Muhafaza cidar kalınlığı	m	0.006
3	Kuyu içi ısı eşanjörünün boru çapı	m	0.05
4	Kuyu içi ısı eşanjörünün boru cidar kalınlığı	m	0.002
5	Kuyu çapı	m	0.18
6	Örtünün mutlak pürüzlülüğü	m	0.000046
7	Kuyu içi eşanjörünün pürüzlülüğü	m	0.000046
8	Kuyunun pürüzlülüğü	m	0.00254
9	Muhafazanın ısı iletkenliği	W/m °C	57
10	Kuyu içi ısı eşanjörünün ısı iletkenliği	W/m °C	57
11	Kuyu içi ısı eşanjörünün uzunluğu	m	6
12	Kuyu içi ısı eşanjörünün delikler arası uzunluğu	m	4
13	Kuyu içi eşanjörünün giriş sıcaklığı	°C	50
14	Rezervuar Sıcaklığı	°C	80
15	Kuyu içi ısı eşanjörü içindeki akışkanın kütleli debisi	kg/s	0.245
16	Karışım oranı		0.8
17	Kuyu içi ısı eşanjöründeki loop sayısı		1

Tablo 7.5 Tek sarımlı serpantinli delikli muhafazalı kuyu içi ısı eşanjörü çıkış verileri

N Adım sayısı	T _{çıkış} Çıkış sıcaklığı °C	U Isı tranfer katsayısı kW/m ² °C	η Verim %	H Yük kaybı mSS	Q Isı alımı kW	Değişken Uzunluk m
0	68.2	1.753	0.61	0.006	18.6	6
1	69.6	1.792	0.65	0.006	20.1	5
2	70.2	1.807	0.67	0.006	20.7	6
3	70.5	1.815	0.68	0.006	21	7
4	70.6	1.820	0.69	0.006	21.1	8
5	70.7	1.823	0.69	0.006	21.2	9
6	70.7	1.827	0.69	0.006	21.2	10
7	70.7	1.827	0.69	0.006	21.2	11
8	70.7	1.828	0.69	0.006	21.2	12
9	70.7	1.829	0.69	0.006	21.2	13
10	70.6	1.830	0.69	0.006	21.1	14

**Şekil 7.2** Tek sarımlı serpantinli delikli muhafazalı kuyu içi ısı eşanjöründe

Q_{ϕ} , T_{ϕ} , $\eta = f(L)$ 'in değişimleri

b) $T_{\text{çıkış}}$, η , $Q_{\text{çıkış}}$ ' ın debiye göre değişimi Tablo 7.7 ve Şekil 7.3 görülmektedir. Yine aynı şekilde Tablo ve şekilden gerekli debiye karşılık gelen çıkış değerleri seçilir.

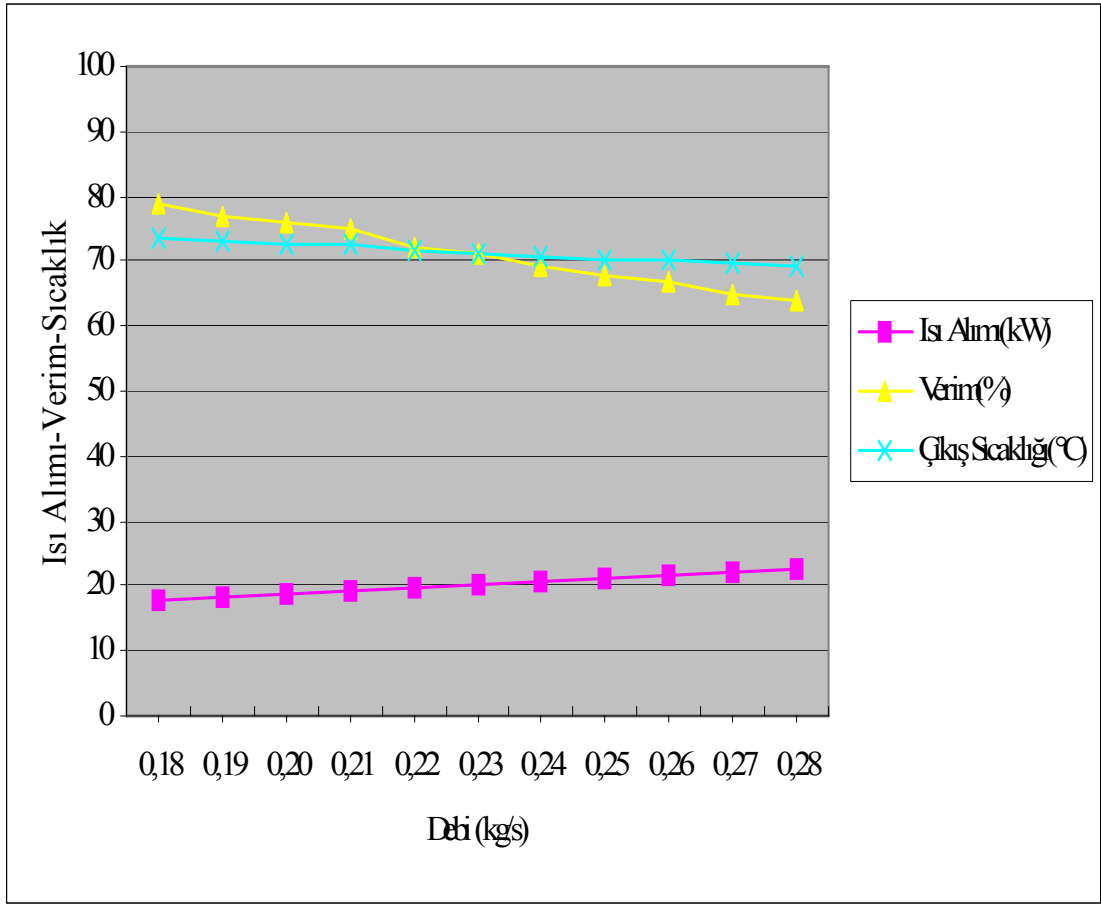
Debi değişimiyle ısı alımındaki değişim incelenirse debi artışıyla ısı alımında biraz artış gözlenmekte fakat verim ve çıkış sıcaklığında bir düşüş gözlenmektedir. Bu da debi artışından kaynaklanmaktadır.

Tablo 7.6 Tek sarımlı serpantinli delikli muhafazalı kuyu içi ısı eşanjörü giriş verileri

SIRA NO	MALZEME ADI VE ÖZELLİĞİ	BİRİMİ	DEĞERİ
1	Muhafaza iç çapı	m	0.12
2	Muhafaza cidar kalınlığı	m	0.006
3	Kuyu içi ısı eşanjörünün boru çapı	m	0.05
4	Kuyu içi ısı eşanjörünün boru cidar kalınlığı	m	0.002
5	Kuyu çapı	m	0.18
6	Örtünün mutlak pürüzlülüğü	m	0.000046
7	Kuyu içi eşanjörünün pürüzlülüğü	m	0.000046
8	Kuyunun pürüzlülüğü	m	0.00254
9	Muhafazanın ısı iletkenliği	W/m °C	57
10	Kuyu içi ısı eşanjörünün ısı iletkenliği	W/m °C	57
11	Kuyu içi ısı eşanjörünün uzunluğu	m	8
12	Kuyu içi ısı eşanjörünün delikler arası uzunluğu	m	6
13	Kuyu içi eşanjörünün giriş sıcaklığı	°C	50
14	Rezervuar Sıcaklığı	°C	80
15	Kuyu içi ısı eşanjörü içindeki akışkanın kütleli debisi	kg/s	0.18
16	Karışım oranı		0.8
17	Kuyu içi ısı eşanjöründeki loop sayısı		1

Tablo 7.7 Tek sarımlı serpantinli delikli muhafazalı kuyu içi ısı eşanjörü çıkış verileri

N Adım sayısı	$T_{\text{çıkış}}$ Çıkış sıcaklığı °C	U Isı tranfer katsayısı kW/m ² °C	η Verim %	H Yük kaybı mSS	Q Isı alımı kW	Değişken Debi kg/s
0	73.7	1.563	0.79	0.005	17.8	0.18
1	73.2	1.615	0.77	0.005	18.4	0.19
2	72.6	1.664	0.76	0.006	18.9	0.20
3	72.5	1.713	0.75	0.006	19.4	0.21
4	71.7	1.760	0.72	0.007	19.9	0.22
5	71.2	1.805	0.71	0.007	20.4	0.23
6	70.8	1.850	0.69	0.008	20.9	0.24
7	70.4	1.893	0.68	0.009	21.3	0.25
8	70.0	1.935	0.67	0.009	21.7	0.26
9	69.6	1.977	0.65	0.010	22.1	0.27
10	69.2	2.017	0.64	0.010	22.5	0.28



Şekil 7.3 Tek sarımlı serpantinli delikli muhafazalı kuyu içi ısı eşanjöründe

$Q_{ç}$, $T_{ç}$, $\eta = f(m)$ 'in değişimleri

c) $T_{çıkış}$, η , $Q_{çıkış}$ ' in giriş su sıcaklığına göre değişimleri

Tablo 7.8 de verilen giriş değerlerine göre, giriş sıcaklığının fonksiyonu olarak çıkış değerlerinin değişimi Tablo7 .9 ve Şekil 7.4'te görülmektedir. Burada giriş sıcaklığına karşılık gelen çıkış değerleri, tablo ve şekilden seçilir.

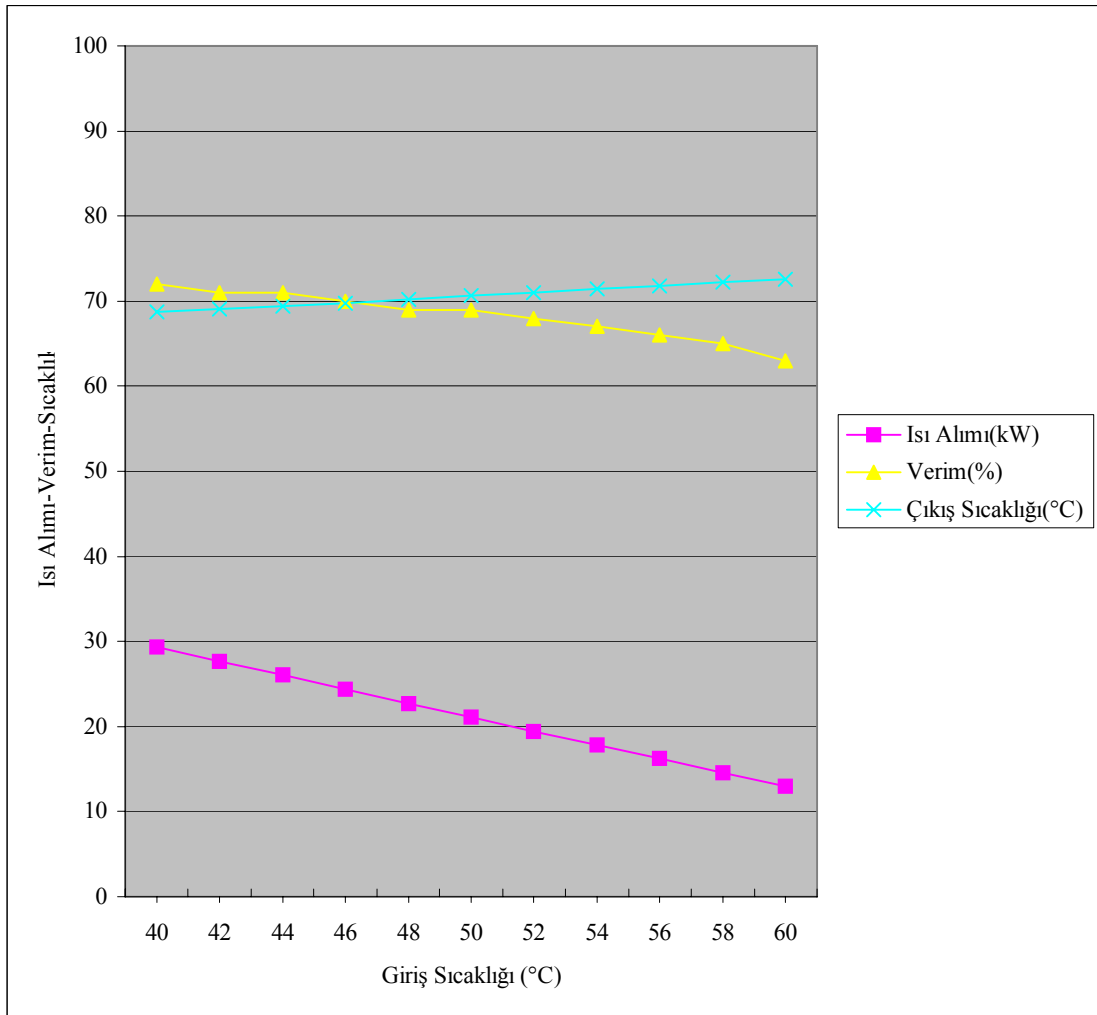
Giriş sıcaklığı artışına bağlı olarak ısı alımında bir düşüşün meydana geldiği talep edilen ısı miktarının 50 °C civarında sağlandığı görülmektedir.

Tablo 7.8 Tek sarımlı serpantinli delikli muhafazalı kuyu içi ısı eşanjörü giriş verileri

SIRA NO	MALZEME ADI VE ÖZELLİĞİ	BİRİMİ	DEĞERİ
1	Muhafaza iç çapı	m	0.12
2	Muhafaza cidar kalınlığı	m	0.006
3	Kuyu içi ısı eşanjörünün boru çapı	m	0.05
4	Kuyu içi ısı eşanjörünün boru cidar kalınlığı	m	0.002
5	Kuyu çapı	m	0.18
6	Örtünün mutlak pürüzlülüğü	m	0.000046
7	Kuyu içi eşanjörünün pürüzlülüğü	m	0.000046
8	Kuyunun pürüzlülüğü	m	0.00254
9	Muhafazanın ısı iletkenliği	W/m °C	57
10	Kuyu içi ısı eşanjörünün ısı iletkenliği	W/m °C	57
11	Kuyu içi ısı eşanjörünün uzunluğu	m	8
12	Kuyu içi ısı eşanjörünün delikler arası uzunluğu	m	6
13	Kuyu içi eşanjörünün giriş sıcaklığı	°C	40
14	Rezervuar Sıcaklığı	°C	80
15	Kuyu içi ısı eşanjörü içindeki akışkanın kütleli debisi	kg/s	0.245
16	Karışım oranı		0.8
17	Kuyu içi ısı eşanjöründeki loop sayısı		1

Tablo 7.9 Tek sarımlı serpantinli delikli muhafazalı kuyu içi ısı eşanjörü çıkış verileri

N Adım sayısı	T _{çıkış} Çıkış sıcaklığı °C	U Isı transfer katsayısı kW/m ² °C	η Verim %	H Yük kaybı mSS	Q Isı alımı kW	Değişken T _{giriş} °C
0	68.7	1.731	0.72	0.008	29.4	40
1	69.1	1.760	0.71	0.008	27.7	42
2	69.4	1.788	0.71	0.008	26.1	44
3	69.8	1.817	0.70	0.008	24.4	46
4	70.2	1.844	0.69	0.008	22.7	48
5	70.6	1.872	0.69	0.008	21.1	50
6	71	1.898	0.68	0.008	19.4	52
7	71.4	1.924	0.67	0.008	17.8	54
8	71.8	1.948	0.66	0.008	16.2	56
9	72.2	1.971	0.65	0.008	14.6	58
10	72.6	1.992	0.63	0.008	13	60



Şekil 7.4 Tek sarımlı serpantinli delikli muhafazalı kuyu içi ısı eşanjöründe

Q_{ϕ} , T_{ϕ} , η = f (T_g)'in değişimleri

d) $T_{\text{çıkış}}$, η , $Q_{\text{çıkış}}$ 'rezervuar su sıcaklığına göre değişimleri

Tablo 7.10 da verilen giriş değerlerine göre, rezervuar sıcaklığının fonksiyonu olarak çıkış değerlerinin değişimi Tablo7.11 ve Şekil 7.5 te görülmektedir. Rezervuar sıcaklığına uygun ısı alımı ve verim ve çıkış sıcaklıkları belirlenir.

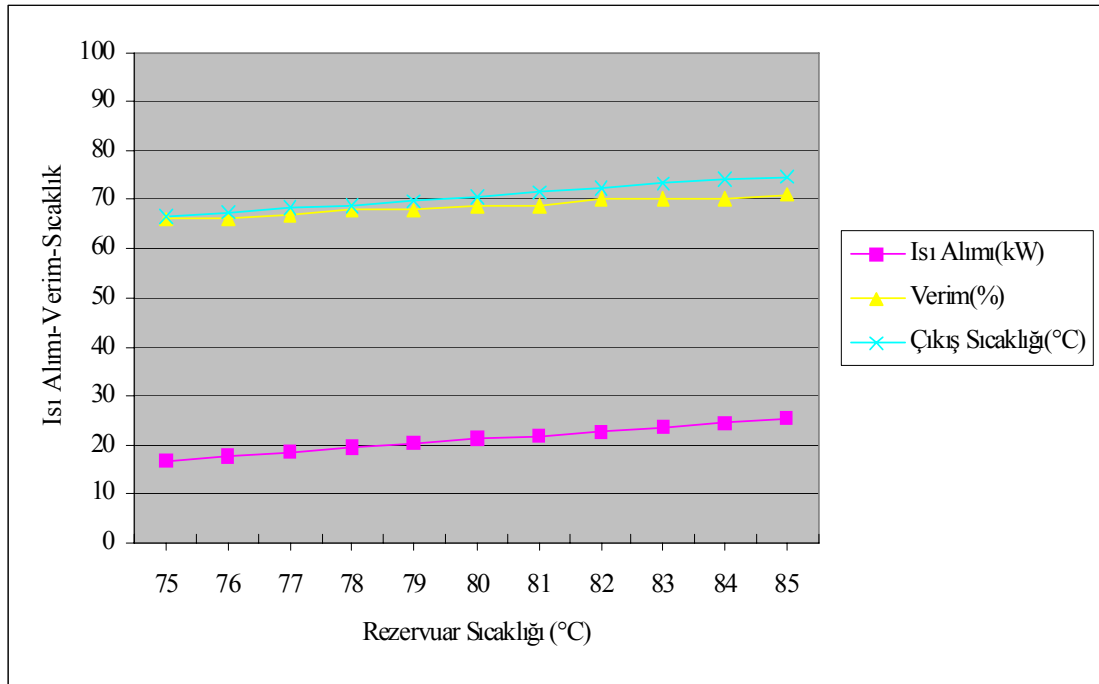
Burada rezervuar sıcaklığı arttıkça ısı alımı ve verimi de aynı zamanda çıkış sıcaklığı da artmaktadır. Bu zaten beklenen bir durumdur. Rezervuar sıcaklığı 80°C olarak tespit edilmiştir.

Tablo 7.10 Tek sarımlı serpantinli delikli muhafazalı kuyu içi ısı eşanjörü giriş verileri

SIRA NO	MALZEME ADI VE ÖZELLİĞİ	BİRİMİ	DEĞERİ
1	Muhafaza iç çapı	m	0.12
2	Muhafaza cidar kalınlığı	m	0.006
3	Kuyu içi ısı eşanjörünün boru çapı	m	0.05
4	Kuyu içi ısı eşanjörünün boru cidar kalınlığı	m	0.002
5	Kuyu çapı	m	0.18
6	Örtünün mutlak pürüzlülüğü	m	0.000046
7	Kuyu içi eşanjörünün pürüzlülüğü	m	0.000046
8	Kuyunun pürüzlülüğü	m	0.00254
9	Muhafazanın ısı iletkenliği	W/m °C	57
10	Kuyu içi ısı eşanjörünün ısı iletkenliği	W/m °C	57
11	Kuyu içi ısı eşanjörünün uzunluğu	m	8
12	Kuyu içi ısı eşanjörünün delikler arası uzunluğu	m	6
13	Kuyu içi eşanjörünün giriş sıcaklığı	°C	50
14	Rezervuar Sıcaklığı	°C	75
15	Kuyu içi ısı eşanjörü içindeki akışkanın kütleli debisi	kg/s	0.245
16	Karışım oranı		0.8
17	Kuyu içi ısı eşanjöründeki loop sayısı		1

Tablo 7.11 Tek sarımlı serpantinli delikli muhafazalı kuyu içi ısı eşanjörü çıkış verileri

N Adım sayısı	T _{çıkış} Çıkış sıcaklığı °C	U Isı transfer katsayısı kW/m ² °C	η Verim %	H Yük kaybı mSS	Q Isı alımı kW	Değişken T _{rez.} °C
0	66.4	1.847	0.66	0.008	16.8	75
1	67.3	1.853	0.66	0.008	17.7	76
2	68.1	1.858	0.67	0.008	18.5	77
3	68.9	1.863	0.68	0.008	19.4	78
4	69.7	1.867	0.68	0.008	20.2	79
5	70.6	1.872	0.69	0.008	21.1	80
6	71.4	1.876	0.69	0.008	21.9	81
7	72.3	1.880	0.70	0.008	22.8	82
8	73.1	1.884	0.70	0.008	23.7	83
9	74	1.887	0.70	0.008	24.5	84
10	74.8	1.891	0.71	0.008	25.4	85



Şekil 7.5 Tek sarımlı serpantinli delikli muhafazalı kuyu içi ısı eşanjöründe

$Q_{\dot{c}}, T_{\dot{c}}, \eta = f(T_{rez})$ 'in değişimleri

7.2.4.1.2 Çift sarımlı serpantinli delikli muhafazalı tipteki kuyu içi ısı eşanjörü (2 looplü)

a) $T_{\dot{c}ıkış}, \eta, Q_{\dot{c}ıkış}$ ' in ısı eşanjörü boru uzunluğuna göre değişimleri.

Çift sarımlı serpantinli ısı eşanjörü için giriş değerleri Tablo7.12'de verilmiştir.Tablo7.13'de de çıkış değerleri ,şekil 7.6'de uzunluğa göre değişimleri elde edilmiştir.

Konut için gerekli ısı miktarı 20.45 kW olduğuna göre; Tablo 7.13 ten veya Şekil 7.6'den uygun boru uzunluğuna göre talep edilen ısı miktarı, verim ve çıkış sıcaklığı seçilir.

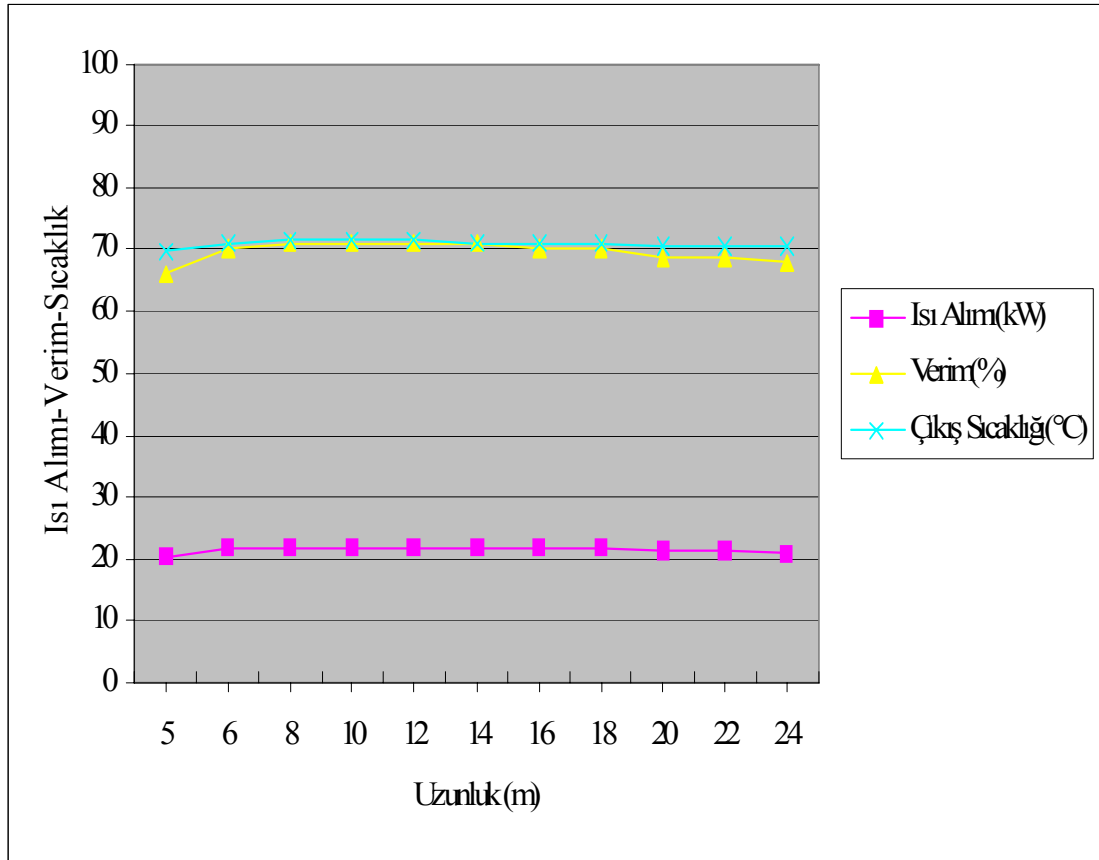
Tek sarımlı da olduğu gibi uzunluğa göre performans değişimleri benzer bir davranış göstermektedir.

Tablo 7.12 Çift sarımlı serpantinli delikli muhafazalı kuyu içi ısı eşanjörü giriş verileri

SIRA NO	MALZEME ADI VE ÖZELLİĞİ	BİRİMİ	DEĞERİ
1	Muhafaza iç çapı	m	0.10
2	Muhafaza cidar kalınlığı	m	0.006
3	Kuyu içi ısı eşanjörünün boru çapı	m	0.05
4	Kuyu içi ısı eşanjörünün boru cidar kalınlığı	m	0.002
5	Kuyu çapı	m	0.18
6	Örtünün mutlak pürüzlülüğü	m	0.000046
7	Kuyu içi eşanjörünün pürüzlülüğü	m	0.000046
8	Kuyunun pürüzlülüğü	m	0.00254
9	Muhafazanın ısıl iletkenliği	W/m °C	57
10	Kuyu içi ısı eşanjörünün ısıl iletkenliği	W/m °C	57
11	Kuyu içi ısı eşanjörünün uzunluğu	m	5
12	Kuyu içi ısı eşanjörünün delikler arası uzunluğu	m	4
13	Kuyu içi eşanjörünün giriş sıcaklığı	°C	50
14	Rezervuar Sıcaklığı	°C	80
15	Kuyu içi ısı eşanjörü içindeki akışkanın kütleli debisi	kg/s	0.245
16	Karışım oranı		0.8
17	Kuyu içi ısı eşanjöründeki loop sayısı		2

Tablo 7.13 Çift sarımlı serpantinli delikli muhafazalı kuyu içi ısı eşanjörü çıkış verileri

N Adım sayısı	T _{çıkış} Çıkış sıcaklığı °C	U Isı transfer katsayısı kW/m ² °C	η Verim %	H Yük kaybı mSS	Q Isı alımı kW	Değişken Uzunluk m
0	69.9	1.208	0.66	0.002	20.4	5
1	71.1	1.221	0.70	0.002	21.6	6
2	71.3	1.225	0.71	0.002	21.8	8
3	71.3	1.227	0.71	0.002	21.8	10
4	71.3	1.228	0.71	0.002	21.8	12
5	71.2	1.228	0.71	0.002	21.7	14
6	71.1	1.229	0.70	0.002	21.6	16
7	70.9	1.229	0.70	0.002	21.5	18
8	70.8	1.229	0.69	0.002	21.3	20
9	70.7	1.229	0.69	0.002	21.2	22
10	70.5	1.229	0.68	0.002	21	24



Şekil 7.6 Çift sarımlı delikli serpantinli muhafazalı kuyu içi ısı eşanjöründe

Q_{ϕ} , T_{ϕ} , $\eta = f(L)$ 'in değişimleri

- b) $T_{\text{çıkış}}$, η , $Q_{\text{çıkış}}$ ' in debiye göre değişimleri Tablo 7.15 ve Şekil 7.7 görülmektedir. Yine aynı şekilde Tablo ve şekilden gerekli debiye karşılık gelen çıkış değerleri seçilir.

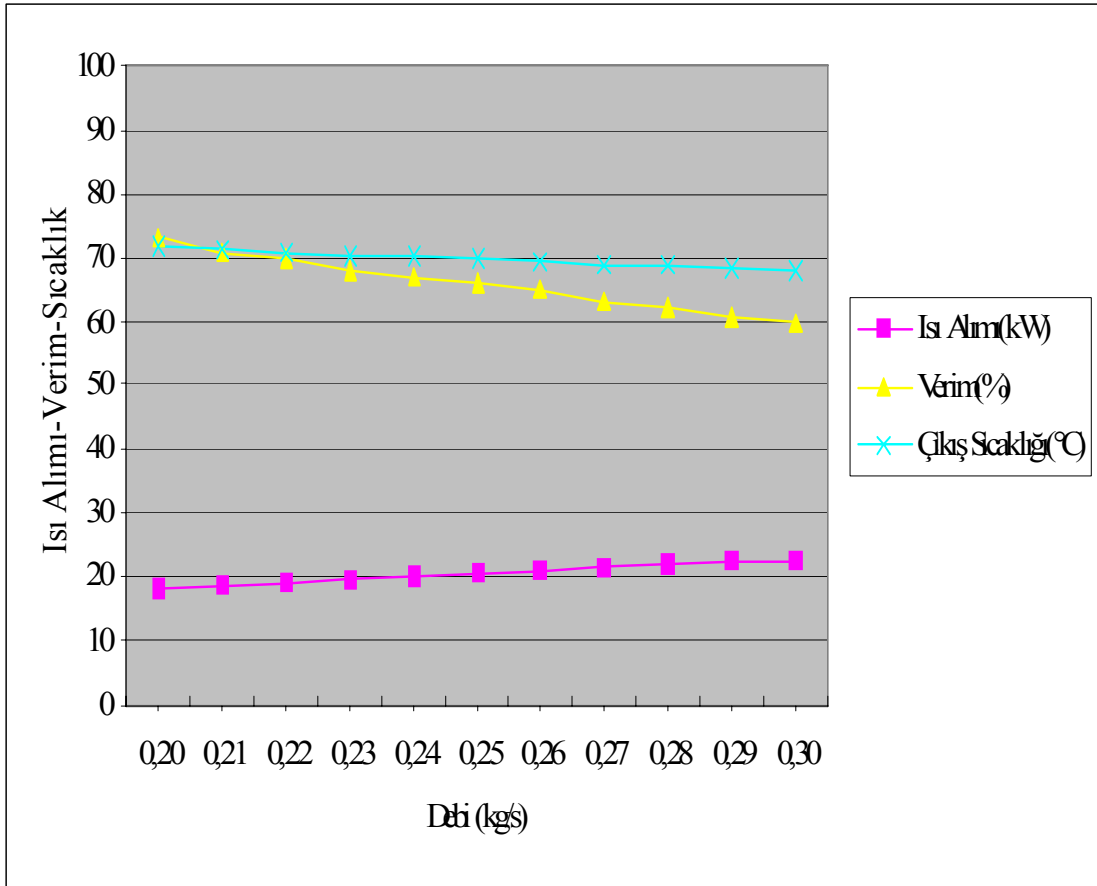
Burada tek sarımlı durumda olduğu gibi debi değişimiyle ısı alımında çok az bir değişim olduğu görülmekte fakat verimdeki düşüşün biraz daha fazla olduğu, çıkış sıcaklığının da 70°C civarında değişim gösterdiği görülmüştür.

Tablo 7.14 Çift sarımlı serpantinli delikli muhafazalı kuyu içi ısı eşanjörü giriş verileri

SIRA NO	MALZEME ADI VE ÖZELLİĞİ	BİRİMİ	DEĞERİ
1	Muhafaza iç çapı	m	0.10
2	Muhafaza cidar kalınlığı	m	0.006
3	Kuyu içi ısı eşanjörünün boru çapı	m	0.05
4	Kuyu içi ısı eşanjörünün boru cidar kalınlığı	m	0.002
5	Kuyu çapı	m	0.18
6	Örtünün mutlak pürüzlülüğü	m	0.000046
7	Kuyu içi eşanjörünün pürüzlülüğü	m	0.000046
8	Kuyunun pürüzlülüğü	m	0.00254
9	Muhafazanın ısıl iletkenliği	W/m °C	57
10	Kuyu içi ısı eşanjörünün ısıl iletkenliği	W/m °C	57
11	Kuyu içi ısı eşanjörünün uzunluğu	m	5
12	Kuyu içi ısı eşanjörünün delikler arası uzunluğu	m	4
13	Kuyu içi eşanjörünün giriş sıcaklığı	°C	50
14	Rezervuar Sıcaklığı	°C	80
15	Kuyu içi ısı eşanjörü içindeki akışkanın kütleli debisi	kg/s	0.20
16	Karışım oranı		0.8
17	Kuyu içi ısı eşanjöründeki loop sayısı		2

Tablo 7.15 Çift sarımlı serpantinli delikli muhafazalı kuyu içi ısı eşanjörü çıkış verileri

N Adım sayısı	T _{çıkış} Çıkış sıcaklığı °C	U Isı transfer katsayısı kW/m ² °C	η Verim %	H Yük kaybı mSS	Q Isı alımı kW	Değişken Debi kg/s
0	71.9	1.065	0.73	0.001	18.3	0.20
1	71.4	1.098	0.71	0.001	18.8	0.21
2	71	1.130	0.70	0.001	19.3	0.22
3	70.5	1.162	0.68	0.001	19.8	0.23
4	70.1	1.193	0.67	0.001	20.2	0.24
5	69.8	1.223	0.66	0.002	20.7	0.25
6	69.4	1.253	0.65	0.002	21.1	0.26
7	69	1.282	0.63	0.002	21.5	0.27
8	68.7	1.311	0.62	0.002	21.9	0.28
9	68.4	1.339	0.61	0.002	22.3	0.29
10	68.1	1.367	0.60	0.002	22.6	0.30



Şekil 7.7 Çift sarımlı serpantinli delikli muhafazalı kuyu içi ısı eşanjöründe

$Q_{ç}$, $T_{ç}$, η = f (m)'in değişimleri

c) $T_{çıkış}$, η , $Q_{çıkış}$ ' ın giriş su sıcaklığına göre değişimleri:

Tablo 7.16 da verilen giriş değerlerine göre, giriş sıcaklığının fonksiyonu olarak çıkış değerlerinin değişimi Tablo 7.17 ve Şekil 7.8'de görülmektedir. Burada giriş sıcaklığına karşılık gelen çıkış değerleri, Tablo 7.17 ve Şekil 7.8'den seçilir.

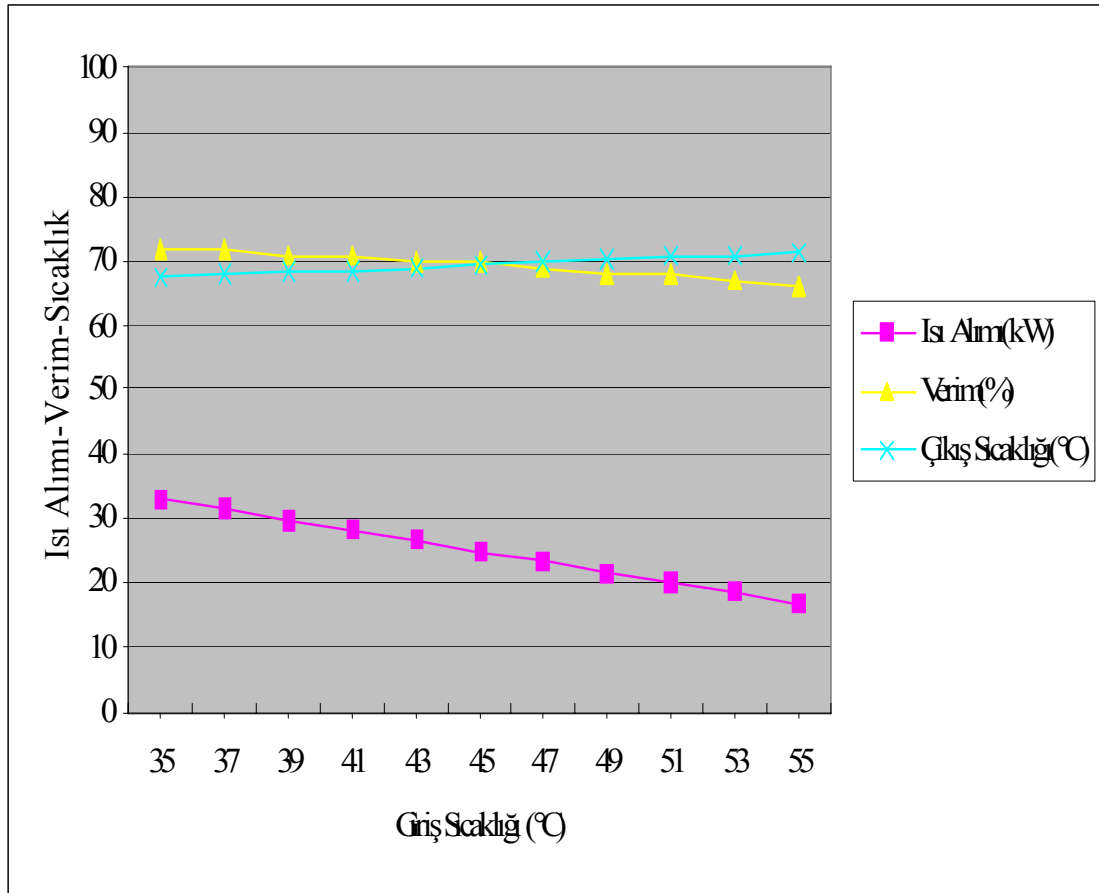
Tek sarımlı serpantinli de olduğu gibi giriş su sıcaklığına göre benzer bir değişim görülmekte çıkış su sıcaklığı da 70°C civarında değişim gösterdiği verimin de fazla bir değişim olmadığı %70 civarında seyrettiği gözlemlenmiştir.

Tablo 7.16 Çift sarımlı serpantinli delikli muhafazalı kuyu içi ısı eşanjörü giriş verileri

SIRA NO	MALZEME ADI VE ÖZELLİĞİ	BİRİMİ	DEĞERİ
1	Muhafaza iç çapı	m	0.12
2	Muhafaza cidar kalınlığı	m	0.006
3	Kuyu içi ısı eşanjörünün boru çapı	m	0.05
4	Kuyu içi ısı eşanjörünün boru cidar kalınlığı	m	0.002
5	Kuyu çapı	m	0.18
6	Örtünün mutlak pürüzlülüğü	m	0.000046
7	Kuyu içi eşanjörünün pürüzlülüğü	m	0.000046
8	Kuyunun pürüzlülüğü	m	0.00254
9	Muhafazanın ısıl iletkenliği	W/m °C	57
10	Kuyu içi ısı eşanjörünün ısıl iletkenliği	W/m °C	57
11	Kuyu içi ısı eşanjörünün uzunluğu	m	6
12	Kuyu içi ısı eşanjörünün delikler arası uzunluğu	m	4
13	Kuyu içi eşanjörünün giriş sıcaklığı	°C	40
14	Rezervuar Sıcaklığı	°C	80
15	Kuyu içi ısı eşanjörü içindeki akışkanın kütleli debisi	kg/s	0.245
16	Karışım oranı		0.8
17	Kuyu içi ısı eşanjöründeki loop sayısı		2

Tablo 7.17 Çift sarımlı serpantinli delikli muhafazalı kuyu içi ısı eşanjörü çıkış verileri

N Adım sayısı	T _{çıkış} Çıkış sıcaklığı °C	U Isı transfer katsayısı kW/m ² °C	η Verim %	H Yük kaybı mSS	Q Isı alımı kW	Değişken T _{giriş} °C
0	67.4	1.976	0.72	0.002	33.2	35
1	67.8	1.098	0.72	0.002	31.5	37
2	68.2	1.120	0.71	0.002	29.9	39
3	68.6	1.143	0.71	0.002	28.3	41
4	69	1.165	0.70	0.002	26.6	43
5	69.4	1.188	0.70	0.002	25	45
6	69.8	1.210	0.69	0.002	23.4	47
7	70.2	1.233	0.68	0.002	21.7	49
8	70.6	1.255	0.68	0.002	20.1	51
9	71	1.277	0.67	0.002	18.5	53
10	71.5	1.299	0.66	0.002	16.9	55



Şekil 7.8 Çift sarımlı serpantinli delikli muhafazalı kuyu içi ısı eşanjöründe

$Q_{\dot{c}}, T_{\dot{c}}, \eta = f(T_g)$ 'in değişimleri

d) $T_{\dot{c}}, \eta, Q_{\dot{c}}$ 'ın rezervuar su sıcaklığına göre değişimleri

Tablo 7.18 de verilen giriş değerlerine göre, rezervuar sıcaklığının fonksiyonu olarak çıkış değerlerinin değişimleri Tablo 7.19 ve Şekil 7.9 da görülmektedir. Rezervuar sıcaklığına uygun ısı alımı ve verim ve çıkış sıcaklıkları belirlenir.

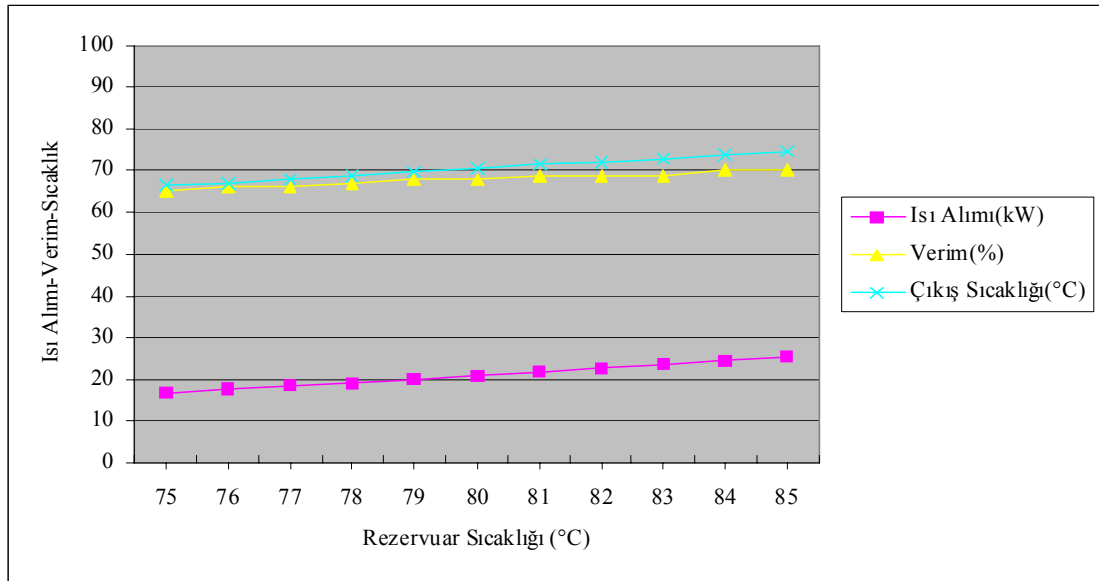
Burada rezervuar sıcaklığına göre değişimlerin aşağı yukarı aynı olduğu, artan sıcaklığa göre alınan ısı ve çıkış sıcaklığı, verimde bir miktar artış gözlemlenmektedir.

Tablo 7.18 Çift sarımlı serpantinli delikli muhafazalı kuyu içi ısı eşanjörü giriş verileri

SIRA NO	MALZEME ADI VE ÖZELLİĞİ	BİRİMİ	DEĞERİ
1	Muhafaza iç çapı	m	0.12
2	Muhafaza cidar kalınlığı	m	0.006
3	Kuyu içi ısı eşanjörünün boru çapı	m	0.05
4	Kuyu içi ısı eşanjörünün boru cidar kalınlığı	m	0.002
5	Kuyu çapı	m	0.18
6	Örtünün mutlak pürüzlülüğü	m	0.000046
7	Kuyu içi eşanjörünün pürüzlülüğü	m	0.000046
8	Kuyunun pürüzlülüğü	m	0.00254
9	Muhafazanın ısı iletkenliği	W/m °C	57
10	Kuyu içi ısı eşanjörünün ısı iletkenliği	W/m °C	57
11	Kuyu içi ısı eşanjörünün uzunluğu	m	6
12	Kuyu içi ısı eşanjörünün delikler arası uzunluğu	m	4
13	Kuyu içi eşanjörünün giriş sıcaklığı	°C	50
14	Rezervuar Sıcaklığı	°C	75
15	Kuyu içi ısı eşanjörü içindeki akışkanın kütleli debisi	kg/s	0.245
16	Karışım oranı		0.8
17	Kuyu içi ısı eşanjöründeki loop sayısı		2

Tablo 7.19 Çift sarımlı serpantinli delikli muhafazalı kuyu içi ısı eşanjörü çıkış verileri

N Adım sayısı	T _{çıkış} Çıkış sıcaklığı °C	U Isı transfer katsayısı kW/m ² °C	η Verim %	H Yük kaybı mSS	Q Isı alımı kW	Değişken T _{rez.} °C
0	66.3	1.233	0.65	0.002	16.7	75
1	67.1	1.235	0.66	0.002	17.6	76
2	67.9	1.238	0.66	0.002	18.4	77
3	68.8	1.240	0.67	0.002	19.2	78
4	69.6	1.242	0.68	0.002	20.1	79
5	70.4	1.244	0.68	0.002	20.9	80
6	71.3	1.246	0.69	0.002	21.8	81
7	72.1	1.248	0.69	0.002	22.6	82
8	72.9	1.249	0.69	0.002	23.5	83
9	73.8	1.251	0.70	0.002	24.4	84
10	74.6	1.252	0.70	0.002	25.2	85



Şekil 7.9 Çift sarımlı serpantinli delikli muhafazalı kuyu içi ısı eşanjöründe

Q_{ϕ} , T_{ϕ} , $\eta = f(T_{rez})$ 'in değişimleri

7.2.4.1.3 Tek sarımlı serpantinli taşınım destekleyici tipteki kuyu içi ısı eşanjörü (1 looplü)

a) $T_{\text{çıkış}}$, η , $Q_{\text{çıkış}}$ ' in ısı eşanjörü boru uzunluğuna göre değişimleri.

Tek sarımlı serpantinli taşınım destekleyici tipteki ısı eşanjörü için giriş değerleri Tablo7.20'de verilmiştir.Tablo7.21'de de çıkış değerleri, şekil 7.10'da uzunluğa göre değişimleri elde edilmiştir.

Konut için gerekli ısı miktarı 20.45 kW olduğuna göre; Tablo 7.21 den veya Şekil 7.10'dan uygun boru uzunluğuna göre talep edilen ısı miktarı, verim ve çıkış sıcaklığı seçilir.

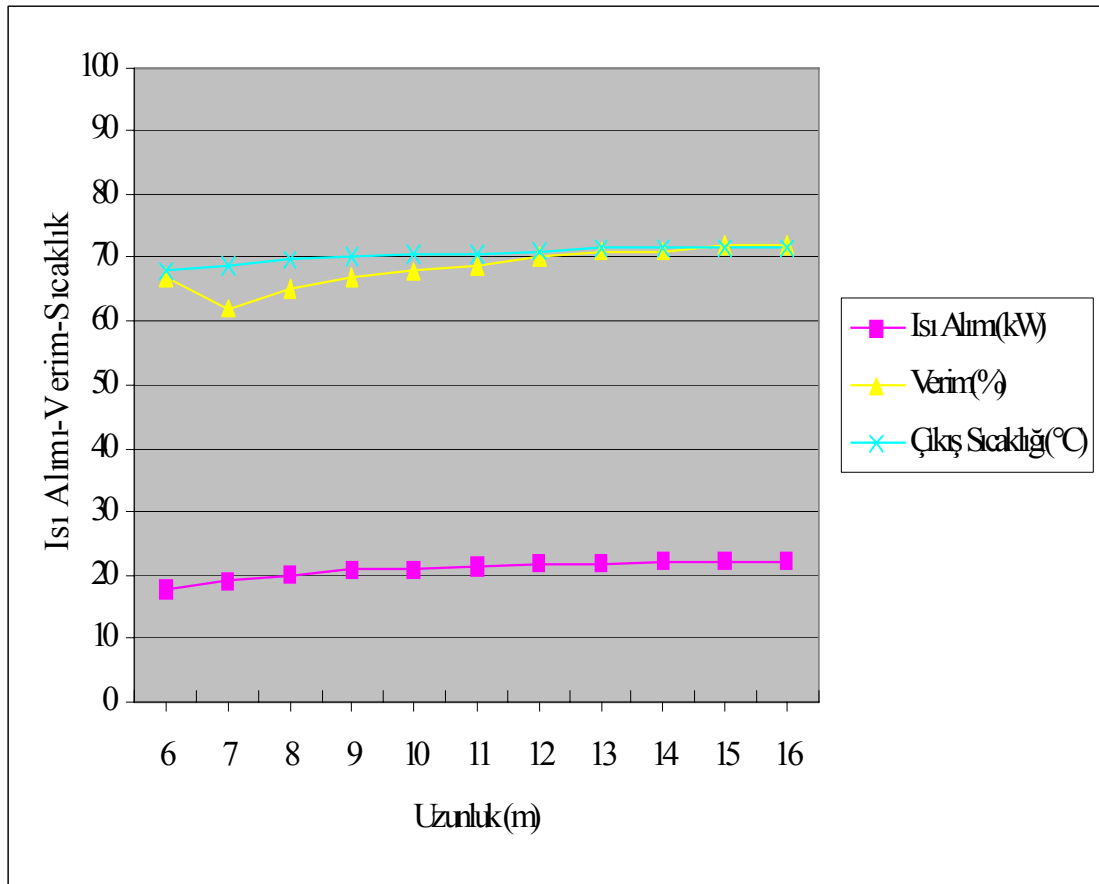
Delikli muhafazalı durumda olduğu gibi benzer bir değişim sergilemekte, tüm performans değerleri sabite yakın bir değişim sergilemektedir.

Tablo 7.20 Tek sarımlı serpantinli taşınım destekli kuyu içi ısı eşanjörü giriş verileri

SIRA NO	MALZEME ADI VE ÖZELLİĞİ	BİRİMİ	DEĞERİ
1	Taşınım Destekli boru iç çapı	m	0.12
2	Taşınım Destekli boru cidar kalınlığı	m	0.006
3	Kuyu içi ısı eşanjörünün boru çapı	m	0.05
4	Kuyu içi ısı eşanjörünün boru cidar kalınlığı	m	0.002
5	Muhafaza iç çapı	m	0.20
6	Taşınım Destekli borunun pürüzlülüğü	m	0.000046
7	Muhafazanın pürüzlülüğü	m	0.000046
8	Kuyu içi ısı eşanjörünün pürüzlülüğü	m	0.00254
9	Taşınım destekli borunun ısı iletkenliği	W/m °C	57
10	Kuyu içi ısı eşanjörünün ısı iletkenliği	W/m °C	57
11	Kuyu içi ısı eşanjörünün uzunluğu	m	8
12	Taşınım destekleyici borunun delikler arası uzunluğu	m	6
13	Kuyu içi ısı eşanjörünün giriş sıcaklığı	°C	50
14	Rezervuar Sıcaklığı	°C	80
15	Kuyu içi ısı eşanjörü içindeki akışkanın kütleli debisi	kg/s	0.245
16	Karışım oranı		0.8
17	Kuyu içi ısı eşanjöründeki loop sayısı		1

Tablo 7.21 Tek sarımlı serpantinli taşınım destekli kuyu içi ısı eşanjörü çıkış verileri

N Adım sayısı	T _{çıkış} Çıkış sıcaklığı °C	U Isı transfer katsayısı kW/m ² °C	η Verim %	H Yük kaybı mSS	Q Isı alımı kW	Değişken Uzunluk m
0	67.8	1.661	0.67	0.008	17.7	8
1	68.6	1.700	0.62	0.008	19.1	7
2	69.5	1.724	0.65	0.008	20	8
3	70.1	1.741	0.67	0.008	20.6	9
4	70.5	1.752	0.68	0.008	21	10
5	70.8	1.761	0.69	0.008	21.3	11
6	71.1	1.769	0.70	0.008	21.6	12
7	71.3	1.774	0.71	0.008	21.8	13
8	71.4	1.779	0.71	0.008	22	14
9	71.5	1.783	0.72	0.008	22.1	15
10	71.6	1.787	0.72	0.008	22.2	16



Şekil 7.10 Tek sarımlı serpantinli taşınım destekli kuyu içi ısı eşanjöründe

$Q_{\text{ç}}, T_{\text{ç}}, \eta = f(L)$ 'in değişimleri

b) $T_{\text{çıkış}}, \eta, Q_{\text{çıkış}}$ ' in debiye göre değişimleri Tablo 7.23 ve Şekil 7.11 de görülmektedir. Yine aynı şekilde Tablo ve şekilden gerekli debiye karşılık gelen çıkış değerleri seçilir.

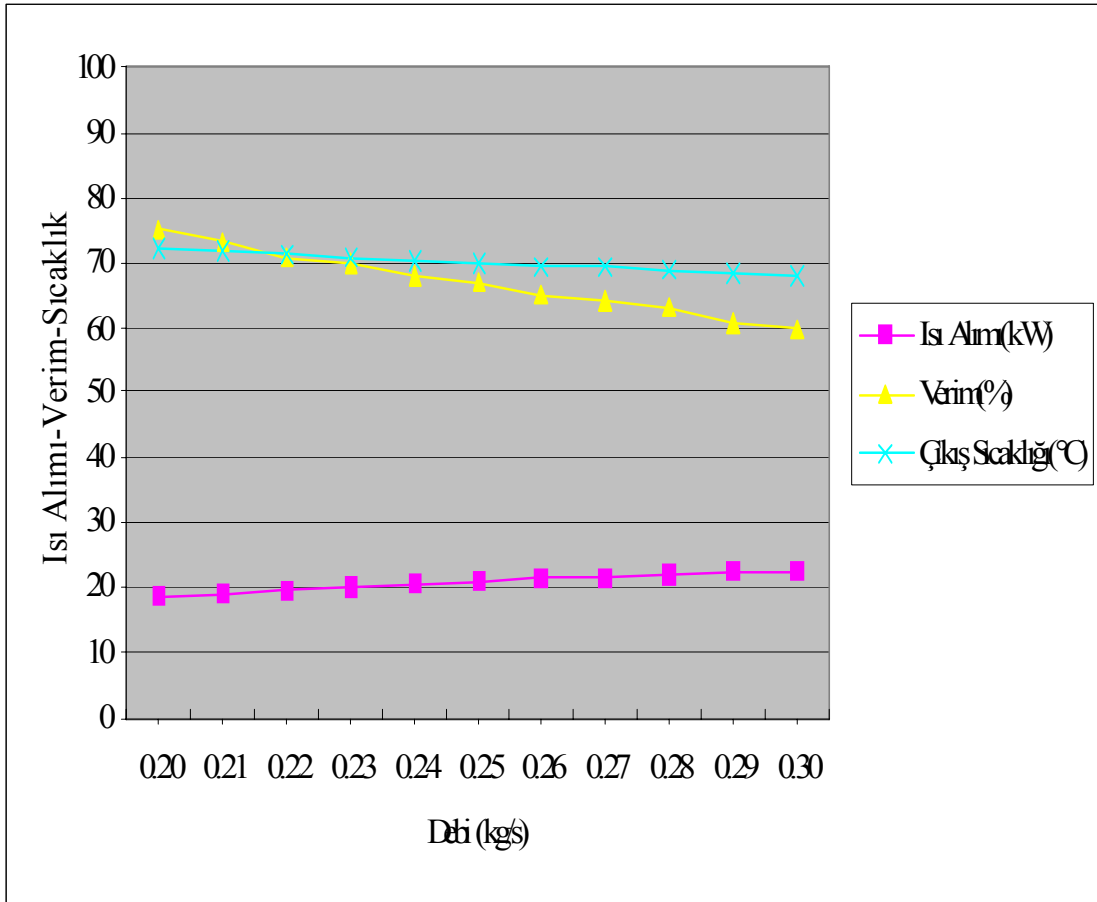
Delikli muhafazalı duruma benzer bir değişim sergilemekte fakat verim ve çıkış sıcaklıkları daha düşük bir seviyededir.

Tablo 7.22 Tek sarımlı serpantinli taşınım destekli kuyu içi ısı eşanjörü giriş verileri

SIRA NO	MALZEME ADI VE ÖZELLİĞİ	BİRİMİ	DEĞERİ
1	Taşınım Destekli boru iç çapı	m	0.12
2	Taşınım Destekli boru cidar kalınlığı	m	0.006
3	Kuyu içi ısı eşanjörünün boru çapı	m	0.05
4	Kuyu içi ısı eşanjörünün boru cidar kalınlığı	m	0.002
5	Muhafaza iç çapı	m	0.20
6	Taşınım Destekli borunun pürüzlülüğü	m	0.000046
7	Muhafazanın pürüzlülüğü	m	0.000046
8	Kuyu içi ısı eşanjörünün pürüzlülüğü	m	0.00254
9	Taşınım destekli borunun ısı iletkenliği	W/m °C	57
10	Kuyu içi ısı eşanjörünün ısı iletkenliği	W/m °C	57
11	Kuyu içi ısı eşanjörünün uzunluğu	m	16
12	Taşınım destekleyici borunun delikler arası uzunluğu	m	14
13	Kuyu içi ısı eşanjörünün giriş sıcaklığı	°C	50
14	Rezervuar Sıcaklığı	°C	80
15	Kuyu içi ısı eşanjörü içindeki akışkanın kütleli debisi	kg/s	0.20
16	Karışım oranı		0.8
17	Kuyu içi ısı eşanjöründeki loop sayısı		1

Tablo 7.23 Tek sarımlı serpantinli taşınım destekli kuyu içi ısı eşanjörü çıkış verileri

N Adım sayısı	T _{çıkış} Çıkış sıcaklığı °C	U Isı transfer katsayısı kW/m ² °C	η Verim %	H Yük kaybı mSS	Q Isı alımı kW	Değişken Debi kg/s
0	72.4	1.530	0.75	0.011	18.7	0.20
1	71.8	1.572	0.73	0.013	19.2	0.21
2	71.3	1.612	0.71	0.014	19.6	0.22
3	70.9	1.651	0.70	0.015	20.1	0.23
4	70.4	1.689	0.68	0.016	20.5	0.24
5	70.0	1.726	0.67	0.017	20.9	0.25
6	69.5	1.762	0.65	0.018	21.3	0.26
7	69.2	1.797	0.64	0.020	21.6	0.27
8	68.8	1.830	0.63	0.021	22	0.28
9	68.4	1.863	0.61	0.022	22.3	0.29
10	68.1	1.895	0.60	0.024	22.7	0.30



Şekil 7.11 Tek sarımlı serpantinli taşınım destekli kuyu içi ısı eşanjöründe

$Q_c, T_c, \eta = f(m)$ 'in değişimleri

c) $T_{çıkış}, \eta, Q_{çıkış}$ ' in giriş sıcaklığına göre değişimi

Tablo 7.24 de verilen giriş değerlerine göre, giriş sıcaklığının fonksiyonu olarak çıkış değerlerinin değişimi Tablo 7.25 ve Şekil 7.12'de görülmektedir. Burada giriş sıcaklığına karşılık gelen çıkış değerleri, Tablo 7.25 ve Şekil 7.12'den seçilir.

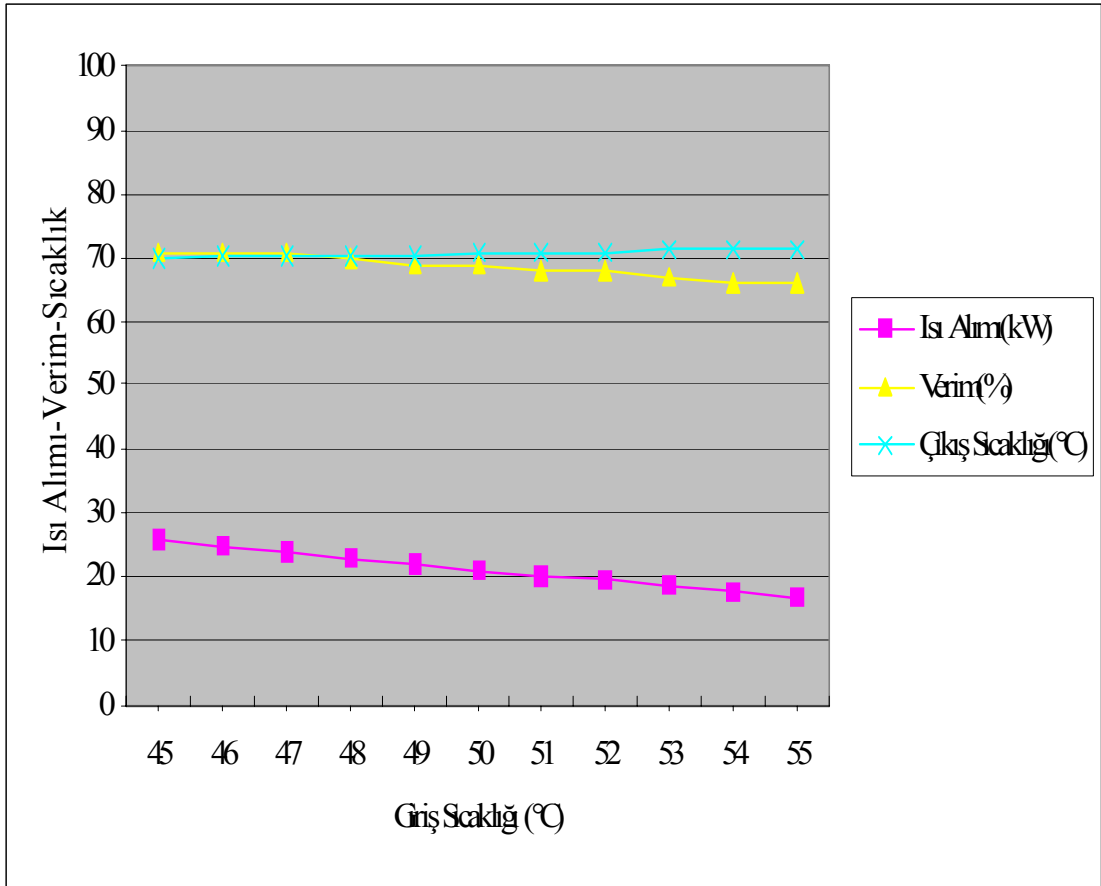
Delikli muhafazalı tipe benzer bir durum sergilemekte fakat ısı alımının giriş sıcaklığına göre değişimi daha az bir düşüş göstermektedir. Çıkış sıcaklığı ve verim benzer bir durum sergilemektedir.

Tablo 7.24 Tek sarımlı serpantinli taşınım destekli kuyu içi ısı eşanjörü giriş verileri

SIRA NO	MALZEME ADI VE ÖZELLİĞİ	BİRİMİ	DEĞERİ
1	Taşınım Destekli boru iç çapı	m	0.12
2	Taşınım Destekli boru cidar kalınlığı	m	0.006
3	Kuyu içi ısı eşanjörünün boru çapı	m	0.05
4	Kuyu içi ısı eşanjörünün boru cidar kalınlığı	m	0.002
5	Muhafaza iç çapı	m	0.20
6	Taşınım Destekli borunun pürüzlülüğü	m	0.000046
7	Muhafazanın pürüzlülüğü	m	0.000046
8	Kuyu içi ısı eşanjörünün pürüzlülüğü	m	0.00254
9	Taşınım destekli borunun ısı iletkenliği	W/m °C	57
10	Kuyu içi ısı eşanjörünün ısı iletkenliği	W/m °C	57
11	Kuyu içi ısı eşanjörünün uzunluğu	m	20
12	Taşınım destekleyici borunun delikler arası uzunluğu	m	18
13	Kuyu içi ısı eşanjörünün giriş sıcaklığı	°C	45
14	Rezervuar Sıcaklığı	°C	80
15	Kuyu içi ısı eşanjörü içindeki akışkanın kütleli debisi	kg/s	0.245
16	Karışım oranı		0.8
17	Kuyu içi ısı eşanjöründeki loop sayısı		1

Tablo 7.25 Tek sarımlı serpantinli taşınım destekli kuyu içi ısı eşanjörü çıkış verileri

N Adım sayısı	T _{çıkış} Çıkış sıcaklığı °C	U Isı transfer katsayısı kW/m ² °C	η Verim %	H Yük kaybı mSS	Q Isı alımı kW	Değişken T _{giriş} °C
0	70	1.664	0.71	0.021	25.6	45
1	70.1	1.675	0.71	0.021	24.7	46
2	70.3	1.685	0.71	0.021	23.8	47
3	70.4	1.695	0.70	0.021	22.9	48
4	70.5	1.705	0.69	0.021	22.1	49
5	70.7	1.715	0.69	0.021	21.2	50
6	70.8	1.724	0.68	0.020	20.3	51
7	70.9	1.733	0.68	0.020	19.4	52
8	71.1	1.741	0.67	0.020	18.5	53
9	71.3	1.750	0.66	0.020	17.7	54
10	71.4	1.758	0.66	0.020	16.8	55



Şekil 7.12 Tek sarımlı serpantinli taşınım destekli kuyu içi ısı eşanjöründe

$Q_{\dot{c}}, T_{\dot{c}}, \eta = f(T_g)$ 'in değişimleri

d) $T_{\dot{c}}, \eta, Q_{\dot{c}}$ 'ın rezervuar su sıcaklığına göre değişimleri

Tablo 7.26 de verilen giriş değerlerine göre, rezervuar sıcaklığının fonksiyonu olarak çıkış değerlerinin değişimleri Tablo 7.27 ve Şekil 7.13 de görülmektedir. Rezervuar sıcaklığına uygun ısı alımı ve verim ve çıkış sıcaklıkları belirlenir.

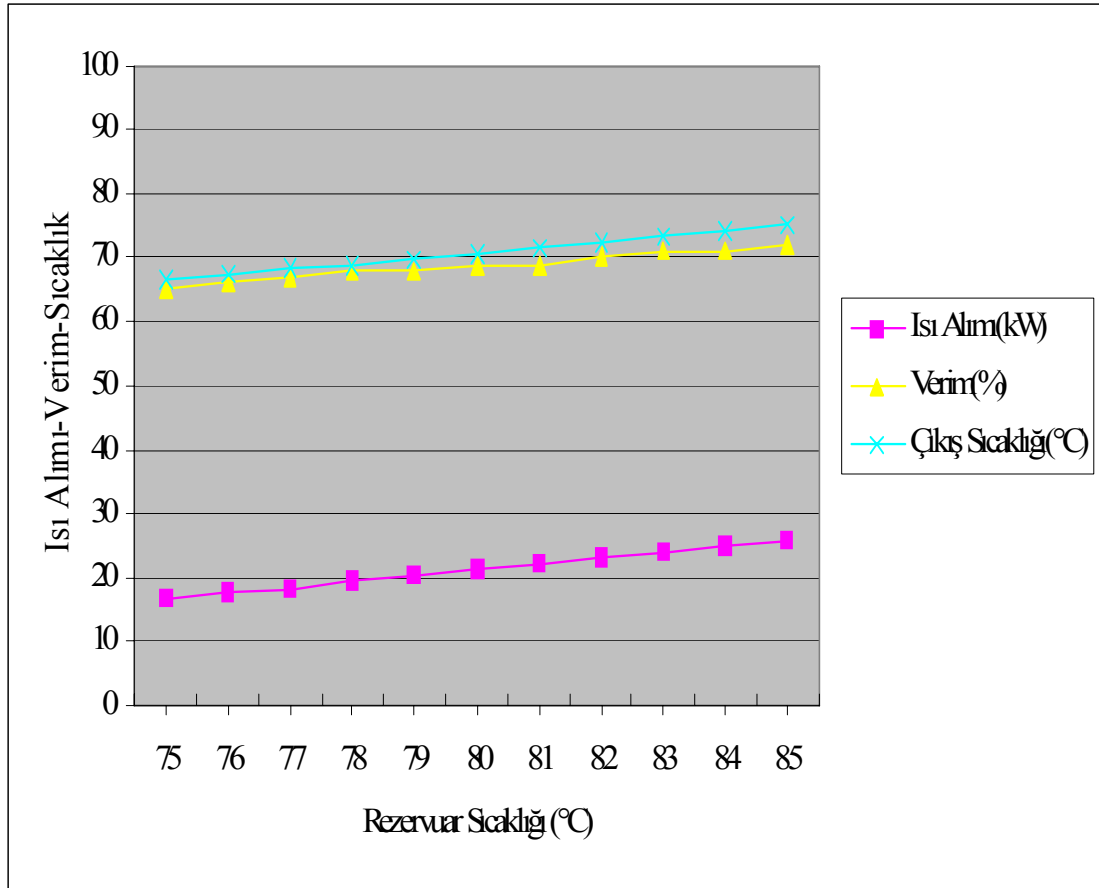
Delikli muhafazalı tipteki değişimlere benzer bir durum sergilemektedir. Değişimlerin hepsi yükselen bir eğri şeklindedir. Zaten bu durum rezervuar sıcaklığının artışıyla dolaylı olduğu aşıkardır.

Tablo 7.26 Tek sarımlı serpantinli taşınım destekli kuyu içi ısı eşanjörü giriş verileri

SIRA NO	MALZEME ADI VE ÖZELLİĞİ	BİRİMİ	DEĞERİ
1	Taşınım Destekli boru iç çapı	m	0.12
2	Taşınım Destekli boru cidar kalınlığı	m	0.006
3	Kuyu içi ısı eşanjörünün boru çapı	m	0.05
4	Kuyu içi ısı eşanjörünün boru cidar kalınlığı	m	0.002
5	Muhafaza iç çapı	m	0.20
6	Taşınım Destekli borunun pürüzlülüğü	m	0.000046
7	Muhafazanın pürüzlülüğü	m	0.000046
8	Kuyu içi ısı eşanjörünün pürüzlülüğü	m	0.00254
9	Taşınım destekli borunun ısı iletkenliği	W/m °C	57
10	Kuyu içi ısı eşanjörünün ısı iletkenliği	W/m °C	57
11	Kuyu içi ısı eşanjörünün uzunluğu	m	20
12	Taşınım destekleyici borunun delikler arası uzunluğu	m	18
13	Kuyu içi ısı eşanjörünün giriş sıcaklığı	°C	50
14	Rezervuar Sıcaklığı	°C	75
15	Kuyu içi ısı eşanjörü içindeki akışkanın kütleli debisi	kg/s	0.245
16	Karışım oranı		0.8
17	Kuyu içi ısı eşanjöründeki loop sayısı		1

Tablo 7.27 Tek sarımlı serpantinli taşınım destekli kuyu içi ısı eşanjörü çıkış verileri

N Adım sayısı	T _{çıkış} Çıkış sıcaklığı °C	U Isı transfer katsayısı kW/m ² °C	η Verim %	H Yük kaybı mSS	Q Isı alımı kW	Değişken T _{rez.} °C
0	66.4	1.678	0.65	0.021	16.8	75
1	67.2	1.686	0.66	0.021	17.6	76
2	68.1	1.694	0.67	0.021	18.3	77
3	68.9	1.701	0.68	0.021	19.4	78
4	69.8	1.708	0.68	0.021	20.3	79
5	70.7	1.715	0.69	0.021	21.2	80
6	71.5	1.721	0.69	0.021	22.1	81
7	72.4	1.727	0.70	0.021	23	82
8	73.3	1.733	0.71	0.021	23.9	83
9	74.2	1.738	0.71	0.021	24.8	84
10	75.1	1.743	0.72	0.021	25.7	85



Şekil 7.13 Tek sarımlı serpantinli taşınım destekli kuyu içi ısı eşanjöründe

$$Q_c, T_c, \eta = f(T_{rez}) \text{'in değişimleri}$$

7.2.4.1.4 Çift sarımlı serpantinli taşınım destekleyici tipteki kuyu içi ısı eşanjörü (2 looplü)

a) $T_{çıkış}, \eta, Q_{çıkış}$ 'ın ısı eşanjörü boru uzunluğuna göre değişimleri.

Çift sarımlı serpantinli taşınım destekleyici tipteki ısı eşanjörü için giriş değerleri Tablo7.28'de verilmiştir. Tablo7.29'da da çıkış değerleri, Şekil 7.14'de uzunluğa göre değişimleri elde edilmiştir. Konut için gerekli ısı miktarı 20,45 kW olduğuna göre; Tablo 7.29 den veya Şekil 7.14'ten uygun boru uzunluğuna göre talep edilen ısı miktarı, verim ve çıkış sıcaklığı seçilir.

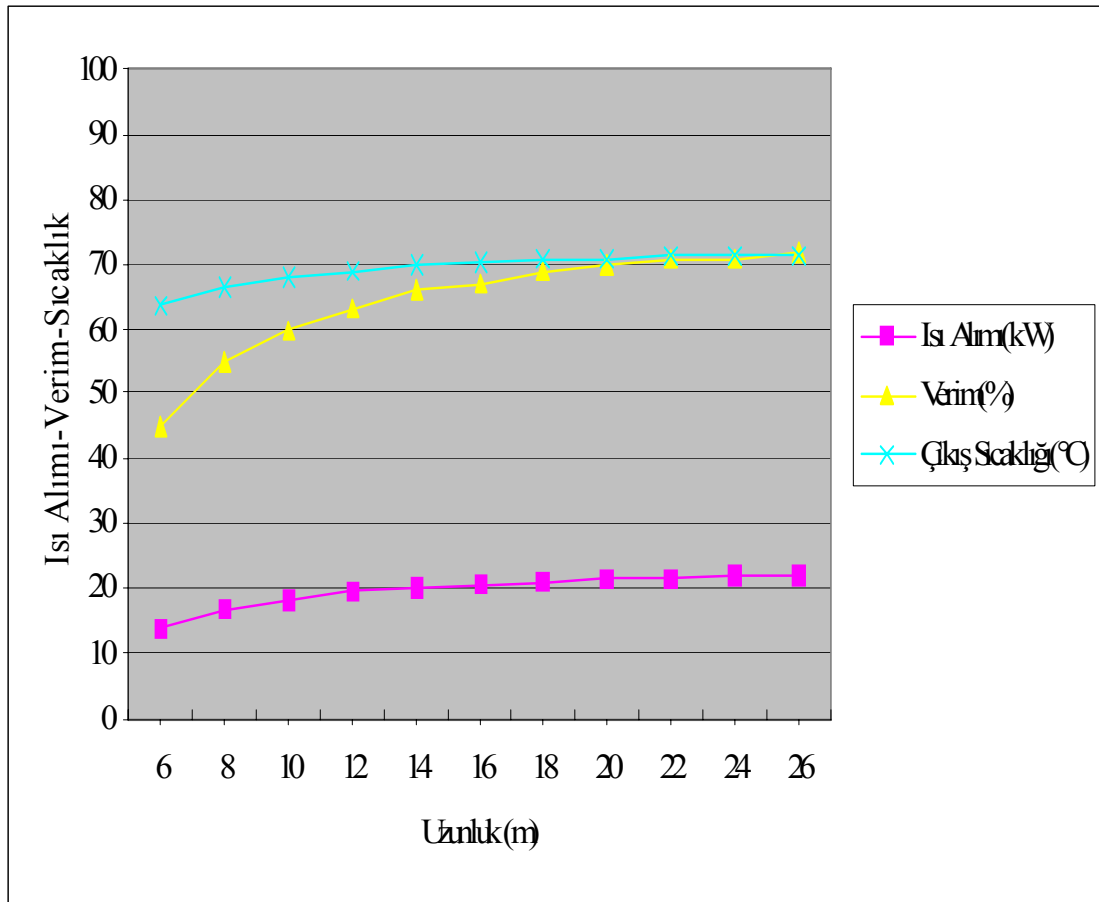
Tek sarımlı da olduğu gibi boru uzunluğuna göre çok az bir artışın olduğu , fakat verimin artan uzunlukla arttığı ve 18 m den sonra çıkış sıcaklığı ile sabit bir değişim gösterdiği görülmektedir.

Tablo 7.28 Çift sarımlı serpantinli taşınım destekli kuyu içi ısı eşanjörü giriş verileri

SIRA NO	MALZEME ADI VE ÖZELLİĞİ	BİRİMİ	DEĞERİ
1	Taşınım Destekli boru iç çapı	m	0.13
2	Taşınım Destekli boru cidar kalınlığı	m	0.006
3	Kuyu içi ısı eşanjörünün boru çapı	m	0.05
4	Kuyu içi ısı eşanjörünün boru cidar kalınlığı	m	0.002
5	Muhafaza iç çapı	m	0.22
6	Taşınım Destekli borunun pürüzlülüğü	m	0.000046
7	Muhafazanın pürüzlülüğü	m	0.000046
8	Kuyu içi ısı eşanjörünün pürüzlülüğü	m	0.00254
9	Taşınım destekli borunun ısı iletkenliği	W/m °C	57
10	Kuyu içi ısı eşanjörünün ısı iletkenliği	W/m °C	57
11	Kuyu içi ısı eşanjörünün uzunluğu	m	8
12	Taşınım destekleyici borunun delikler arası uzunluğu	m	6
13	Kuyu içi ısı eşanjörünün giriş sıcaklığı	°C	50
14	Rezervuar Sıcaklığı	°C	80
15	Kuyu içi ısı eşanjörü içindeki akışkanın kütleli debisi	kg/s	0.245
16	Karışım oranı		0.8
17	Kuyu içi ısı eşanjöründeki loop sayısı		2

Tablo 7.29 Çift sarımlı serpantinli taşınım destekli kuyu içi ısı eşanjörü çıkış verileri

N Adım sayısı	T _{çıkış} Çıkış sıcaklığı °C	U Isı transfer katsayısı kW/m ² °C	η Verim %	H Yük kaybı mSS	Q Isı alımı kW	Değişken Uzunluk m
0	63.6	1.166	0.45	0.002	13.9	8
1	66.4	1.200	0.55	0.002	16.8	8
2	67.9	1.216	0.60	0.002	18.4	10
3	68.9	1.226	0.63	0.002	19.4	12
4	69.7	1.233	0.66	0.002	20.1	14
5	70.2	1.238	0.67	0.002	20.7	16
6	70.6	1.242	0.69	0.002	21.1	18
7	70.9	1.245	0.70	0.002	21.4	20
8	71.2	1.247	0.71	0.002	21.7	22
9	71.3	1.249	0.71	0.002	21.9	24
10	71.5	1.251	0.72	0.002	22	26



Şekil 7.14 Çift sarımlı serpantinli taşınım destekli kuyu içi ısı eşanjöründe

$Q_{\dot{c}}, T_{\dot{c}}, \eta = f(L)$ 'in değişimleri

b) $T_{\dot{c}ıkış}, \eta, Q_{\dot{c}ıkış}$ ' in debiye göre değişimleri Tablo 7.31 ve Şekil 7.15 de görülmektedir. Yine aynı şekilde Tablo 7.31 ve Şekil 7.15'den gerekli debiye karşılık gelen çıkış değerleri seçilir.

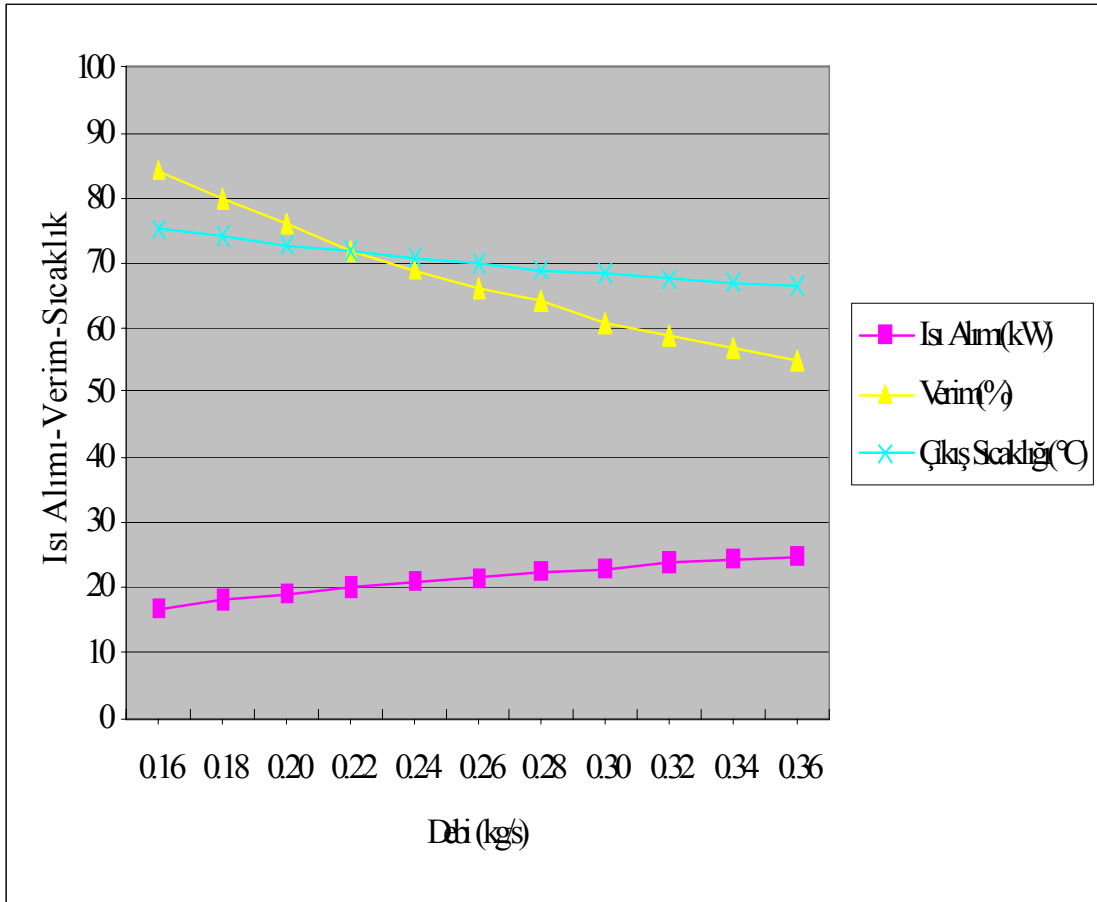
Bundan önceki tüm değişimlerde olduğu gibi debi artışıyla ısı alımı artarken verim ve çıkış sıcaklığında bir düşüş görülmekte fakat verimdeki düşüş diğer değişimlerden fark edilir biçimde olduğu hatta bu durumun giriş sıcaklığını da etkilediği görülmektedir zaten bu durum beklenen bir değişimdir.

Tablo 7.30 Çift sarımlı serpantinli taşınım destekli kuyu içi ısı eşanjörü giriş verileri

SIRA NO	MALZEME ADI VE ÖZELLİĞİ	BİRİMİ	DEĞERİ
1	Taşınım Destekli boru iç çapı	m	0.14
2	Taşınım Destekli boru cidar kalınlığı	m	0.006
3	Kuyu içi ısı eşanjörünün boru çapı	m	0.05
4	Kuyu içi ısı eşanjörünün boru cidar kalınlığı	m	0.002
5	Muhafaza iç çapı	m	0.22
6	Taşınım Destekli borunun pürüzlülüğü	m	0.000046
7	Muhafazanın pürüzlülüğü	m	0.000046
8	Kuyu içi ısı eşanjörünün pürüzlülüğü	m	0.00254
9	Taşınım destekli borunun ısı iletkenliği	W/m °C	57
10	Kuyu içi ısı eşanjörünün ısı iletkenliği	W/m °C	57
11	Kuyu içi ısı eşanjörünün uzunluğu	m	20
12	Taşınım destekleyici borunun delikler arası uzunluğu	m	18
13	Kuyu içi ısı eşanjörünün giriş sıcaklığı	°C	50
14	Rezervuar Sıcaklığı	°C	80
15	Kuyu içi ısı eşanjörü içindeki akışkanın kütleli debisi	kg/s	0.16
16	Karışım oranı		0.8
17	Kuyu içi ısı eşanjöründeki loop sayısı		2

Tablo 7.31 Çift sarımlı serpantinli taşınım destekli kuyu içi ısı eşanjörü çıkış verileri

N Adım sayısı	T _{çıkış} Çıkış sıcaklığı °C	U Isı tranfer katsayısı kW/m ² °C	η Verim %	H Yük kaybı mSS	Q Isı alımı kW	Değişken Debi kg/s
0	75.3	0.907	0.84	0.003	16.9	0.16
1	74	0.977	0.80	0.004	18	0.18
2	72.8	1.043	0.76	0.004	19.1	0.20
3	71.7	1.106	0.72	0.005	20	0.22
4	70.8	1.166	0.69	0.006	20.9	0.24
5	69.9	1.224	0.66	0.007	21.7	0.26
6	69.1	1.279	0.64	0.008	22.4	0.28
7	68.4	1.332	0.61	0.009	23.1	0.30
8	67.7	1.383	0.59	0.010	23.7	0.32
9	67.1	1.433	0.57	0.011	24.3	0.34
10	66.5	1.480	0.55	0.012	24.9	0.36



Şekil 7.15 Çift sarımlı serpantinli taşınım destekli kuyu içi ısı eşanjöründe

$Q_c, T_c, \eta = f(m)$ 'in değişimleri

c) T_c, η, Q_c 'in giriş su sıcaklığına göre değişimleri

Tablo 7.32 de verilen giriş değerlerine göre, giriş sıcaklığının fonksiyonu olarak çıkış değerlerinin değişimi Tablo 7.33 ve Şekil 7.16'da görülmektedir. Burada giriş sıcaklığına karşılık gelen çıkış değerleri, tablo ve şekilden seçilir.

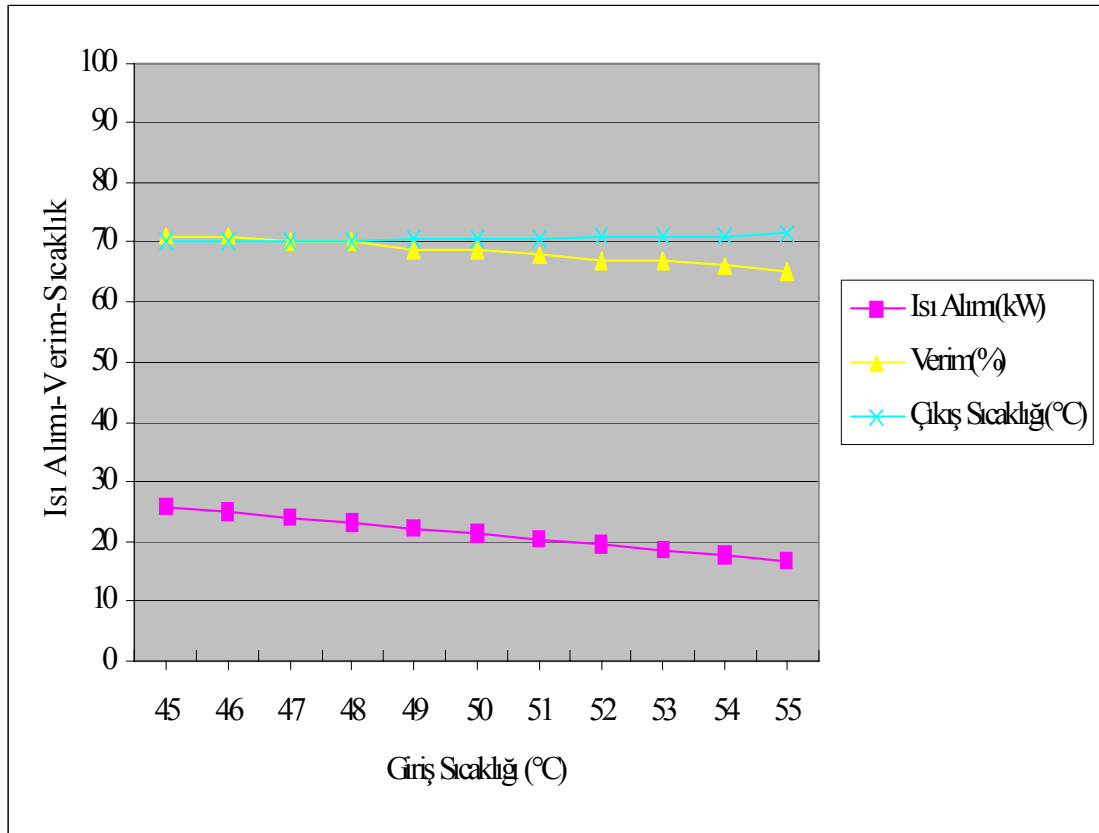
Giriş sıcaklığının artmasına paralel olarak çıkış sıcaklığındaki değişim çok az olmasına karşın ısı alımında benzer bir değişim gözlenmekte fakat verimde sabite yakın bir değişim olup %70 civarındadır.

Tablo 7.32 Çift sarımlı serpantinli taşınım destekli kuyu içi ısı eşanjörü giriş verileri

SIRA NO	MALZEME ADI VE ÖZELLİĞİ	BİRİMİ	DEĞERİ
1	Taşınım Destekli boru iç çapı	m	0.14
2	Taşınım Destekli boru cidar kalınlığı	m	0.006
3	Kuyu içi ısı eşanjörünün boru çapı	m	0.05
4	Kuyu içi ısı eşanjörünün boru cidar kalınlığı	m	0.002
5	Muhafaza iç çapı	m	0.22
6	Taşınım Destekli borunun pürüzlülüğü	m	0.000046
7	Muhafazanın pürüzlülüğü	m	0.000046
8	Kuyu içi ısı eşanjörünün pürüzlülüğü	m	0.00254
9	Taşınım destekli borunun ısı iletkenliği	W/m °C	57
10	Kuyu içi ısı eşanjörünün ısı iletkenliği	W/m °C	57
11	Kuyu içi ısı eşanjörünün uzunluğu	m	20
12	Taşınım destekleyici borunun delikler arası uzunluğu	m	18
13	Kuyu içi ısı eşanjörünün giriş sıcaklığı	°C	45
14	Rezervuar Sıcaklığı	°C	80
15	Kuyu içi ısı eşanjörü içindeki akışkanın kütleli debisi	kg/s	0.245
16	Karışım oranı		0.8
17	Kuyu içi ısı eşanjöründeki loop sayısı		2

Tablo 7.33 Çift sarımlı serpantinli taşınım destekli kuyu içi ısı eşanjörü çıkış verileri

N Adım sayısı	T _{çıkış} Çıkış sıcaklığı °C	U Isı transfer katsayısı kW/m ² °C	η Verim %	H Yük kaybı mSS	Q Isı alımı kW	Değişken T _{giriş} °C
0	70	1.133	0.71	0.006	25.6	45
1	70.1	1.143	0.71	0.006	24.7	46
2	70.2	1.153	0.70	0.006	23.8	47
3	70.3	1.162	0.70	0.006	22.9	48
4	70.5	1.172	0.69	0.006	22	49
5	70.6	1.181	0.69	0.006	21.1	50
6	70.7	1.190	0.68	0.006	20.2	51
7	70.9	1.199	0.67	0.006	19.3	52
8	71	1.208	0.67	0.006	18.5	53
9	71.2	1.217	0.66	0.006	17.7	54
10	71.3	1.226	0.65	0.006	16.7	55



Şekil 7.16 Çift sarımlı serpantinli taşınım destekli kuyu içi ısı eşanjöründe

$Q_c, T_c, \eta = f(T_g)$ 'in değişimleri

d) $T_{çıkış}, \eta, Q_{çıkış}$ ' in rezervuar su sıcaklığına göre değişimleri

Tablo 7.34 de verilen giriş değerlerine göre, rezervuar sıcaklığının fonksiyonu olarak çıkış değerlerinin değişimleri Tablo 7.35 ve Şekil 7.17'de görülmektedir. Rezervuar sıcaklığına uygun ısı alımı , verim ve çıkış su sıcaklıkları belirlenir.

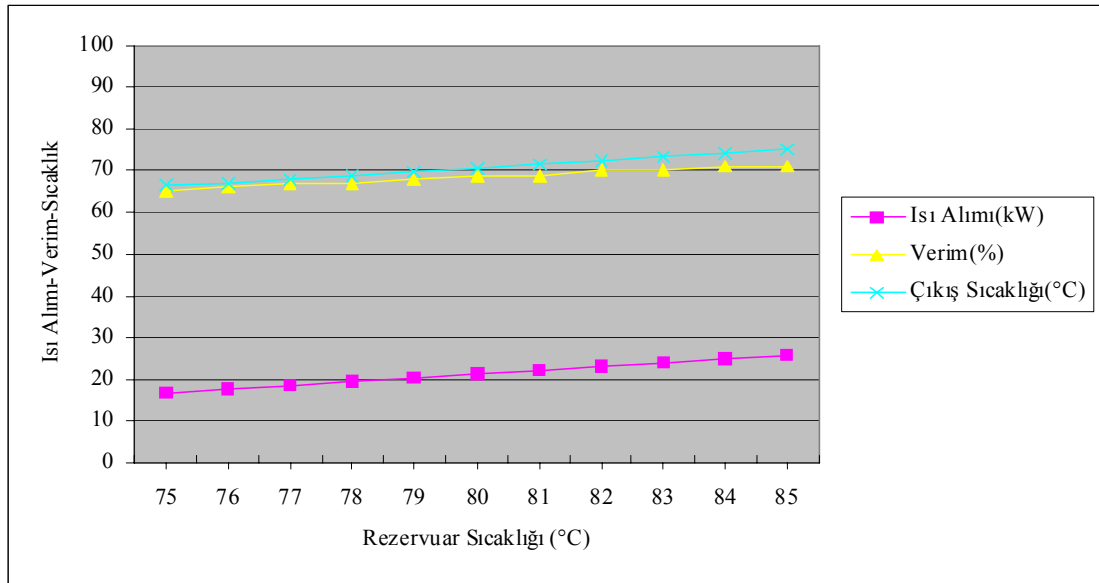
Gerek delikli muhafazalı tek ve çift sarımlı serpantinli gerekse taşınım destekleyici durumda olduğu gibi benzer bir değişim sergilemekte, artan rezervuar sıcaklığıyla alınan ısı ve verimde bir artış gözlenmekte, bu artış tek sarımlı duruma çok yakın olduğu tablo ve şekillerden görülmektedir. Böyle bir değişim zaten beklenmektedir.

Tablo 7.34 Çift sarımlı serpantinli taşınım destekli kuyu içi ısı eşanjörü giriş verileri

SIRA NO	MALZEME ADI VE ÖZELLİĞİ	BİRİMİ	DEĞERİ
1	Taşınım Destekli boru iç çapı	m	0.14
2	Taşınım Destekli boru cidar kalınlığı	m	0.006
3	Kuyu içi ısı eşanjörünün boru çapı	m	0.05
4	Kuyu içi ısı eşanjörünün boru cidar kalınlığı	m	0.002
5	Muhafaza iç çapı	m	0.22
6	Taşınım Destekli borunun pürüzlülüğü	m	0.000046
7	Muhafazanın pürüzlülüğü	m	0.000046
8	Kuyu içi ısı eşanjörünün pürüzlülüğü	m	0.00254
9	Taşınım destekli borunun ısı iletkenliği	W/m °C	57
10	Kuyu içi ısı eşanjörünün ısı iletkenliği	W/m °C	57
11	Kuyu içi ısı eşanjörünün uzunluğu	m	20
12	Taşınım destekleyici borunun delikler arası uzunluğu	m	18
13	Kuyu içi ısı eşanjörünün giriş sıcaklığı	°C	50
14	Rezervuar Sıcaklığı	°C	75
15	Kuyu içi ısı eşanjörü içindeki akışkanın kütleli debisi	kg/s	0.245
16	Karışım oranı		0.8
17	Kuyu içi ısı eşanjöründeki loop sayısı		2

Tablo 7.35 Çift sarımlı serpantinli taşınım destekli kuyu içi ısı eşanjörü çıkış verileri

N Adım sayısı	T _{çıkış} Çıkış sıcaklığı °C	U Isı transfer katsayısı kW/m ² °C	η Verim %	H Yük kaybı mSS	Q Isı alımı kW	Değişken T _{rez.} °C
0	66.3	1.164	0.65	0.006	16.7	75
1	67.1	1.168	0.66	0.006	17.5	76
2	68	1.172	0.67	0.006	18.4	77
3	68.8	1.175	0.67	0.006	19.3	78
4	69.7	1.178	0.68	0.006	20.2	79
5	70.6	1.181	0.69	0.006	21.1	80
6	71.4	1.184	0.69	0.006	22	81
7	72.3	1.187	0.70	0.006	22.9	82
8	73.2	1.187	0.70	0.006	23.8	83
9	74.1	1.192	0.71	0.006	24.7	84
10	75	1.194	0.71	0.006	25.6	85



Şekil 7.17 Çift sarımlı serpantinli taşınım destekli kuyu içi ısı eşanjöründe

Q_{ϕ} , T_{ϕ} , $\eta = f(T_{rez})$ 'in değişimleri

8.SONUÇ VE ÖNERİLER

8.1 Sonuçlar

Binaların ısıtılması, sıcak su gereksinimi ve endüstriyel uygulamalar için enerjiye ihtiyacımız vardır. Isı gereksinimi karşılayacak jeotermal kaynak, ısıtılacak yerin büyüklüğüne göre değişir.

Bu çalışmada; bir konutun ısı gereksinimini sağlamak için jeotermal kaynaklardan yararlanmak amaçlanmıştır. ABD ve ülkemizde uzun zamandır uygulanan kuyu içi ısı eşanjörlerinin basit ve ucuzluğu göz önünde bulundurularak bu çalışmamızın amacını oluşturmuştur. Sistemin ısı yükünün hesabında klasik ısıtma sistemlerine benzer yol izlenmiş ve iki kattan oluşan binanın ısı ihtiyacı $20,471 \text{ kW}_t$ olarak hesaplanmıştır.

Kuyu içi ısı eşanjörü iki tipte olup birincisi “delikli muhafazalı”ve ikincisi de “delikli taşınım destekleyicili borulu” ‘dur. Bunların her biri için hesaplar ayrı ayrı yapılmıştır. Bu hesaplarda ABD Oregon’da teknoloji enstitüsünde yazılan bir bilgisayar programından yararlanılmıştır. Programda giriş değerleri olarak 15 değişken kullanılmış ve çıkış değerleri olarak da ; birisi değişken olarak seçilmiş ve kuyu içi ısı eşanjör çıkış suyu sıcaklığı, toplam ısı iletim katsayısı, verim, yük kaybı ve elde edilen ısı miktarı çıkış değeri olarak belirlenmiştir. Burada belirli bir adım sayısına göre değişkenin çeşitli değerlerindeki yukarıda saydığımız değerler hesaplanmıştır. Buna göre hesaplanan değişimler hem tablolar hem de grafikler halinde sunulmuştur.

Her iki eşanjör tipinde hem tek sarımlı hem de çift sarımlı serpantinli kuyu içi ısı eşanjörleri kullanılmıştır. 15 değişkenden; kuyu içi ısı eşanjörün boru uzunluğu, debi, eşanjöre giriş su sıcaklığı ayrı ayrı değişken olarak seçilmiş ve 16 adet değişim tablosu ve değişim grafiği çizilmiştir. Sistemin debisi çekilen ısı miktarına göre $0,245 \text{ kg/s}$, eşanjöre giriş sıcaklığı 50°C , rezervuar sıcaklığı 80°C olarak seçilmiş ve $\Delta T 20^\circ\text{C}$ olarak alınmıştır. Hesaplarda ısı gereksinimine yakın değerlerin elde edilmesi deneme-yanılma yöntemine göre belirlenmiş ve son hesaplar bu değerler göz önüne alınarak yapılmıştır. Boru boyunun değişken olarak alınması hesapların en zor olanıdır. Zira

boru boyunun yanında çapı, muhafaza ve eşanjör borusu ve onların boyutları da değişmektedir. Debinin artan değerlerinde verimde ve çıkış su sıcaklığında bir düşüş görülürken alınan ısı da bir artış izlenmektedir. Giriş verilerinin artan değerleriyle hem alınan ısıda hem de verimde düşüş olurken, çıkış su sıcaklığında küçük bir artış gözlenmektedir. Rezervuar su sıcaklığının artışı performansın en iyi olduğu durumdur.

Sonuç olarak; giriş su sıcaklığının artışı ΔT 'yi düşürmekte, tersi de arttırmaktadır. Bunun sebebi ihtiyaç duyulan ısıdaki azalma veya artıştan kaynaklanmaktadır. Öte yandan rezervuar su sıcaklığının artışı da performansı arttırıcı bir değişkendir. Bu zaten beklenen bir durumdur. Çift sarımlı durumda debinin artışı en kötü performansı vermektedir. Bu da sürtünme kayıplarının bir sonucu olduğu söylenebilir. Böylece ΔT ve rezervuar su sıcaklığının büyük olması verim ve alınan ısıyı arttırdığı görülür. Çift sarımlı serpantinli taşınım destekli durumda performans değişimleri en kötüdür. Tek sarımlı serpantinli delikli muhafazalı sistemin performansı diğerlerine göre daha iyi olduğu görülmüştür. Fakat kuyunun derinliği veya borunun uzunluğu göz önüne getirildiğinde; ısı ihtiyacına bağlı olarak çok uzun boru durumunda borunun boyu kısaltılmak suretiyle veya kuyu derinliğinin az olması durumunda boru çapları arttırılmak suretiyle muhafaza borusu ve eşanjör borusu boyları kısaltılarak ısı gereksinimini karşılayacak çift veya çok sarımlı serpantinli kuyu içi ısı eşanjörü yapılması zorunlu olabilir.

8.2. Öneriler

- Tasarımın, gerçekleştirilerek yapılan deneylerle elde edilen sonuçların desteklenmesi gereklidir.
- Burada malzemelerin korozyon olması gibi tehlikeler göz ardı edilmemelidir.
- Boruların malzemesi de etken bir faktördür. Her ne kadar plastik boru korozyona dirençli iseler de ısıl dirençleri yüksek ve boru cidarları kalındır.
- Kuyu içi ısı eşanjörleri; ucuz ve basit olduğu için küçük sistemlerde önerilir.

KAYNAKLAR

- Aksoy, N., (2005) Jeotermal Enerji Seminer Kitabı, *MMO/ E/2005/393-2*, İzmir, 447s.
- Arslan, S., Darıcı, M., ve Karahan, Ç., (2001) Türkiye'nin Jeotermal Enerji Potansiyeli, Jeotermal Enerji Doğrudan Isıtma Sistemleri; Temelleri ve Tasarımı Seminer Kitabı (Toksoy, M., Ed.), *MMO/2001/270*, İzmir, s21-28.
- Atalay, Ö. (2004) Jeotermal sistemlerin ekserji analizi: Kızıldere örneği, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, 92s.
- Carotenuto, A., Casarosa, Dell'Isola, M., and Martorano, L., (1997) An Aquifer- well Thermal and Fluid Dynamic Model for Downhole Heat Exchangers with a Naturel Convection Promoter *Int.J.Heat Mass Transfer* , Vol.40,No.18, s4461-4472, London,
- Chiason, A.D., Culver, G., Favata, D., and Keiffer, S., (2005) Design, Installation, And Monitoring of A New Downhole Heat Exchanger, *Bulteın Article*, Geo- Heat Center, Klamath Falls, Oregon, ABD, 11s.
- Chiu, P., (1982) Design of The Glenwood Springs Downhole Heat Exchanger *EGG-GTH-5812 Report*, Idaho Falls, Idaho 83415, 21s
- Culver G., and Reistad M., (1978) Evaluation and Desing of Downhole Heat Exchangers for Direct Applications *Bulteın Article*, Geo- Heat Center, Klamath Falls, Oregon, ABD, 8s.
- Culver G., and Lund J.W., (1999) Downhole Heat Exchangers, Geo- Heat Center Quarterly Bulletin, Vol.20, No.3, Oregon, ABD
- Dickson, M.H., and Fanelli, M., (2002) What is Geothermal Energy, İtalya
- Dönmez, E., (2003) Jeotermal bölgesel ısıtma sistemlerinin tasarım kriterleri, Diploma Projesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi*, Denizli, 70s.
- Genceli, O.F., ve Parmaksızoğlu, İ.C., (2006) Kalorifer Tesisatı, *MMO/352/3.baskı*, Ankara, 411s.

- Gürses, A.Ç., (2001) Jeotermal Bölgesel Isıtma Sistemlerinin Tasarım Kriterleri, Jeotermal Enerji Doğrudan Isıtma Sistemleri; Temelleri ve Tasarımı Seminer Kitabı (Toksoy, M., Ed.), *MMO/2001/270*, İzmir, s119-127.
- İlken, B.Z., (2001) Jeotermal Enerjili Konut Isıtma Sistemleri, Jeotermal Enerji Doğrudan Isıtma Sistemleri; Temelleri ve Tasarımı Seminer Kitabı (Toksoy, M., Ed.), *MMO/2001/270*, İzmir, s203-210.
- Karakoç, H., (2001) Uygulamalı TS825 ve Kalorifer Tesisatı Hesabı, *İzocam*, İstanbul, 262s.
- Kohl, T., Salton, M.,and Rybach,L., (2000) Data Analysis of the Deep Borehole Heat Exchanger Plant Weissbad (Switzerland) *Proceedings World Geothermal Congress*, Kyushu-Tohoku,Japan, s3449-3464.
- Kujuwa, T., and Nowak W., (2000) Thermal Calculations of Geotermal Heat Utilising One-Well Systems with Both Injection and Production *Proceedings World Geothermal Congress*, Kyushu-Tohoku,Japan, s3483-3488.
- Lienau, P.J., (1990) Downhole Heat Exchanger Operating Instructions ,Geo- Heat Center, Klamath Falls, Oregon, ABD, s8
- Lund, J.W., Lienau, P.J., and Lunis, B.C., (2004) Jeotermal Enerji Doğrudan Kullanım veTasarım El Kitabı , Çeviri: İlken, Z., Özerdem, B., ve Gökçen, G., *MMO/2004/360*, İzmir, 334s.
- Lund, J.W., (1999) Downhole Heat Exchangers in Turkey and Oregon , *Bulletin Article*, Geo- Heat Center, Klamath Falls, Oregon, ABD, 15s.
- Pan, H.S., (1983) Geotermal downhole heat exchangers, *Thesis Departman of Mechanical Engineering University of Aucland*, New Zealand.
- Rafferty, K.D., and Culver G., (2001) Heat Exchangers, *Bultein Article*, Geo- Heat Center, Klamath Falls, Oregon, ABD, 13s.
- Satman, A., (2001) Jeotermal Enerjinin Doğası, Jeotermal Enerji Doğrudan Isıtma Sistemleri; Temelleri ve Tasarımı Seminer Kitabı (Toksoy, M., Ed.), *MMO/2001/270*, İzmir, s3-17.
- Satman, A., (2005) Tekrar Basma (Re-enjeksiyon), Jeotermal Enerji Seminer Kitabı (Aksoy, N., Ed.) *MMO/ E/2005/393-2*, İzmir, s121-141.

- Serpen, U., (2005) Jeotermal Enerjinin Türkiye ve Dünyadaki Kullanımı, Jeotermal Enerji Seminer Kitabı (Aksoy, N., Ed.) **MMO/E/2005/393-2**, İzmir, s435-47.
- Toksoy, M., (2001) Jeotermal Enerji Doğrudan Isıtma Sistemleri; Temelleri ve Tasarımı Seminer Kitabı, **MMO/2001/270**, İzmir, 421s.
- Toksoy, M., (2003) Jeotermal Enerji Doğrudan Isıtma Sistemleri: Temelleri ve Tasarımı Seminer Kitabı, **MMO/E/2003/328-4**, İzmir, 540s.
- Yıllancı, A. (2004) Jeotermal enerjili sistemlerin fizibilite etüdü, Yüksek Lisans Tezi, **Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Denizli, 142s.

EKLER

EK 1 : Konutun ısı kaybı hesapları

ISI KAYBI HESABI															Sayfa		
Tesisin Adı :															Kat	Z.Kat	
															Tarih		
Yapı Bileşeni			Alan Hesabı				Isı Kaybı Hesabı					Zamlar			Isı Toplam İhtiyacı		
İşaret	Yön		Kalınlık	Uzunluk veya Genişlik	Toplam Alan	Miktar	Çıkarılan Alan	Hesaba Giren Alan	Isı İletim Katsayısı	Sıcaklık Farkı	Isı Zamsız Kaybı	İşletme	Yükseklik	Yön		Toplam	Q _D
	cm		m	m	m ²	Ad	m ²	m ²	$\frac{Watt}{m^2K}$	K	Watt	%	%	%	1+%	Watt	
Z01 İŞ YERİ (22 C⁰)																	
DD1	K	30	7,4	3,2	23,5	1	5,868	17,653	0,41	25	180,94						
DD2	K	30	0,8	3,2	2,56	1		2,56	1,094	25	70,02						
DD3	K	30	7,4	0,45	3,31	1		3,3075	1,124	25	92,94						
DD1	G	30	6,9	3,2	22,1	1	21,94	0,1725	0,41	25	1,77						
DD2	G	30	0,4	3,2	1,28	1		1,28	1,094	25	35,01						
DD3	G	30	6,9	0,45	3,11	1		3,1095	1,124	25	87,38						
PE1	G		6,5	2,7	17,6	1		17,55	2,2	25	965,25						
DD1	D	30	11	3,2	33,8	1	7,948	33,76	0,41	25	346,04						
DD2	D	30	1	3,2	3,2	1		3,2	1,094	25	87,52						
DD3	D	30	11	0,45	4,75	1		4,7475	1,124	25	133,40						
DD1	B	30	11	3,2	33,8	1	28,92	4,8425	0,41	25	49,64						
DD2	B	30	1,2	3,2	3,84	1		3,84	1,04	25	99,84						
DD3	B	30	11	0,45	4,75	1		4,7475	1,124	25	133,40						
PE1	B		5,9	2,7	15,9	1		15,93	2,2	25	876,15						
DK1	B		2	2,2	4,4	1		4,4	3,5	25	385,00						
DÖ								74,1	0,53	12	471,28						
											4015,57	0,07	0	0	1,07	4297	
Q _s	=	$\Sigma(a \times L) \times R \times H \times \Delta t \times Z_e =$				2	x	22,8	x	0,90	x	1,42	x	25	x	1,2	
						Q _s	=	1748,30		1748,3	Watt						
Toplam Isı Kaybı =						Q _h	=	Q ₀	+	Q _s	=	6045	Watt				
Z02 YATAK ODASI (20 C⁰)																	
DD1	K	30	3,8	3,2	12	1	6,068	5,9325	0,41	23	55,94						
DD2	K	30	0,8	3,2	2,56	1		2,56	1,094	23	64,41						
DD3	K	30	3,8	0,45	1,69	1		1,6875	1,124	23	43,63						
PE1	K		1,4	1,3	1,82	1		1,82	2,2	23	92,09						
DD1	D	30	3,8	3,2	12,2	1	3,63	8,53	0,41	23	80,44						
DD2	D	30	0,6	3,2	1,92	1		1,92	1,094	23	48,31						
DD3	D	30	3,8	0,45	1,71	1		1,71	1,124	23	44,21						
DÖ	B							14,25	0,51	10	72,68						
											501,71	0,07	0	-0,05	1,02	512	
Q _s	=	$\Sigma(a \times L) \times R \times H \times \Delta t \times Z_e =$				2	x	2,7	x	0,90	x	1,42	x	23	x	1	
						Q _s	=	158,73		158,73	Watt						
Toplam Isı Kaybı =						Q _h	=	Q ₀	+	Q _s	=	670	Watt				
Z03 BANYO (26 C⁰)																	
DD1	K	30	2,4	3,2	7,68	1	1,44	6,24	0,41	29	74,19						
DD3	K	30	2,4	0,45	1,08	1		1,08	1,124	29	35,20						
PE1	K		0,6	0,6	0,36	1		0,36	2,2	29	22,97						
ID1	G	10	2,4	3,2	7,68	1	1,98	5,7	1,06	4	24,17						

JK1	G		0,9	2,2	1,98	1		1,98	3,5	4	27,72						
ID1	B	10	2,6	3,2	8,32	1	0	8,32	1,06	4	35,28						
ID1	B	10	2,6	3,2	8,32	1	0	8,32	1,06	4	35,28						
DÖ								6,7	0,53	16	56,82						
											311,62	0,07	0	0	1,07	333	
Q _s	=	$\Sigma(a \times L) \times R \times H \times \Delta t \times Z_e =$				2	x	1,2	x	0,90	x	1,42	x	29	x	1,2	
			Q _s	=	106,74			106,74	Watt								
Toplam Isı Kaybı =			Q _h	=	Q ₀	+	Q _s	=	440	Watt							
Z04 ANTRE (18 C⁰)																	
DD1	B	30	1,2	3,2	3,84	1	2,2	1,64	0,41	21	14,12						
DK1	B		1	2,2	2,2	1		2,2	3,5	21	161,70						
DÖ								10,65	0,53	8	45,16						
											220,98	0,07	0	0	1,07	236	
Q _s	=	$\Sigma(a \times L) \times R \times H \times \Delta t \times Z_e =$				2	x	3,2	x	0,90	x	1,42	x	21	x	1	
			Q _s	=	171,76			171,76	Watt								
Toplam Isı Kaybı =			Q _h	=	Q ₀	+	Q _s	=	408	Watt							

ISI KAYBI HESABI															Sayfa	
															Kat	Z.Kat
															Tarih	
Tesisin Adı :																
Yapı Bileşeni		Alan Hesabı					Isı Kaybı Hesabı					Zamlar			Toplam Isı İhtiyacı	
İşaret	Yön	Kalınlık	Uzunluk	Yükseklik veya Genişlik	Toplam Alan	Miktar	Çıkarılan Alan	Hesaba Giren Alan	Isı İletim Katsayısı	Sıcaklık Farkı	Isı Zamsız Kaybı	İşletme Kat Yükseklik	Yön	Toplam		
	cm	m	m	m ²	Ad	m ²	m ²	Watt m ² K	K	Watt	%	%	%	1+%	Watt	
Z05 SALON (22 C⁰)																
DD1	G	30	4,8	3,2	15,2	1	3,8	11,4	0,41	25	116,85					
PE1	G		1,4	1,3	1,82	1		1,82	2,2	25	100,10					
DK1	G		0,9	2,2	1,98	1		1,98	3,5	25	173,25					
DD1	D	30	11	3,2	33,76	1	1,99	33,76	0,41	25	346,04					
DD2	D	30	0,2	3,2	0,64	1		0,64	1,094	25	17,50					
DD3	D	30	3	0,45	1,35	1		1,35	1,124	25	37,94					
DÖ								11,45	0,51	12	70,07					
											861,75	0,07	0	0	1,07	922
Q _s	=	$\Sigma(a \times L) \times R \times H \times \Delta t \times Z_e =$				2	x	5,8	x	0,90	x	1,42	x	25	x	1,2
			Q _s	=	444,74			444,74	Watt							
Toplam Isı Kaybı =			Q _h	=	Q ₀	+	Q _s	=	1367	Watt						
Z06 MUTFAK (18 C⁰)																
DD1	G	30	7,8	3,2	24,96	1	10,7	14,29	0,41	21	123,04					
DD2	G	30	1,1	3,2	3,52	1		3,52	1,094	21	80,87					
DD3	G	30	7,8	0,45	3,51	1		3,51	1,124	21	82,85					
PE1	G		1,4	1,3	1,82	2		3,64	2,2	21	168,17					
DD1	D	30	3,9	3,2	12,48	1	5,5	6,98	0,41	21	60,10					
DD2	D	30	0,9	3,2	2,88	1		2,88	1,094	21	66,17					
DD3	D	30	3,9	0,45	1,755	1		1,755	1,124	21	41,43					

DD1	D	30	1,5	3,2	4,8	1	3,94	0,865	0,41	21	7,45						
DD2	D	30	0,4	3,2	1,28	1		1,28	1,094	21	29,41						
DD3	D	30	1,5	0,45	0,675	1		0,675	1,124	21	15,93						
DK1	D		0,9	2,2	1,98	1		1,98	3,5	21	145,53						
DÖ	B							30,4	0,53	8	128,90						
											949,82	0,07	0	-0,05	1,02	969	
Q _s	=	$\sum(a \times L) \times R \times H \times \Delta t \times Z_e =$				2	x	5,4	x	0,90	x	1,42	x	21	x	1	
			Q _s	=	289,85			289,85	Watt								
Toplam Isı Kaybı =			Q _h	=	Q _o	+	Q _s	=	1259	Watt							

ISI KAYBI HESABI															Sayfa	
Tesisin Adı :															Kat	
															1.Kat	
															Tarih	
Yapı Bileşeni			Alan Hesabı				Isı Kaybı Hesabı				Zamlar				Toplam Isı İhtiyacı	
İşaret	Yön	Kalınlık	Uzunluk	Yükseklik veya Genişlik	Toplam Alan	Miktar	Çıkarılan Alan	Hesaba Giren Alan	Isı İletim Katsayısı	Sıcaklık Farkı	Zamsız Isı Kaybı	İşletme	Kat Yükseklik	Yön		Toplam
	cm	m	m	m ²	Ad	m ²	m ²	$\frac{Watt}{m^2K}$	K	Watt	%	%	%	1+%	Watt	
101 YATAK ODASI (20 C⁰)																
DD1	K	30	3,9	2,7	10,5	1	3,11	7,425	0,41	23	70,02					
DD2	K	30	0,5	2,7	1,35	1		1,35	1,094	23	33,97					
DD3	K	30	3,9	0,45	1,76	1		1,755	1,124	23	45,37					
DD1	B	30	3,4	2,7	9,18	1	5,63	3,55	0,41	23	33,48					
DD2	B	30	0,4	2,7	1,08	1		1,08	1,094	23	27,17					
DD3	B	30	3,4	0,45	1,53	1		1,53	1,124	23	39,55					
PE1	B		0,8	1,3	1,04	1		1,04	2,2	23	52,62					
DK1	B		0,9	2,2	1,98	1		1,98	3,5	23	159,39					
TA			4	3,2	12,8	1		12,8	0,56	23	164,86					
											626,44	0,07	0	0	1,1	670
Q _s	=	$\sum(a \times L) \times R \times H \times \Delta t \times Z_e =$				2	x	5,2	x	0,90	x	1,42	x	23	x	1,2
			Q _s	=	366,84			366,8	Watt							
Toplam Isı Kaybı =			Q _h	=	Q _o	+	Q _s	=	1037	Watt						
102 OTURMA ODASI (22 C⁰)																
DD1	G	30	1,7	2,7	4,54	1	4,36	0,18	0,41	25	1,85					
DD2	G	30	0,6	2,7	1,62	1		1,62	1,094	25	44,31					
DD3	G	30	1,7	0,45	0,76	1		0,756	1,124	25	21,24					
DK1	G		0,9	2,2	1,98	1		1,98	3,5	25	173,25					
DD1	B	30	3	2,7	8,1	1	1,82	6,28	0,41	25	64,37					
PE1	B		1,4	1,3	1,82	1		1,82	2,2	25	100,10					
TA			3	4,8	14,4			14,4	0,56	25	201,60					
											606,72	0,07	0	-0,05	1	619

Q_s	=	$\Sigma(a \times L) \times R \times H \times \Delta t \times Z_e$	=	2	x	2,7	x	0,90	x	1,42	x	25	x	1
				Q_s	=	172,53		172,5	Watt					
Toplam Isı Kaybı =				Q_h	=	Q_0	+	Q_s	=	791	Watt			
103 SALON (22 C⁰)														
DD1	G	30		4,5	2,7	12,2	1	3,85	8,305	0,41	25	85,13		
DD3	G	30		4,5	0,45	2,03	1		2,025	1,094	25	55,38		
PE1	G			1,4	1,3	1,82	1		1,82	1,124	25	51,14		
DD1	B	30		3,8	2,7	10,3	1	5,51	4,75	0,41	25	48,69		
DD3	B	30		3,8	0,45	1,71	1		1,71	1,124	25	48,05		
PE1	B			1,4	1,3	1,82	1		1,82	2,2	25	100,10		
DK1	B			0,9	2,2	1,98	1		1,98	3,5	25	173,25		
TA				3,8	4,6	17,5			17,48	0,56	25	244,72		
												806,46	0,07	0
													0	1,1
														863
Q_s	=	$\Sigma(a \times L) \times R \times H \times \Delta t \times Z_e$	=	2	x	5,8	x	0,90	x	1,42	x	25	x	1,2
				Q_s	=	444,74		444,7	Watt					
Toplam Isı Kaybı =				Q_h	=	Q_0	+	Q_s	=	1308	Watt			
104 MUTFAK (18 C⁰)														
DD1	G	30		3,2	2,7	8,64	1	3,8	4,84	0,41	21	41,67		
DK1	G			2,2	0,9	1,98	1		1,98	3,5	21	145,53		
PE1	G			1,4	1,3	1,82	1		1,82	2,2	21	84,08		
TA				4,1	3,2	13,1	1		13,12	0,56	21	154,29		
												425,58	0,07	0
													-0,05	1
														434
Q_s	=	$\Sigma(a \times L) \times R \times H \times \Delta t \times Z_e$	=	2	x	5,8	x	0,90	x	1,42	x	21	x	1
				Q_s	=	311,32		311,3	Watt					
Toplam Isı Kaybı =				Q_h	=	Q_0	+	Q_s	=	745	Watt			

ISI KAYBI HESABI														Sayfa		
Tesisin Adı :														Kat		
														1.Kat		
														Tarih		
Yapı Bileşeni			Alan Hesabı				Isı Kaybı Hesabı				Zamlar				Toplam Isı İhtiyacı	
İşaret	Yön	Kalınlık	Uzunluk	Yükseklik veya Genişlik	Toplam Alan	Miktar	Çıkarılan Alan	Hesaba Giren Alan	Isı İletim Katsayısı	Sıcaklık Farkı	Zamsız Isı Kaybı	İşletme	Kat Yükseklik	Yön		
																A_0
	cm	m	m	m ²	Ad	m ²	m ²	Watt	m ² K	K	Watt	%	%	%		1+%
105 BANYO (26 C⁰)																
DD1	K	30	2,4	3,2	7,68	1	1,44	6,24	0,41	29	74,19					
DD3	K	30	2,4	0,45	1,08	1		1,08	1,124	29	35,20					
PE1	K		0,6	0,6	0,36	1		0,36	3,5	29	36,54					
ID1	G	10	2,4	3,2	7,68	1	10,3	-2,62	1,06	4	-11,11					
İK1	G		0,9	2,2	1,98	1		1,98	1,06	4	8,40					
ID1	B	10	2,6	3,2	8,32	1	0	8,32	1,06	4	35,28					

ID1	B	10	2,6	3,2	8,32	1	0	8,32	1,06	4	35,28						
TA			2,3	2,2	5,06			5,06	0,56	29	82,17						
											295,95	0,07	0	0	1,07	317	
Q_s	=	$\frac{\sum(a \times L) \times R \times H \times \Delta t \times Z_e}{Z_e}$				2	x	1,2	x	0,90	x	1,42	x	29	x	1,2	
					Q_s	=		106,74		106,74	Watt						
Toplam Isı Kaybı =					Q_h	=	Q_0	+	Q_s	=	423	Watt					
106 SALON (22 C⁰)																	
DD1	G	30	4,5	2,7	12,15	1	3,845	8,305	0,41	25	85,13						
DD3	G	30	4,5	0,45	2,025	1		2,025	1,124	25	56,90						
PE1	G		1,4	1,3	1,82	1		1,82	2,2	25	100,10						
DD1	B	30	3,8	2,7	10,26	1	5,51	4,75	0,41	25	48,69						
DD3	B	30	3,8	0,45	1,71	1		1,71	1,124	25	48,05						
PE1	B		1,4	1,3	1,82	1		1,82	2,2	25	100,10						
DK1	B		0,9	2,2	1,98	1		1,98	3,5	25	173,25						
TA			3,9	4,5	17,55			17,55	0,56	25	245,70						
											857,92	0,07	0	0	1,07	918	
Q_s	=	$\frac{\sum(a \times L) \times R \times H \times \Delta t \times Z_e}{Z_e}$				2	x	5,8	x	0,90	x	1,42	x	25	x	1,2	
					Q_s	=		444,74		444,74	Watt						
Toplam Isı Kaybı =					Q_h	=	Q_0	+	Q_s	=	1363	Watt					
107 mutfak (18 C⁰)																	
DD1	G	30	3,2	2,7	8,64	1	3,8	4,84	0,41	21	41,67						
DK1	G		2,2	0,9	1,98	1		1,98	3,5	21	145,53						
PE1	G		1,4	1,3	1,82	1		1,82	2,2	21	84,08						
TA			3,2	4	12,8			12,8	0,56	21	150,53						
											421,81	0,07	0	-0,05	1,02	430	
Q_s	=	$\frac{\sum(a \times L) \times R \times H \times \Delta t \times Z_e}{Z_e}$				2	x	5,8	x	0,90	x	1,42	x	21	x	1	
					Q_s	=		311,32		311,32	Watt						
Toplam Isı Kaybı =					Q_h	=	Q_0	+	Q_s	=	742	Watt					
108 oturma odası (22 C⁰)																	
DD1	G	30	4,75	2,7	12,825	1	3,8	9,025	0,41	25	92,51						
DK1	G		2,2	0,9	1,98	1		1,98	3,5	25	173,25						
PE1	G		1,4	1,3	1,82	1		1,82	2,2	25	100,10						
DD1	G	30	2,3	2,7	6,21	1	0	6,21	0,41	25	63,65						
TA			3	4,75	14,25			14,25	0,56	25	199,50						
											629,01	0,07	0	-0,05	1,02	642	
Q_s	=	$\frac{\sum(a \times L) \times R \times H \times \Delta t \times Z_e}{Z_e}$				2	x	5,8	x	0,90	x	1,42	x	25	x	1	
					Q_s	=		370,62		370,62	Watt						
Toplam Isı Kaybı =					Q_h	=	Q_0	+	Q_s	=	1012	Watt					

EK 2: Kuyu içi eşanjörü hesaplama programı

```

REM *****DHE
PROGRAM*****
REM          by Paul J. Lienau
REM          OIT Geo-Heat Center
REM
REM Reference 1: Evaluation and Design of Downhole Heat Exchangers for Direct
Applications by G. Culver and G. Reistad, 1978.
REM Reference 2: Geothermal Downhole heat Exchangers by Pan He-Song
PRINT TAB(33); "DHE PROGRAM": PRINT
PRINT TAB(33); "DHE PROGRAM"
PRINT
INPUT "Well No. = "; NW
PRINT USING "Well No. = ###"; NW
PRINT TAB(10); "Calculates the Performance of a Downhole Heat Exchanger"
PRINT
30 PRINT "Dimensions Used in this Program:"
PRINT
PRINT TAB(5); "Mass flow rates:      Kg/s"
PRINT TAB(5); "Temperature:          deg. C"
PRINT TAB(5); "Linear dimensions:      meters"
PRINT
PRINT "If with perforated casing or promoter pipe?"
INPUT "If with perforated casing, Type 1, Else another number"; Y3
PRINT "Input the following data:"
PRINT
IF (Y3 = 1) THEN 50 ELSE 40
40 INPUT "Enter Promoter I.D. & Wall Thickness =", I1, H1
INPUT "Enter DHE I.D. & Wall Thickness =", I2, H2
INPUT "Enter Casing Diameter =", D3
INPUT "Enter Absolute Roughness for Promoter, DHE, and Casing =", G1, G3, G2
INPUT "Enter Heat Conductivity of Promoter & DHE =", K1, K2
GOTO 60
50 INPUT "Enter Casing I.D. & Wall Thickness =", I1, H1
INPUT "Enter DHE I.D. & Wall Thickness =", I2, H2
INPUT "Enter Well Diameter =", D3
INPUT "Enter Absolute Roughness for Casing, DHE, and Well =", G1, G3, G2
INPUT "Enter Heat Conductivity of Casing & DHE =", K1, K2
60 INPUT "Enter Length of DHE and Length between Perforations =", L1, L2
INPUT "Enter Inlet Temperature to DHE and Reservoir Temperature =", T1, T2
INPUT "Enter Mass Flow rate through DHE, Mixing Ratio, and Number of Loops =",
M1, M2, N1
PRINT
INPUT "Is Entered Data Ok? If YES Type 1, If NO Another Number"; Z
IF (Z = 1) THEN 70 ELSE 30
70 INPUT "If DHE & Casing are scaled type 'SCALED', Else type 'NO'"; S$
IF (S$ = "SCALED") THEN 90 ELSE 80

```

```

80 U8 = 10000
GOTO 95
90 U8 = 850
PRINT
95 PRINT TAB(25); "*****INPUT DATA*****"
PRINT
IF (Y3 = 1) THEN 110 ELSE 100
100 PRINT USING "Promoter inside diameter,m      (I1) = ###"; I1
PRINT USING "Promoter wall thickness, m      (H1) = ###"; H1
PRINT USING "DHE inside diameter, m      (I2) = ###"; I2
PRINT USING "DHE wall thickness, m      (H2) = ###"; H2
PRINT USING "Casing inside diameter, m      (D3) = ###"; D3
PRINT USING "Absolute Roughness for promoter, m      (G1) = ###.#####"; G1
PRINT USING "Absolute Roughness for casing, m      (G2) = ###.#####"; G2
PRINT USING "Absolute Roughness for DHE, m      (G3) = ###.#####"; G3
PRINT USING "Thermal conductivity for promoter, W/m-C (K1) = ###.###"; K1
PRINT USING "Thermal conductivity for DHE, W/m-C      (K2) = ###.###"; K2
GOTO 120
110 PRINT USING "Casing inside diameter, m      (I1) = ###"; I1
PRINT USING "Casing wall thickness, m      (H1) = ###"; H1
PRINT USING "DHE inside diameter, m      (I2) = ###"; I2
PRINT USING "DHE wall thickness, m      (H2) = ###"; H2
PRINT USING "Well diameter, m      (D3) = ###"; D3
PRINT USING "Absolute Roughness for casing, m      (G1) = ###.#####"; G1
PRINT USING "Absolute Roughness for DHE, m      (G3) = ###.#####"; G3
PRINT USING "Absolute Roughness for well, m      (G2) = ###.#####"; G2
PRINT USING "Thermal conductivity for casing, W/m-C (K1) = ###.###"; K1
PRINT USING "Thermal conductivity for DHE, W/m-C      (K2) = ###.###"; K2
120 PRINT USING "Length of DHE, m      (L2) = ###.##"; L1
PRINT USING "Length between perforations, m      (L1) = ###.##"; L2
PRINT USING "DHE inlet temperature, deg. C      (T1) = ###.#"; T1
PRINT USING "Reservoir temperature, deg. C      (T2) = ###.#"; T2
PRINT USING "DHE mass flow, kg/s      (M1) = ###.###"; M1
PRINT USING "Mixing ratio      (M2) = ###.###"; M2
PRINT USING "No. of DHE loops      (N1) = #"; N1: PRINT : PRINT
READ M
DATA 2
REM
REM*****SELECT ONE OF 15 VARIABLES*****
REM
PRINT
INPUT "Do you wish to vary ONE of the INPUT variables? If YES type 1, If NO
another number"; Y1
IF Y1 = 1 THEN 130 ELSE 125
125 N = 0
N2 = 0
N3 = 0
GOTO 145
130 CLS
PRINT

```



```

PRINT TAB(26); "*****VARIABLES*****"
PRINT
PRINT TAB(5); "1-DHE Inlet Temperature"; TAB(44); "2-Reservoir Temperature"
PRINT TAB(5); "3-DHE Length"; TAB(44); "4-DHE Diameter"
PRINT TAB(5); "5-DHE Mass Flow"; TAB(44); "6-Number of Parallel Loops"
PRINT TAB(5); "7-DHE Wall Thickness"; TAB(44); "8-Length between Perforations"
PRINT TAB(5); "9-Mixing Ratio"; TAB(44); "10-Roughness Heights for DHE"
IF (Y3 = 1) THEN 132 ELSE 134
134 PRINT TAB(5); "11-Promoter Diameter"; TAB(44); "12-Promoter Wall Thickness"
PRINT TAB(5); "13-Roughness Heights for Casing"; TAB(44); "14-Roughness Heights
for Promoter"
PRINT TAB(5); "15-Casing Diameter"
GOTO 136
132 PRINT TAB(5); "11-Well Diameter"; TAB(44); "12-Casing Wall Thickness:"
PRINT TAB(5); "13-Roughness Heights for Casing"; TAB(44); "14-Roughness Heights
for Well"
PRINT TAB(5); "15-Casing Diameter"
PRINT
136 INPUT "Enter variable number, step size and number of steps"; N2, N3, N
INPUT "Is entered variable data OK? If YES type 1, If NO another number"; Z1
IF Z1 = 1 THEN 140 ELSE 136
140 PRINT
PRINT USING "Enter variable No.          (N2) = ##"; N2
PRINT USING "Enter variation step size    (N3) = ##.##"; N3
PRINT USING "Enter No. of steps          (N) = ##"; N
145 CLS
PRINT TAB(25); "*****OUTPUT DATA*****": PRINT
PRINT "  N      Tout   U DHE  EFF.  Headloss  Qout  Variable"
PRINT "Step No.  deg. C  kW/m2*C  100%   m H2O   kW   Step Size"
PRINT " _____  _____  _____  _____  _____  _____  _____":
PRINT
IF Y1 > 1 GOTO 350
FOR P = 0 TO N
IF N2 = 1 THEN X7 = T1
IF N2 = 2 THEN X7 = T2
IF N2 = 3 THEN X7 = L1
IF N2 = 4 THEN X7 = I2
IF N2 = 5 THEN X7 = M1
IF N2 = 6 THEN X7 = N1
IF N2 = 7 THEN X7 = H2
IF N2 = 8 THEN X7 = L2
IF N2 = 9 THEN X7 = M2
IF N2 = 10 THEN X7 = G3
IF Y3 = 1 THEN 160 ELSE 150
150 IF N2 = 11 THEN X7 = I1
IF N2 = 12 THEN X7 = H1
IF N2 = 13 THEN X7 = G2
IF N2 = 14 THEN X7 = G1
IF N2 = 15 THEN X7 = D3
GOTO 165

```

```

160 IF N2 = 11 THEN X7 = D3
IF N2 = 12 THEN X7 = H1
IF N2 = 13 THEN X7 = G1
IF N2 = 14 THEN X7 = G2
IF N2 = 15 THEN X7 = I1
165 IF P = 0 THEN 350
170 IF N2 = 1 THEN 200
IF N2 = 2 THEN 210
IF N2 = 3 THEN 220
IF N2 = 4 THEN 230
IF N2 = 5 THEN 240
IF N2 = 6 THEN 250
IF N2 = 7 THEN 260
IF N2 = 8 THEN 270
IF N2 = 9 THEN 280
IF N2 = 10 THEN 290
IF Y3 = 1 THEN 180 ELSE 190
180 IF N2 = 11 THEN 300
IF N2 = 12 THEN 310
IF N2 = 13 THEN 320
IF N2 = 14 THEN 330
IF N2 = 15 THEN 340
190 IF N2 = 11 THEN 340
IF N2 = 12 THEN 310
IF N2 = 13 THEN 330
IF N2 = 14 THEN 320
IF N32 = 15 THEN 340
200 T1 = T1 + N3: X7 = T1: GOTO 350
210 T2 = T2 + N3: X7 = T2: GOTO 350
220 L2 = L2 + N3: X7 = L2: GOTO 350
230 I2 = I2 + N3: X7 = I2: GOTO 350
240 M1 = M1 + N3: X7 = M1: GOTO 350
250 N1 = N1 + N3: X7 = N1: GOTO 350
260 H2 = H2 + N3: X7 = H2: GOTO 350
270 L1 = L1 + N3: X7 = L1: GOTO 350
280 M2 = M2 + N3: X7 = M2: GOTO 350
290 G3 = G3 + N3: X7 = G3: GOTO 350
300 D3 = D3 + N3: X7 = D3: GOTO 350
310 H1 = H1 + N3: X7 = H1: GOTO 350
320 G1 = G1 + N3: X7 = G1: GOTO 350
330 G2 = G2 + N3: X7 = G2: GOTO 350
340 I1 = I1 + N3: X7 = I1: GOTO 350
REM
350 REM"*****CALCULATE AREAS AND EQUIVALENT DIAMETERS*****"
REM
PI = 3.141593
IF Y3 = 1 THEN 360 ELSE 370
360 A = 2 * PI * L1 * N1 * (I2 + 2 * H2)
A1 = PI * (I1 + 2 * H1) * L2
DIM A(20)

```

```

A(1) = PI * I1 * I1 / 4
A(2) = PI * (D3 * D3 - (I1 + 2 * H1) ^ 2) / 4
A(3) = PI * (D3 * D3 - (I1 + 2 * H1) ^ 2 - (I2 + 2 * H2) ^ 2) / 4
A2 = PI * ((I2) ^ 2) * N1 / 4
DIM D1(20)
D1(1) = I1
D1(2) = D3 - (I1 + 2 * H1)
D1(3) = SQR(ABS(4 * A(3) / PI))
DIM R1(20)
R1(1) = D1(1) / G1
R1(2) = D1(2) / G2
R1(3) = D1(3) / G2
R1(4) = I2 / G3
GOTO 380
370 A = 2 * PI * L1 * N1 * (I2 + 2 * H2)
A1 = PI * (I1 + 2 * H1) * L2
A(2) = PI * I1 * I1 / 4
A(1) = PI * (D3 * D3 - (I1 + 2 * H1) ^ 2) / 4
A(3) = PI * (I1 * I1 - 2 * N1 * (I2 + 2 * H2) ^ 2) / 4
A2 = PI * I2 * I2 * N1 / 4
D1(1) = D3 - (I1 + 2 * H1)
D1(3) = SQR(ABS(4 * A(3) / PI))
D1(2) = I1
R1(1) = D1(1) / G2
R1(2) = D1(1) / G1
R1(3) = D1(3) / G1
R1(4) = I2 / G3
DIM T(20)
380 T(1) = T1
T(2) = T2
FOR I = 1 TO 2
REM
REM"*****CALCULATE PHYSICAL PROPERTIES*****"
REM
DIM C1(20)
C1(I) = 9.144899999999999D-06 * T(I) * T(I) - .0006203 * T(I) + 4.18952
C1(I) = C1(I) * 1000
IF T(I) < 11 THEN GOSUB 390
IF T(I) > 10 AND T(I) < 30 THEN GOSUB 400
IF T(I) > 29 THEN GOSUB 410
DIM M8(20)
DIM M4(20)
M4(I) = M8(I) / 1000000
DIM S(20)
S(0) = 0
DIM D(20)
D(1) = 3.6711257#
D(2) = -28.512369#
D(3) = 222.6524
D(4) = -882.43852#

```

```

D(5) = 2000.2765#
D(6) = -2612.2557#
D(7) = 1829.7674#
D(8) = -533.5052
U = 1 - (T(I) + 273.16) / 647.285
FOR J = 1 TO 8
C = U ^ (J / 3)
S(J) = D(J) * C
S(J) = S(J) + S(J - 1)
NEXT J
S = S(8) + 1
DIM R2(20)
R2(I) = 317 * S
DIM K9(20)
K9(I) = 569 + 1.12 * T(I)
DIM P1(20)
P1(I) = 1000 * C1(I) * M4(I) / K9(I)
NEXT I
GOTO 420
390 M8(I) = .0723809 * T(I) * T(I) - 16.1833 * T(I) + 1520
RETURN
400 M8(I) = .0723809 * T(I) * T(I) - 16.1833 * T(I) + 1350
RETURN
410 M8(I) = .0723809 * T(I) * T(I) - 16.1833 * T(I) + 1177.64
RETURN
420 REM "CALCULATE VELOCITIES, REYNOLDS NO., FRICTION FACTORS,
STANTON NO. & HEAT COEFFICIENTS"
REM
IF M > 0 THEN GOTO 440 ELSE 430
430 PRINT USING "Well mass flow (M) = ##.##"; M
PRINT "Direction of Well Circulation is Changed"
BEEP
M = ABS(M)
440 FOR K = 1 TO 3
DIM V(20)
V(K) = M / (R2(2) * A(K))
DIM R3(20)
R3(K) = R2(2) * V(K) * D1(K) / M4(2)
X8 = (2.457 * LOG((1 / ((7 / R3(K)) ^ .9 + .27 / R1(K)))))) ^ 16
Y8 = (37530 / R3(K)) ^ 16
DIM F(20)
F(K) = 8 * ((8 / R3(K)) ^ 12 + 1 / (X8 + Y8) ^ 1.5) ^ (1 / 12)
S(K) = F(K) / 2 / (1 + 1.99 * (ABS(R3(K)) ^ (-1 / 8) * (P1(2) - 1)))
DIM H(20)
H(K) = R2(2) * C1(2) * V(K) * S(K)
B1 = .003096
G = 9.81
DIM W(20)
W(K) = F(K) / (2 * R2(2) * R2(2) * G * A(K) * A(K) * D1(K) * B1)
NEXT K

```

```

V1 = M1 / (R2(1) * A2)
R5 = R2(1) * V1 * I2 / M4(1)
X8 = (2.457 * LOG(1 / ((7 / R5) ^ .9 + .27 * (G3 / I2)))) ^ 16
Y8 = (37530 / R5) ^ 16
F2 = 8 * ((8 / R5) ^ 12 + 1 / (X8 + Y8) ^ 1.5) ^ (1 / 12)
S1 = F2 / 2 / (1 + 1.99 * (R5 ^ (-1 / 8) * (P1(1) - 1)))
H3 = R2(1) * C1(1) * V1 * S1
A5 = L1 / L2
W(2) = W(2) * (1 - A5)
W(3) = W(3) * A5
W = W(1) + W(2) + W(3)
REM
REM "*****CALCULATE OVERALL HEAT TRANSFER COEFFS*****"
REM
U4 = 1 / H(2) + 1 / H(1) * ((I1 + 2 * H1) / I1) + H1 * (I1 + 2 * H1) / (K1 * (I1 + H1))
U1 = 1 / U4
U5 = 1 / H(3) + 1 / H(1) * ((I1 + 2 * H1) / I1) + H1 * (I1 + 2 * H1) / (K1 * (I1 + H1))
U2 = 1 / U5
U1 = 1 / (1 / U1 + 1 / U8)
U2 = 1 / (1 / U2 + 1 / U8)
U6 = 1 / H(3) + 1 / H3 * ((I2 + 2 * H2) / I2) + H2 * (I2 + 2 * H2) / (K2 * (I2 + H2))
U3 = 1 / U6
U3 = 1 / (1 / U3 + 1 / U8)
REM
REM "*****CALCULATE CUBIC EQN COEFF*****"
REM
A4 = PI * (I2 + H2)
Q = 2 * C1(1) * W * M ^ 3 / (2 - A5)
T4 = T(2) - M2 * Q / (M * C1(1) * (1 - M2))
A6 = (2 - A5) * (T(1) - T4) / W
A7 = 2 * U1 * A1 * (1 - A5) / C1(2) + U2 * A1 * A5 / (2 * C1(2))
A8 = (1 + M2) / (1 - M2)
A9 = 2 * C1(1) / (U3 * A) + 1 / M1
REM "*****SOLVE EQUATION*****"
X = M
450 F = A6 + A7 * X + A8 * X * X + A9 * X ^ 3
D2 = A7 + A8 * 2 * X + 3 * A9 * X ^ 2
X2 = X - F / D2
G4 = ABS((X2 - X) / X2)
X = X2
IF G4 > .000001 THEN 450
M5 = X2
REM
REM "*****TEST ASSUMED M*****"
REM
G4 = ABS((M5 - M) / M5)
M = M5
IF G4 > .0005 THEN 420
Q1 = 2 * C1(1) * W * (M ^ 3) / (2 - A5)
T3 = T(1) + Q1 / (M1 * C1(1))

```

```
IF T3 < T(2) THEN GOTO 470 ELSE 460
460 PRINT "Outlet Temp. of DHE is Higher than Reservoir Temp."
PRINT USING "Tout = ###.#"; T3
PRINT USING "Tres = ###.#"; T(2)
BEEP
PRINT
470 Q1 = Q1 / 1000
U3 = U3 / 1000
H4 = F2 * V1 * V1 * L1 * 2 / (2 * 9.81 * I2)
Q2 = C1(1) * M1 * (T(2) - T(1))
E5 = Q1 * 1000 / Q2
REM
REM *****PRINT OUTPUT DATA*****
REM
PRINT USING " ##      ###.#  ##.###  #.##  ##.###  #####.#  ##.##"; P; T3;
U3; E5; H4; Q1; X7
NEXT P
END
```

ÖZGEÇMİŞ

Adı, soyadı	: Ebru ARSLAN
Ana adı	: Yeter Güngördü
Baba adı	: Kemal
Doğum yeri ve tarihi	: Aydın 1981
Lisans eğitimi ve mezuniyet tarihi	: Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü - 2003
Çalıştığı yer	: Hastayla Otomotiv Yat. Ve Paz. A.Ş - Denizli
Bildiği yabancı dil	: İngilizce