

**AFYONKARAHİSAR İLİ JEOTERMAL KONUT
ISITMA SİSTEMİNİN İRDELENMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Serhat DÜZAĞAÇ

DANIŞMAN

Doç. Dr. Ahmet YILDIZ

**ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ
YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ**

Haziran, 2015

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AFYONKARAHİSAR İLİ JEOTERMAL KONUT ISITMA
SİSTEMİNİN İRDELENMESİ

Serhat DÜZAĞAÇ

DANIŞMAN

Doç. Dr. Ahmet YILDIZ

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ
YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ

Haziran, 2015

TEZ ONAY SAYFASI

Serhat DÜZAĞAÇ tarafından hazırlanan “AFYONKARAHİSAR İLİ JEOTERMAL KONUT ISITMA SİSTEMİNİN İRDELENMESİ” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 26/06/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Ahmet YILDIZ

Başkan : Doç. Dr. Ahmet YILDIZ İmza
A.K.Ü Mühendislik Fakültesi,

Üye : Doç. Dr. Oğuz ASLAN İmza
Dumlupınar Üniversitesi,

Üye : Yrd. Doc. Dr. Barış GÖKÇE İmza
A.K.Ü Teknoloji Fakültesi,

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun

...../...../..... tarih ve

..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. İbrahim EROL

Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

02/07/2015

Serhat DÜZAĞAÇ

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

AFYONKARAHİSAR İLİ JEOTERMAL KONUT ISITMA SİSTEMİNİN
İRDELENMESİ

Serhat DÜZAĞAÇ
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Mühendisliği
Yenilenebilir Enerji Sistemleri

Danışman: Doç. Dr. Ahmet YILDIZ

Bu çalışmada, Afyonkarahisar il sınırları içinde Afyon jeotermal konut ısıtma sisteminin 2010 öncesi (AFJET-1) ve 2010 sonrası (AFJET-2) durumu değerlendirilmiştir. Değerlendirmenin ilk aşamasında jeotermal ısıtma sisteminin en önemli bileşenleri olan jeotermal üretim kuyuları, taşıma hattı, jeotermal ısı merkezi, şehir içi dağıtım hattı, konut ısıtma sistemi ve reenjeksiyon (geri basma) sistemi incelenmiştir. Değerlendirmenin ikinci aşamasında ise AFJET-1 ve AFJET-2 sistemleri performans, çevresel ve ekonomik faktörler göz önünde bulundurularak karşılaştırılmıştır.

AFJET-1 sisteminin değerlendirilmesi sırasında gerekli olan bilgiler sisteminin işletmeci firması olan Afyon Jeotermal Turizm ve Ticaret A.Ş (AFJET A.Ş.)'nden temin edilmiştir. AFJET-2 ise sistem bileşenlerinin bizzat yerinde gözlemlenmesi ve incelenmesi sonucunda değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda Afyonkarahisar jeotermal ısıtma sisteminde 2010 sonrasında yapılan modernizasyon çalışmaları sonucunda sistemin abone sayısının 2 kat, konut eşdeğeri ısıtmanın 4 kat ve işletme giderlerindeki 2 kat arttığı görülmüştür. Bu durum, yeni ısıtma sisteminin eskiye göre işletme gelir ve giderleri açısından %50 daha verimli olduğunu ortaya koymuştur.

2015, xi + 92 sayfa

Anahtar Kelimeler: Jeotermal, Afyonkarahisar, Afyonkarahisar Jeotermal Konut Isıtma Sistemi, AFJET

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

THE EXAMINATION OF GEOTHERMAL RESIDENTIAL HEATING SYSTEM OF AFYOKARAHISAR PROVINCE

Serhat DÜZAĞAÇ

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Electrical Engineering

Department of Renewable Energy Systems

Supervisor: Assoc. Prof. Ahmet YILDIZ

In this research, the situation of geothermal residential heating system before 2010 (AFJET-1) and after 2010 (AFJET-2) in the borders of Afyonkarahisar is evaluated. In the first phase of the evaluation, geothermal production wells, transmission line, geothermal heat center, urban distribution lines, residential heating system and reinjection system, which are the most important components of geothermal heating system, are investigated. In the second phase of the evaluation, AFJET-1 and AFJET-2 systems are compared in terms of performance, environmental and economic factors.

The required information during the evaluation of AFJET-1 is obtained from Afyon Geothermal Tourism and Trade Inc. (AFJET INC.). AFJET-2 is evaluated by observing the components after investigation in place. After the evaluations, it seems that AFJET increased the number of subscribers two times, residential equivalent heating four times while operating expenses were increased two times after modernization in 2010. This situation shows that new heating system is 50% more efficient than the old one in terms of operating income and expenses

2015, xi + 92 pages

Key Words: Geothermal, Afyonkarahisar, Afyonkarahisar Residential Geothermal Heating System, AFJET

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarında dolay tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Ahmet YILDIZ, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen Sayın AFJET A.Ő. Genel Müdürü Yusuf ULUTÜRK, AFJET A.Ő. Genel Müdür Yardımcısı Ali ULUSOY 'a ve her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolay aileme teşekkür ederim.

Serhat DüZAğAç
AFYONKARAHİSAR, 2015

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
RESİMLER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	2
2.1 Jeotermal Enerji.....	2
2.1.1 Temel Kavramlar.....	2
2.1.2 Oluşum	3
2.1.3 Dünya’da Jeotermal Enerji	6
2.1.4 Türkiye’de Jeotermal Enerji.....	7
2.1.4.1 Türkiye’de Jeotermal Arama Faaliyetleri	7
2.1.4.2 Türkiye Jeotermal Alanlarının Jeolojisi ve Dağılımı.....	8
2.1.5. Jeotermal Enerjinin Kullanımı.....	10
2.1.5.1 Jeotermal Enerjinin Kullanım Tarihçesi.....	10
2.1.5.2 Jeotermal Enerjinin Kullanım Alanları.....	12
2.1.6 Jeotermal Enerjinin Kullanımıyla İlişkili Sorunlar.....	13
2.1.6.1 Kabuklaşma Problemi	13
2.1.6.2 Korozyon Problemi	16
2.2 Jeotermal Merkezi Isıtma Sistemi.....	18
2.2.1 Jeotermal Akışkan Üretim Kuyusu ve Kuyubaşı Sistemi ..	21
2.2.1.1 Jeotermal Akışkan Üretim Kuyuları	21
2.2.1.2 Kuyuiçi Pompa ve Kontrol Sistemi	22
2.2.2 Jeotermal Akışkan Taşıma Hattı ..	23
2.2.3 Jeotermal Isı Merkezi	24
2.2.3.1 Jeotermal Akışkan Pompaları..	24
2.2.3.2 Eşanjörler	24
2.2.3.3 Şehir Isıtma Sirkülasyon Pompaları	26

2.2.3.4 Şehir Suyu Şartlandırma Sistemi.....	26
2.2.4 Şehiriçi Isı Dağıtım Sistemi.....	26
2.2.5 Bina İç Tesisatı	26
2.2.6 Reenjeksiyon	27
2.3 Literatür Taraması	27
3. ÖMER- GECEK (AFYONKARAHİSAR) JEOTERMAL ALANI	36
4. MATERYAL ve METOT.....	38
4.1 Ömer-Gecek Jeotermal Alanının Tarihi	39
5.BULGULAR.....	41
5.1. 2010 Yılı Öncesinde Afyonkarahisar Jeotermal Isıtma Sistemi (AFJET-1)....	41
5.1.1. Jeotermal Üretim Kuyuları.....	41
5.1.2 Taşıma Hattı (İsale Hattı).....	46
5.1.3 Jeotermal Isı Merkezi.....	47
5.1.4 Şehir İçi Dağıtım Hattı.....	49
5.1.5.Konut Isıtma Sistemi.....	50
5.1.6 Reenjeksiyon (Geri Basma) Sistemi.....	51
5.2. 2010 Yılı Sonrasında Afyonkarahisar Jeotermal Isıtma Sistemi (AFJET-2)....	51
5.2.1 Jeotermal Üretim Kuyuları.....	55
5.2.2 Jeotermal Akışkan Toplama Havuzları.....	60
5.2.3 Ömer-Gecek Isı Merkezi.....	62
5.2.4 Reenjeksiyon Toplama Havuzu.....	65
5.2.5 Reenjeksiyon Kuyuları.....	66
5.2.6 Taşıma Hattı (İsale Hattı).....	66
5.2.7 Uydu Kent-Karahisar-Dervişpaşa Isı Merkezleri.....	68
5.2.8 Şehir İçi Dağıtım Hattı.....	72
5.2.9 Konut Isıtma Sistemi	73
5.3 AFJET-1 ve AFJET-2 Sistemlerinin Karşılaştırılması.....	74
5.3.1 Ekonomik Değerlendirme.....	74
5.3.2 Çevresel Değerlendirme.....	75
5.3.3 Performans Değerlendirmesi.....	77
5.3.3.1 Jeotermal Akışkan Üretimi.....	77
5.3.3.2 Taşıma Hattı.....	78
5.3.3.3 Jeotermal Isı Merkezi.....	78
5.3.3.4 Şehir İçi Dağıtım Hattı.....	78
5.3.3.5 Konut Isıtma Sistemi.....	79
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	83

7.KAYNAKLAR.....	85
ÖZGEÇMİŞ.....	92

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Al	Alüminyum
NH ₃	Amonyak
As	Arsenik
N ₂	Azot gazı
BaSO ₄	Baryum sülfat
B	Bor
Fe	Demir
HCl	Hidroklorik asit
HCO ₃	Hidrojen bi karbonat
H ₂	Hidrojen gazı
H ₂ S	Hidrojen sülfür
Ca	Kalsiyum
CaCO ₃	Kalsiyum karbonat
CaSO ₄	Kalsiyum Sülfat
CO ₂	Karbondioksit
Kcal	Kilokalori
KWe	Kilowatt elektrik
Cl	Klor
SO ₂	Kükürt dioksit
lt	Litre
Mg	Magnezyum
MW	Megawatt
CH ₄	Metan
mg	Miligram
ppm	Miligram/litre
K	Potasyum
°C	Santigrad derece
SiO ₂	Silisyum oksit
Na	Sodyum
NaOH	Sodyum hidroksit
NaCl	Sodyum klorür
SO ₄	Sülfat

Kısaltmalar

CTP	İzolasyonlu özel paket boru
JMIS	Jeotermal merkezi ısıtma sistemi
KE	Konut eşdeğeri
PPRC	Polipropilen random co-polimer
PVC	Polivinilklorür
SGDHS	Salihli jeotermal ısıtma sistemi

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 İdeal jeotermal sistem modeli	3
Şekil 2.2 Dünya'daki yüksek sıcaklıklı jeotermal kuşaklar	7
Şekil 2.3 Türkiye'nin Neotektonik haritası, Neojen volkanizma alanları ve jeotermal Kaynaklarla İlişkisi.....	8
Şekil 2.4 Tipik jeotermal bölgesel ısıtma sistemi şeması	21
Şekil 2.5 Jeotermal akışkan üretim kuyusu ve kuyubaşı sistemi	22
Şekil 2.6 Bir ısı merkezinin yapısı ve ekipmanları	24
Şekil 2.7 Plakalı ısı değiştirici içinde doğal sıvı akışı.....	25
Şekil 3.1 Afyonkarahisar ili jeotermal alanları.....	36
Şekil 5.1 2010 yılı öncesi Afyonkarahisar jeotermal ısıtma sisteminin şematik gösterimi.....	45
Şekil 5.2 2010 yılı sonrasında Afyonkarahisar jeotermal ısıtma sisteminin şematik gösterimi.....	54

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Türkiye yüksek sıcaklıklı jeotermal sahalar	10
Çizelge 2.2 Jeotermal enerjinin kullanım tarihi	11
Çizelge 2.3 Lindal Diyagramı'na göre jeotermal kaynakların kullanım alanları	12
Çizelge 2.4 Jeotermal akışkanın içerdiği kabuklaşma ve korozyona yol açan kimyasallar	14
Çizelge 2.5 Jeotermal uygulamalarda kullanılan malzemelerde karşılaşılan korozyon türleri.....	17
Çizelge 5.1 2010 yılı öncesi üretim yapılan bazı kuyuların kimyasal analiz sonuçları..	42
Çizelge 5.2 2010 yılı itibariyle Ömer- Gecek jeotermal sahasındaki mevcut kuyular ..	44
Çizelge 5.3 Karahisar ısı merkezine ait bilgiler.....	48
Çizelge 5.4 2010 yılı sonrası jeotermal kuyu bilgileri	55
Çizelge 5.5 Ömer- Gecek havzasında 2010 yılı sonrası jeotermal sondajlarından alınan sıcak su örnekleri kimyasal analiz sonuçları.....	59
Çizelge 5.6 AFJET-2 ısı merkezlerine ait teknik özellikler.....	69
Çizelge 5.7 Afyonkarahisar ısıtma sistemlerinin ekonomik açıdan karşılaştırılması....	75
Çizelge 5.8 Afyonkarahisar ısıtma sistemlerinin fiziki açıdan karşılaştırması.....	80
Çizelge 5.9 AFJET-1 ve AFJET-2 Isı merkezi ve isale hatlarındaki ısı kayıpları	81

RESİMLER DİZİNİ

Sayfa

Resim 5.1 AFJET A.Ş. ısıtma tesisleri.....	40
Resim 5.2 Jeotermal akışkan toplama havuzu.....	42
Resim 5.3 Toplama havuzu suyunu Karahisar ısı merkezine gönderen pompalar.....	42
Resim 5.4 Jeotermal sondaj kuyularında kalsiyum karbonat kabuklaşması.....	43
Resim 5.5 2010 yılı öncesi AFJET A.Ş'nin İsale hattı.....	46
Resim 5.6 İsale hattında meydana gelen arızalar.....	47
Resim 5.7 Karahisar ısı merkezi.....	48
Resim 5.8 İsale hattındaki borularda meydana gelen korozyon.....	49
Resim 5.9 2010 yılı öncesi AFJET A.Ş'nin proje sahası.....	50
Resim 5.10 Bina altı ısı eşanjörü.....	51
Resim 5.11 2010 sonrasında açılan AF25 nolu jeotermal sondaj kuyusu.....	56
Resim 5.12 Ömer- Gecek jeotermal sahasındaki kuyuların yerleşimleri.....	56
Resim 5.13 Jeotermal üretim kuyularında kullanılan dik milli pompalar.....	57
Resim 5.14 Jeotermal üretim kuyusu ve kuyu başı sistem.....	58
Resim 5.15 Jeotermal akışkanın çıkış noktasındaki borunun iç yüzeyinde CaCO ₃ kabuklaşması.....	60
Resim 5.16 Şehir ısıtma hattı jeotermal akışkan toplama havuzu ve jeotermal kuyu bağlantıları.....	61
Resim 5.17 Turizm hattı jeotermal akışkan toplama havuzu ve jeotermal kuyu bağlantıları	61

Resim 5.18 Toplama havuzunda çökelen partiküller (a) ve çözülmüş gazların (b) tahliyesi.....	61
Resim 5.19 Ömer-Gecek ısı merkezindeki dik milli pompalar.....	62
Resim 5.20 Ömer-Gecek ısı merkezindeki plakalı tip eşanjörler.....	62
Resim 5.21 Ömer-Gecek sahasındaki ısı merkezi ve toplama havuzlarının yerleşimi.....	63
Resim 5.22 3000 KW kapasiteli jeneratör.....	64
Resim 5.23 Ömer- Gecek ısı merkezi elektronik kontrol üniteleri ve kontrol paneli....	65
Resim 5.24 Reenjeksiyon toplama havuzu.....	65
Resim 5.25 2010 sonrası AFJET A.Ş'nin isale hattı.....	67
Resim 5.26 Afyon jeotermal ısı sistemi isale hattı inşaat çalışmaları.....	67
Resim 5.27 2010 yılı sonrası AFJET A.Ş'nin proje sahası.	68
Resim 5.28 Uydukent ısı merkezinde plakalı eşanjörler, santrifüj pompalar ve elektronik kontrol paneli.....	70
Resim 5.29 Karahisar ısı merkezinde ısı değiştirici ve dik milli pompalar.....	71
Resim 5.30 Karahisar ısı merkezinde şarlandırma ünitesi ve ısı merkezi kontrol paneli.....	71
Resim 5.31 Dervişpaşa ısı merkezinde plakalı eşanjörler, santrifüj pompalar ve elektronik kontrol paneli.....	72
Resim 5.32 2010 yılı sonrasında gerçekleştirilen şehir içi dağıtım hattı inşaatı.....	73

1.GİRİŞ

İnsan yaşamında enerji kullanımı önemli bir yer tutmaktadır. İnsanlar enerjiye sürekli ihtiyaç duymuşlar ve sahip olduğu enerji kaynaklarından olanakları ölçüsünde yararlanarak bu kaynakları geliştirmek için sürekli arayış içerisinde olmuşlardır. Bir enerji kaynağı olan jeotermal enerji başlangıçta sadece kaplıca amaçlı kullanılırken, günümüzde geniş kullanım olanakları sunan bir enerji türüne dönüşmüştür.

İlk çağlardan beri ilkel yollarla sağlık amaçlı olarak yararlanılan doğal sıcak su kaynakları ilk defa 1827 yılında İtalya'da asit borik elde etmek amacıyla değerlendirilmiştir. Daha sonra 1904 yılında Larderello (İtalya) yöresinde yine ilk defa jeotermal buhardan elektrik üretimine başlanmış ve 1912 yılında gücü KWe (kilowatt elektrik) olan ilk turbo jeneratör kurulmuştur. 1930'lu yıllarda ise jeotermal enerji İzlanda'nın Reykjavik kentinde ısıtma amacıyla kullanılmaya başlanmıştır. 1949 yılında Yeni Zelanda Wairakei sahasında turistik bir otele sıcak su temini amacıyla başlanan sığ sondajlara daha sonra, elektrik elde edebilmek amacıyla devam edilmiş ve 1954 yılında 200 MWe elektrik kapasiteli bir santral kurulmuştur. 1960'da Amerika'da, 1961'de Meksika'da ve 1966'da Japonya'da santraller kurularak jeotermal enerjinin kullanımı dünya çapında yayılmıştır (İnt. Kyn.1, İnt.Kyn.2).

Petrol rezervinin 40-45 yıl, doğalgaz rezervinin 60-67 yıl, kömür rezervinin 240-250 yıl gibi bir sürede tükeneceğini tahmin edilirken fosil yakıtlara olan ihtiyacın giderek artması ve artan ihtiyaca karşılık veremeyen sınırlı enerji kaynakları nedeniyle günümüzde yenilenebilir enerjiye olan ilgi ve ihtiyaç giderek artmaktadır. Jeotermal kaynaklar açısından dünyanın ilk 10 ülkesi arasında bulunan Türkiye'de, konut ve sera ısıtmacılığı, termal turizm, elektrik ve kuru buz üretiminde kullanılan jeotermal enerji, fosil yakıt rezervlerinin giderek azaldığı günümüzde, temiz ve güvenli bir alternatif enerji niteliği taşıması nedeniyle oldukça önem taşımaktadır. Kömür, petrol, doğalgaz, bitümlü şist, nükleer enerji kaynaklarına göre çok daha uzun ömürlü olması, yok denecek kadar az çevre sorunlarına neden olması, pratikte beslenme devam ettikçe ve uygun kullanım koşulları altında jeotermal kaynakların sınırsız olması gibi nedenler jeotermal enerjinin önemini oldukça arttırmaktadır.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Jeotermal Enerji

2.1.1 Temel Kavramlar

Dünyadaki enerji kaynakları fosil kaynaklar (kömür, petrol, doğal gaz, turba) yenilenebilir kaynaklar (hidrolik, biyomas, jeotermal, rüzgar, gelgit, dalga, vb.) olmak üzere iki bölüme ayrılabilir. Bunlardan yenilenebilir kaynaklar grubuna giren Jeotermal Enerji günümüzde önemli bir yer tutmaktadır.

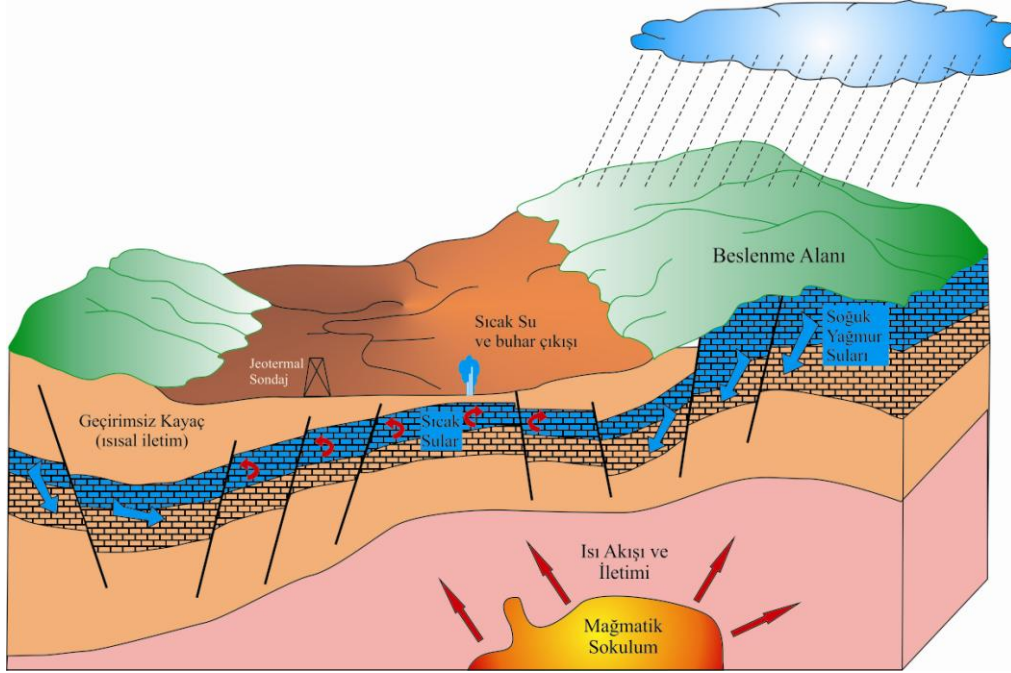
Jeotermal, kısaca yer ısısı (geo=yer, thermal=ısı) olup, jeotermal kaynak yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, sıcaklığı kaynağın bulunduğu bölgenin yıllık ortalama sıcaklığından fazla olan ve çevresindeki normal yeraltı ve yerüstü sularına oranla daha fazla erimiş mineral, çeşitli tuzlar ve gazlar içerebilen sıcak su ve buhar olarak tanımlanabilir. Jeotermal Enerji, jeotermal kaynaklardan doğrudan veya dolaylı her türlü faydalanmayı kapsamaktadır. Jeotermal enerjiyi, yeraltından ısınarak, yeryüzüne taşıyan sıcak suya da Jeotermal Akışkan denilmektedir (Jeotermal 2007).

Jeotermal suların sıcaklığı, bölgenin ortalama hava sıcaklığından 5-6 °C daha fazla olursa, bu gibi sulara Sıcak Su, Termal Su veya Ilıca gibi isimler verilir. Bu tür suların çıktığı yerin üzeri kapatılmış, bir bina yapılmışsa, bunlara da Kapalı Ilıca ya da kısaca Kaplıca denir (Erguvanlı ve Yüzer 1987).

Yerkabuğunun farklı derinliklerinde, uygun jeolojik şartlarda doğal olarak oluşan bir veya daha fazla kaynaktan yeryüzüne kendiliğinden çıkan ya da çıkartılan, mineral içeriği (>1000mg/lt) ve diğer bileşenleri ile tanımlanan; tedavi, şifa amaçlarıyla da kullanılan içmece suyu, şifalı su ve benzeri adlarla anılan soğuk ve sıcak doğal sulara ise *Doğal Mineralli Su* adı verilmektedir (Jeotermal 2007).

Jeotermal sistemler; beslenme alanı, ısı kaynağı, ısıyı taşıyan akışkan, rezervuar kayaç ve örtü kayaç gibi parametrelerin tümünün oluşturduğu ve doğal yollarla birbirleri ile

bağ oluşturan sistemlerdir. Şekil 2.1’de İdeal jeotermal sistem modelinin bileşenleri verilmiştir. Jeotermal kaynak ısının yer içinden ekonomik olarak üretildiği rezervuar olarak tanımlanabilir. Jeotermal rezervuar ısıyı hem katı kayaçlar içindeki boşlukları ve çatlakları dolduran akışkanlarda ve hem de katı kayaçlarda barındırmaktadır.



Şekil 2.1 İdeal jeotermal sistem modeli (Dickson and Fanelli 2004).

2.1.2 Oluşum

Jeotermal enerji, yerkürenin akkor halindeki çekirdek kısmında bulunan ısının yayılımı ile oluşan ve yerkabuğuna kadar yayılan ısı enerjisi olarak tanımlanır ve jeotermal gradyanı oluşturur. Bu ısı enerjisi, zaman zaman kabuk içerisine sokulan ve mantodan kaynaklanan magma intrüzyonları (sokulumları) ve/veya volkanik faaliyetleri oluşturan yine manto kökenli magmatik cepler ile kabuk içerisinde ısı anomalisi yaratırlar. Derinlere süzülerek bu ısınmış kayaçlar içerisinde dolaşan meteorik sular yardımı ile bu ısı alınabilir veya ısınmış ve permeabilitesi zayıf kayaçlar içerisine sondajla su basılarak sıcak kuru kaya tekniğiyle tekrar başka bir sondajla alınabilir (Koçak 2009).

Isı transferi litosferin altında çoğunlukla konveksiyonla, litosferde ise kondüksiyonla yayılmaktadır. Kayaçlar ısıyı zayıf bir biçimde iletirler. Sondaj teknolojisinin

gelişmesiyle birlikte, son yıllarda derin sondajlar ekonomik olarak yapılmaya başlanmış ve 200-300 °C gibi yüksek sıcaklıklı ortamlara ulaşılmıştır. Ancak üretim için sadece sıcak kayaca ulaşmak yeterli değildir. Ayrıca ısının dolaşım halindeki sıvılarla çıkarılması gerekmekte olup, sıvıların dolaşması için, gözenek ve çatlaklara ihtiyaç duyulmaktadır. Derinliğin artmasıyla birlikte örtü kayacın ağırlığı gözenek ve çatlakların kapanmasına ve permeabilitenin de gözle görülür derecede azalmasına neden olacaktır.

Plaka sınırları ve plaka içi gibi bazı jeolojik ortamlarda ısı, yerkabuğunun birkaç kilometresinde magma veya sıcak kayaçtan konveksiyonla lokal olarak yayılmaktadır. Uygun jeolojik koşullar altında, ısı hapsolarak sıcak rezervuarı oluşturmaktadır. Birkaç yüz metrelik sondaj sonrasında 200-300 °C'lik sıcaklık değerlerinin gözlemlendiği bölgeler, jeotermal enerjinin kullanımı için uygun alanlardır (Gupta and Roy 2007). Jeotermal sistemleri oluşturan ana parametreler aşağıda verilmiştir (Şahinci 1991):

a) Isı Kaynağı: Jeotermal sistemin en önemli ısı kaynağının yerkürenin ilk oluşumundan gelen ısı olduğu kolayca anlaşılmaktadır. Bu ısı kaynağı, yer içindeki magma ve manto bölümünden üst bölümlere doğru yayılmaktadır. Bunun yanında radyoaktif mineral bozunmasını da unutmamak gerekir. Yerkabuğu hareketleri nedeniyle oluşan tektonik hatlar boyunca katı haldeki kabuk (litosfer) kıvrımlanma ve kırılmalar ve manto üst kesimindeki magma ayrışması sonucu, magmatik intrüzyonlar (sokulumlar) ve volkanik faaliyetler gelişmektedir. Bu faaliyetler sonucu yerin derinliklerinde bulunan ısı, kabuk içerisinde sığ derinliklere ulaşabilmektedir. Bu ısı etrafındaki kayaları da ısıtarak, bölgede bir ısı anomalisi yaratır. Bu ısı, konduktif (ısının katı ortamda yayılması) veya konvektif (bir maddenin hareketi ile, burada su ile taşınması) olarak taşınabilir.

b) Isıyı Taşıyan Akışkan: Yağan meteorik sular yerin kırık ve çatlaklarından derinlere süzülerek, yukarıda sözü edilen ısı anomalisine sahip alanlarda ısındıktan sonra tekrar yüzeye doğru ekonomik anlamda sığ derinliklere kadar yükselmektedir. Bu yöntemle ısı taşıma işlemine konvektif (konveksiyon yoluyla) taşıma denmektedir. Çok nadir durumlarda ise okyanus çökellerinde bazı kapanlanmış sular ve metamorfizma sonucu

kayaçta mineral bileşiminde bulunan suyun atılması ile ortaya çıkan sularda derinlerdeki ısıyı taşıyıcı olabilmektedir, ancak bunlar meteorik sularla karşılaştırıldığında önemsiz derecede azdır.

c) Rezervuar Kayaç: Jeotermal sistemlerde rezervuar, ısının ekonomik olarak üretilebileceği yer kabuğunun sığ derinliklerinde bulunan kayaçların hacmi olarak tanımlanmaktadır. Isının ekonomik olarak üretilebilmesi için, sistemde sürekli dolaşım halinde olan akışkana (çoğunlukla sular) gereksinim olmaktadır. Rezervuar kayaç derinlere süzülen yeraltı sularının depolanması ve ısı kaynağı yardımıyla ısınmasını sağlamaktadır.

d) Örtü Kayaç: Rezervuar zonda depolanan akışkan ve ısının, enerjisini kaybetmemesi için bu zon ve/veya birimler üzerinde ısı ve akışkan kaybını önleyecek, örtü kayaç adı verilen geçirimsiz birimler olmalıdır.

e) Beslenme Alanı: Rezervuar zonu çevreleyen ve zonun su kaynağı olan alandır. Jeotermal bölgede rezervuarı besleyecek yeterli yüzey veya yeraltı sularının bulunması gerekir. Eğer rezervuar kayaç yeterince beslenmiyorsa, jeotermal alanda açılan kuyularda, başlangıçta verim yüksektir. Fakat zaman içinde debi ve basınç düşmesi sonucu, kuyular ekonomik olmaktan çıkabilir. Bazı durumlarda, akışkan sıcaklığında azalma gözlenebilir. Bu nedenle, jeotermal enerji üretimi için planlanan yapıların kademeli yapılması, ileride, tesislerin atıl kalmasını önler. Jeotermal sistemlerin beslenmeleri hakkında bilgi edinebilmek için suyun yaşı, izotop yöntemleri (trityum) ile saptanır. Eğer, termal su çok yaşlı ise, beslenmenin zayıf; genç ise, beslenmenin güçlü olduğunu kanıtlar.

f) Rezervuar Kayaçla Isı Kaynağı Arasında Temel Kayaç: Temel kayaç, genel olarak yer kabuğunun 2-5 km derinliklerindeki geçirimsiz metamorfik kayaçlarla volkanik kayaçlardan oluşmaktadır. Büyük litostatik basınç altında bulunan temel kayaç, sıkışma nedeniyle, oldukça geçirimsizdir. Ancak, kısmi çatlaklar doğabilir ve daha sonra kapanabilir. Temel kayaç içinde, kondüksiyon ısı iletimi egemendir. Meydana gelen faylanmalar, magmadan çıkan su buharı, CO₂, H₂, N₂, H₂S gibi gazların

rezervuar kayaca ulaşmasını sağlar. Konveksiyon ısı iletiminin egemen olduğu rezervuar kayacın taban ve tavanı arasında sıcaklık farkı çok azdır.

2.1.3 Dünya’da Jeotermal Enerji

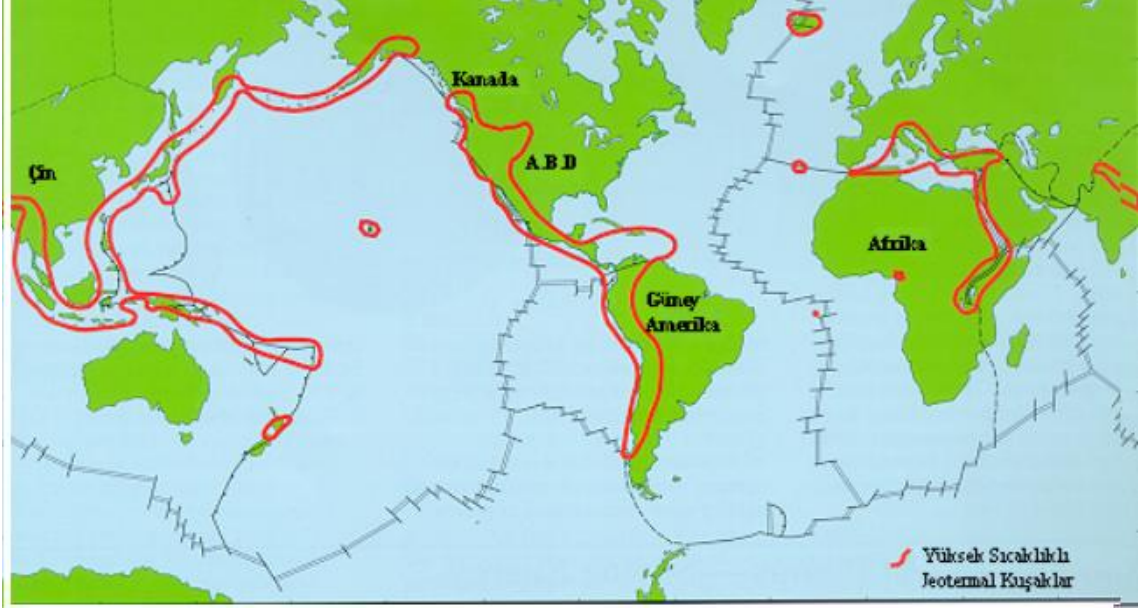
Dünyada jeotermal sistemler ve jeotermal enerji çoğunlukla yerküredeki levha sınırlarıyla ilişkilendirilmektedir. Jeotermal enerji volkanik bölgelerde bulunmakla beraber, sedimanter formasyonlar içinde ılık yer altı suları olarak da görülmektedir. Doğal çıkışı olan jeotermal sistemler olduğu gibi herhangi bir yeryüzü etkinliği göstermeyen sistemlerde vardır (Satman 2005).

Dünyadaki yüksek ısı akısı gösteren jeotermal kuşakların dağılımı, petrol alanlarında olduğu gibi belli jeolojik özellik gösteren kuşaklar şeklindedir. Bu alanlarda diğer bölgelere göre daha fazla ısı akısı bulunmaktadır (İnt. Kyn.3). Dünyada, jeolojik özellikleri nedeniyle (genç tektonizma ve volkanizma) birçok jeotermal kuşak bulunmakta olup, bunlar aşağıda verilmiştir:

a) And Volkanik Kusağı: Güney Amerika’nın batı sahillerinde bulunan bu kuşak, Venezuela, Kolombiya, Ekvator, Peru, Bolivya, Sili ve Arjantin’i kapsamaktadır. Çok sayıda aktif volkanizmanın oluşması sayesinde yüksek sıcaklıklı jeotermal sistemlerin gelişmesine yol açmıştır. Ancak buralarda mevcut jeotermal alanlar henüz çok fazla değerlendirilmemiştir (Anonim 2001).

b) Alp-Himalaya Kuşağı: Hindistan Platosu ile Avrasya Platosu’nun çarpışması sonucu oluşan bu jeotermal kuşak dünyanın en büyük jeotermal kuşakları arasındadır. 150 km genişliğinde ve 3000 km uzunluğundadır. Bu kuşak İtalya, Yugoslavya, Yunanistan, Türkiye, İran, Pakistan, Hindistan, Tibet, Çin, Myanmar (Burma) ve Tayland’ı kapsamaktadır (Anonim 2001).

c) Doğu Afrika Rift Sistemi: Aktif olan bu sistem Zambiya, Malavi, Tanzanya, Uganda, Kenya, Etiyopya ve Djibuti gibi ülkeleri içine alır. Aktif volkanizma Kenya, Etiyopya ve Tanzanya'dadır (Anonim 1996).



Şekil 2.2 Dünya'daki yüksek sıcaklıklı jeotermal kuşaklar (İnt. Kyn.1).

d) Orta Amerika Volkanik Kuşağı: Guatemela, El Salvador, Nikaragua, Kosta Rika ve Panama'yı içi ne alan bu kuşakta, çok sayıda jeotermal sistem veya saha bulunmaktadır (Anonim 1996).

Bunların dışında; Kanada, Amerika Birleşik Devletleri, Japonya, Doğu Çin, Filipinler, Endonezya, Yeni Zelanda, İzlanda, Meksika, Kuzey ve Doğu Avrupa ve Bağımsız Devletler Topluluğu, gibi ülkeler farklı tektonik oluşumlar nedeniyle verimli jeotermal sahalarına sahiptir (Anonim 2001). Şekil 2.2'de Dünya'daki yüksek sıcaklıklı jeotermal kuşaklar gösterilmiştir.

2.1.4 Türkiyede Jeotermal Enerji

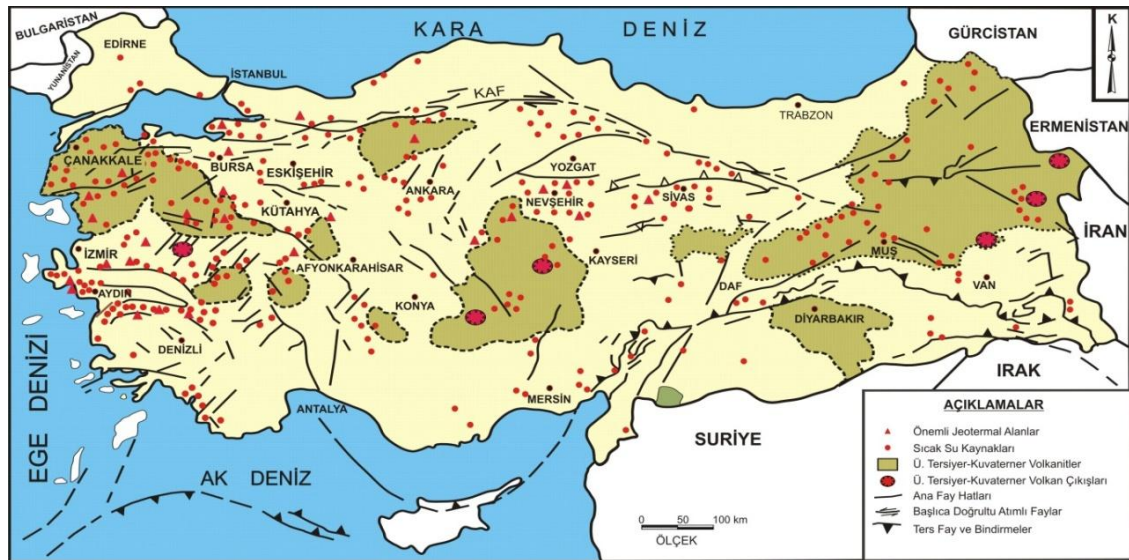
2.1.4.1 Türkiye'de Jeotermal Arama Faaliyetleri

Türkiye'de jeotermal arama faaliyetleri 1960'lı yıllarda başlamıştır. 1968 yılında yüksek sıcaklıklı jeotermal saha olan Kızıldere Sahası Maden Tetkik Arama (MTA) Genel Müdürlüğü tarafından keşfedilmiştir. Orta sıcaklıklı sahalar olarak değerlendirilen Balçova ve Seferihisar Sahaları 1960 ve 70'lerde bulunmuştur. Diğer yüksek sıcaklıklı saha, Germencik ve orta sıcaklıklı sahalar olarak kabul edilen Salavatlı ve Simav sahaları ise 1980'lerde keşfedilmiştir. 1990'larda durma noktasına gelen jeotermal

arama çalışmaları 2005 yılından itibaren hızlanarak 2012 yılı itibariyle sondajlı arama çalışmalarında yıllık toplam sondaj derinliği 25 000m'ye ulaşmıştır. 1962-2004 yılları arasında görünür hale getirilen (sondaj + doğal çıkış (600 Mwt) jeotermal kaynak ısı kapasitesi 3300MWt iken, 2005-2012 yılları arasında yaklaşık %46'lık artışla 5046MWt'a yükselmiştir. 2012 yılında Manisa-Alaşehir'de Türkiye'nin en yüksek sıcaklıkta (287°C) jeotermal sahası keşfedilmiştir. MTA Genel Müdürlüğü'nün yaptığı çalışmalar sonucunda keşfedilen jeotermal saha sayısı 227'ye yükselmiştir. Günümüze kadar yapılan 552 adet sondajda toplam 301 750m arama çalışmaları yapılmıştır (Dağıstan 2013, Karadağlar 2013, Mertoğlu vd. 2015, Yıldız 2015).

2.1.4.2 Türkiye Jeotermal Alanlarının Jeolojisi ve Dağılımı

Ülkemiz Dünyanın en önemli jeotermal kuşaklarından birisi olan Alp-Himalaya jeotermal kuşağı üzerinde yer almakta olup, yüksek jeotermal potansiyele sahiptir. Genç tektonizma ve volkanizma etkilerinin yoğun bir şekilde gözlemlendiği ülkemizde yaklaşık 1000 civarında doğal çıkış halinde sıcak su ve doğal mineralli su kaynağı bulunmaktadır. Bunlardan 170 adedinin sıcaklığı 40°C'nin üzerindedir.



Şekil 2.3. Türkiye'nin Neotektonik haritası, Neojen volkanizma alanları ve jeotermal kaynaklarla ilişkisi (Şimşek 2007).

Şekil 2.3. de Türkiye'nin jeotermal kaynaklarının dağılımı verilmiştir. Bu kaynakların % 79'u Batı Anadolu'da (Denizli, Aydın, İzmir, Çanakkale, Afyonkarahisar, Kütahya vb.), % 8,5'i Orta Anadolu'da, % 7,5'i Marmara Bölgesinde, % 4,5'i Doğu Anadolu'da ve % 0,5'i diğer bölgelerde yer almaktadır (Şekil 2.3).

Ülkemizdeki jeotermal alanların dağılımı aşağıda verilmiştir (Serpen et al. 2010):

a) Ege Sahil Bölgesi: Seferihisar, Çeşme, Balçova, Aliağa, Dikili-Bademli, Edremit, Tuzla ve Kestanbol

b) Menderes Masifi ve Batı Anadolu Grabenleri:

* Büyük Menderes Grabeni: Aydın-Germencik, Yılmazköy, İmamköy, Serçeköy, Salavatlı, Pamukören, Kızıldere, Yenice, Gölemezli jeotermal alanları.

* Gediz Grabeni: Manisa, Salihli-Kurşunlu, Caferbeyli ve Sart, Turgutlu-Urganlı, Alaşehir-Kavaklıdere jeotermal alanları

* Dikili-Bergama Grabeni: Dikili-Kaynarca ve Bergama jeotermal alanları

* Simav Grabeni: Simav, Şaphane ve Gediz-Abide jeotermal alanları

c) İç Anadolu Jeotermal Alanları: Afyonkarahisar, Kapadokya, Kırşehir, Kozaklı, Kızılcahamam

d) Doğu Anadolu Jeotermal Alanları: Nemrut Kalderası, Erciş-Zilan ve Diyadin

e) Kuzey Anadolu Fay Zonundaki Jeotermal Alanlar: Erzincan, Çerkeş, Bolu, Adapazarı-Akyazı, Bursa, Çekirge-Kükürtlü, Gönen.

Jeotermal kaynaklarımızın % 94'ü düşük ve orta sıcaklıklı olup, doğrudan uygulamalar (ısıtma, termal turizm, mineral eldesi v.s.) için uygun olup, % 6'sı ise dolaylı uygulamalar (elektrik enerjisi üretimi) için uygundur (Çizelge 2.1). Ülkemizin jeotermal ısı potansiyeli yaklaşık 31.500 MW termal olarak kabul edilmektedir (Dağıstan 2008). 2012 yılı itibariyle MTA Genel Müdürlüğü ve özel şirketlerin arama çalışmaları sonucu Türkiye'nin tahmini görünür kapasitesi yaklaşık 7000MW (potansiyelin %22,2'si)'a yükselmiştir (Basel et al. 2009, Dağıstanlı 2012). Ayrıca, Türkiye'nin jeotermal ısı kapasitesi son araştırmalarla 60000MW't'a yükselmiştir (Yılmaz 2009, TJD 2012).

Çizelge 2.1 Türkiye yüksek sıcaklıklı jeotermal sahalar (Dağıstan 2013, Kılıç ve Kılıç 2013).

Jeotermal Saha	Sıcaklık (°C)	Jeotermal Saha	Sıcaklık (°C)
Manisa-Alaşehir-Kavaklıdere	287.5	Kütahya-Simav	162
Denizli-Kızıldere	200-242	İzmir-Seferihisar	153
Aydın-Germencik	200-239	Aydın-Umurlu	150
Aydın-Pamukören	188	Manisa-Salihli-Caferbey	150
Nevşehir-Güre	183	Aydın-Germecik-Bozköy	146
Manisa-Salihli-Göbekli	182	Aydın-Sultanhisar	146
Kütahya-Şaphane	181	Aydın-Buharkent	142
Çanakkale-Tuzla	174	İzmir-Balçova	136
Aydın-Salavatlı	171	İzmir-Dikili	130
Kütahya-Simav	162	Aydın-Nazilli-Bozyurt	127
İzmir-Seferihisar	153	Afyonkarahisar-Ömer-Gecek	124
Aydın-Umurlu	150	Aydın-Atça	124

2.1.5 Jeotermal Enerjinin Kullanımı

2.1.5.1 Jeotermal Enerjinin Kullanım Tarihçesi

İnsanlar, jeotermal enerji kullanım tarihini oldukça kısa olduğuna inanmaktadır. Bu genel bir yanlış anlamadır. İnsanlığın jeotermal enerjiyi ilk keşfetmesi tarih öncesi dönemlere kadar uzanmaktadır. Jeotermal enerji kullanım tarihi Çizelge 2.2’de verilmiştir.

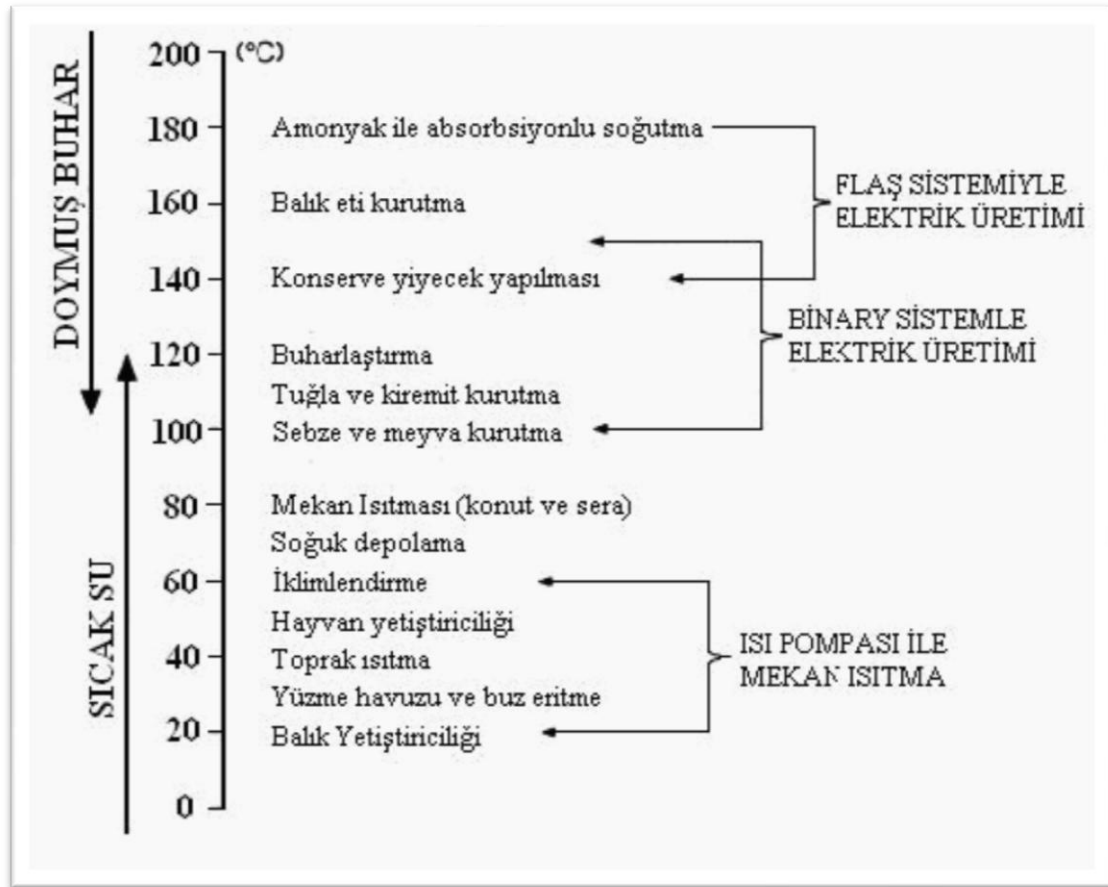
Çizelge 2.2. Jeotermal enerjinin kullanım tarihi (İnt. Kyn.1, İnt.Kyn.2).

Tarih	Olay
Tarih Öncesi	Mağaraların Kullanımı: Kışın ısınmak, yazın serinlemek için kullanmışlardır. İnsanlar derin jeotermal kaynaklardan gelen ısıdan faydalanmak için, sıcak suları bir yerde toplamışlardır.
Erken Tarih	Romalılar jeotermal suları uzun süre banyolarında kullanmışlardır. Ayrıca Romalılar, hastalıkların tedavisi ve evlerin ısıtılması amacıyla da jeotermal suların faydalanmışlardır. Arkeolojik kanıtlar günümüzden 10.000 yıl önce Kuzey Amerikalı yerlilerin, jeotermal kaynakları hem evlerin ısıtılması ve hem de yemek pişirmek için kullandığını göstermiştir. Eski dönemlerde insanlar, jeotermal enerjiyi kilerdeki sebzeleri soğuktan veya sıcaktan korumak amacıyla kullanmışlardır.
1830	Jeotermal enerjinin ABD'de ilk ticari kullanımı Hot Springs bölgesinde gerçekleşmiştir. Asa Thompson 3 termal su banyosunu 1 dolar karşılığında kullanıma açmıştır.
1860'lı yıllar	Sıcak kaynaklardan elde edilen enerji Amerika'da evlerin ve banyoların ısıtılması için kullanılmıştır.
1886	Banff, Alberta'da (Amerika) sondajla üretilen jeotermal kaynaklar oteller ve spa'da kullanılmıştır.
1904	Larderallo sahasının sahibi olan İtalyan bilim adamı Piero Ginori Conti doğal buharla çalışan motor geliştirmiştir. Bu ampülü aydınlatabilecek küçük bir motordur.
1911	Bu uygulama 250kilowatt gücünde Dünya'nın ilk jeotermal güç santralini inşa edilmesini sağlamıştır. Larderallo bölgesi 1975 yılına kadar 405 megawatt enerji üretmiştir.
1922	Kaliforniya'daki Geysers Resort Hotel, ABD'deki ilk jeotermal güç santralini bulduğu bölgedir. Bu santral John D. Grant tarafından inşa edilmiş ve otelin ihtiyacını karşılayacak kadar elektrik üretmektedir. Daha ucuz elektrik üretim yöntemleri kullanılmaya başlayınca santralin üretimi durmuştur.
1946	İlk yer ısı jeotermal ısı pompası Portland, Oregon'daki eyalet binasında kurulmuştur.
1958	Yeni Zelanda'nın Wairakei kentinde diğer bir jeotermal enerji santrali kurulmuştur.
1960	Pasifik Gaz ve Elektrik şirketi ilk büyük ölçekli jeotermal güç santralini 11 megawatt gücünde elektrik üretmek için, San Fransisko'nun kuzeyindeki Geysers'de inşa etmiştir. Bugün ABD'nin 18 bölgedeki 69 jeotermal santralde üretim yapılmaktadır.
1970'li yıllar	1973'teki petrol krizi boyunca, pekçok ülke alternatif enerji kaynaklarını keşfetmeye başlamışlardır. Bu gelişme Almanya, İsveç, Kanada, Birleşik Krallık ve ABD'de hükümet destekli yenilenebilir enerji araştırma programı çalışmalarını hızlandırmıştır. Jeotermal ısı pompaları ve yeraltı ısı depolama sistemleri bilhassa ticari ve devlet binalarında, ısınma ve soğutma maliyetlerini azaltmak için, popüler hale gelmiştir.
1975	British Columbia'da elektrik enerjisi üretmek amacıyla, yüksek-sıcaklıklı jeotermal kaynaklara ulaşmak için sondaj çalışmaları başlamıştır.
1976-1986	Kanada, jeotermal enerji kaynakları, teknolojileri ve fırsatlarını değerlendirmek için, on-yıllık federal araştırma programını faaliyete koydu.
1990'lı yıllar	Kanada'da hava kirliliği ve iklimsel değişim gibi çevresel konuların gündeme gelmiş ve sera gazları ve diğer salınımları azaltmak için, yenilenebilir enerji kullanımı oldukça artmıştır.
1990	Ontario Hydro 6749 konutun jeotermal ısı pompasıyla ısıtılması projesini finanse etmiştir.
2004	Western Geopower Şirketi Kanada'nın Meager Creek, KB Whistler bölgelerinde 2007 yılına kadar 340milyon dolar bütçeli 100megawatt gücünde jeotermal güç santralini uygulamaya koydu.
2008	Dünya enerji ihtiyacının %1'den daha az bir bölümü jeotermal enerjiden sağlanmıştır. Fakat 2050 yılına kadar jeotermal enerjinin Dünya enerji ihtiyacının %10-20'lik bölümünü karşılaması beklenmektedir.

2.1.5.2 Jeotermal Enerjinin Kullanım Alanları

Jeotermal enerji, sıcaklığına bağlı olarak, elektrik üretimi, konut ısıtmacılığı, seracılık ve termal turizm amaçlı olmak üzere çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Sahip olduğu sıcaklığa bağlı olarak jeotermal akışkanların kullanım alanları Çizelge 2.3’de verilmiştir.

Çizelge 2.3 Lindal Diyagramı’na göre jeotermal kaynakların kullanım alanları (Lund 2001).



Jeotermal enerjinin kullanım şekli akışkanın tipine ve özellikle de akışkanın sıcaklığına bağlıdır. Jeotermal akışkanın sıcaklığı arttıkça kullanım çeşitliliği artmaktadır. Yüksek sıcaklıklı jeotermal akışkan hem direk kullanım hem de elektrik üretimine uygundur. Kullanım amacına göre Jeotermal akışkanın sıcaklığı azalırken uygun tip jeotermal kullanımı bulmak enerji verimliliği açısından önemlidir.

2.1.6 Jeotermal Enerjinin Kullanımıyla İlişkili Sorunlar

Jeotermal uygulamalarda, akışkanın kimyasal içeriğine bağlı olarak oluşan kabuklaşma ve korozyon, sistemlerin işletilmesinde karşılaşılan önemli sorunlardır. Jeotermal akışkanlar, kullanım sırasında termodinamik davranışlarıyla metal yüzeylere etki ederek, kabuklaşma ve korozyon sorunlarına neden olan çözünmüş gaz ve katı maddeler içermektedir. Bu akışkanların kimyasal bileşimleri; saf su veya buhardan, eriyik katı içeren sıcak tuzlu su arasında değiştiği için, kabuklaşma ve korozyon genellikle yüzeye bağlı olup, tek bir çözüm bulmak oldukça güçtür. Bununla birlikte, jeotermal akışkanların kimyasal bileşimleri ve buna bağlı olarak kabuklaşma ve korozyon sorunları, kaynakları bulunduğu bölgeye özgü olsa da bazı genel ilke ve öneriler verilebilir (Ateş 2012).

2.1.6.1 Kabuklaşma Problemi

Kabuklaşma, jeotermal akışkanın geçtiği kuyu, boru hattı, ısı değiştiricileri vb. yerlerde akışkanın içerisindeki element ve bileşiklerin uygun koşullarda çökerek mineral ve katı bileşikler oluşturmasıdır. Kabuklaşma üretimin azalmasına neden olur. Oluşturduğu yerlerdeki mekanik tesisatın çalışmasını engellerler. Isı transferini olumsuz etkiler ve bütün bunların sonunda daha az enerji üretilmesine neden olur. Uygun önlem alınmazsa üretim ve geri basım kuyularının tıkanarak kaybedilmesine neden olur. Verimsiz çalışmanın yanı sıra, doğuracağı ilave masraflarla projeye ekonomik yükler getirir. Bu nedenle kabuklaşma, jeotermal kaynak değerlendirme ve finansal risk analizinde ihmal edilmemesi gereken bir faktördür (Aksoy 2002).

Jeotermal akışkanın içerdiği kabuklaşma ve korozyona yol açan kimyasallar Çizelge 2.4'de verilmiştir.

Çizelge 2.4 Jeotermal akışkanın içerdiği kabuklaşma ve korozyona yol açan kimyasallar (Arslan 2006).

Element veya Bileşik	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

Jeotermal uygulamalarda kabuklaşma ve korozyon sorunlarının önlenmesi, projenin sürekliliği için çok önemlidir. Kabuklaşmanın önlenmesi için uygulanacak yöntemler, jeotermal bölgenin kendine özgü özelliklerine bağlı olarak belirlenmelidir. Jeotermal akışkanın kimyasal içeriğinin bilinmesi, bu ortamlarda kullanılacak malzemelerin nasıl davranış göstereceklerinin belirlenmesi bakımından önemlidir. Bu nedenle, jeotermal kaynakların işletilmeye başlatılmadan önce kimyasal analizlerinin yapılması kullanılacak malzemelerin seçimi ve uygulamanın uzun ömürlü olması bakımından büyük önem taşır (Ateş 2012).

Silika ve silikat, karbonat, sülfat ve kükürt genel olarak kabul edilen esas kabuklaşma türleridir. Silika, genellikle opal gibi amorf silis şeklinde olup, silikatlar (SO₄) da amorf ile yarı amorf arasındadırlar. Karbonat kabuklaşması esas olarak, düşük magnezyum kalsitlerden oluşmakla birlikte bazı durumlarda yüksek magnezyum ve aragonit (CaCO₃) içerenler de belirlenmiştir. Sülfatlar esas olarak, kalsiyum sülfat ve baritler (BaSO₄) dir. Yüksek sıcaklıklarda anhidrit (CaSO₄) baskındır. Kükürtlü olanlar

genellikle düzgün kristalleşmişlerdir ve daha çok faz şeklinde oluşurlar (Şamilgil 1973).

Kalsiyum Karbonat (CaCO₃) Kabuklaşmasının Önlenmesi, Karbondioksit (CO₂) kısmi basıncının kontrolü, Akışkan pH'nın düzenlenmesi ve Kabuklaşmayı önleyici kimyasal katkı maddeleri kullanılmasıyla sağlanabilir.

- Jeotermal akışkanın basınç ve sıcaklığı, jeotermal kuyudan doğal akışla iletim yerine akışkanın pompalanarak iletilmesiyle kolay bir şekilde düzenlenebilir. Kuyu içi pompası kullanılarak, kuyu içinde fişkırtma sonucunda oluşan basınç ve sıcaklık düşmesi önlenebilir. Mekanik bir kuyu içi pompası yardımıyla, üretilen akışkan tek fazlı sistem olarak sürdürülebilir. Böylece, CaCO₃ gibi "basınca duyarlı" kabuklaşma oluşumu önlenebilir ve BaSO₄ gibi "sıcaklığa duyarlı" kabuklaşma oluşumu da geciktirilebilir. Bu tip pompaların kullanımı akışkan sıcaklığı ile sınırlı olduğundan, yaklaşık 190 °C 'nin üzerindeki kuyularda bu pompaların çalışabileceği garanti edilmemektedir (Ateş 2012).
- Kabuklaşmanın önlenmesi için diğer bir yöntem de, jeotermal akışkanın kimyasal bileşimini özellikle pH'ını düzenlemektir. Akışkanın pH'ını CaCO₃ kabuklaşmasının oluşmayacağı bir değere düşürmek için akışkana HCl eklenmesi teknik olarak mümkün olmakla birlikte, ekonomik bir uygulama değildir. pH'daki çok az bir düşüş için çok miktarda asit eklemek gerekir. Torre Alfina'da yapılan denemeler, CaCO₃ kabuklaşmasını önlemek için litre başına 0,1 N, 200 cm³ HCl gerekli olduğunu göstermiştir (Ateş 2012).
- Kabuklaşmayı önleyici diğer bir yöntemde jeotermal akışkana kabuklaşmayı önleyici kimyasal katkı maddeleri ilave etmektir (Koçak 1997).

CaCO₃ kabuklaşması orta sıcaklıktaki jeotermal kaynaklarda, üretim kuyularında ve yüksek sıcaklık altında çalışan ekipmanlarda oluşmasına karşın, silis kabuklaşması yüksek sıcaklıktaki kaynaklarda, özellikle geri dönüş hatlarında, ayırıcılarda ve bazen de kuyularda oluşur (Ateş 2012).

Silika Kabuklaşmasının Önlenmesi, kabuklaşma oranını azaltmak veya ortadan kaldırmak için esas olarak çözeltinin pH'ını değiştirmek yeterli olmaktadır. Bu yöntem, jeotermal akışkana HCl veya NaOH eklenerek Meksika ve ABD'de denenmiştir. Her iki durumda da ümit verici sonuçlar elde edilmiş olmakla birlikte, kullanılan kimyasalların fiyatları çok yüksek olduğundan bu konuda yeni yaklaşımların denenmesi gereklidir. Basınç, sıcaklık ve akış hızı düzenlenerek ekipman içerisinde oluşan silika kabuklarını hareket ettirme olanağı vardır, ancak bu uygulamalar kabuklaşma sorununu tamamen ortadan kaldırmamaktadır (Ateş 2012).

2.1.6.2 Korozyon Problemi

Jeotermal uygulamalarda kullanılan malzemelerde karşılaşılan korozyon türleri ve meydana geliş şekilleri Çizelge 2.5'de verilmiştir.

Jeotermal akışkanlarda, metal yüzeylerde korozyona neden olan başlıca kimyasal maddeler; oksijen, hidrojen iyonu (pH), klorür iyonu, hidrojen sülfid, karbondioksit, amonyak ve sülfat iyonudur. Bazı jeotermal akışkanlarda daha az rastlanan veya daha az etkili olan florür iyonu, ağır metaller ve boron gibi diğer bazı bileşenler de korozif etkiler yaratabilir (Ateş 2012).

Jeotermal akışkanlardaki en önemli kirletici, çözünmüş durumda bulunan oksijen'dir. Havalandırılmış jeotermal akışkan, karbon çeliğindeki sabit korozyon hızını on kat artırır. Oksijen, klorür iyonuyla birlikte belirli sıcaklıklarda gerilme çatlmasına neden olabilir. Bazı malzemeler özellikle alüminyum alaşımları koruyucu tabakalarını devam ettirebilmek için çözünmüş oksijene gereksinim duyar. Sıcaklığın yükselebileceği geri dönüş hatlarında oksijen kirliliğinin önlenmesi çok önemlidir (Ateş 2012).

Karbon ve düşük alaşımlı çeliklerin korozyonu, genellikle hidrojen iyonu ile kontrol edilir. Çeliğin korozyon oranı pH arttıkça azalır. Düşük pH'lı çözeltiler; aşınma, gerilme çatlaması gibi korozyon türlerine neden olabilir. Sabit korozyon oranı, akışkanda klorür iyonunun bulunmasıyla artar. Klorür iyonu, korozyona dayanıklı alaşımların dayanımlarının azalmasına ve östenit paslanmaz çeliğinde gerilme çatlmasına neden olur. Sıcaklığın 50 °C'nin üzerinde olduğu durumlarda klorür iyonu derişimi, paslanmaz

çeliklerde gerilme çatlamasını başlatmak için yeterlidir. Klorür iyonları çok hareketli olduğundan ve çukur ve çatlaklarda doygunluğa erişebildiğinden, akışkandaki ortalama klorür iyonu derişimi yanıtıcı olabilir (Koçak 1997).

Çizelge 2.5 Jeotermal uygulamalarda kullanılan malzemelerde karşılaşılan korozyon türleri (Şamilgil 1973).

KOROZYON TÜRÜ	MEYDANA GELİŞ ŞEKLİ
Düzgün genel korozyon	Metal yüzeylerde klorür, amonyaklı ürünler veya hidrojen iyonları tarafından meydana gelir
Çukur korozyonu	Metal yüzeyinde bir tabakanın veya kabuklaşmanın parçalanmasıyla aşınma meydana gelir
Aralık korozyonu	Geometriye bağlı ve ekipmanın yapımından kaynaklanan çatlaklarda veya kabuk kalıntıları altında oluşur.
Gerilmeli korozyon çatlaması	Malzemenin gerilme altında kalması ve ortamda klorür iyonunun bulunmasından kaynaklanır ve jeotermal jeotermal uygulamalardaki en tehlikeli korozyon türüdür. Ortamda bulunan oksijen ve yüksek sıcaklık gerilme çatlamasını artırır.
Kükürtlü gerilim çatlaması	Sulu fazda H ₂ S içeren ortamlarda dayanımı yüksek çelik malzemelerin gerilme altında kalması sonucunda oluşur.
Hidrojen kabartması	Dirençli çeliklerin H ₂ S içeren sulu çözeltilerle karşılaşması sonucunda oluşur.
Örgü arası korozyon	Metalin damarlarındaki veya yakınlarındaki bölgelerde uygun olmayan ısı işlemlerden kaynaklanır.
Galvanik eşleme	Korozif bir ortamda malzeme üzerine düzenli olarak gerilme uygulandığında oluşur.
Örozyon korozyonu	Yüksek hızdaki akışkanın parçacıklarının çarpması sonucunda hızlı bir şekilde oluşan metal kaybıdır. Türbinlerin giriş ve çıkışlarında veya iki fazlı akışın olduğu yerlerde önemli olabilir.
Oyulma	Metal yüzeylerde buhar kabarcıklarının neden olduğu bölgesel bir korozyondur.

Hidrojen sülfid (H₂S)'in en şiddetli etkisi, bazı bakır ve nikel alaşımlarında görülür. Çelik malzemeler üzerindeki etkisini belirlemek güçtür. Havalandırılmış sularda hidrojen sülfid'in oksidasyonu, pH'ı azaltabilir ve korozyonu artırabilir (Ateş 2012).

Karbondioksit (CO₂), çözülmüş durumda birçok jeotermal akışkanda doğal olarak bulunur ve karbon çeliği ve düşük alaşımlı çelikler üzerinde korozif etkilidir. CO₂,

jeotermal akışkanlarda pH'ı kontrol etmek için en önemli maddedir. Birçok durumda, yoğunlaşmış buharda çözünmüş olarak bulunan CO₂'den kaynaklanan düşük pH, jeotermal buhar hatlarındaki pH'ı kontrol eden en önemli etmendir. CO₂ kısmi basıncının artması çözeltinin pH'ını düşürür (Ateş 2012).

Jeotermal kuyu içerisine yerleştirilen ve kaynaktaki sıcak akışkandan ikincil bir akışkana ısı aktaran, "kuyu içi ısı dönüştürücüler" kabuklaşma ve korozyon sorunlarının önlenmesinde önemli bir paya sahiptir. Bu tip ısı dönüştürücü parçalarının seçimi, yerleşimi ve temizlenmesi kolaydır. Bunların en önemli üstünlüklerinden birisi, jeotermal akışkanın basınç değerinin kullanım alanlarına gönderilen ikincil akışkanın basıncından bağımsız olmasıdır. Bu tip ısı dönüştürücülerin tasarımında; kuyu delik çapı, kolon borusu çapı, ısı dönüştürücü uzunluğu ve çapı, akış hızı ve sıcaklık değerleri dikkatli bir şekilde seçilmelidir (Şamilgil 1973).

Jeotermal uygulamalarda kabuklaşmayı önleyici kimyasal katkı maddeleri, yüksek sıcaklık ve derişimden dolayı sorun oluşturmaktadır. En önemli sorun, birçok çeşitli kimyasal arasından en uygun olanının belirlenmesidir. Jeotermal uygulamalarda karşılaşılan farklı korozyon türleri göz önüne alındığında, sistemde kullanılacak uygun malzemeleri seçmek çok zordur. Akışkanların kimyasallar bileşimleri değiştiği için genelleme yapmak mümkün değildir. Kullanılan malzemelerin korozyon oranının ölçülmesi, dayanıklı malzeme seçiminde etkin bir yöntemdir. Malzeme seçiminden önce, akışkanın kimyasal analizini yaparak korozyona dayanıklı alaşım malzemeleri belirlemek, korozyona sebep olan etmenleri ortamdan uzaklaştırmak ve sistemde metalik malzeme kullanımını en aza indirmek korozyonun önlenmesi bakımından önemlidir. Akışkanın geri dönüşü düşük sıcaklıklarda gerçekleşirse, geri dönüş hatları için fiberglas malzeme bir alternatif olarak düşünülebilir (Ateş 2012).

2.2 Jeotermal Merkezi Isıtma Sistemi

Jeotermal Merkezi Isıtma Sistemi (JMIS); bir ya da daha fazla jeotermal akışkan üretim sahasının, bir grup binaya ısı enerjisi sağlamak amacıyla ısı kaynağı olarak kullanılması olarak tanımlanabilir. Bir JMIS'de entegre kullanım ile binaların ısıtılması, ev içi

kullanım suyunun ısıtılması, binaların soğutulması, endüstriyel uygulamalar ve termal turizm (kaplıca) uygulaması bulunabilir (Erden 2002).

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 birçok parametre dikkate alınarak tasarlanmalıdır.

Tüm etüt ve incelemeleri yapılmış jeotermal kaynağın değerlendirilebilmesi için değişik aşamalardan geçmesi gerekmektedir. Jeotermal kaynak içerisindeki akışkan öncelikle açılan jeotermal kuyu yardımıyla yeryüzüne çıkarılır. Kuyu başında bulunan seperatörler yardımıyla buhar, akışkan ayrımı yapılır. Kuyu başındaki pompa istasyonu sayesinde ise akışkan değerlendirme amacına göre değişik sistemlere gönderilir. Jeotermal akışkan bu sistemlerde kullanıldıktan sonra tekrar yeraltına gönderilir sakıncası yoksa atılır (Okul 2001).

Merkezi ısıtma sistemi için kullanılacak jeotermal akışkan kuyu başından isale hattı aracılığıyla jeotermal ısı merkezine gönderilir. Burada plakalı eşanjörlerden geçirilen jeotermal akışkan ısı dolaşım suyuna aktarıldıktan sonra reenjeksiyon yoluyla tekrar rezervuara geri gönderilir veya diğer uygulamalarda (kaplıca amaçlı, vs.) değerlendirilir (Okul 2001).

Jeotermal ısı merkezinde eşanjörler yardımıyla ısınan dolaşım suyu, şehir içi şebekesi aracılığıyla merkezi ısıtma yapılacak konutlara gönderilir. Bina girişlerinde bulunan pompa yardımıyla da bu su bina içerisinde dolaştırılır veya bina girişlerine eşanjör konularak bu dolaşım sisteminin ısı bina içerisinde dolaşan çevrim suyuna aktarılabilir. Bu sistem jeotermal kaynağın konutların ısıtılması için değerlendirilmesini sağlar (Okul, 2001). 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

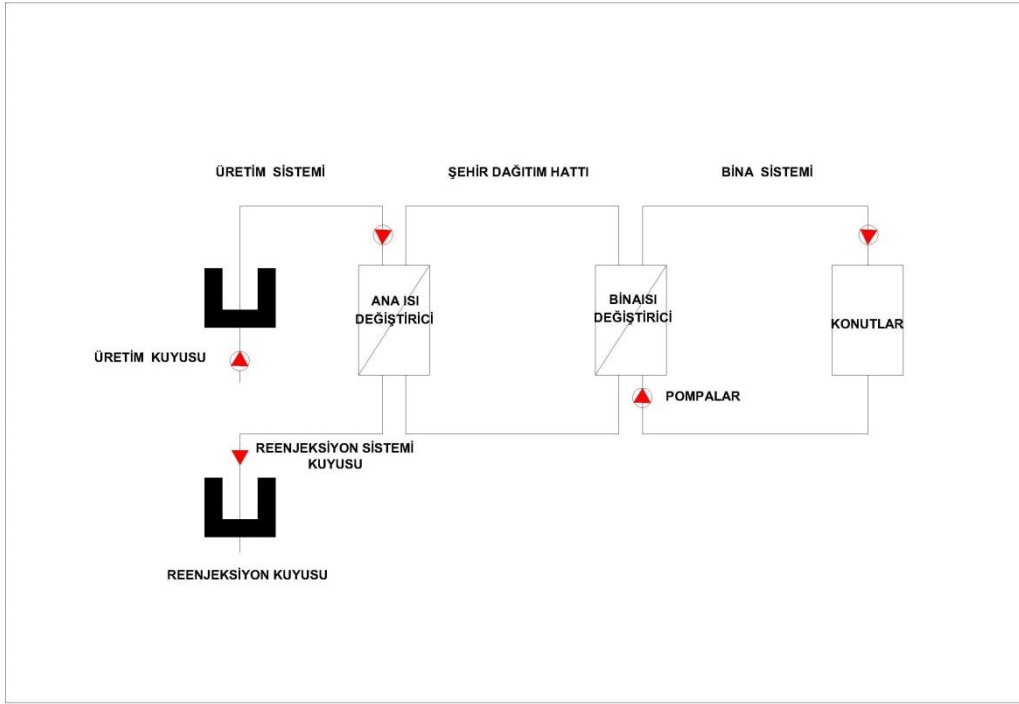
Jeotermal enerji ile bölgesel ısıtma yapıldığında, enerji taşınmasında sadece üretilen sıcak su kullanılmaktadır. Dolayısıyla binalarda kazan, yakıt deposu ve benzeri ekipmanlar kullanılmamaktadır. Sadece bina altında ısı eşanjörleri bulunmaktadır. Tabiatıyla jeotermal üretim alanından sıcak suyu taşıyan boru sistemi de burada ilk yatırımda 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, Kızılcahamam, Kırşehir, Sandıklı, Kozaklı ve Diyarbakır'dır (Arslan 2006).

Sistemde ısının akışkan yoluyla dağıtımını iki şekilde gerçekleştirilebilir (Arslan 2006).

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

Açık tasarımda jeotermal akışkan kullanıcılara direk olarak teslim edilir. Atık yada soğumuş akışkanı bertaraf tesisine götürmek için dönüş boru hattında toplanır. Kapalı sistemde dağıtım sistemini jeotermal akışkandan izole etmek için merkez ısı değiştirici kullanılır. Müşteriye ısı teslimi kapalı döngü arıtılmış temiz su vasıtasıyla olur.

Açık ve kapalı sistemin karakteristikleri farklıdır. Örneğin açık sistemde sadece besleme boruları üzerinde yalıtım kullanılırken kapalı sistemde genellikle jeotermal akışkanın arzı ve dönüşünde yalıtımlı borular kullanılır. Daha önemlisi tüm borular jeotermal akışkana maruz kalır. Bu nedenle bu tasarımlarda korozyon daha önemlidir. Sonuç olarak kapalı sistemlerin maliyeti açık sistemlerden daha yüksektir. Bu yalıtılmış borunun daha geniş kullanımı ve merkezi tesis kullanımının bir sonucudur.



Şekil 2.4 Tipik jeotermal bölgesel ısıtma sistemi şeması (Özmen 2010).

Jeotermal bölgesel ısıtma sistemi Şekil 2.4'te Tipik jeotermal bölgesel ısıtma sistemi şemasında gösterildiği üzere altı bölümden oluşmaktadır.

1. Enerji üretimi (jeotermal kuyu ve kuyu başı sistem)
2. Taşıma hattı (isale hattı)
3. Jeotermal ısı merkezi
4. Şehir içi ısıtma şebekesi
5. Bina içi tesisatı
6. Reenjeksiyon (geri basma) sistemi.

2.2.1 Jeotermal Akışkan Üretim Kuyusu ve Kuyubaşı Sistemi

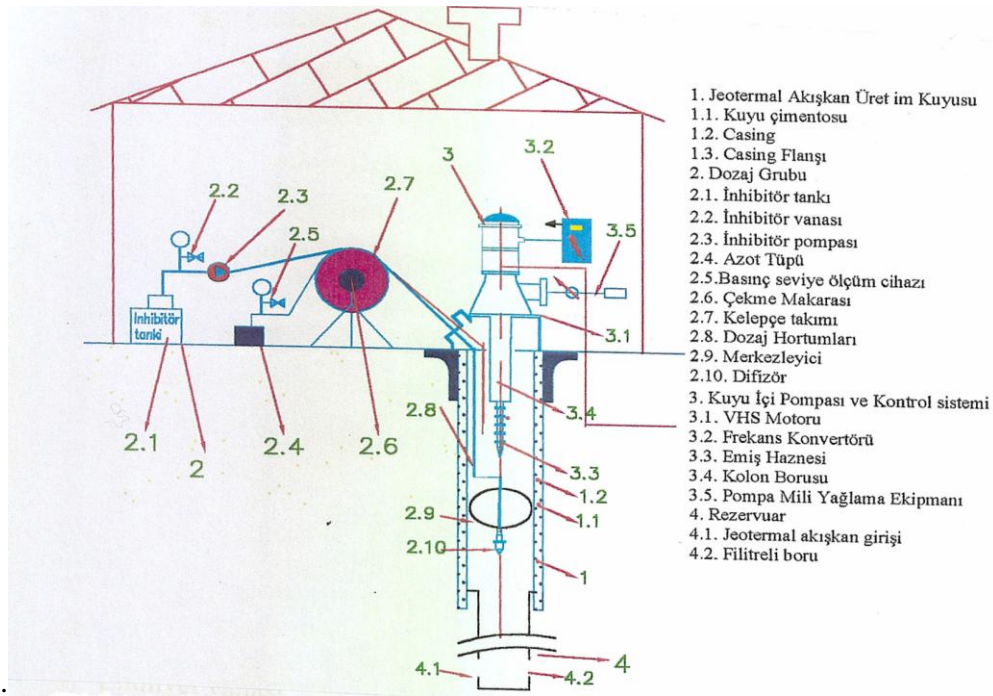
2.2.1.1 Jeotermal Akışkan Üretim Kuyuları

Belli derinlikte, uygun çapta açılarak teçhiz edilmiş doğal olarak (artezyenik) veya mekanik yöntemlerle (kuyu içi pompası) jeotermal akışkan üreten sistemlere jeotermal üretim kuyusu denir. Bir bölgede yapılan jeolojik-hidrojeolojik, jeofizik, jeokimya ve diğer arama yöntemleri sonunda, jeotermal akışkan bulma ihtimali yüksekse gerekli

miktarlarda araştırma, tespit, rezerv ve geliştirme sondaj çalışmaları yapılır. Sondaj kuyularında yapılan testlerle elde edilen veriler, konusunda uzman olan mühendis ve ekonomistler tarafından değerlendirilerek, jeotermal enerji kaynağının potansiyeli (teknik ve ekonomik kapasitesi) belirlenir. Hazırlanan teknik ve ekonomik fizibilite raporu doğrultusunda yapılan projenin uygulamasıyla gerekli yatırımlar yapılır (Gülgör 2000).

2.2.1.2 Kuyuiçi Pompa ve Kontrol Sistemi

Jeotermal akışkanın rezervuardan üretildiği sondaj kuyularındaki kuyu başı sistemi, gerekli ısı enerjisini sağlayacak olan jeotermal akışkanın üretildiği sondaj kuyusu üzerine inşa edilir. Jeotermal akışkan üretim kuyusu ve kuyu başı sisteminde; jeotermal akışkan üretim kuyusu, korozyon ve kabuklaşmayı önleyici inhibitör dozaj ve jeotermal akışkan basınçlandırma grubu, kuyudan jeotermal akışkanın üretimini sağlayan kuyu içi pompası bulunur. Kuyu içi pompalarının frekans konvertörlü otomatik kontrol sistemi ile devri ayarlanarak gerektiği kadar jeotermal akışkanın üretilmesi sağlanır (Erden 2002).



Şekil 2.5 Jeotermal akışkan üretim kuyusu ve kuyubaşı sistemi (Mertoğlu 2000).

2.2.2 Jeotermal Akışkan Taşıma Hattı

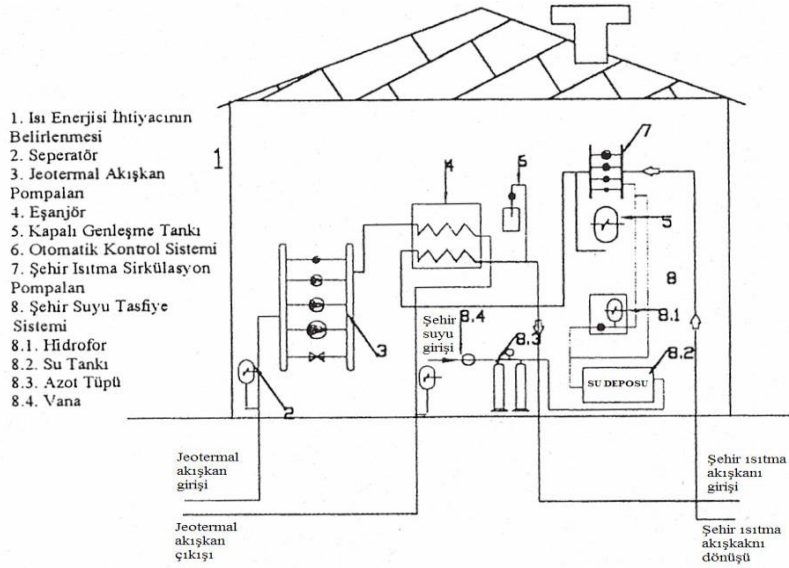
JMIS'nin bulunduğu bölgenin üretim kuyularından uzak olması durumunda, jeotermal akışkanın taşınması gerekir. Jeotermal akışkanın taşınma hatlarına isale hattı denilmektedir. Üretim kuyusundan alınan jeotermal akışkanın ilk önce pislik tutucular ve seperatörler yardımıyla içerisindeki katı madde ve gazlardan ayrılır. Daha sonra jeotermal akışkan kuyu başından alınarak minimum ısı kaybı sağlanarak ısı merkezine kadar taşınır orada ısını temiz bir akışkana aktardıktan sonra ayrı bir hat ile tekrar yeraltına reenjeksiyon kuyusu vasıtasıyla uygun sıcaklık ve yerden yere basılır (Erden 2002).

Yüksek sıcaklıklardaki (>90 °C) jeotermal akışkan izoleli paslanmaz çelik borularla taşınırken, daha düşük sıcaklıktaki jeotermal akışkanlar CTP (izolasyonlu özel paket boru) ile kuyu başından ısı merkezine taşınmaktadır. Taşıma hattında CTP kullanarak 0,1 °C/km ile 0,5 °C/km arasında sıcaklık kaybıyla jeotermal akışkan taşınabilmektedir. Doğrudan toprağa gömülmek suretiyle CTP borular kullanarak yapılan jeotermal akışkan taşıma hatlarında düşük sıcaklık kaybı, boru iç yüzey kalitesi, korozyona karşı mükemmel resistans, daha az askı maliyeti gibi klasik betonlu ısı galerili sisteme göre daha düşük maliyet avantajları vardır. Teknik ve ekonomik şartlar uygun olduğu durumda, jeotermal su 150-200 km mesafeye teknik olarak taşınabilmektedir. Ancak CTP borular 80-85 °C ye kadar dayanır. Taşıma hattının uzunluğu yatırımın ekonomisine bağlıdır. Bu borular, kuyu başından jeotermal akışkanın alınıp jeotermal merkeze getirilmesi ve jeotermal akışkanın enerjisinin suya aktarılmasından sonra jeotermal akışkanın reenjeksiyon için reenjeksiyon kuyusuna taşınmasında kullanılır (Özbek 1995).

Paslanmaz çelik borular yüksek basınç ve sıcaklıkta kullanılmaktadır (190 °C sıcaklığa dayanabilir). Çelik borunun etrafında poliüretan izolasyon kılıfı, en dışta da PVC koruma kılıfı bulunmaktadır (Okul 2001).

2.2.3. Jeotermal Isı Merkezi

Şekil 2.6’da bir ısı merkezi yapısı ve ekipmanları görülmektedir Jeotermal rezervuardan kuyu başı sistemi vasıtasıyla elde edilen jeotermal akışkan, isale hattı ile jeotermal ısı merkezine getirilir. Bu akışkan ısı merkezindeki eşanjörlerden geçirilerek ısısı, daha temiz, kabuklaşma ve korozyona yol açmayan şehir içi dolaşım suyuna aktarılır. Eşanjörlerde ısısı aktarılarak soğuyan (45-50 °C) akışkan, entegre olarak kullanım veya reenjeksiyon kuyularına gönderilir. Bir JMIS’de gerekirse birden fazla ısı merkezi bulunabilir (Altaş 2010).



Şekil 2.6 Bir ısı merkezinin yapısı ve ekipmanları (Mertoğlu 2000).

2.2.3.1 Jeotermal Akışkan Pompaları

Isı merkezinde jeotermal akışkan pompaları vasıtasıyla, jeotermal akışkan Eşanjörlere gönderilir. Jeotermal akışkan pompalarının diğer sirkülasyon pompalarından farkı pompanın fanı ve milinin korozyona ve kabuklaşmaya dayanıklı malzemelerden yapılmış olmasıdır (Erden 2002).

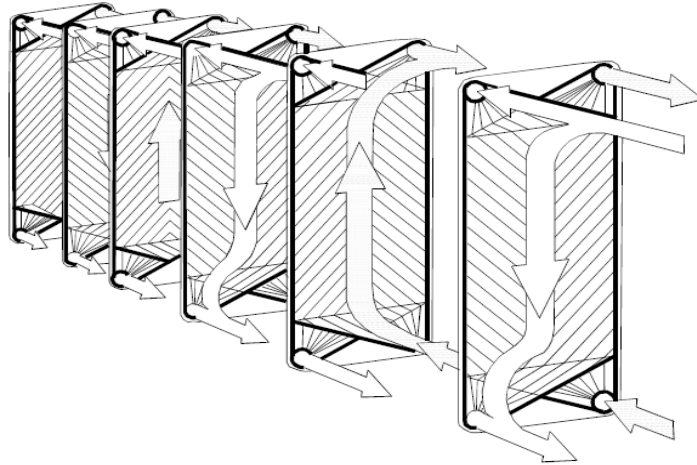
2.2.3.2 Eşanjörler

Jeotermal akışkanın ısısını, kabuklaşma ve korozyon yapmayacak şehir içi çevrim suyuna aktarmak için kullanılan cihazlara eşanjör (ısı değiştirici) denilmektedir.

JMIS’de plakalı eşanjörler kullanılmaktadır. Plakalı eşanjörler, çağımızın en iyi ve en verimli ısı transfer ekipmanlarıdır. Plakalı eşanjörler titanyum gibi korozyon ve kabuklaşmaya karşı dayanıklı malzemeden üretilmektedirler. Plakalı eşanjör kullanımı ile düşük sıcaklıktaki jeotermal akışkanın kullanım imkânı da artmıştır. Tüplü bir eşanjörde jeotermal akışkanın eşanjörden çıkış sıcaklığı ile giriş sıcaklığı arasında en az 7°C bulunması gerekirken, plakalı eşanjörle, birbirlerine 2°C’ye, çok ekonomik olarak istenildiğinde 0,2°C’ye kadar yaklaşım sağlanmaktadır. Bu da kullanılması gereken jeotermal akışkan miktarını ve kapalı temiz şehir içi çevrim suyu debisini azaltmaktadır (Mertoğlu 1999).

Plakalı ısı değiştirgeçleri, contalı (çerçevesiz) ve lehimli olmak üzere iki tiptir. Lehimli plakalı ısı değiştirgeçlerinin, özellikle lehim dikişleri korozyona karşı hassas olup, jeotermal uygulamalarda fazla tercih edilmezler ve çok sık kullanılmazlar. Bu bildiriye plakalı ısı değiştirgeci olarak anılacak ve incelenecek ısı değiştirgeçleri, contalı-plakalı ya da çerçeve-plaka olarak anılan ısı değiştirgeçleridir (Şahan 2003).

Şekil 2.7’de plakalı ısı değiştiricide doğal sıvı akışı gösterilmektedir. Birinci ve ikinci akışkanlar plakaların her iki yanı üzerinden ters yönde akarlar ve akışkanlar arasında ısı transferi meydana gelir ve böylece sıcaklığı yüksek olan jeotermal akışkan sıcaklığı daha düşük olan kapalı sistem dolaşım suyuna ısını aktarır.



Şekil 2.7 Plakalı ısı değiştiricisi içinde doğal sıvı akışı.

2.2.3.3 Şehir Isıtma Sirkülasyon Pompaları

Şehir ısıtmasında kullanılacak temiz kapalı çevrim suyunun binalara kadar gönderilmesinde sirkülasyon pompaları kullanılmaktadır. Sirkülasyon için en uygun pompa tipi olarak santrifüj pompalar seçilir. Isıtma sistemlerinde pompalar genellikle çift olurlar biri yedekte bekler diğeri çalışır. Böylece sistemin devamlılığı sağlanır (Küçükçalı 1997).

2.2.3.4 Şehir Suyu Şartlandırma Sistemi

Suyun ısıyı taşıma etkisinden faydalanılan proseslerde, yine suyun prosese kötü etkilerinin engellenme işine su şartlandırması denilir. Bu kötü etkilerinin en önemlilerini; buhar kazanları veya suyla soğutma sistemlerinin, ısı transfer yüzeylerinde oluşan kireçlenme ve suyla teması olan metal yüzeylerin aşınması, yani korozyon olarak nitelendirebiliriz (Mertoğlu 2000).

2.2.4 Şehir İçi Isı Dağıtım Sistemi

Isı merkezinde eşanjör vasıtasıyla sıcaklığı arttırılan temiz çevrim suyu pompalar ile ısıtma yapılacak yerlere gönderilir. Isı merkezinden, ısıtma yapılacak binalara kadar ısıyı taşıyan bu sistem şehir içi ısı dağıtım sistemidir. Eşanjörler yardımıyla ısı merkezinden dolaşım suyuna aktarılan ısı şehir içi şebekeyle konutlara gönderilir. Bina girişlerindeki ikinci bir eşanjör vasıtasıyla ısı şehir içi şebeke suyundan bina içi tesisat suyuna aktarılır ve böylece jeotermal kaynakla konutların ısıtılması sağlanır.

2.2.5 Bina İç Tesisatı

Binaya giren sıcak akışkan direk olarak radyatörlere verilerek binanın ısıtılmasında kullanılabilir veya binalar ısı ihtiyaçlarına göre gruplandırılarak her bina grubuna bir eşanjör takılır. JMIS'deki binalar çok katlı ve fazla daire içeriyorsa her binanın altına bir eşanjör takılması gerekir (Erden 2002).

Bina ısıtıcı akışkanı bina içi eşanjöründen aldığı ısıyı sirkülasyon pompası yardımıyla radyatörlerde dolaştırmaktadır. Böylece binada istenilen mekânlar ısıtılmaktadır. Bu

sistem kaloriferli ısıtma sistemine benzerlik göstermektedir. Ancak aralarında önemli farklar mevcuttur. Kalorifer sistemi kesintili olarak çalışırken bir jeotermal bina ısıtma sistemi sürekli bir ısıtma sağlamaktadır (Mertoğlu 2000).

2.2.6 Reenjeksiyon

Suyun etken olduğu jeotermal rezervuarlardan çok yüksek miktarlarda sıcak su üretimi yapılır. Üretilen sıcak suyun bir kısmı sıcak su olarak doğrudan kullanılırken geri kalan önemli bir kısmı ise merkezi jeotermal ısıtma sistemlerinde ısısı alındıktan sonra artık su olarak kalır. Artık su saha yakınındaki deniz, göl ve akarsu gibi yerlere verilebilirse de, her jeotermal sahanın yakınında bu tür olanaklar bulunmayabilir. Kaldı ki olsa bile hem en doğru çözüm değildir ve hem de bazı çevre sorunları kaçınılmazdır. Dolayısıyla doğru olanı, suyu geldiği yere veya uygun yer altı formasyonlarına basmaktır (Satman 2001).

2.3 Literatür Taraması

Bu bölümde konuyla ilgili yapılmış çalışmalar tarih sırasına göre anlatılmıştır.

Mertoglu vd. (2000) Türkiye’de jeotermal enerjinin daha çok doğrudan kullanımda ve tedavi amaçlı uygulamalarda kullanıldığını ve kullanımların Türkiye’deki kapasitelerinden bahsetmişlerdir. Ayrıca jeotermal kaynak şartları ve kullanımlarının karakteristikleri bölgesel jeotermal ısıtma sistemi tasarım ve teknolojisine bağlı olduğunu belirtmişlerdir.

Gordon (2003) jeotermal kaynakların %37’sinin ısıtma endüstrisinde kullanıldığını ve bunun %75’inin bölgesel ısıtma sistemleri olduğunu belirtmiştir. Bölgesel ısıtma için genelde 50 °C sıcaklığın üzerindeki sıcaklıkların gerektiğini ve 40 °C gibi düşük sıcaklıkların bazı durumlarda kullanılabilirliğini ve eğer jeotermal ısı pompaları da dahil edilirse 10 °C altındaki sıcaklıklarda bölgesel ısıtmanın diğer formları iyi bir alternatif olduğunu ifade etmiştir.

Gökçen vd. (2003) tarafından yapılan çalışmada, 2002 yılı sonu Türkiye'deki jeotermal gelişimin durumunu incelenmiştir. Yazarlar orta ve düşük sıcaklıktaki (<150 °C) kaynaklarda Türkiye'deki jeotermal gelişim potansiyelinin uygun olduğunu belirtmişlerdir. Bu sebeple kaynakların daha çok doğrudan kullanım uygulamaları için uygun olduğunu ve elektrik üretimi için uygun olan 6 tane yüksek sıcaklıklı alan bulunmuş olsa da sadece Kızıldere jeotermal alanının geliştirilmiş olduğunu söylemişlerdir.

Hepbaşlı ve Çanakçı (2003) "Geothermal district heating applications in Turkey: a case study of Izmir-Balçova" başlıklı çalışması Türkiye jeotermal ısıtma uygulamalarının gelecekteki ve mevcut durumuna genel bakış ve Türkiye'de yüksek sıcaklıklı bölgesel ısıtma sistemlerine örnek olan İzmir- Balçova Jeotermal bölgesel ısıtma sistemi hakkında bilgi vermek amacıyla yapılmıştır. Bu çalışmada jeotermal enerjinin Türkiye'nin gelecekteki enerji kaynakları arasında önemli bir rol oynayacağı, jeotermal enerjinin ana kullanım alanlarının alan ısıtma, sıcak su temini, sera ısıtma, balneoloji, endüstriyel proseslerde kullanım, ısı pompaları ve elektrik üretimi gibi geniş bir yelpazeye sahip olduğu, geleneksel fosil yakıtların kullanımının azaltılmasıyla hava kirliliğine önemli etkilerin olabileceği, jeotermal ısıtma sistemlerinin geleneksel ısıtma sistemlerine göre daha ucuz olduğu bu nedenle Türkiye'de kullanıcılar tarafından kabul gördüğü, bunun yanı sıra jeotermal soğutma uygulamalarının Türkiye'de sınırlı olduğu ve uygulamaların ülke genelinde yaygınlaştırılması gerektiği, Bugüne kadar açılan jeotermal kuyuların sayılarının 170 olduğu, bu sayının yetersiz olduğu ve ülke genelinde jeotermal uygulamaların genişlemesi için daha fazla jeotermal kuyu açılması gerektiği sonuçlarına ulaşılmıştır.

Serpen ve Aksoy (2004) tarafından yapılan çalışmada, Gönen jeotermal sisteminin Kuzey Anadolu fay hattının Yenice-Gönen bölümünün doğusundaki düşük sıcaklıklı jeotermal alan içinde olduğunu ve jeotermal sistemin jeofiziksel araştırmalar tarafından tanımlanan daha küçük faylarla sınırlandırılan bölgesel sistemlere benzediğini ifade etmişlerdir. Bölgede uygulanan reenjeksiyonun basınç düşüşünü engellemediğini ve jeotermal rezervuarın soğumasına sebep olduğunu belirtmişlerdir. 16 yıl içerisinde bölgesel ısıtma sisteminin mevcut kapasitesinin 4 katına çıkarılmasından sonra

rezervuarda yaklaşık 6 bar basınç düşüşü ve 10-15°C soğuma gözlemlenmiştir. Bu çalışmada jeolojik, jeofiziksel araştırmalar ve uygulanan testlerle mevcut rezervuar yönetiminden kaynaklanan problemler belirtilmiş ve sürdürülebilir jeotermal sistem için çözüm önerileri sunulmuştur.

Onat vd. (2005) Türkiye'nin ilk bölgesel jeotermal ısıtma sistemi olan Gönen jeotermal ısıtma sisteminde karşılaşılan sorunlar ve çözüm önerileri konulu çalışmayı gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar, Gönen jeotermal bölgesel ısıtma sistemini kaynak kapasitesini, mevcut konut kapasitesini ve ısıtma sisteminin çalışma verimini inceleyerek proje ve uygulama bazında çözüm önerileri ortaya koymuşlardır. Su debisinin yeterli ve yeni açılan kuyuların verimli olmaması nedeniyle özellikle dış ortam sıcaklığının 0°C'nin altındaki sıcaklık değerlerinde eksik debinin karşılığı olan enerjinin ek ısıtma ile karşılanmasını önermişlerdir.

Köse (2007) tarafından yapılan çalışmada, Kütahya-Simav'daki mevcut jeotermal enerji kaynaklarının potansiyelini ve verimliliği araştırılmış, Simav-Eynal arasındaki jeotermal akışkanın ısısı bölgesel ısıtma sistemi için çok yüksek olması sebebiyle elektrik enerjisi üretimi ihtimalini araştırarak fizibilite çalışmaları yapılmıştır. Çevresel sebepler yüzünden bu ikili güç ünitesinde çalışan akışkan olarak HCFC-124 seçilmiştir. Kütahya-Simav jeotermal enerji ünitesi olarak 2.9 MWe kapasite ile çalışabileceği ve minimum 17020MWh/yıl elektrik enerjisi üretebileceğini ifade ederek ön fizibilite çalışmaları sonucunda projenin uygun ve yapılabilir durumda olduğunu belirtilmiştir.

Aslan ve Çanakçı (2005) tarafından yapılan çalışmada Gönen bölgesel ısıtma sistemi tasarım ve işletme değerleri açısından incelenmiştir. Çalışmada, jeotermal saha ve mevcut üretim kuyularının üretim ve performans değerlendirilmesi yapılarak sahadan en yüksek sıcaklık farkı, en yüksek debi ile enerji elde edilmesi için kuyu testleri yapılmıştır. Yazarlar, bazı üretim kuyularında yapılacak pompa değişiklikleri ile daha az enerji tüketilerek daha fazla enerji üretilabileceğini belirtmişlerdir. Isı merkezleri tasarım değerlerini tespit ederek, 2000-2004 yılları arasındaki işletme formlarından alınan değerler ile karşılaştırmışlar ve işletmenin daha ekonomik çalışması için gerekli konstrüktif önlemler önermişlerdir.

Özgener vd. (2005) tarafından yapılan çalışmada Gönen jeotermal bölgesel ısıtma sistemini performansını enerji ve ekserji açısından incelenmiştir. Araştırmacılara göre, enerji kayıpları pompalardan, eşanjörlerden ve boru hatlarından kaynaklanmaktadır. Enerji ve ekserji için kayıp miktarları sırasıyla %14.81, %7.11, %1.06 ve Gönen jeotermal bölgesel ısıtma sistemine toplam enerji girişinin %12.96'sı olduğu belirlenmiştir. Verimliliklerin %45.91 ile %64.06 civarında olması gerektiğini belirlemişlerdir.

Özgener vd. (2005) tarafından yapılan "Energy and exergy analysis of Salihli geothermal district heating system in Manisa, Turkey" başlıklı çalışmada, Manisa – Salihli jeotermal ısıtma sisteminin (SGDHS) enerji ve ekserji analizleri değerlendirmesi ve modellenmesi yapılmıştır. Sonuç olarak toplam enerji kayıpları hesabı sırasıyla tüm SGDHSye giren toplam ekserjinin sırasıyla 2.22, 17.88 and 20.44%, SFDHD bileşenlerinin tüm enerji ve ekserji verimliliği sırasıyla %55.4 ve %59.4 olduğu hesaplanmıştır. Ayrıca Sistem bileşenlerinin ve süreçlerinin otomatik kontrolüyle sisteme insan müdahalesi ve kayıpların azaltılmasına yardımcı olacağı, sistemi daha etkili ve verimli yapacağı gözlemlenmiştir.

Bilal (2005) tarafından yapılan "Analysis of Geothermal Circuit of Balçova-Narlidere Geothermal District Heating System" başlıklı çalışmada, Balçova – Narlıdere Jeotermal Bölge Isıtma Sistemi'nin performansının belirlenmesi ve kritik noktalarının açığa çıkarılması amaçlanmıştır. Çalışmada Balçova – Narlıdere Jeotermal Bölge Isıtma Sistemi, Balçova Jeotermal şirketi veri tabanından yararlanılarak PIPELAB bölge ısıtma sistemi simülasyon programında modellenmiş ve sistemdeki basınç ve sıcaklık dağılımları bulunmuştur. Bu analizler doğrultusunda Balçova – Narlıdere Jeotermal Bölge Isıtma Sistemi'nin sıcaklık ve basınç değişimlerinin olduğu kritik noktalar tespit edilerek ve bu kritik noktalarda basınç ve sıcaklık değişimlerinin meydana gelmemesi için kuyu işletim şartlarında değişiklikler yapılarak çözüm alternatifleri üretilmeye çalışılmıştır. Analiz sonuçları sistemin kritik noktalarının BD-4, BD-6 kuyuları ve ana boru hattı olduğunu, yüksek basınç düşüşleri ve yüksek hızların sorun kaynağı olduğu tespit edilmiştir.

Mertoglu vd. (2006) jeotermal enerjinin Türkiye'deki uygulama alanlarının daha çok direk kullanım olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca Kızıldere'de 20.4 MWe gücünde bir jeotermal elektrik çevrim santralının bulunduğunu, bu santrale likit CO₂ ve kuru buz üreten fabrikanın entegre edildiğini ve Binary çevrimli 25 MWe kapasiteli jeotermal elektrik santralının Aydın-Germencikte kurulacağını ifade etmişlerdir.

Mollahüseyinoğlu (2006) "Balıkesir Gönen ve Kütahya Simav Jeotermal Isıtma Sistemlerinin Karşılaştırılması" başlıklı çalışmada, Gönen ve Simav jeotermal ısıtma sistemlerinin kuyu sıcaklıkları, kuyu debileri, kaynak kapasiteleri ve çalışma verimleri karşılaştırılarak öneriler ortaya koymuştur. Gönen Belediyesi Jeotermal Enerji Merkezi Isıtma Sistemi Abone Bilgileri, Gönen Kaplıcaları'ndaki mevcut ve açılmakta olan sıcak su kuyularının yapıldıkları yıl, derinlik, sıcaklık, debi ve basınç değerleri gönen jeotermal bölgesel ısıtma sistem seması, Gönen jeotermal ısıtma sisteminin elemanları Gönen jeotermal kuyu yerleşim planı ve kuyuların özellikleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda Gönen ve Simav jeotermal ısıtma sistemlerinde kullanılan akışkanların üretim kuyularına reenjekte edilmesi sonucu Gönen Jeotermal havzasında 10 ile 15 °C arasında soğuma meydana geldiğini belirtmişlerdir. Havzadaki su sıcaklığının düşmesini önlemek için reenjeksiyon amaçlı kuyular açılmalı ve re-enjekte edilen düşük sıcaklıktaki jeotermal akışkan direkt üretim kuyularına karışmadan, tekrar ısınarak havzaya gelmesi sağlanması gerektiği belirtilmiştir.

Kalıncı (2006) tarafından yapılan "Dikilide Jeotermal Isıtma Sisteminin Araştırılması" başlıklı çalışmada Dikili bölgesinde planlanan (4000 konut Eşdeğer) ısıtma sisteminin analizi ekonomik hız yöntemi, Pipelab Simülasyon Programı ve optimum çap yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. Ekonomik hız yöntemine göre yapılan analizde; Dikili ısıtma sistemi ısı yükleri ve dizayn şartlarında gereken kütleli debileri jeotermal devresi için 29 000 kW ve 177.2 kg/s, olarak hesaplanmıştır. DJIS gerçek koordinatlarıyla, Pipelab simülasyon programına aktarılmış ve her bir kapalı devrenin debi, hız ve basınç kaybı analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre sistemin bölümlerinde basınç ve hız dengesizliği görülmemiştir.

Özkaya (2007) tarafından yapılan “Jeotermal Enerji İle Isıtılan Kütahya İli Simav İlçesindeki Isıtma Sisteminin Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi ve Uygulanması Gereken Yenilikler” başlıklı çalışmasında, Kütahya ili Simav ilçesindeki jeotermal kuyu bölgesi, sistemin çevresel etkileri, şehir ısıtma esanjör binası, jeotermal şehir ısıtma hatları ve kullanıcıların eşanjör daireleri incelenmiştir. Sisteme özellikle otomatik kontrolle ilgili eklenebilecek bazı cihazlar ve otomatik kontrol elemanları ile sistem çok daha verimli olacağı, sistemin potansiyelinin artırılıp abone sayısının yükseleceği ve bölgesel ısıtma sisteminde uygulanacak merkezi bilgisayar destekli kontrol sisteminin gerekli olduğu belirlenmiştir. Ayrıca jeotermal enerji ve diğer yakıtların çevreye verdiği CO₂ ve SO₂ miktarları karşılaştırılması sonucunda jeotermal enerjinin kömür ve petrole göre daha düşük oranda CO₂ ve SO₂ salınımı yaptığı sonucuna varılmıştır.

Özgener vd. (2007) Balçova, Salihli ve Gönen jeotermal bölgesel ısıtma sistemlerinin kapsamlı bir analizini yapmışlardır. Bu üç sistemin enerji – ekserji modellerini ve sistem performans analizlerini oluşturmuşlardır. Sistemlerin 4 °C referans sıcaklığında enerji verimliliğinin % 39.6 ile % 55.6, ekserji verimliliğinin ise % 45.7 ile % 63 arasında değiştiği belirlenmiştir. Araştırmacılara göre, aynı referans sıcaklığında toplam enerji girdisi 17.02 MW ile 101.22 MW arasında değişmiştir. Yapılan çalışmada Salihli jeotermal bölgesel ısıtma sisteminin üç sistem arasında en yüksek enerji verimliliğine sahip olduğu, bunu Balçova ve Gönen’in takip ettiği, en yüksek ekserji verimliliğinin ise Gönen jeotermal bölgesel ısıtma sisteminde olduğu, bunu Salihli ve Balçova’nın takip ettiği belirlenmiştir.

Açıkalp (2008) tarafından yapılan “Eskişehir’de Jeotermal Enerjinin Konut Isıtılmasında Kullanabilirliği” başlıklı araştırmasında, Eskişehir ilinde bulunan dubleks bir binanın ısıtılmasında jeotermal enerjinin kullanımı sonucu elde edilen enerji tasarrufu, çevresel ve kullanım maliyetleri açısından incelenmiştir. İnceleme sonucunda jeotermal ısıtmada kullanılan enerjinin doğalgazla ısınmaya göre 4.3 kat, maliyeti ise 2.6 kat düşük olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca çalışmada, jeotermal enerji ile konut ısıtılması hem çevreci, hem de yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaşması açısından önem arz ettiği, aynı ısı yükünü karşılamak için doğalgaz yakan bir kazan kullanılması durumunda çevreye 5.46 kg/saat CO₂ emisyonu verildiği gözlemlenmiştir.

Erol (2008) “Afyonkarahisar Jeotermal Isıtma Sisteminde Oluşan Kabuklaşma ve Korozyon Problemlerinin Tespiti ve Çözüm Önerileri” başlıklı çalışmasında jeotermal ısıtma sisteminde oluşan korozyonu ve kabuklaşmayı önlemek için uygun korozyon inhibitörünü araştırmıştır. Deneysel sonuçlara göre inhibitör derişimi azaldıkça % inhibisyon miktarı artmaktadır. Bu da sistemde korozyonun azaldığını göstermektedir. İnhibitor eklendikce korozyon potansiyelleri daha pozitif değerlere kayması inhibitörlerin anodik inhibitör olarak etkidiğini göstermektedir.

Arslan vd. (2009) Türkiye’deki en önemli 15 jeotermal alandan birisi olan Simav jeotermal sahasında bulunan Simav jeotermal bölgesel ısıtma sisteminin optimizasyonunu yapmışlardır. Sistemdeki jeotermal kaynakların sıcaklık, basınç, debi gibi teknik özelliklerini belirttikten sonra sistemin şematik diyagramını vermişlerdir. Sistemin ana karakteristiklerini belirttikten sonra enerji, ekserji ve ömür çevrim analizi kapsamında sistemdeki ısıtma devresinin parametre etkilerini araştırmışlardır. Bir sonuç olarak, optimum ısıtma devresi 60/49 °C olarak belirlenmiştir.

Yetemen ve Yalçın (2009) Afyon jeotermal bölgesel ısıtma sisteminin enerji tüketimini değerlendirmişlerdir. Sistemin optimum ısıtma yükü farklı dış sıcaklıklar için belirlenmiştir. Çalışmada, jeotermal suların kullanımının optimizasyonu ile işletme maliyeti ve çevre kirliliğinin azalacağı, buna karşın ekipman ömrünün artacağı ifade edilmiştir.

Arslan vd. (2009) tarafından yapılan “Exergoeconomic evaluation on the optimum heating circuit system of Simav geothermal district heating system” başlıklı çalışmada, Simav bölgesindeki jeotermal kaynağın debisinin 35 ile 72 kg/s, sıcaklığının 88 ile 148 °C olduğu, bu nedenle jeotermal akışkanın elektrik üretimi, bölgesel ısıtma, sera ısıtması ve kaplıca gibi birkaç amaç için kullanıma uygun olduğu belirtilmiştir. Ayrıca araştırmacılara göre, Simav’da jeotermal kaynaklı bölgesel ısıtma sistemiyle 5000 konut ve 225 000 m² sera alanı ısıtılmaktadır. Yapılan çalışmada Simav jeotermal bölgesel ısıtma sisteminin çalışma koşullarını optimize etmek amacıyla sistemin temel özellikleri, sistemde ısıtma devresinin parametrelerine etkileri enerji, ekserji ve yaşam maliyet döngüsü kavramlarıyla incelenmiştir. Sonuç olarak optimum ısıtma devresi

sıcaklığı 60/49 °C olarak belirlenmiştir. Belirlenen giriş ve çıkış sıcaklıklarında entropi üretiminin minimum ve elektrik tüketiminin azaldığı gözlemlenmiştir. Tüm sistemi dikkate alarak bu ilişkiyle ısıtma sisteminin optimizasyonu için yeterli olmadığı, atık buhar fazındaki jeotermal akışkanın bölgesel ısıtma sistemi için kayıplara neden olduğu belirtilmiştir.

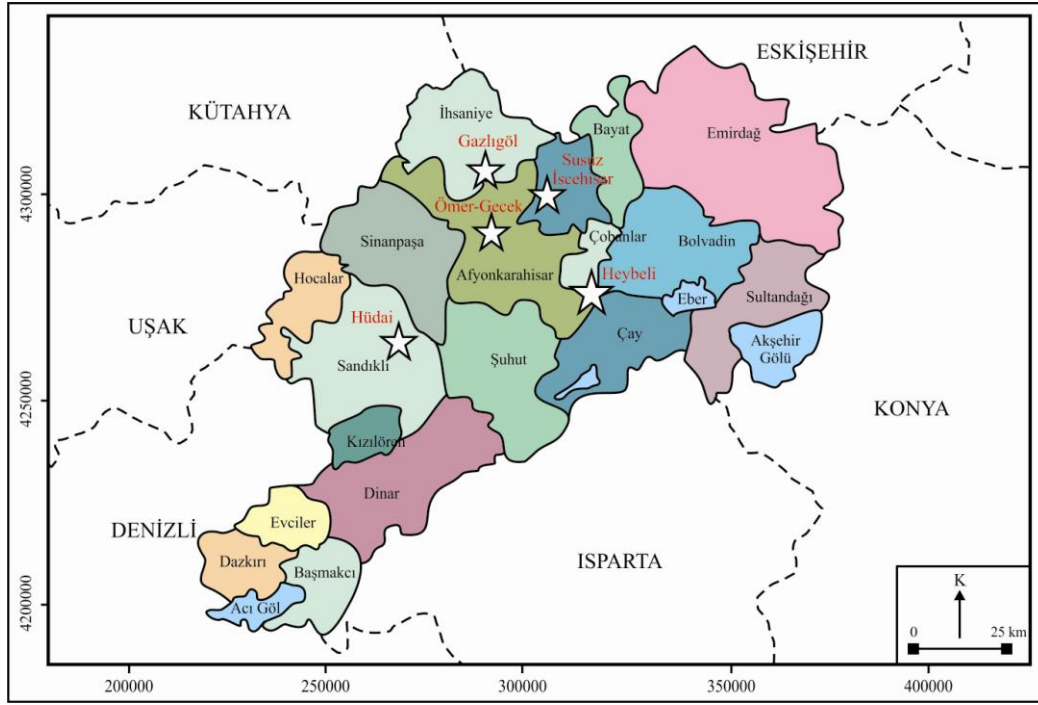
Altaş (2010)'ın yaptığı “Kızılcahamam Jeotermal Merkez Isıtma Sistemi ile Klasik Merkezi Isıtma Sisteminin Karşılaştırması” başlıklı çalışmada saha ve sistemle ilgili incelemeler ve araştırmalar yapılmış. Daha sonra elde edilen veriler Kızılcahamam jeotermal merkezi ısıtma sistemine eşdeğer doğalgazlı klasik merkezi ısıtma sistemiyle ekonomik ve teknolojik açılardan karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda konut başına düşen ilk yatırım maliyetlerinin jeotermal merkezi ısıtma sistemi ve klasik merkezi ısıtma sistemlerinde sırasıyla 3279 ve 1137 \$, konut başı işletme giderlerinin ise 133 ve 1790 \$ olduğu, ayrıca çevresel etkiler açısından daha avantajlı olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır.

Keçebaş vd. (2011) “Performance investigation of the Afyon geothermal district heating system for building applications: Exergy analysis” başlıklı çalışmada, Afyonkarahisar jeotermal ısıtma sisteminin enerji ve ekserji değerlendirmesi ile modellemesini yapmıştır. Sistem performansı, enerji ve ekserji verimliliği ile ekserji kayıpları, ısıtma sisteminin 2009 yılı öncesi yapısına ait veriler kullanılarak değerlendirilmiştir. Ayrıca ısıtma sisteminden arta kalan jeotermal suların olumsuz etkilerinin de ortaya konduğu çalışmada, ısıtma sisteminin enerji ve ekserji verimliliği sırasıyla %37.59 ve %47,54 olarak bulunmuştur. Çalışma sonucunda özel enerji endeksine göre Ömer- Gecek jeotermal sahasının düşük kaliteli jeotermal kaynaklar kategorisine girdiği, AFJET'in süreçleri ve bileşenlerinin otomatik kontrolünün insan müdahalesi ve kayıpları azaltarak sistemi daha etkili ve verimli yapacağı gözlemlenmiştir. Sistemde enerji kayıplarının başlıca olarak eşanjör kayıpları (14.59%), reenjektte akışkan (14.09%), boru kayıpları (12.50%), pompa kayıpları (5.74%) ve doğrudan deşarj kayıpları (5.53%) olarak tespit edilmiştir. Ayrıca Akarçay'a deşarj edilen atık suların yüzey suyu üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için çeşitli önlemler alınması gerektiği vurgulanmıştır.

Keçebaş (2011) ‘‘Performance and thermo-economic assessments of geothermal district heating system: A case study in Afyon, Turkey’’ başlıklı makalesinde, Afyonkarahisar jeotermal ısıtma sisteminin (AGDHS) termodinamik performansı ve termo-ekonomik değerlendirilmesi yapılmıştır. Analizde referans sıcaklığı ve enerji kayıplarıyla enerji ve ekserji verimlerinin nasıl değiştiği araştırılmıştır. Çalışmada, ısıtma sisteminin mevcut durumuna ait güncel veriler enerji ve ekserji verimliliği, ekserji kayıpları ve kayıp maliyet oranı değerlendirmek için kullanılmıştır. Çalışma sonucunda tüm sistemin enerji ve ekserji verimliliği, sırasıyla %37.59 ve %47,54, en büyük enerji kaybı %15.59 la eşanjörde, %14.09’la reenjeksiyon kuyularında meydana geldiği tespit edilmiştir. Ayrıca Afyon jeotermal bölgesel ısıtma sistemi enerji ve ekserji kayıp oranları ise sırasıyla 5.36kW/\$ ve 0.2kW/\$ tahmin edilmiştir.

3. ÖMER- GECEK (AFYONKARAHİSAR) JEOTERMAL ALANI

Batı Anadolu'daki en önemli jeotermal sahalara sahip olan Afyonkarahisar ilindeki jeotermal kaynakların oluşumunda, jeolojik yapının ve tektonik hareketler sonucu oluşan fay hatlarının etkisi büyüktür. Bölgedeki jeotermal kaynakların büyük bir bölümü Akarçay Havzası içinde yer almakta olup, jeotermal kaynaklar KB-GD doğrultulu Akşehir-Simav Fay Sistemi (ASFS)'ne ait fay segmentleri boyunca yeryüzüne ulaşmaktadır. Bölgedeki jeotermal kaynaklar genellikle düşük-orta entalpili akışkanlar olup il sınırları içinde sıcaklığı 30°C üzerinde toplam beş adet jeotermal alan bulunmaktadır. Şekil 3.1'de Afyon ilindeki jeotermal alanlar görülmektedir. Bunlar; (1): Ömer-Gecek, (2): Gazlıgöl, (3): Sandıklı-Hüdei, (4): Heybeli ve (5): Susuz-İscehisar jeotermal alanlarıdır (Yıldız vd. 2014).



Şekil 3.1 Afyonkarahisar ili jeotermal alanları.

Afyonkarahisar İli jeotermal alanlarının lokasyonları ve jeolojik yapıları birbirine benzerlik göstermektedir. Miyosen yaşlı volkanizma ürünlerinin yer altındaki uzanımları ve yüksek jeotermal gradyan bölgede yer alan sular için ısı kaynağıdır. Paleozoyik yaşlı Afyon metamorfiklerine ait şist-fillit türündeki kayalar genellikle temel kayaç özelliği sunarken, mermerler ve Anadolu karbonat platformuna ait re-

kristalize kireçtaşları bölgedeki sıcak sular için rezervuar kayaç özelliğindedir. Aynı şekilde tüm bölgelerde Pliyosen-Miyosen yaşlı sedimanter kayaçlar ve alüvyon örtü kayaç özelliği sunmaktadır. Bölgede yer alan sahaların tamamı meteorik (devirli) sistemler olup, Afyonkarahisar ilindeki önemli jeotermal alanların özellikleri aşağıda verilmiştir.

Ömer-Gecek jeotermal alanı, Afyonkarahisar'ın 20km kuzeybatısında Afyonkarahisar-Kütahya karayolu üzerinde bulunan sahada sıcaklıkları 45-125°C arasında değişen Na-Cl-HCO₃ bileşimli termal sular bulunmaktadır (Ulutürk 2009). Bölgede önceden yapılan çalışmalarda KB-GD yönlü Araplı dere fayının jeotermal akışkanı yeryüzüne taşıyan en yüksek geçirimli bölge (upflow zone) olduğu anlaşılmıştır. Sahada farklı derinliklerde açılmış 30 adet kuyudan maksimum 700 ton/saat akışkan üretilmektedir. Bu kuyuların 21'i üretim, 4'ü reenjeksiyon ve 5'i ise gözlem kuyusu olarak kullanılmaktadır. Bölgeden üretilen jeotermal akışkanların %90'ı reenjekte edilmektedir. Ömer-Gecek Bölgesinde reenjekte edilen suyun sıcaklığı yaklaşık 58°C'dir (Yıldız vd. 2011, Yıldız vd. 2014). Afyon Kocatepe Üniversitesi Jeotermal-Mineralli Sular ve Maden Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (JUAM) Müdürlüğü tarafından yürütülen çalışmalar sonucunda Ömer-Gecek bölgesindeki jeotermal sistemin dar bir alanda sınırlı kalmadığı ve havzanın güneye ve doğuya doğru devam ettiği ve iletken zonun tabanının 1600 m'ye kadar ulaştığı belirlenmiştir. Bölgenin tektonik yapısının bir sonucu olarak havza güneye ve doğuya doğru derinleşmektedir (Yıldız vd. 2011, Erdoğan vd. 2011). Bölgede AFJET A.Ş. tarafından yapılan sondaj çalışması da bunu desteklemektedir. Bu jeotermal akışkanının önemli bir bölümü 15 000 adet (1 500 000 m²) konutun ısıtılmasında, geriye kalan kısmı ise yaklaşık 10000 yatak kapasiteli termal otellerde (şuan 6000 m²) ve 500 000 m² jeotermal seralarda kullanılmaktadır. Ayrıca bölgede AFJET şirketinin çamaşır kurutma ve elektrik santrali kurulması gibi yatırım planları bulunmaktadır.

4. MATERYAL ve METOT

Tez çalışmasının en önemli materyalini Afyonkarahisar jeotermal merkezi ısıtma sisteminden elde edilen bilgiler oluşturmaktadır. Veriler söz konusu tesiste gerçekleştirilen alan araştırmaları ve yetkililerle yapılan birebir görüşmelerle elde edilmiştir. Bununla birlikte, konuyla ilgili gerek ülkemizde ve gerekse yurtdışında yapılmış çalışmalardan da yararlanılmıştır.

Tez kapsamında saha ve sistemle ilgili yazılı kaynaklar incelenmiştir. Daha sonra, Afyonkarahisar jeotermal merkezi sisteminin 2010 yılı öncesi ve sonrası durumu hakkında incelemelere ve araştırmalara devam edilmiştir. Sistem üzerinde incelemeler bizzat yapılarak yetkililerle ve çalışanlarla fikir alışverişinde bulunularak sistem hakkında eksiksiz bilgiye ulaşılmaya çalışılmıştır.

Veriler değerlendirilmeden önce kontrol edilerek çelişkili olanlar ayıklanmış, eski olanlar da güncellenmiştir. Sistem teknolojik ve ekonomik yönden değerlendirilmiştir. Sistemlerin teknolojik analizinde jeotermal merkezi konut ısıtma sistemini meydana getiren altı ana unsur esas alınmıştır. Bunlar;

1. Üretim kuyuları,
2. Jeotermal akışkanının taşındığı boru hatları,
3. Ana ısı değiştirici (Isı merkezi),
4. Şehir içi dağıtım hattı,
5. Abone ısı değiştiricileri,
6. Re-enjeksiyon kuyularıdır.

Bu bölümlerin sistem içindeki yerleri, teknik özellikleri hakkındaki bilgiler Afyonkarahisar jeotermal konut ısıtma sisteminin 2010 öncesi ve sonrası durumu için ayrı ayrı açıklanmıştır. Daha sonra bu altı unsura göre jeotermal ısıtma sisteminin 2010 yılı öncesi ve sonrası durumu karşılaştırılmıştır.

4.1 Ömer-Gecek Jeotermal Alanının Tarihi

Afyonkarahisar ili çok eski tarihlerden günümüze kaplıcalarıyla ünlü bir ilimizdir. Tarihi MÖ 300. yıla kadar uzanan Afyonkarahisar ilindeki kaplıcalar, değişik hastalıklara faydalı olduğunu öğrenen Dünya'nın değişik ülkelerinden insanlar tarafından yoğun ilgi görmüştür. Batı Anadolu'daki en önemli jeotermal sahalardan birisi olan Afyonkarahisar ilinde dört önemli jeotermal alan bulunmaktadır. Bunlar Ömer-Gecek, Gazlıgöl, Sandıklı ve Heybeli jeotermal sahalarıdır.

Afyonkarahisar ilinin kuzey batısında şehir merkezine 15 km uzaklıkta bulunan Ömer-Gecek jeotermal sahasında, jeotermal akışkan arama faaliyetleri ilk kez 1971 yılında Maden Tetkik Arama (MTA) Genel Müdürlüğü tarafından başlatılmış, 166 m derinliğindeki ilk üretim kuyusundan 92 °C sıcaklığında, 20 lt/sn debide jeotermal akışkan elde edilmiştir. 1971 ile 1997 yılları arasında 25 tane jeotermal sondaj kuyusu açılmıştır.

1994 yılında Afyonkarahisar şehir merkezindeki konutların jeotermal su kaynakları kullanılarak ısıtılması amacıyla kısa adı AFJET olan Afyon Jeotermal Turizm ve Ticaret A.Ş şirketi kurulmuştur. Bu tarihten itibaren Afyonkarahisar jeotermal ısıtma sisteminin işletmesi AFJET A.Ş. tarafından gerçekleştirilmektedir (Resim 5.1). AFJET A.Ş. Ömer-Gecek Bölgesindeki MTA Genel Müdürlüğü adına kayıtlı olan AR-117 sahasının arama ve işletmesini yapmaktadır. Ömer- Gecek jeotermal sahası günümüzde modern termal turistik tesislerinin artmasıyla tercih edilen bir alan haline gelmiş ve bunun sonucu olarak bölgedeki jeotermal kuyu çalışmaları artmıştır. Sahada farklı derinliklerde açılmış 30 adet kuyudan maksimum 700 ton/saat akışkan üretilebilmektedir. Bu kuyuların 21'i üretim, 4'ü reenjeksiyon ve 5'i ise gözlem kuyusu olarak kullanılmaktadır. Bölgeden üretilen jeotermal akışkanların %90'ı reenjekte edilmektedir. Ömer-Gecek Bölgesinde reenjekte edilen suyun sıcaklığı yaklaşık 58°C'dir (Yıldız vd. 2011, Yıldız vd. 2014).

Ömer-Gecek jeotermal sahasındaki sular kaplıcalarda, turizm tesislerinde, konutların ısıtılmasında ve son yıllarda seracılık alanında kullanılmaktadır. Başlangıçta proje hedefi 10.000 konutun ısıtılması olan ve 1996 yılında işletmeye açılan Afyon Jeotermal

Isıtma Sistemi 2010 yılına kadar 4516 konut ısıtılabilmiş, yani toplam ısıtılan alan miktarı ise 525 000 m²'dir.



Resim 5.1 AFJET A.Ş. ısıtma tesisleri.

AFJET A.Ş. 2010 yılından itibaren yeni bir yapılanmaya girmiş, nerdeyse kapanmak üzere olan şirket 2010-2014 yılları arası 12 adet yeni kuyu açmış, 28 km isale hattını yenilemiş, 4 adet yeni ısı merkezi inşa edilmiş, yaklaşık 100 km şehir içinde boru döşenerek alt yapı tamamen yenilenmiştir. Şirket bunun için 50 milyon TL lik yeni bir yatırıma imza atmıştır.

5. BULGULAR

5.1 2010 Yılı Öncesinde Afyonkarahisar Jeotermal Isıtma Sistemi (AFJET-1)

Afyonkarahisar jeotermal ısıtma sisteminde jeotermal akışkan Ömer-Gecek sahasından temin edilmektedir. 2010 yılı öncesinde Afyonkarahisar jeotermal ısıtma sisteminin şematik gösterimi Şekil 5.1.'de verilmiş olup, bu şekle göre Afyon jeotermal ısıtma sistemi aşağıda verilen 6 ana kısımdan oluşmaktadır.

- a) Jeotermal üretim kuyuları
- b) Taşıma hattı (İsale Hattı)
- c) Jeotermal ısı merkezi
- d) Şehir içi dağıtım hattı
- e) Konut Isıtma sistemi
- f) Reenjeksiyon (Geri basma) sistemi

5.1.1 Jeotermal Üretim Kuyuları

2010 yılı öncesinde Afyon jeotermal ısıtma sistemi için gerekli olan jeotermal akışkan Ömer-Gecek jeotermal sahasındaki AF11, AF14, AF16, AF18 ve AF21 üretim kuyularından sağlanmıştır. Bu kuyuların toplam üretim kapasitesi 224 lt/sn'dir. Üretim kuyularından elde edilen jeotermal akışkan 98 °C sıcaklıkla Resim 5.2'de gösterilen karıştırma havuzuna girmektedir. Jeotermal akışkanın sıvı ve gaz fazları ayrıştırıldıktan sonra buradan 175 kg/sn (630 m³/saat) debi ve 96°C sıcaklıkta Afyonkarahisar şehir merkezinde bulunan Karahisar Isı merkezine pompalar vasıtasıyla gönderilmiştir. Şekil 5.3'de Toplama havuzundaki jeotermal suyu Karahisar ısı merkezine gönderen yatay milli pompalar görülmektedir. Isıtma sisteminin aktif çalıştığı kış aylarında 600 ton/saat üretim yapılmaktadır.



Resim 5.2. Jeotermal akışkan toplama havuzu. **Resim 5.3.** Toplama havuzu suyunu Karahisar ısı merkezine gönderen pompalar.

Çizelge 5.1 de 2010 yılı öncesi üretim yapılan bazı kuyuların kimyasal analiz sonuçları verilmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde bölgedeki jeotermal akışkanlar Na-Cl-HCO₃ bileşimli olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.1 2010 yılı öncesi üretim yapılan bazı kuyuların kimyasal analiz sonuçları (Ulutürk 2009).

Özellik	AF-11	AF-16	AF-21
T (°C)	84	80	84
pH	7.6	7.6	7.6
EC (µS/cm)	5450	4550	4790
K ⁺ (mg/l)	121	111.8	119.8
Na ⁺ (mg/l)	1778	1729.7	1763.5
Ca ⁺ (mg/l)	128	135.4	135.9
Mg ⁺ (mg/l)	12.45	12.77	12.68
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	1120	890.6	757.0
SO ₄ ⁻ (mg/l)	483	492	501
Cl ⁻ (mg/l)	1900	1930	1910
Fe (mg/l)	128	135.4	135.9
Al (mg/l)	0.023	0.032	0.024
SiO ₂ (mg/l)	129.2	131.7	128.0
B (mg/l)	7.94	7.53	7.75
As (mg/l)	3.5	3.2	3.5

Jeotermal sondaj kuyularının bir bölümü artezyen yapan kuyular olması nedeniyle jeotermal akışkan yeryüzüne doğal akışıyla çıkmakta, bu durum, jeotermal kuyulardan üretilen akışkanın yıl boyunca dengeli bir akış göstermemesine neden olmaktadır. Ayrıca artezyen şeklinde olan üretim kuyularında jeotermal akışkanın yeryüzüne çıkışının olduğu yerlerde kalsiyum karbonat kabuklaşması görülmektedir. Resim 5.4. de jeotermal kuyularda meydana gelen kalsiyum karbonat kabuklaşması görülmektedir. Jeotermal akışkanda kabuklaşmaya karşı fosfat içerikli HEDP inhibitör kullanılmıştır. Kullanılan inhibitörün uygulanması jeotermal toplama havuzlarında ton başına 10-12 g olacak şekildedir. İnhibitörün etkinliğini 48 saat sürdürmektedir.

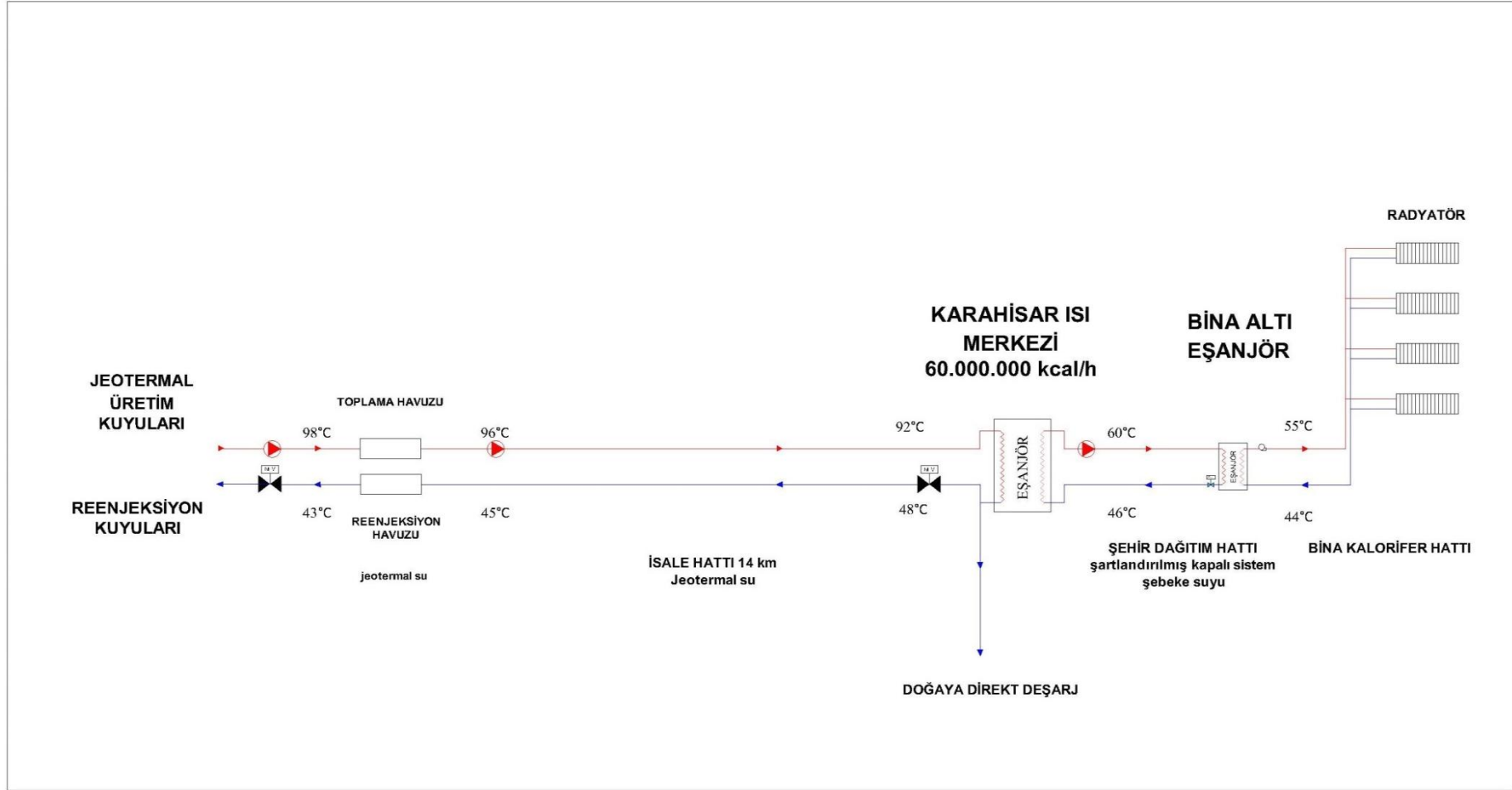


Resim 5.4 Jeotermal sondaj kuyularında kalsiyum karbonat kabuklaşması

Çizelge 5.2 incelendiğinde 2010 yılı öncesinde derinlikleri 122 m ile 910 m arasında değişen 24 jeotermal kuyu bulunmaktadır. Bunların 5'i üretim kuyusu (AF11 AF14, AF16, AF18, AF21) 3'ü reenjeksiyon kuyusu (AF4, AF13, AF22) ve 4'ü gözlem kuyusu (AF17, AF19, AF20, R-260) olmak üzere toplam 12 jeotermal kuyu aktif olarak kullanılmıştır.

Çizelge 5.2. 2010 yılı itibariyle Ömer- Gecek jeotermal sahasındaki mevcut kuyular (Ulutürk 2009).

Sıra No	Kuyu Adı	Derinlik	Debi (lt/sn)	Kuyubaşı Sıcaklığı (°C)	Kullanım Şekli
1	AF-1	910.00	20.00	107.00	Devre dışı
2	AF-2	56.80	150.00	98.00	Buhar üfleyen
3	AF-3	250.00	110.00	97.00	Devre dışı
4	AF-4	125.70	80.00	97.00	Reenjeksiyon
5	AF-5	207.40	15.00	79.00	Devre dışı
6	AF-6	211.40	10.00	92.00	Devre dışı
7	AF-7	210.00	3.00	100.00	Devre dışı
8	AF-8	250.00	10.00	91.00	Devre dışı
9	AF-9	320.00	66.00	51.00	Oruçoğlu
10	AF-10	320.6	100.00	98.00	Devre dışı
11	AF-11	184.3	55.50	104.00	üretim
12	AF-13	560.00	81.00	50.00	Reenjeksiyon
13	AF-14	122.2	27.00	95.00	Üretim
14	AF-15	215.00	-	-	Devre dışı
15	AF-16	215.00	37.50	100.00	Üretim
16	AF-17	260.00	27.00	100.00	Gözlem Kuvusu
17	AF-18	363.00	40.00	105.00	Üretim
18	AF-19	305	-	-	Gözlem
19	AF-20	230.00	27.00	101.00	Gözlem
20	AF-21	180.00	64.00	101.00	Üretim
21	AF-22	227.00	35.00	50.00	Reenjeksiyon
22	AF-23	250.00	50.00	100.00	Ömer Termal
23	R-260	165.00	22.00	100.00	Gözlem
24	DSİ	530.00	20.00	40.00	Devre dışı



Şekil 5.1 2010 yılı öncesi Afyonkarahisar jeotermal ısıtma sisteminin şematik gösterimi.

5.1.2 Taşıma Hattı (İsale Hattı)

Jeotermal akışkan, Ömer- Gecek bölgesinde bulunan 600 ton kapasiteli karıştırma havuzundan alınarak, 450 mm çaplı, izole edilmiş olan 14 km uzunluğundaki çelik ana boru hattıyla Afyon şehir merkezindeki Karahisar ısı merkezine gönderilmiştir. Burada ısısını bırakan jeotermal akışkan izolasyonu olmayan çelik dönüş hattıyla Ömer-Gecek havzasındaki AF4, AF13, AF22 reenjeksiyon kuyularına geri gönderilmiştir. Ayrıca isale hattının korozyondan korumak amacıyla katodik koruma sistemi kullanılmış, fakat katodik koruma sistemi işletmeye alındıktan kısa bir süre sonra işlevini yitirmiştir.



Resim 5.5 2010 öncesi AFJET A.Ş'nin isale hattı.

İsale hattında izole edilmiş çelik boru kullanılmasına rağmen yapılan izolasyon sistemin ilk devreye alındığında sıcaklık farklarının oluşmasına engel olamamıştır. Borularda meydana gelen bu sıcaklık farkı boru boylarının uzayıp kışalmasına neden olmuş, borulardaki uzamayı absorbe etmek amacıyla kompensatör kullanılmıştır. Fakat genleşme nedeniyle kullanılan bu kompensatörlerde sık sık arızalar meydana gelmiştir. İsale hattındaki arızaların giderilmesi için hattaki su boşaltılarak, kaynak tamirati

yapılıp hatta tekrar su verilmiştir. Hattın tamirâtı için sık sık suyun boşaltılmasından dolayı çelik borular oksijenle temas etmiş ve borularda korozyon probleminin yaşanmasına neden olunmuştur. Resim 5.6'da AFJET-1 isale hattında meydana gelen arızalar görülmektedir.



Resim 5.6 İsale hattında meydana gelen arızalar.

Ömer-Gecek sahasında üretilen jeotermal akışkanın 14 km uzaklıktaki Karahisar ısı merkezine iletilmesi ve burada ısını bırakıp tekrar Ömer Gecek sahasına taşınması esnasında jeotermal akışkanın sıcaklığının düşmesi nedeniyle jeotermal akışkan kalsiyum karbonat bakımından doygun duruma gelmiş ve kalsiyum karbonat kabuklaşması oluşmuştur. Ayrıca jeotermal üretim merkezi şehir merkezinden 18 m daha yüksektedir. Bu kot farkından dolayı Karahisar ısı merkezinde ısını bırakan jeotermal akışkanın tamamının Ömer Gecek havzasına gönderilmesinde pompa debilerinin yetersiz olmasından dolayı çeşitli işletme problemleri meydana gelmiştir.

5.1.3 Jeotermal Isı Merkezi

Isı merkezinde ısı kapasitesi 10 000 000 kcal/h olan 6 adet plakalı tip ısı değıştirici vardır. Jeotermal akışkan ısı değıştiriciye 92°C sıcaklığında girmekte, ısını kapalı sistem şehir içi temiz suya vererek, 48°C sıcaklığında dönüş hattına pompalanmaktadır.

Karahisar ısı merkezi ile jeotermal alan arasındaki mesafenin uzun ve kot farkının olmasından dolayı jeotermal akışkanın iletilmesinde akışkan hız düşümü sorunları yaşanmıştır. Bu nedenle isale hattı gidiş ve dönüşünde 315 KW gücünde 2 adet pompa kullanılmıştır. Bu iki nokta arasında jeotermal akışkanın sıcaklığı 3-4 °C azalmaktadır.



Resim 5.7 Karahisar ısı merkezi.

Çizelge 5.3'de Karahisar ısı merkezine ait bilgiler verilmiştir. Çizelgeye göre Karahisar ısı merkezi toplam eşanjör kapasitesi 60 000 000 kcal/saat olup bu kapasitenin sadece 42 000 000 kcal/saat ile konut ısıtmasında kullanılabilir.

Çizelge 5.3 Karahisar ısı merkezine ait bilgiler.

Eşanjör Kapasitesi (Kcal /saat)	Eşanjör ADEDİ	Toplam Kapasite (Kcal/saat)	Abone Sayısı	Konut Eşdeğeri (KE)	Isıtılan Alan (m ²)	Isıl Değer (Kcal/saat)
10 000 000	6	60 000 000	4516	5250	525 000	42 000 000

Not: Isıtılan m², 1 konut eşdeğer×100 olarak hesaplanmıştır.
Isıl Değer = 1 Metrekare×80 Kcal olarak hesaplanmıştır.

Ömer-Gecek jeotermal sahasından Karahisar ısı merkezine pompalanan su, kapasitesi yaklaşık olarak 630 m³/saat, Karahisar ısı merkezinden Ömer-Gecek jeotermal sahasına pompalanan jeotermal su kapasitesi 450 m³/saat'tir. Dönüş suyu kapasitesinin daha

düşük olmasının nedenleri borularda meydana gelen korozyondan dolayı sistemin yüksek basınçta çalıştırılmaması ve reenjeksiyon kapasitesidir (Resim 5.8). Bu nedenle dönüş hattındaki jeotermal suyun tamamını reenjeksiyon alanına gönderilemeyerek Akarçay deresine direkt olarak deşarj edilir. Jeotermal akışkanın doğaya direkt deşarjı jeotermal akışkanın yapısındaki yüksek oranda çözünmüş mineral ve kirleticilerden dolayı çevreye zararlı etkiler oluşturmaktadır.



Resim 5.8. İsale hattındaki borularda meydana gelen korozyon.

5.1.4 Şehir İçi Dağıtım Hattı

Şehir ısıtmasında kullanılacak temiz kapalı çevrim suyu ısı değiştiriciye 46 °C sıcaklığında girer, ısınarak 60 °C sıcaklığında çıkarak bina altındaki ısı değiştiriciye gönderilir. Kuyudan elde edilen kapalı sistem suyun sertliği NaCl ile yumuşatılmakta ve şehir içine yumuşatılmış kuyu suyu olarak verilmektedir.

Şehir içi dolaşan kapalı sistem suyunda bazen kaçaklar meydana gelmektedir. Bu nedenle sistemde dolaşan suyun debisi düşmekte ve enerji akışı verimli sağlanamamaktadır. Eksilen suyun tamamlanması için zaman zaman jeotermal su ile sistem beslenmektedir. Basınç düşüşlerini karşılamak içinde sisteme hava basılması nedeniyle kuyu suyu içinde çözülmüş oksijen ve karbondioksit miktarı artmaktadır.

Kapalı sistem suyuna yumuşatma amaçlı eklenen NaCl, sistemin jeotermal su ile beslenmesi ve hava basılması korozyon ve kabuklaşmayı artırıcı faktörler olarak gözlemlenmiştir. 2010 yılı öncesi AFJET A.Ş.'nin proje sahası gösterilen Resim 5.9 incelendiğinde 2010 yılı öncesi Afyonkarahisar jeotermal ısıtma sisteminin sınırlı bir bölgeye hizmet verdiği görülmektedir.



Resim 5.9 2010 yılı öncesi AFJET A.Ş'nin proje sahası.

5.1.5 Konut Isıtma Sistemi

Kapalı devre kalorifer suyu bina altındaki ısı değiştiriciye 44 °C sıcaklığında girer, ısınır ve 55 °C sıcaklığında binada istenilen mekanların ısıtılması için sirkülasyon pompası vasıtasıyla gönderilir. Resim 5.10'da konut ısıtma sisteminde kullanılan bina altı ısı eşanjörü görülmektedir.



Resim 5.10 Bina altı ısı eşanjörü.

Afyon jeotermal ısıtma sisteminde ısıtılan konutların ücretlendirilmesi, ısıtılan mahalın kapalı alan miktarına (m^2) yapılmaktadır. Isıtılan mahalın kapalı alan miktarına göre hesaplanan ücretlendirme sisteminde, konutlarda $1 m^2$ alanın ısıtılması için gerekli ısı yükü hesaplanmakta ve konut alanıyla çarpılarak ücretlendirilmesi yapılmaktadır.

5.1.6 Reenjeksiyon (Geri Basma) Sistemi

Karahisar ısı merkezinde ısısını veren $48^{\circ}C$ sıcaklığındaki jeotermal akışkan toplam reenjeksiyon kapasitesi 196 lt/sn olan 3 adet reenjeksiyon kuyusuyla jeotermal havzaya geri basılmaktadır. Reenjekte edilen akışkan miktarı 150 ton/saat 'dir. Dönüş suyunun jeotermal saha içine reenjeksiyonu rezervuar basıncının korunmasını ve bunun yanında bünyesindeki yüksek oranda çözülmüş mineral ve kirleticilerden dolayı çevrenin korunmasını sağlamaktadır.

5.2 2010 Yılı Sonrasında Afyonkarahisar Jeotermal Isıtma Sistemi (AFJET-2)

2010 yılı sonrasında Afyon jeotermal ısıtma sistemi (AFJET-2) aşağıda belirtilen 9 kısımdan oluşmaktadır:

- a) Jeotermal üretim kuyuları ve kuyu başı sistemi
- b) Jeotermal akışkan toplama havuzları
- c) Ömer- Gecek ısı merkezi

- d) Reenjeksiyon toplama havuzu
- e) Reenjeksiyon kuyuları
- f) İsale Hattı
- g) UyduKent-Karahisar-Dervişpaşa ısı merkezleri
- h) Şehiriçi Dağıtım hattı
- i) Konut ısıtma sistemi

2010 yılı sonrasında Afyon jeotermal ısıtma sisteminin şematik gösterimi Şekil 5.2’de gösterilmektedir. Ömer- Gecek jeotermal sahasında 12 jeotermal üretim kuyusundan ihtiyaca göre elde edilen jeotermal akışkan, jeotermal toplama havuzlarında depolandıktan sonra Gecek ısı merkezine pompalanmaktadır. Gecek ısı merkezinde eşanjörün primer kısmından geçen jeotermal su ısınıp vererek reenjeksiyona gönderilmektedir. Eşanjörün sekonder kısmına şehir ısıtmasında kullanılan şartlandırılmış kapalı sistem su girmektedir. Burada ısınan şartlandırılmış su, isale hattına pompalanarak, şehir içindeki ısı merkezlerine gönderilmektedir. İsale hattından gelen sıcak su, ısı merkezlerinde ikinci bir eşanjörden geçerek ısınıp bırakmakta ve isale hattının dönüşüne gönderilmektedir. Isı merkezi eşanjörlerinin sekonder kısmına şehir içi dağıtım hattından gelen şartlandırılmış kapalı sistem su girmektedir. Burada ısınarak bina altı eşanjörlere ulaşan su, sıcaklığını bırakarak, tekrar ısı merkezine gönderilir. Bina altı eşanjöre kalorifer sistemi suyu giriş yapar burada ısınarak radyatörlere ulaşır.

Afyon jeotermal ısıtma sistemi, sabit sıcaklık değişken debi prensibine göre çalışmaktadır. Bina radyatör dönüşlerinden komut alan debi ayar vanası bina dönüş sıcaklığı yükselirse, (bina ısındığında) binaya giriş yapan su miktarını kısarak, binaya enerji akışını azaltır ve bina sıcaklığını düşürür. Diğer taraftan bina dönüş sıcaklığı düşerse (bina soğuduğunda), bina altındaki debi ayar vanası açma işlemi yaparak, binaya enerji akışını artırır ve bina sıcaklığını yükseltir.

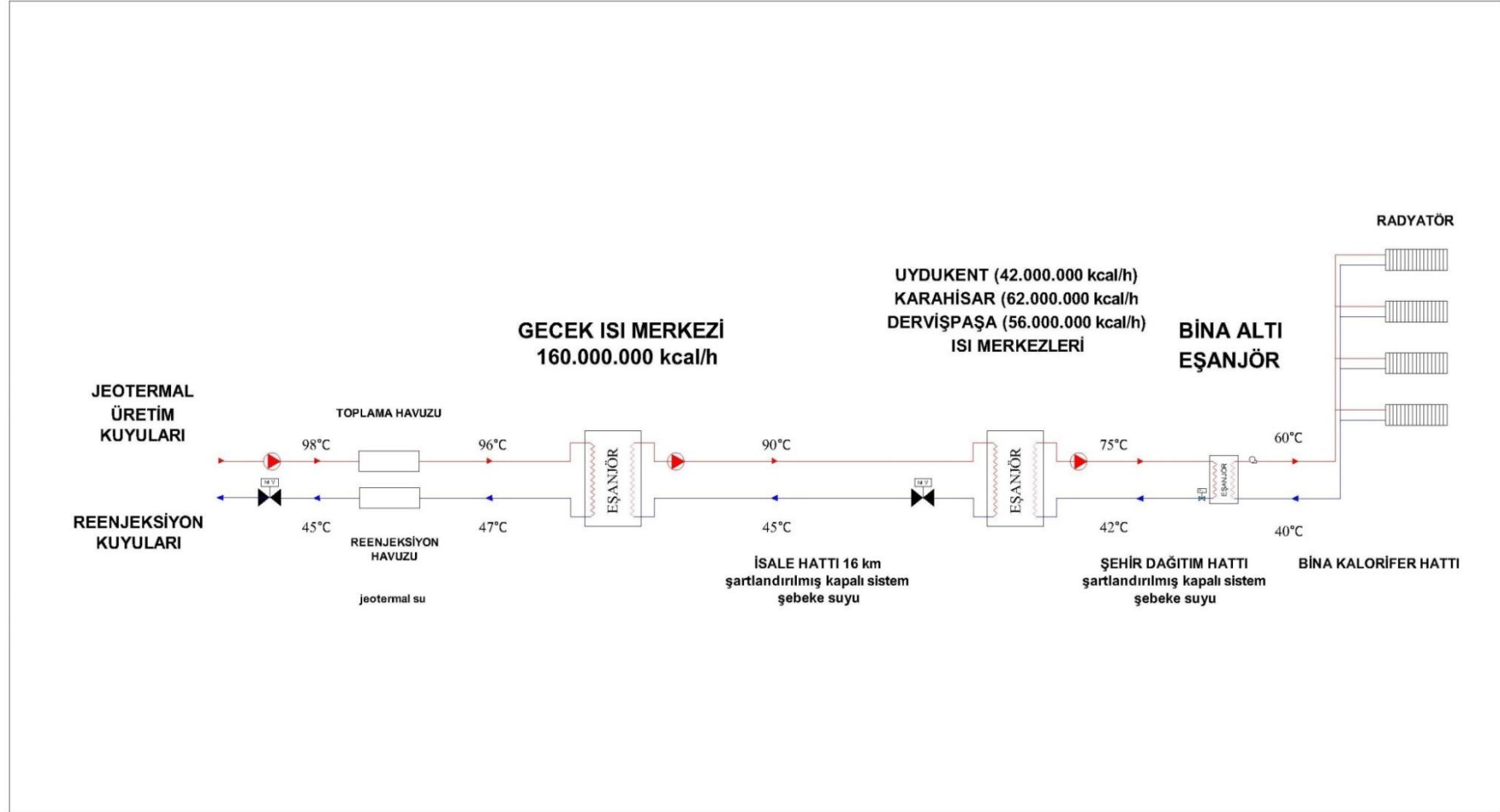
Bina altı vanaların kısma yada açma durumuna göre ısı merkezindeki sirkülasyon pompaları önündeki set değerine göre devrini düşürür yada artırır. Bu set değeri sistem

üzerindeki basınç kayıpları dikkate alınarak tecrübeyle belirlenir ve şehir içi dağıtım hattı uzunluğu, konutların ısı ihtiyacına göre 3 ile 6 bar arasında değişmektedir.

Sistemin genel çalışma prensibi sabit sıcaklık değişken debi olması nedeniyle, ısı merkezindeki eşanjörün primer tarafında bulunan motorlu vanalar şehre giden suyun sıcaklığını 75°C sıcaklığında sabitleyecek şekilde açma ya da kısma yapar.

Gecek ana isale hattı pompaları önünde set edilmiş basınç değerine göre devrini azaltmaktadır ya da artırmaktadır. Bu set değeri, dış hava sıcaklığına göre belirlenir ve dış hava sıcaklığı değişimine göre operatörler tarafından değiştirilebilir. Isı merkezindeki sirkülasyon pompaları motorlu vanaların kısma yada açma eyleminde önündeki set basınç değerini yakalamak için frekanslarını yükseltir ya da alçaltır.

Havuzdan termal suyu çeken pompalar, Gecek ısı merkezindeki eşanjörlerin isale hattı gidiş sıcaklığını sabitlemek için motorlu vanadan aldığı komuta göre frekansını azaltır ya da artırır. Motorlu vana kısma işlemi yaptığında sistemin basıncı değeri artar, sisteme su basan pompalar set değerine göre basıncı sabit tutmak için frekansını azaltır. Motorlu vana açma işlemi yaptığında sistemin basıncı değeri düşer, sisteme su basan pompalar sistemin basıncını belirlenen değere yükseltmek için frekansını yükseltir.



Şekil 5.2 2010 yılı sonrasında Afyonkarahisar jeotermal ısıtma sisteminin şematik gösterimi.

5.2.1 Jeotermal Üretim Kuyuları

Afyon bölgesel ısıtma sistemi, sıcaklıkları 58°C ile 122 °C arası, debi değerleri yaklaşık 125 ile 250 m³/saat arasında değişen toplam üretim kapasitesi 3765 m³/saat olan 18 adet kuyuya sahip olup ısıtma sistemi için gerekli akışkan 12 üretim kuyusundan sağlanmaktadır. Isıtma sisteminin aktif çalıştığı kış aylarında 850 ton/saat üretim yapılmaktadır. AFJET AŞ.'ne ait bazı jeotermal kuyuların sıcaklık, basınç ve debi bilgileri Çizelge 5.4'te verilmiştir.

Çizelge 5.4 2010 yılı sonrası jeotermal kuyu bilgileri (AFJET 2015).

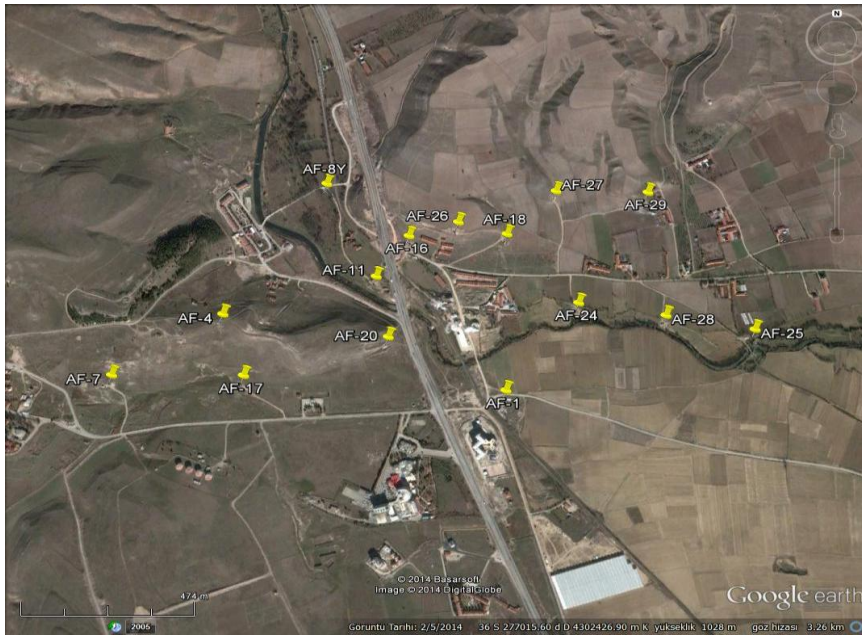
Sıra No	Kuyu Adı	Sıcaklık (°C)	Debi (m ³ /saat)	Kullanım Şekli	Üretim Biçimi
1	AF-7	103	175	Üretim	Pompaj
2	AF-8	106	210	Üretim	Pompaj
3	AF-11	112	250	Üretim	Pompaj
4	AF-13	58	200	Üretim	Pompaj
5	AF-14	90	125	Üretim	Pompaj
6	AF-15	114	270	Üretim	Pompaj
7	AF-16	108	220	Üretim	Pompaj
8	AF-17	103	220	Üretim	Pompaj
9	AF-18	114	220	Üretim	Pompaj
10	AF-20	106	175	Üretim	Pompaj
11	AF-21	102	175	Üretim	Pompaj
12	AF-24	116	220	Üretim	Artezyen
13	AF-25	104	175	Üretim	Artezyen
14	AF-26	113	250	Üretim	Artezyen
15	AF-27	116	220	Üretim	Artezyen
16	AF-28	122	220	Üretim	Artezyen
17	AF-29	112	220	Üretim	Artezyen
18	R-260	102	220	Üretim	Artezyen
19	R-1	52	600	Reenjeksiyon	Pompaj
20	R-2		500	Reenjeksiyon	Pompaj
21	R-3		500	Reenjeksiyon	Pompaj
22	R-4		350	Reenjeksiyon	Pompaj
23	G-1			Gözlem	Pompaj
24	G-2			Gözlem	Pompaj
25	G-3			Gözlem	Pompaj
26	G-4			Gözlem	Pompaj

Resim 5.11’ de AFJET tarafından açılan 104 °C sıcaklık ve 175 m³/saat debili AF-25 jeotermal üretim kuyusu görülmektedir.



Resim 5.11 2010 sonrasında açılan AF25 nolu jeotermal sondaj kuyusu.

Afyon jeotermal ısıtma sisteminde kullanılan kuyuların yerleşimleri Gecek ısı merkezi etrafındaki olup yaklaşık 2 km² lik bir alanı kapsamaktadır. Ömer- Gecek jeotermal sahasında ısıtma sisteminde kullanılan kuyulardan bazılarının yerleşimleri Resim 5.12’de verilmiştir.



Resim 5.12 Ömer- Gecek jeotermal sahasındaki kuyuların yerleşimleri.

Jeotermal üretim kuyularında jeotermal akışkan 110 KW kapasiteli, dik milli pompalar vasıtasıyla üretilmektedir. Dik milli pompalar jeotermal su toplama havuzundaki seviye durumuna göre frekansını artırıp ya da azaltmak suretiyle çalışmaktadır. Üretim kuyusunda kullanılan frekans invertörü sayesinde dik milli pompa frekansları ve havuz seviyelerinin kontrolü yapılabilmekte bu sayede üretim kuyusundaki pompaların gereksiz yere çalışmasının önüne geçilerek elektrik sarfiyatı azaltılmaktadır (Resim 5.13).



Resim 5.13 Jeotermal üretim kuyularında kullanılan dik milli pompalar.

Ayrıca jeotermal akışkan içinde ısıtma sisteminde çökeltme ve kabuklaşmaya neden olan maddelerin karşı inhibitör kullanılmaktadır. Kabuklaşma ve çökeltme nedeniyle jeotermal su içindeki bazı bileşikler boru ve eşanjörde tıkanmalara neden olarak akışkanın sistemde sirkülasyonun azaltarak ısı transferini olumsuz etkiler ve sistem verimini düşürür. İnhibitörün jeotermal kuyuya verilmesi bir dozaj pompası vasıtasıyla yapılmaktadır. Dozaj pompası üretim seviyesine kadar devam eden bir paslanmaz çelik boru içinde kuyudan çekilen her 1 m³ jeotermal suya 12 ppm inhibitör enjekte etmektedir. Bu sayede jeotermal su içindeki çökeltme ve kabuklaşmaya neden olan maddelerin büyük bir kısmı kuyu içinde çökeltmekle toplama havuzuna ulaşması önlenmektedir.



Resim 5.14 Jeotermal üretim kuyusu ve kuyu başı sistem.

Jeotermal akışkanların kullanımı sırasında içeriğine bağlı olarak kabuklaşma ve korozyona neden olan katı maddeler ve çözünmüş gazlar içerebilir. Korozyon ve kabuklaşma jeotermal sistemlerin işletilmesinde karşılaşılan önemli sorunların başında gelmektedir. Korozyon ve kabuklaşmanın önlenmesi jeotermal uygulamaların işletilebilmesi açısından büyük önem arz eder. Bu nedenle jeotermal akışkanın işletilmeye alınmadan önce akışkanın kimyasal ve fiziksel özelliklerinin bilinmesi uygulamada kullanılacak malzemelerin seçimi ve uygulamanın uzun ömürlü olması bakımından büyük önem taşır.

AFJET üretim kuyularından alınan su örneklerinin kimyasal Süleyman Demirel Üniversitesinde kimyasal özelliklerinin analizi yapılmıştır. Ömer- Gecek havzasındaki jeotermal sondajlarından alınan sıcak su örneğinin analiz sonuçları Çizelge 5.5'te verilmiştir.

Ömer-Gecek sahasındaki jeotermal sular, Na ve HCO_3 bakımından zengin bir karakter sergiler. Termal sulara göre daha asidik özelliktedir. Eser elementlerinden arsenik, baryum, alüminyum tespit edilmiştir. Jeotermal suda korozyona neden olan hidrojen iyonu, klorür iyonu, hidrojen sulfur, karbondioksit, oksijen ve demire rastlanmıştır. Suyun içeriğinin suda sertliği ve kabuklaşmayı artırıcı etkiye sahip olan neden olan 105-112 mg/L kalsiyum ve 8-12 mg/L magnezyum elementleri belirlenmiştir.

Çizelge 5.5 Ömer- Gecek havzasında 2010 yılı sonrası jeotermal sondajlarından alınan sıcak su örneklerinin kimyasal analiz sonuçları.

Özellik	AF-11	AF-15	AF-18
T (°C)	112	114	114
pH	8.29	8.29	8.29
EC (µS/cm)	7550	7660	7700
K ⁺ (mg/l)	100.85	100.16	105.7
Na ⁺ (mg/l)	1472.0	1493.0	1550.0
Ca ⁺ (mg/l)	105.18	110.70	112.20
Mg ⁺ (mg/l)	9.08	8.21	12.37
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	976.00	1012.60	1030.90
SO ₄ ⁻ (mg/l)	511.63	530.99	553.82
Cl ⁻ (mg/l)	1770.26	1904.66	2042.04
Fe (mg/l)	0.04	0.09	0.01
Al (mg/l)	<0.01	<0.01	<0.01
SiO ₂ (mg/l)	86.60	89.51	99.90
B (mg/l)	9.10	10.01	8.70
As (mg/l)	4.42	3.88	3.60

Kalsiyum karbonat (CaCO₃) kabuklaşması fişkırtma, sıcaklık düşüşü ve pH artışı gibi sebeplerden dolayı meydana gelmektedir. CO₃ çökmesi fişkırtma ile başladığı için, fişkırtmanın başladığı yer önemlidir. Eğer fişkırtma jeotermal üretim kuyusunda başlarsa kabuklaşma kuyu içinde başlayacaktır. Yüzey aletlerinde başlarsa bu aletler üzerinde kabuklaşma meydana gelecektir.

Kuyu içinde kabuklaşma oluşumun engellemek için jeotermal akışkanın kuyu içinden iletilmesini doğal iletim yerine pompalanmak suretiyle yapılabilir. Böylelikle kuyu içi pompa vasıtasıyla jeotermal akışkanın tek fazdan iki fazlı duruma geçişi engellenerek basınca duyarlı kabuklaşma oluşumunun önüne geçilmiş olur. Basınca duyarlı kabuklaşmayı önlemek için düşük CO₂ akışkanlar için akışkandan ayrılan CO₂'in bir kısmını tekrar üretim kuyusuna gönderilerek yüksek CO₂ kısmi basıncı yapay olarak sürdürülebilir ve kabuklaşma önlenmiş olur.

Jeotermal akışkanın fiziko-kimyasal özellikleri ile akışkan içinde belirlenen Ca⁺ ve SiO₂ nedeniyle borularda kalsiyum karbonat, silikat kabuklaşmaları ve korozyon meydana

gelmektedir. Resim 5.15’de Jeotermal akışkanın çıkış noktasındaki borunun iç yüzeyinde CaCO_3 kabuklaşması görülmektedir.



Resim 5.15 Jeotermal akışkanın çıkış noktasındaki borunun iç yüzeyinde CaCO_3 kabuklaşması.

5.2.2 Jeotermal Akışkan Toplama Havuzları

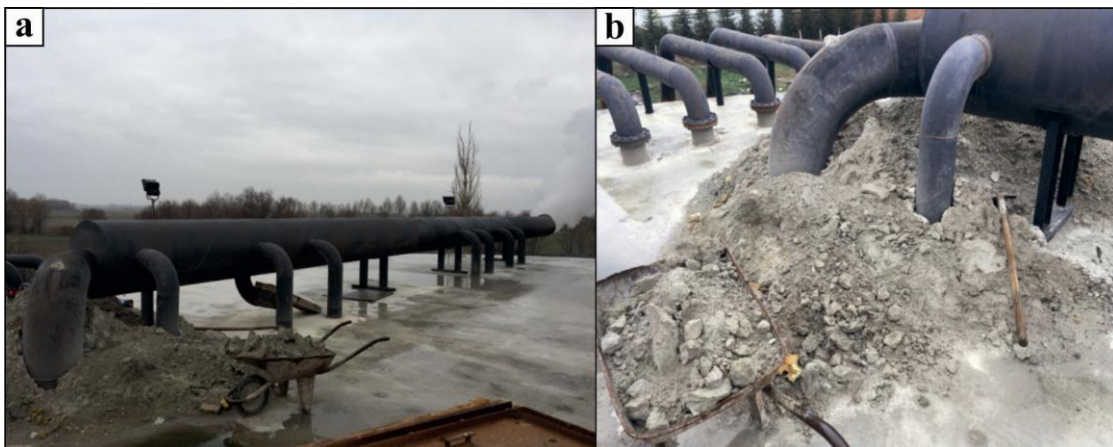
Ömer- Gecek jeotermal alanında şehir ısıtması ve turizm hatlarını besleyen iki adet jeotermal akışkan toplama havuzu mevcuttur (Şekil 5.16, Şekil 5.17). Sahadaki 12 adet jeotermal üretim kuyusundan üretilen jeotermal su 1500 ton kapasiteli turizm hattı ve 3000 ton kapasiteli şehir ısıtma hattı toplama havuzlarına dökülür. Havuzlarda ilk olarak jeotermal üretim kuyulardan akışkanla birlikte gelen çözünmüş mineral partiküllerin çökmesi sağlanır. Daha sonrada sistemin mekanik parçalarına ve verimine olumsuz etki eden jeotermal su içindeki çözünmüş CO_2 , H_2S , NH_3 , CH_4 , H gibi gazların ayrıştırılması yapılarak bacadan atılması sağlanır (Resim 5.18). Turizm hattı jeotermal akışkan toplama havuzundan çökertme ve çözünmüş gazlardan ayrıştırma işlemlerinden geçirilen jeotermal su, 315 KW kapasitesinde biri yedek olmak üzere toplam 3 dik milli pompa ile $96\text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklığında turizm hattına pompalanır. Şehir ısıtma hattı jeotermal akışkan toplama havuzunda biriktirilen jeotermal su ise Gecek ısı merkezine gönderilir.



Resim 5.16 Şehir ısıtma hattı jeotermal akışkan toplama havuzu ve jeotermal kuyu bağlantıları.



Resim 5.17 Turizm hattı jeotermal akışkan toplama havuzu ve jeotermal kuyu bağlantıları.



Resim 5.18 Toplama havuzunda çökelen partiküller (a) ve çözülmüş gazların (b) tahliyesi.

5.2.3 Ömer-Gecek Isı Merkezi

Ömer-Gecek ısı merkezi iki kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısımda şehir ısıtma hattı jeotermal akışkan toplama havuzuna gönderilen 98 °C sıcaklığındaki jeotermal akışkan, 45 KW gücünde, 400 m³ debili biri yedek olmak üzere toplam 6 adet dik milli pompa ile ana ısı değıştircilerin primer kısmına pompalanır (Resim 5.19). Isı merkezinde 16 500 000 Kcal/saat kapasiteli 8 adet plakalı tip eşanjör kullanılmaktadır (Şekil 5.21).



Resim 5.19 Ömer- Gecek ısı merkezindeki dik milli pompalar.



Resim 5.20 Ömer-Gecek ısı merkezindeki plakalı tip eşanjörler.

Bu eşanjörlerin primer kısmına 96 °C sıcaklığında giren jeotermal akışkan, eşanjörün sekonder kısımdaki kapalı sistem temiz suya ısısını vererek, bu işlem sonucunda

akışkanın sıcaklığı 47°C sıcaklığına soğutulur ve buradan reenjeksiyon toplama havuzuna gönderilir. Şekil 5.21’de Ömer- Gecek sahasındaki ısı merkezi ve toplama havuzlarının yerleşimi gösterilmektedir.



Resim 5.21 Ömer-Gecek sahasındaki ısı merkezi ve toplama havuzlarının yerleşimi.

Toplama havuzunda bünyesindeki partiküllerin çökeltilmesi yapılmasına rağmen, akışkan içinde askıda kalan çok küçük partiküller ısı eşanjörünün primer kısmında tıkanmalara neden olmakta ve bu durum eşanjör verimini ve sirkülasyonu düşürmektedir. Tıkanan eşanjörleri temizlemek için, ters çalıştırma olarak tabir edilen işlem gerçekleştirilir. Normal çalışmada eşanjörün üst kısmından giren sıcak su ısısını vererek soğumaya başlar, sonra da soğuyan suyun yoğunluğu artarak aşağı yönde akış devam ederek eşanjörü terk eder. Ters çalışmada ise eşanjörün çıkış kısmından soğumuş su geri basılır ve eşanjörün giriş kısmından çıkarak jeotermal toplama havuzuna gönderilir. Böylece eşanjörde tıkanıklığa neden olan partiküller toplama havuzuna gönderilerek burada çökmesi sağlanır. Isı merkezinin ikinci kısmında ise şehir ısıtmasından gelen 45 °C sıcaklığında kapalı sistem temiz su eşanjörün sekonder kısmına girer. Burada sıcaklığını 90 °C'ye yükselterek 315 KW gücünde, 400 m³

kapasiteli biri yedek olmak üzere toplam 6 adet santrifüj pompa ile Afyonkarahisar şehir merkezine pompalanır.

Jeotermal ısıtma sisteminde mahalların ısıtılması için gereken enerji yüksek sıcaklıktaki jeotermal suyun sirkülasyonu ile sağlanır. Bu nedenle ısıtma sisteminin en önemli elemanlarından birisi jeotermal suyun dolaşımını sağlayan dikey milli ve santrifüj tip pompalardır. Sistemin kesintisiz çalışabilmesi için bu pompaların çalışmasında kesintiler olmamalıdır. Gecek ısı merkezinde ısıtma sisteminin elektrik şebekesindeki kesintilerden etkilenmemesi için toplam kapasitesi 3000 KW olan 3 adet jeneratör mevcuttur.



Resim 5.22 3000 KW kapasiteli jeneratör.

Afyon jeotermal ısıtma sistemi sabit sıcaklık değişken debi prensibiyle çalışmaktadır. Sabit sıcaklık değişken debi yönteminde dış hava sıcaklığına göre konutların ısıtılması için gerekli ısıya göre eşanjörlere giren jeotermal akışkanın debisi artırılır yada azaltılır, bu sayede debi değişimiyle konut sıcaklığı sabit tutulmuş olur. Isıtma sisteminin sıcaklık ve debi kontrolü SCADA sistemiyle gerçekleştirilmektedir. Şekil 5.23’de Ömer- Gecek ısı merkezindeki SCADA sistemine ait elektronik kontrol üniteleri ve elektronik kontrol paneli gösterilmektedir.



Resim 5.23 Ömer- Gecek ısı merkezi elektronik kontrol üniteleri ve kontrol paneli.

5.2.4 Reenjeksiyon Toplama Havuzu

Gecek ısı merkezindeki eşanjörlerde ısısını bırakan şehir ısıtma hattı ile (47°C) turizm hattı (45°C) dönüşünden gelen jeotermal akışkanlar, reenjeksiyon kuyularına gönderilmek için 1000 ton kapasiteli reenjeksiyon toplama havuzunda depolanır (Resim 5.24). Depolanan jeotermal su 600 ton kapasiteli 3 adet dik milli pompa vasıtasıyla yaklaşık 1 km mesafedeki reenjeksiyon kuyularına gönderilir.



Resim 5.24 Reenjeksiyon toplama havuzu.

5.2.5 Reenjeksiyon Kuyuları

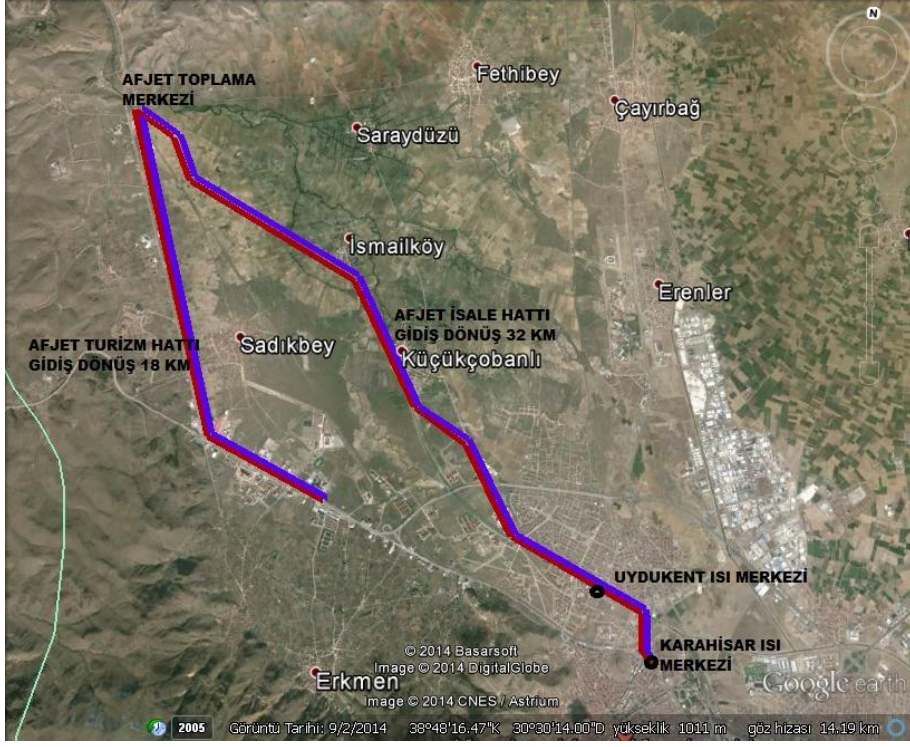
Reenjeksiyon toplama havuzunda toplanan jeotermal akışkan, havzanın sürdürülebilir kullanımının sağlanması amacıyla toplam reenjeksiyon kapasitesi 1950 m³/saat olan R-1, R-2, R-3, R-4 kodlu reenjeksiyon kuyularına vasıtasıyla rezervuara 45 °C sıcaklığında geri basılır (reenjesiyon) edilir. Reenjekte edilen akışkan miktarı 850 ton/saat'dir.

5.2.6 Taşıma Hattı (İsale Hattı)

Afyon jeotermal ısıtma sisteminde isale hattı; turizm hattı ve şehir ısıtma hattı olmak üzere 2 kısımdan oluşmaktadır.

Turizm hattında, Ömer- Gecek jeotermal sahasında üretilen 95°C sıcaklığında jeotermal akışkan, 1500 tonluk turizm hattı havuzunda depolanır ve buradan 315 KW kapasiteli 3 adet dik milli pompa ile toplam 14 km uzunluğundaki boru hattıyla oteller bölgesine pompalanır. Turizm hattından gelen jeotermal su otellere 95 °C girer, sıcaklık kademeli olarak düşürülerek önce bina ısıtması, sonra kullanım suyu ve havuz suyu ısıtması yapılır ve sıcaklığı 45 °C' ye düşen jeotermal su termal havuzlara verilir. Termal havuzlarda kullanılan kirlenmiş jeotermal su atık su olarak kanalizasyon şebekesine, eşanjörlerden geçerek ısısını veren jeotermal su ise 45 °C'de turizm hattı dönüşüne reenjeksiyon amacıyla verilir.

Şehir ısıtma hattında ise, Gecek ısı merkezinde ısıtılmış olan şartlandırılmış su, yaklaşık 16 km mesafede bulunan Uydukent, Karahisar ve Dervişpaşa ısı merkezlerine 315 KW 400 m³ kapasiteli 1'i yedek olmak üzere toplam 6 adet santrifüj pompa ile 90 °C de pompalanır. Isı merkezlerine 90°C ile giren su eşanjörlerin seconder kısmındaki şehir içi dağıtım suyuna ısısını vererek 45°C'de Gecek ısı merkezine pompalanır. Resim 5.25' de Afyon jeotermal ısı sistemi isale hatlarının izlediği güzergah verilmiştir.



Resim 5.25 2010 sonrası AFJET A.Ş.'nin isale hattı.

İsale hattında 600'lük paket izolasyonlu çelik borular kullanılmıştır. Resim 5.26'da Afyon jeotermal ısıtma sistemi isale hattı çalışmaları verilmiştir.



Resim 5.26 Afyon jeotermal ısı sistemi isale hattı inşaat çalışmaları.

5.2.7. Uydukent-Karahisar-Dervişpaşa Isı Merkezleri

Şehir içi ısı merkezleri 16.000 konut eşdeğeri konutları jeotermal enerji ile ısıtılacak şekilde tasarlanmıştır. Isı merkezinde bütün malzeme ve ekipmanlar akışkan özelliklerine ve 16 bar işletme basıncına dayanıklı malzemeden imal edilmiştir.

Isıtma şebekesi 3 ayrı ısı merkezi olarak tasarlanmış olup plakalı eşanjör, pompa, genişleme tankı, inventör ve motorlu vanalardan oluşmaktadır.

Isı merkezlerinde paket tip plakalı ısı değiştiriciler kullanılmıştır. Bu eşanjörler yüksek verim ve sadece plaka ekleyip çıkararak kolaylıkla kapasiteyi değiştirme avantajından dolayı tercih edilmektedir.

Afyonkarahisar jeotermal ısıtma sistemi proje alanı ve ısı merkezlerinin yerleşimi Resim 5.27' verilmiştir.



Resim 5.27 2010 yılı sonrası AFJET A.Ş.'nin proje sahası.

Ömer-Gecek ısı merkezinde 90°C sıcaklığındaki şartlandırılmış su Afyonkarahisar şehir merkezinde bulunan Uydukent, Karahisar ve Dervişpaşa ısı merkezlerine pompalanmaktadır. Isı merkezlerinin primer kısmına 90°C ile giren su eşanjörlerin seconder kısmındaki şehir içi dağıtım suyuna ısısını bırakarak, 45°C sıcaklığında Ömer-Gecek ısı merkezine pompalanır. Şehir dağıtım hattından gelen 42°C sıcaklığındaki su, eşanjörün sekonder kısmından, sıcaklığı 75 °C'ye yükselmiş olarak bina altı konut ısıtmasında kullanılmak üzere santrüfuj pompalarla basılmaktadır.

Afyonkarahisar jeotermal ısıtma sisteminde kullanılan ısı merkezlerine ait teknik özellikleri Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.6 AFJET-2 ısı merkezlerine ait teknik özellikleri

ISI MERKEZİ	KARAHİSAR	UYDUKENT	DERVİŞPAŞA	GECEK TURİZM HATTI	TOPLAM
EŞANJÖR KAPASİTESİ (Kcal /saat)	14 000 000 10 000 000 5 000 000	14 000 000	14 000 000		
EŞANJÖR ADEDİ	6	3	4		
TOPLAM KAPASİTE (Kcal/saat)	62 000 000	42 000 000	56 000 000		
ABONE SAYISI	3619	1593	4034	583	9829
KONUT EŞDEĞERİ (KE)	7500	4670	4600	5016	21786
ISITILAN ALAN (M ²)	750 000	467 000	460 000	501 600	2 178 600
ISIL DEĞER (Kcal/saat)	60 000 000	37 360 000	36 800 000	40 128 000	174 288 000

Not: Afyon jeotermal ısıtma sistemi abone bilgileri, (Isıtılan m2, 1 konut eşdeğer×100 olarak hesaplanmaktadır. Isıl Değer= 1 Metrekare×80 Kcal olarak hesaplanmaktadır)

Çizelge 5.6. incelendiğinde, Afyonkarahisar jeotermal ısıtma sisteminin ısıtma kapasitesinin 160 000 000 Kcal/saat, abone sayısının 9829, konut eşdeğerinin 21 786, ısı değerinin 174 288 000 Kcal/saat olduğu, 2010 öncesi duruma göre ısıtma

kapasitesinin 2,66 abone sayısının 2 kat, ısıtılan alan ve ısı değeri 4,15 kat arttığı görülmektedir.

UyduKent Isı merkezi UyduKent-1 ve UyduKent-2 bölgelerinde 4670 konut eşdeğeri (467 000 m²) alanı jeotermal enerji ile ısıtılacak şekilde tasarlanmıştır. UyduKent ısı merkezi bir tanesi yedek olmak üzere 14 000 000 Kcal/saat kapasiteli 3 adet plakalı eşanjör, 34 KW'lık 2 adet 90 KW'lık 2 adet santrüfjü pompa, 3 adet motorlu vana, inventör, genleşme tankından oluşmaktadır (Resim 5.28).



Resim 5.28 UyduKent ısı merkezinde plakalı eşanjörler, santrifüj pompalar ve elektronik kontrol paneli.

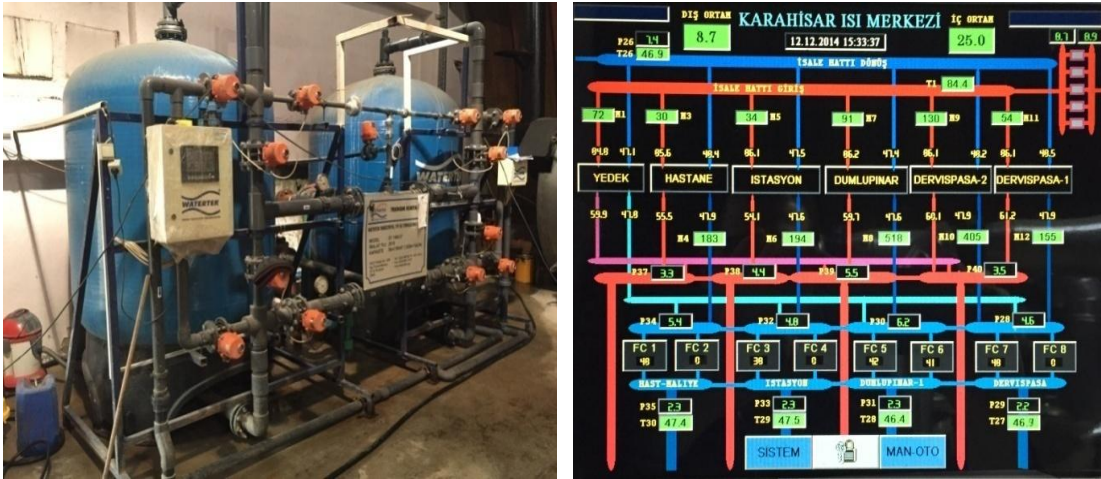
Karahisar ısı merkezi, Hastaneler-Maliye, İstasyon, Dumlupınar, Dervişpaşa bölgelerindeki konutları 7500 konut eşdeğeri jeotermal enerji ile ısıtılacak şekilde tasarlanmıştır. Karahisar ısı merkezinde 4'ü yedek olmak üzere, toplam 8 adet santrifüj

pompa, toplam kapasitesi 62 000 000 Kcal/saat olan 6 adet plakalı eşanjör, 6 motorlu vana, inventör, genleşme tankı ve şartlandırma ünitesinden oluşmaktadır (Resim 5.29).



Resim 5.29 Karahisar ısı merkezinde ısı değıştirici ve dik milli pompalar.

Şartlandırma ünitesinde saatte 50 m³ kapasite ile su kuyusundan alınan suyun yumuşatılması yapılır sonrada şartlandırılan su kapalı sistem dağıtım hattı ve isale hattına verilir. Böylelikle kapalı sistemde dolaşan suyun boruların iç yüzeylerinde kireçlenmesi ve eşanjör, pompa gibi ekipmanlarda mekanik zararların oluşmasının önüne geçilir (Resim 5.30).



Resim 5.30. Karahisar ısı merkezinde şartlandırma ünitesi ve ısı merkezi kontrol paneli

Dervişpaşa ısı merkezi 1.Dumlupınar, 2.Dumlupınar ve Karaman olmak üzere 3 bölgedeki konutları 4600 konut eşdeğeri jeotermal enerji ile ısıtılacak şekilde tasarlanmıştır. Dervişpaşa ısı merkezi toplam kapasitesi 56 000 000 Kcal/saat olan 4 adet (1 yedek) plakalı eşanjör, üçü yedek olmak üzere toplam 9 adet santrifüj pompa, 4 motorlu vana, inventör, genleşme tankından oluşmaktadır (Resim 5.31).



Resim 5.31 Dervişpaşa ısı merkezinde plakalı eşanjörler, santrifüj pompalar ve elektronik kontrol paneli.

5.2.8 Şehir İçi Dağıtım Hattı

Şehir dağıtım hattı Uydukent, Karahisar ve Dervişpaşa ısı merkezlerinden bina altı eşanjörlere kadar olan kısımdaki hatları kapsamaktadır. Isı merkezlerindeki eşanjörlerden 75°C sıcaklığında çıkan şartlandırılmış suyun, bina altı eşanjörlerde ısını bırakarak, 42°C olarak tekrar ısı merkezlerine dönmesini sağlayan kendi içinde kapalı

bir devredir. Şehir içi dağıtım hattında kullanılan borular PPRC ön izolasyonlu paket borular olup çapları 50 mm ile 355 mm arasında değişmektedir (Resim 5.32).



Resim 5.32 2010 yılı sonrasında gerçekleştirilen şehir içi dağıtım hattı inşaatı.

5.2.9 Konut Isıtma Sistemi

Şehir dağıtım hattından gelen 75°C sıcaklığındaki akışkan, bina altında bulunan eşanjörün primer kısmından geçerek taşıdığı ısı yükünü kalorifer sistemine iletir ve 42 °C sıcaklığında ısı merkezine gönderilir. Kalorifer sistemi suyu da eşanjörün sekonder kısmına 40°C sıcaklığında girip, ısınarak 60 °C sıcaklığında radyatörlere giderek konurların ısıtılması sağlanır.

Afyonkarahisar jeotermal ısıtma sisteminde ısıtılan konutların ücretlendirilmesi kullandığın kadar öde yani kalorimetre sistemi ve ısıtılan mahalın toplam kapalı alanı (m²) sistemleriyle yapılmaktadır. Bu sistemde konutlardaki 1 m² boyutlarındaki alanın ısıtılması için gerekli ısı yükü hesaplanmakta ve konut alanıyla çarpılarak ücretlendirilmesi yapılmaktadır.

Bu ısıtma sisteminde konut yalıtımlarının iyi olması, bina yönü v.b. sebeplerden dolayı konutun fazla ısındığı ve bunun sonucunda kullanıcının enerjisiyi kısmak yerine pencereleri veya balkon kapılarını açtığı gözlenmiştir. Diğer taraftan konut ısı yalıtımının iyi olmadığı durumlarda ise konutun yeterince ısınmaması nedeniyle, binanın ısınması için gerekenden fazla ısı verildiği ve ısıtma sistemdeki pompaların

normalden daha fazla çalıştığı fark edilmiştir. Bu dezavantajları önlemek için kullanıcıların kullandıkları enerjiye göre ücret ödedikleri kalorimetre sistemine geçilmiştir. Kalorimetre sistemi, giriş borusu içinden geçen debi ile giriş - dönüş boruları arasındaki sıcaklık farkını ölçerek, kaybedilen enerjinin hesaplanması metodu ile çalışmaktadır.

Dervişpaşa ve Uydukent ısı merkezleri kalorimetre sistemleriyle ısıtılmaktadır. Bu sayede ısıtma sisteminde enerji verimliliği sağlanmaktadır. Eski bölgelerde ise toplam kapalı alan (m²) sisteminden kalorimetre sistemine geçiş çalışmaları devam etmektedir.

5.3 AFJET-1 ve AFJET-2 Sistemlerinin Karşılaştırılması

Bu bölümde Afyonkarahisar jeotermal ısıtma sisteminin 2010 öncesi (AFJET-1) ve 2010 sonrası (AFJET-2) ekonomik, performans ve çevresel açıdan değerlendirilecektir.

5.3.1 Ekonomik Değerlendirme

Ekonomik değerlendirme AFJET-1 ve AFJET-2 ısıtma sistemlerinin ilk kuruluş aşamasında yapılan yatırım maliyetleriyle, sistemin işletmeye alındıktan sonraki işletme giderleri olmak üzere 2 başlık altında incelenmiştir. Çizelge 5.7’de Afyonkarahisar ısıtma sistemlerinin ekonomik açıdan karşılaştırılması verilmiştir.

a) İlk Yatırım Maliyetleri: Isıtma sistemlerinin ilk yatırım maliyetlerini; kuyu başı sistemi ısı merkezi ve jeotermal akışkan taşıma hatları maliyetleri oluşturmaktadır. AFJET-1 in ilk yatırım tutarının 2015 değeri yaklaşık olarak 5 500 000 TL’dir. Diğer taraftan AFJET-2 sisteminin 2010 ile 2014 yılları arasındaki yatırım tutarı ise 72 000 000 TL’dir.

b) İşletme Giderleri: Isıtma sistemlerinin işletme giderleri; elektrik, tamir-bakım, kimyasal, personel ve genel giderler başlıkları altında toplanmaktadır. AFJET-1 de 5250 KE ısı üretilirken yıllık 2 640 000 TL işletme giderleri oluşmuştur. AFJET-1’e göre AFJET-2 sisteminde 4 kat KE ısı üretilirken işletme giderleri sadece 2 kat artarak 5 800 000 TL olmuştur. AFJET-2 sisteminde kapasitenin 4 kat artmasına karşın işletme

giderlerinin 2 kat artması yeni ısıtma sisteminin işletme gelir ve giderleri açısından eskiye göre %50 verimli olduğunu göstermektedir.

Çizelge 5.7 Afyonkarahisar ısıtma sistemlerinin ekonomik açıdan karşılaştırılması.

KARŞILAŞTIRMA KONUSU	AFJET-1	AFJET-2
Isıl Değer (Kcal/saat)	42 000 000	174 288 000
Abone Sayısı	4516	9826
Konut Eşdeğeri (KE)	5250	21786
Isıtılan Alan (m ²)	525 000	2 178 600
Toplam İlk Yatırım Maliyeti (TL)	2 640 000	5 800 000
Toplam İşletme Gelirleri (TL)	5 280 000	15 000 000
1 KE Başına Toplam Maliyeti (TL)	502,85	266,22

AFJET-1 de işletme giderlerine göre 1 konut eşdeğeri ısının işletme giderlerine göre yıllık maliyeti 502 TL iken bu rakam AFJET-2 de 266,22 TL dir. Ayrıca AFJET-1 de ısıtılan mahallerden yıllık 2 640 000 TL gelir elde edilirken AFJET-2 de elde edilen gelir 15 000 000 TL'dir.

5.3.2. Çevresel Değerlendirme

AFJET-1 de üretilen jeotermal akışkan karıştırma havuzunda toplanır burada separatör yardımıyla jeotermal akışkanını sıvı ve gaz fazları ayrıştırıldıktan sonra 630 m³/saat debi ile Karahisar ısı merkezine pompalar vasıtasıyla gönderilmiştir. Karahisar ısı merkezinde ısınıp bırakan jeotermal akışkan 450 m³/saat debi ile Ömer- Gecek sahasındaki reenjeksiyon kuyularına geri basılmak üzere pompalanmıştır. Ancak dönüş hattındaki jeotermal suyun tamamı reenjeksiyon kuyularına gönderilmeyerek, Akarçay Deresi'ne direkt olarak deşarj edilmiştir. Jeotermal akışkanın doğaya direkt deşarjı jeotermal akışkanın yapısındaki yüksek oranda çözülmüş mineral ve kirleticilerden

dolayı çevreye zararlı etkiler oluşturmuştur. Jeotermal su ile birlikte yeryüzüne çıkan ve çökelen kalsiyum karbonat (CaCO_3) toprakta ve nehir sedimanında kirliliğe neden olur. Ayrıca doğaya deşarj edilen jeotermal sudan kaynaklanan atık ısı nehir sularının ısını artırdığından dolayı su canlıları üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır Doğdu (2001), Doğdu ve Bayarı (2002a), Doğdu ve Bayarı (2002b), Doğdu ve Bayarı (2006) Akarçay havzasında jeotermal kökenli kirlilikleri incelemişlerdir. Araştırmacılara göre; Ömer-Gecek, Gazlıgöl ve Heybeli jeotermal alanlarının bulunduğu Akarçay Havzasında jeotermal sularla ilişkili olarak yeraltı suları, yüzey suları ve dere sedimanlarında kirlilikler oluşmuştur.

AFJET-2 de üretim kuyularından elde edilen debili jeotermal akışkan, toplama havuzundan Ömer-Gecek ısı merkezine pompalanır. Ömer-Gecek ısı merkezinde eşanjörün primer kısmından geçen jeotermal su ısını verdikten sonra tamamı jeotermal havzaya beslemek amacıyla reenjeksiyon kapasitesi $1950 \text{ m}^3/\text{s}$ olan 4 reenjeksiyon kuyusuna pompalanır. Böylece jeotermal havzanın su dengesi, göçük tehlikeleri ve jeotermal akışkanın bünyesindeki kirletici ve ısının çevreye verilmesinin önüne geçilmiş olur.

Jeotermal ısıtma sistemi için gerekli olan jeotermal akışkan üretiminde AFJET-2 de üretim kuyusunda kullanılan frekans invertörü sayesinde dik milli pompa frekansları ve havuz seviyelerinin kontrolü yapılabilmekte bu sayede üretim kuyusundaki pompaların gereksiz yere çalışması ve ihtiyaç fazlası jeotermal akışkan üretiminin önüne geçilerek elektrik ve jeotermal su sarfiyatı azaltılmaktadır. AFJET-1 de ise dış hava sıcaklığına bağlı olmadan kuyulardan jeotermal akışkan üretimi yapılmakta olup ihtiyaç fazlası jeotermal akışkanın havzandan çekilmesine neden olmaktadır. AFJET-1 de jeotermal havzadan çekilen fazla ısı sistemin düşük dönüşüm verimiyle çalıştığını ve çevreye atık ısının AFJET-2 ye göre daha fazla verdiğini göstermektedir. Çevreye verilen atık ısı canlı ekosisteminde ısı artışlarına neden olacağından canlı yaşamını olumsuz etkilemektedir.

Her iki ısıtma sisteminde de üretim kuyularından elde edilen jeotermal akışkan toplama havuzlarında toplandıktan sonra separatör yardımıyla jeotermal akışkanın sıvı ve gaz

fazları ayrıştırılarak sistemin mekanik aksamına ve verimine olumsuz etki eden CO₂, H₂S, NH₃, CH₄, H₂ vb. gazların bacadan atılması sağlanır. Bu gazlar jeotermal akışkanın ağırlıkça % 0.3-5 ini oluşturur ve atmosferde sera gazı etkisi yaparak küresel ısınmaya neden olur.

5.3.3 Performans Değerlendirmesi

AFJET-1 ve AFJET-2 ısıtma sistemlerinin performans açısından karşılaştırılması aşağıda olduğu gibi 5 bölümde incelenmiştir:

5.3.3.1 Jeotermal Akışkan Üretimi

AFJET-1 için gerekli olan jeotermal akışkan Ömer- Gecek jeotermal sahasındaki toplam üretim kapasitesi 806.4 m³/saat, ortalama sıcaklığı 98 °C olan AF11, AF14, AF16, AF18 ve AF21 üretim kuyularından sağlanmaktadır. AFJET-2 için gerekli olan jeotermal akışkan ise yine aynı bölgeden toplam üretim kapasitesi 3765 m³/h ortalama sıcaklığı 105 °C olan 18 adet üretim kuyusundan ısıtma sisteminin ihtiyacı olan ısı yüküne göre sağlanmaktadır.

AFJET-1 jeotermal kuyular artezyen kuyular olmasından dolayı jeotermal akışkan yeryüzüne doğal akışıyla çıkmaktadır. Bu nedenle jeotermal kuyulardan üretilen akışkan yıl boyunca dengeli bir akış olmayabilir. Ayrıca üretim kuyularının artezyen kuyular olmasından dolayı jeotermal akışkanın yeryüzüne çıkışı fişkıma şeklinde olması nedeniyle fişkımanın başladığı yerlerde kalsiyum karbonat kabuklaşması görülür. AFJET-2 Jeotermal üretim kuyularında ise jeotermal akışkan 110 KW kapasiteli dik milli pompalar vasıtasıyla üretilmektedir. Dik milli pompalar jeotermal su toplama havuzundaki seviye durumuna göre frekansını artırıp ya da azaltmak suretiyle çalışmaktadır. Üretim kuyusunda kullanılan frekans invertörü sayesinde dik milli pompa frekansları ve havuz seviyelerinin kontrolü yapılabilmekte bu sayede üretim kuyusundaki pompaların gereksiz yere çalışmasının önüne geçilerek elektrik sarfiyatı azaltılmaktadır.

AFJET-1 de Karahisar ısı merkezine gönderilen 630 m³/saat debili jeotermal akışkanının 450 m³/saat debi ile Ömer- Gecek sahasına reenjeksiyon için gönderilebilirken AFJET-2 de üretin kuyularından çekilen suyun tamamına yakını reenjekte edilebilmektedir.

5.3.3.2 Taşıma Hattı

AFJET-1 de Ömer- Gecek'de bulunan karıştırma havuzundan jeotermal akışkan 450 mm çaplı izole edilmiş olan 14 km uzunluğundaki çelik ana boru hattıyla Afyon şehir merkezindeki Karahisar ısı merkezine gönderilir ve burada ısı düşen jeotermal akışkan izole olmayan epoxy kaplı dönüş hattıyla Ömer-Gecek havzasındaki geri basılır. 14 km lik isale hattı boyunca izolasyon sistemin yeterli olmaması nedeniyle sıcaklık farkları oluşarak çelik boruların boyca çalışmasına neden olmuştur. Borulardaki uzamayı absorbe etmek amacıyla isale hattında kompensatör kullanılmıştır. Fakat kullanılan bu kompensatörlerde genleşme dolayısıyla sık sık arızalar meydana gelmiştir. İsale hattındaki arızaların giderilmesi için hattaki su boşaltılıp kaynak tamiraty yapılp hatta hatta tekrar su verilmiştir. Hattın tamiraty için sık sık suyun boşaltılmasından dolayı çelik borular oksijenle temas etmiş ve borularda korozyon probleminin yaşanmasına neden olunmuştur. AFJET-2 de Gecek ısı merkezinde ısıtılmış olan şartlandırılmış su yaklaşık 16 km mesafede bulunan Uydukent, Karahisar ve Dervişpaşa ısı merkezlerine 600 lük paket izolasyonlu çelik borularda taşınır.

5.3.3.3 Jeotermal Isı Merkezi

AFJET-1 Isı merkezinde ısı kapasitesi 60 000 000 kcal/saat olan plakalı tip ısı değiştirici vardır. AFJET-2 Ömer-Gecek ana ısı merkezi ısı kapasitesi 132 000 000 Kcal/saat plakalı tip eşanjör, şehir merkezinde ise ısı kapasitesi 62 000 000 - 42 000 000 - 56 000 000 Kcal/saat olan 3 ısı merkezi vardır.

5.3.3.4 Şehir İçi Dağıtım Hattı

AFJET-1 ısıtma sisteminde şehir ısıtmasında kullanılacak temiz kapalı çevrim suyu ısı değiştiriciye 46°C sıcaklığında girer, 60 °C sıcaklığına kadar ısınarak bina altındaki ısı

değiştiriciye gönderilir. AFJET-2 de Şehir ısıtmasında kullanılacak temiz kapalı çevrim suyu ısı değiştiriciye 42°C sıcaklığında girer, 75°C sıcaklığına kadar ısınarak, bina altındaki ısı değiştiriciye gönderilir.

5.3.3.5 Konut Isıtma Sistemi

AFJET-1 de Kapalı devre kalorifer suyu bina altındaki ısı değiştiriciye 44°C sıcaklığında girer, ısınır ve 55°C sıcaklığında binada istenilen mekanların ısıtılması için sirkülasyon pompası vasıtasıyla gönderilir. Isıtma sisteminde ısıtılan konutların ücretlendirilmesi ısıtılan mahalin m² si sistemleriyle yapılmaktadır. AFJET-2 de Kalorifer sistemi suyu eşanjörün seconder kısmına 40°C sıcaklığında girer, 60 °C sıcaklığına kadar ısınarak, radyatörlere girer ve böylece konutların ısıtılması sağlanır. Isıtma sisteminde ısıtılan konutların ücretlendirilmesi kullandığın kadar öde yani kalorimetre sistemi ve ısıtılan mahalin toplam kapalı alanı (m²) sistemleriyle yapılmaktadır.

AFJET-1 ve AFJET-2 ısıtma sistemlerinin 5 ana bölümünün fiziki açıdan karşılaştırması Çizelge 5.8 'de verilmiştir. AFJET- 1 de ısıtma sistemi için gerekli jeotermal akışkan 5 adet artezyen kuyudan 98 °C ve 806,4 m³/saat debide sağlanırken AFJET-2 de 18 adet pompaj kuyusundan 105 °C ve 3765 m³/saat debide sağlanmaktadır. AFJET-1 de ana ısı merkezi mevcut değil iken AFJET-2 de 132 000 000 Kcal kapasiteli ana ısı merkezi kullanılmıştır. AFJET-1 de taşıma hattı çalışma sıcaklığı 96/48 °C, Şehir içi dağıtım hattı çalışma sıcaklığı 48/55°C, konut ısıtma sistemi çalışma sıcaklığı 44/55 °C iken AFJET-2 de bu sıcaklıklar 90/75 °C, 42/75 °C, 40/60 °C'dir.

Çizelge 5.8. Afyonkarahisar ısıtma sistemlerinin fiziki açıdan karşılaştırması.

Isıtma Sistemi Bileşeni		AFJET-1	AFJET-2
Jeotermal Üretim ve Reenjeksiyon Kuyuları	Üretim kuyusu sayısı	5	18
	Kuyu tipi	Artezyen	Pompaj
	Üretim kuyuları ortalama sıcaklık	98 °C	105°C
	Üretim kuyuları toplam debi	224 lt/sn 806,4 m ³ /saat	3765 m ³ /saat
	Kuyu içi pompa	Yok	Dik milli pompa 110 KW
	Dozaj grubu	Var	Var
	Reenjeksiyon kuyu sayısı	3	4
	Reenjeksiyon kapasitesi	196 lt/sn 705,6 m ³ /saat	1950 m ³ /saat
	Gözlem kuyusu	4	4
	Jeotermal akışkan toplama havuzu	Var	Var
	Ana ısı merkezi	Yok	Var
	Ana ısı merkezi kapasite	-	132 000 000 Kcal/saat
	Ana ısı merkezi pompa tipi	-	Dik milli pompa
	Çalışma sıcaklığı	-	96/47 °C
	Scada sistemi	Yok	Var
Jeotermal Isı Merkezi	Şehir içi ısı merkezi ve sayısı	1	3
	Şehir içi ısı merkezi toplam ısı kapasite	60 000 000 Kcal/saat	160 000 000 Kcal/saat
	Şehir içi ısı merkezi pompa tipi	Yatay milli pompa	Yatay milli pompa
Taşıma Hattı	Hat uzunluğu	28 km	Turizm hattı 28 km-Şehir ısıtma hattı 32 km
	Çalışma sıcaklığı	96/48 °C	90/75 °C
	Kullanılan boru tipi	Gidiş 450 mm izole çelik boru Dönüş 40 mm izole olmayan çelik boru	600 mm paket izolasyonlu çelik borular
Şehir İçi Dağıtım Hattı	Çalışma sıcaklığı (giriş-çıkış)	48/55°C	42/75 °C
	Kullanılan boru tipi	İzole çelik boru	PPRC ön izolasyonlu paket borular
Konut Isıtma Sistemi	Şartlandırma ünitesi	Var	Var
	Çalışma sıcaklığı (giriş-çıkış)	44/55 °C	40/60 °C
	Kalorimetre	Yok	Var

Çizelge 5.9. AFJET-1 ve AFJET-2 Isı merkezi ve isale hatlarındaki ısı kayıpları.

	AFJET-1 Ömer/Gecek Karahisar Isı Merkezi	AFJET-2 Üretim Kuyuları Ömer/Gecek Isı Merkezi	AFJET- 2 Ömer/ Gecek Şehir İçi Isı Merkezleri
Üretilen Isı (kcal/saat)	61 740 000	156 800 000	78 400 000
Gidiş Hattı Isı Kaybı (kcal/saat)	3 780 000	3 200 000	1 600 000
Dönüş Hattı Isı kaybı (kcal/saat)	2 250 000	3 200 000	1 600 000
Doğaya Deşarj (kcal/saat)	8 640 000	-	-
Reenjeksiyon (kcal/saat)	19 350 000	72 000 000	-
Eşanjör Seconder Kısımına Aktarılan Isı (kcal/saat)	27 720 000	78 400 000	76 800 000

AFJET- 1 ve AFJET-2’de de Isı merkezi ve İsale Hatlarındaki Isı Kayıpları Çizelge 5.9’da gösterilmiştir. AFJET-1’de Ömer- Gecek sahasında 98°C üretilen 630 m³/saat debili jeotermal su 14 km’lik isale hattı vasıtasıyla taşınarak ortalama 6-7 °C sıcaklık kaybıyla Karahisar ısı merkezinin primer kısmına 92 °C’ de girer. Karahisar ısı merkezinin seconder kısmındaki kapalı devre suya ısısını veren jeotermal suyun 48 °C’ de reenjeksiyon için Ömer- Gecek sahasına 450 m³/saat debiyle pompalanırken 180 m³/saat debilik jeotermal su ise direkt olarak deşarj edilir. 14 km lik dönüş hattıyla taşınan dönüş suyu Ömer – Gecek sahasına ortalama 3-4 °C sıcaklık düşüşüyle 45 °C ‘ de ulaşır. Üretim kuyularından 61 740 000 kcal/saat ısıl değere sahip jeotermal su elde edilirken 14 km’lik isale hattında borularda meydana gelen ısı kayıpları nedeniyle gidiş hattında 3 780 000 kcal/saat, dönüş hattında 2 250 000 kcal/saat ve doğaya deşarj olarak 8 640 000 kcal/saat kayıp ısı oluşmaktadır. Karahisar ısı merkezinin seconder kısmına iletilen ısı ise 27 720 000 kcal/saat’ dir.

AFJET-2 de Ömer- Gecek sahasında üretilen 98 °C sıcaklık ve 1600 m³/saat debili jeotermal su Ömer-Gecek ısı merkezinin primer kısmına 96 °C’ de girer. Ömer- Gecek

ısı merkezinin seconder kısmındaki kapalı devre suya ısısını veren jeotermal suyun 45 °C' de reenjeksiyon için 1600 m³/saat debiyle pompalanır. Üretim kuyularından 156 800 000 kcal/saat ısıl değere sahip jeotermal su elde edilirken üretim kuyuları ve ısı merkezi hattı arasında 3 200 000 kcal/saat ısı kaybı meydana gelmektedir. Ömer- Gecek ısı merkezinin seconder kısmına iletilen ısı ise 78 400 000 kcal/saat' dir. Ömer- Gecek ısı merkezi ile şehir merkezindeki ısı merkezleri arasında paket tip izole borularda jeotermal suyun taşınması nedeniyle 16 km lik isale hattında yaklaşık 1 °C sıcaklık düşüşü belirlenmiştir. Ömer- Gecek ısı merkezinin seconder kısmına aktarılan 78 400 000 kcal/saat ısının 1 600 000 kcal/saat ısı kaybına uğradıktan sonra şehir merkezindeki ısı merkezlerine 76 800 000 kcal/saat ısı aktarılır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Afyon jeotermal konut ısıtma sisteminin 2010 öncesi (AFJET-1) ve 2010 sonrası (AFJET-2) durumunun değerlendirildiği bu çalışmada elde edilen sonuç ve öneriler aşağıda verilmiştir:

AFJET-2'de jeotermal ısıtma sistemi için gerekli jeotermal akışkanın üretimi için açılan jeotermal üretim kuyuları sayesinde AFJET-1'e göre daha yüksek sıcaklık ve üretim miktarında (Sıcaklık: maksimum 122 °C; Üretim: 800 ton/saat) jeotermal akışkan üretimi yapılmaktadır.

AFJET-2'de jeotermal üretim kuyularından jeotermal akışkan dik milli pompalar vasıtasıyla sağlandığından dolayı artezyen kuyularda yaşanan yıl boyu dengeli akışkan üretilmemesi ve kuyularda fişkırmının başladığı yerlerde kalsiyum karbonat kabuklaşmasının önüne geçilmiştir. Ayrıca Üretim kuyularında kullanılan frekans invertörü sayesinde dik milli pompa frekansları ve havuz seviyelerinin kontrolü yapılabilmekte bu sayede üretim kuyusundaki pompaların gereksiz yere çalışmasının önüne geçilerek elektrik sarfıyatı azaltılmaktadır.

AFJET-1'de Karahisar ısı merkezine gönderilen 630 ton/saat debili jeotermal akışkanının 450 ton/saat debi ile Ömer-Gecek sahasına reenjeksiyon için gönderilebilirken AFJET-2 de üretim kuyularından çekilen suyun tamamına yakını (850 ton/saat) reenjekte edilerek jeotermal havzanın korunması ve atık jeotermal suyun çevresel etkilerini en aza indirilmesi sağlanmıştır.

AFJET-2'de Ömer-Gecek sahasında üretilen jeotermal akışkan aynı bölgedeki ısı merkezinde isale hattındaki kapalı sistem suya ısını vererek reenjekte edilmektedir. Bu sayede jeotermal akışkanın 16 km mesafedeki şehir merkezine iletilmesi esnasında sıcaklık düşüşleri ve jeotermal akışkanın bünyesindeki minerallerden dolayı oluşacak kabuklaşmanın yol açacağı sistem arızalarının önüne geçilmiştir.

AFJET-1’de kullanılan tek ısı merkez ile tek bir bölgenin ısıtması yapılabilirken AFJET-2’de 3 şehir içi ısı merkezi kullanılarak şehrin farklı mahallerinde konut ısıtması yapılabilmektedir.

AFJET-1’de 5250 KE ısı üretilirken yıllık 2 640 000 TL işletme giderleri oluşmuştur. AFJET-1’e göre AFJET-2 sisteminde 4 kat KE ısı üretilirken işletme giderleri sadece 2 kat artarak 5 800 000 TL olmuştur. AFJET-2 sisteminde kapasitenin 4 kat artmasına karşın işletme giderlerinin 2 kat artması yeni ısıtma sisteminin işletme gelir ve giderleri açısından eskiye göre %50 verimli olduğu belirlenmiştir.

AFJET-2’de ısıtılan konutlarının m² üzerinden ücretlendirilmesi yerine kalorimetre yani kullandığın kadar öde sistemi yaygınlaştırılmalıdır. Bu sayede jeotermal enerjinin kontrollü sağlanarak ısıtma sisteminin mevcut ısı kapasitesiyle daha fazla konutun ısıtılması sağlanacaktır.

Jeotermal enerjinin seralar, balık çiftlikleri, kurutma tesisleri, endüstriyel uygulamalar ve elektrik üretimi gibi kullanım alanlarında da değerlendirilmesi teşvik edilmelidir. Afyonkarahisar bölgesel ısıtma sisteminin entegre sistem modelleri kurularak enerji ve ekserji verimlerinin yüksek olduğu modeller ele alınmalıdır.

Ömer- Gecek sahasıyla ilgili olarak ısıtma sisteminin gelecek planlamasının yapılabilmesi için jeotermal sahada sürdürülebilir ve yenilenebilir rezervuar potansiyeli tespit edilmelidir.

7. KAYNAKLAR

- Açıkkalp, E. (2008). Eskişehir’de Jeotermal Enerjinin Konut Isıtmasında Kullanılabilirliği. Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Aksoy, N. (2002). Jeotermal sahalarda kabuklaşma ve çözüm yöntemleri, Jeotermal Enerji Seminer Kitabı, M.M.O., 1-2.
- Altaş, S. (2010). Kızılcahamam Jeotermal Merkez Isıtma Sistemi ile Klasik Merkezi Isıtma Sisteminin Karşılaştırması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Anonim, (1996). Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Endüstriyel Hammaddeleri Alt Komisyonu Jeotermal Enerji Çalışma Grubu, DTP.2441-Ö3K497, Ankara.
- Anonim, (2001). Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Enerji Hammaddeleri Alt Komisyonu Jeotermal Enerji Çalışma Grubu, DTP.2609 Ö3K620, Ankara.
- Aslan, A. ve Çanakçı, C. (2005). Gönen jeotermal bölge ısıtma sistemi rehabilitasyon projesi”, Teskon 2005 jeotermal enerji semineri, 395-411, İzmir.
- Arslan, E. (2006). Jeotermal Enerjiden Yararlanılarak Kuyu İçi Eşanjörü Yardımıyla Konut Isıtılması ve Sıcak Su İhtiyacının Karşıllanması”, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Arslan, O., Ozgur, M.A., Kose, R. and Tugcu, A. (2009) "Exergoeconomic evaluation on the optimum heating circuit system of Simav geothermal district heating system", *Energy and Buildings*, **41**: 1325-1333.
- Basel, E.D.K., Serpen, U. and Satman, A., (2009). Assesment of Turkey GeothermalResources. 34th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Standford, California.
- Bilal, O.Y. (2004). Analysis of Geothermal Circuit of Balcova-Narlıdere Geothermal District Heating System, A Thesis Submitted to the Graduate School of Engineering and Sciences of İzmir Institute of Technology in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Energy Engineering Program, İzmir.

- Dağıstan, H. (2008). Yenilenebilir enerji ve jeotermal kaynaklarımız. Termal ve Maden Suları Konferansı Bildiriler Kitabı, 11-23, Afyonkarahisar.
- Dağıstan, H. (2013). Türkiye jeotermal kaynak aramaları, kullanımı ve sürdürülebilirliğinin sağlanması. MTA Doğal Kaynaklar Ve Ekonomi Bülteni, 15, 1-9, Ankara.
- Dickson, M.H. and Fanelli, M. (2004). What is Geothermal Energy.
- Doğdu, M.Ş. (2001). Akarçay (Afyon) Havzası'nda Jeotermal Kökenli Yüzeysuyu ve Yeraltı Suyu Kirliliğinin Araştırılması. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Doğdu, M.Ş. ve Bayarı, C.S. (2002a). Akarçay Havzası'nda (Afyon) Jeotermal Kökenli Kirlenme: 1.Akarçay Nehri'nde Su ve Sediman Kirliliği, Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, Cilt No. 25, Sayfa. 21-33. Ankara.
- Doğdu, M.Ş. (2006). Akarçay (Afyon) Nehri Yatak Sedimanlarında Jeotermal Kökenli Kirlilik, 59.Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildirileri, Sözlü Bildiri, Ankara.
- Erden, O. (2002). Türkiye'de Jeotermal Merkezi Isıtma Sistemi ile Klasik Merkezi Isıtma Sistemi Teknolojilerinin Teknik ve Ekonomik Yönden Karşılaştırılması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Erdoğan, E., Yıldız, A., Candansayar, M.E., Bağcı, M., Başaran, C., Ulutürk, Y., Türker, E., ve Çonkar, F., (2011). Ömer-Gecek Havzasının (Afyonkarahisar) Jeotermal Yapısının Manyetotellürik ve Doğru Akım Özdirenç Yöntemleri ile Belirlenmesi. 64. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitabı, s.105-106, Ankara.
- Erguvanlı, K. ve Yüzer, E. (1987). Maden Suları ve Kaplıcalar. Yeraltı Suları Jeolojisi, İTÜ Yayınları, No: 23, 268-299, İstanbul.
- Erol, S. (2008). Afyonkarahisar Jeotermal Isıtma Sisteminde Oluşan Kabuklaşma ve Korozyon Problemlerinin Tespiti ve Çözüm Önerileri, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim dalı. Afyonkarahisar.
- Gökçen, G., Koçar, G. Hepbaşlı, A., (2003). Year-end geothermal development status of Turkey,2002 , International geothermal conference, Reykjavik, Sept.

- Göksel, A. (2012). Akyazı'daki Jeotermal Enerjiden Yararlanma ve Ekonomiklik Etüdü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Gupta, H. and Roy, S. (2007). Geothermal energy: An alternative source for the 21st century. Elsevier Publ. Netherlands, 293p.
- Gülgör, A. (2000). Jeotermal sondaj ve kuyu tamamlama uygulamaları, Yerel Yönetimlerde Jeotermal Enerji Ve Jeoteknik Uygulamalar Sempozyumu, 92-93, Ankara.
- 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, 119-127, İzmir.
- Hepbasli, A. and Canakci, C. (2003). Geothermal district heating applications in Turkey: a case study of İzmir-Balcova, *Energy Conversion and Management*, **44**: 1285–1301.
- Jeotermal, (2007). 5686 Sayılı Jeotermal Kaynaklar Ve Doğal Mineralli Sular Kanunu Uygulama Yönetmeliği. 13s.
- Kalıncı, Y. (2006). Dikili' de Jeotermal Bölgesel Isıtma Sisteminin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Karadağlar, M. (2013). MTA Genel Müdürlüğü 2012 Yılı Jeotermal Enerji Arama Çalışmaları. MTA Doğal Kaynaklar Ve Ekonomi Bülteni, 15, 11-19. Ankara.
- Keçebas, A., Kayfeci, M. and Gedik, E. (2011). Performance investigation of the Afyon geothermal district heating system for building applications: Exergy analysis, *Applied Thermal Engineering*, **31**: 1229-1237.
- Keçebas, A., (2011) Performance and thermo-economic assessments of geothermal district heating system: A case study in Afyon, Turkey, *Renewable Energy*, **36**: 77-83.
- Kılıç, F.Ç. ve Kılıç M.K., (2013). Jeotermal enerji ve Türkiye. *Mühendis ve Makina*, **54**: 45-56.
- Koçak, A. (1997). Kozanlı (Nevşehir) Jeotermal Alanının Su Kimyası ve Rezervuar Sıcaklığının incelenmesi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- Koçak, A. (2009). Jeotermal sistemler ve detay jeotermal etüt çalışmaları. T.M.M.O.B. Jeoloji Müh. Odası Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Eğitim Semineri, 71, Ankara.
- Köse, R. (2007). Geothermal energy potential for power generation in Turkey: a case study in Simav, Kutahya, *Renewable&Sustainable Energy Reviews*, **11**: 497-511.
- Küçükçalı, R. (1997).Kalorifer tesisatı, Isısan Çalışmaları,45-50, Ankara.
- Lund, W.J. and Freeston, H.D. (2000). World-wide direct uses of geothermal energy, *Geothermic*, **30**: 29-68.
- Mertoğlu, O. vd., (1999). “Türkiye’de jeotermal enerji uygulamalarının ekonomisi ve Jeotermal teknolojilerindeki gelişmeler”, Sürdürülebilir Enerji Teknolojilerindeki Gelişmeler Ve Türkiye’deki Uygulamaları Konferansı, M.M.O., 215.
- Mertoglu, O., Canlan, A., Bakır, N., Dokuz, İ., Kaya, T., (2000).“Geothermal direct use applications in Turkey: technology and economics”, Proceedings world geothermal congress 2000, Kyushu-Tohoku, Japan.
- Mertoğlu, O., (2000). Türkiye’de jeotermal enerji uygulamaları ve gelişimi, Yerel Yönetimlerde Jeotermal Enerji Ve Jeoteknik Uygulamalar Sempozyumu,71-71. Ankara.
- Mertoğlu, O., Bakır, N., Kaya, T.,(2006). Geothermal application experiences in Turkey, Geothermal Conference, Szeged.
- Mertoglu, O., Simsek, S. and Basarir, N., (2015). Geothermal Country Update Report of Turkey (2010-2015), Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia.
- Mollahüseyinoğlu, Ö. (2006). Balıkesir Gönen ve Kütahya Simav Jeotermal Isıtma Sistemlerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Okul, A. (2001). Jeotermal Merkezi Isıtma Sistemleri, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Onat, A., Onar, İ.F., Mollahüseyinoğlu, Ö. ve Aslan, A., (2005). “Gönen jeotermal ısıtma sisteminde karşılaşılan sorunlar ve çözüm önerileri”, Yeni ve

- yenilenebilir enerji kaynakları enerji yönetimi sempozyumu, 249-255, Kayseri.
- Özbek, T. ve Mertoğlu, O. (1995). Türkiye’de her yönüyle jeotermal enerji mevcut uygulamalar ve projeksiyonlar, Ulusal Isı Bilim ve Tekniği Kongresi, 58-59, Ankara.
- Özmen, H.M. (2010). A Case Study on the Balçova Narlıdere Geothermal District Heating System, Dokuz Eylül University Graduate School of Natural and Applied Sciences, in Mechanical Engineering, Energy Program, İzmir.
- Özgener, L., Hepbaslı, A. and Dinçer, İ. (2005). “Energy and exergy analysis of the Gonen geothermal district heating system, Turkey”, *Geometrics*, **34**: 632-645.
- Özgener, L., Hepbaslı, A., and Dincer, İ. (2005). Energy and exergy analysis of Salihli geothermal district heating system in Manisa, Turkey, *international journal of energy research Int. J. Energy Res.*, **29**: 393–408.
- Özgener, L., Hepbaslı, A. and Dincer, I. (2007). "A key review on performance improvement aspects of geothermal district heating systems and applications", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **11**: 1675-1697.
- Gordon R. B., (2003). Geothermal Space Heating”, *Geometrics*, **32**: 513-526.
- Satman, A. (2001). Tekrar-basma (Reenjeksiyon), Jeotermal Enerji Seminer Kitabı, MMO, 207-229.
- Satman, A.,(2005). Jeotermal enerjinin doğası, Teskon jeotermal enerji semineri, 3-18, İzmir.
- Satman, A. (2007). Türkiye’nin jeotermal enerji potansiyeli. Jeotermal Enerji Semineri, 157-172, Ankara.
- Serpen, U. and Aksoy, N. (2004). Reinjection experience in Gonen field of Turkey, Proceedings, Twenty-Ninth workshop on geothermal reservoir engineering Stanford University, Stanford, California, SGP-TR-175.
- Serpen, Ü., Aksoy, N. and Öngür, N. (2010). 2010 present status of geothermal energy in Turkey. Proceedings, Thirty Fifth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, 7p, USA.
- Şahan, A.M. (2003). Jeotermal doğrudan ısıtma sistemlerinde plakalı ısı değiştirgeçleri, Jeotermal Enerji Seminer Kitabı, MMO, 187-200.
- Şahinci, A. (1991). Jeotermal Sistemler ve Jeokimyasal Özellikleri, 250s, İzmir.

- Şamilgil, E. (1973). Maden Tetkik Arama Enstitüsü, Jeotermal enerjinin aranması ve işletilmesi, Ankara.
- Şimşek, Ş. (2007). Dünya’da ve Türkiye’de jeotermal gelişmeler. Ülkemizdeki Doğal Kaynakların Enerji Üretimindeki Önemi ve Geleceği Sempozyumu, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası İzmir Şubesi DESEM,
- TJD, (2013). Geothermal Energy Development Report, Turkish Geothermal Association (TJD), Ankara.
- Ulutürk, Y. (2009). Ömer-Gecek (Afyonkarahisar) Dolayının Jeolojisi ve Suların Kökensel Yorumu. Doktora Tezi, Süleyman Demirel University, Isparta.
- Yetemen, O. and Yalcın, T. (2009). Climatic parameters and evaluation of energy consumption of the Afyon geothermal district heating system, Afyon Turkey , *Renewable Energy*, **34**: 706-710.
- Yıldız, A., Candansayar, M.E., Bağcı, M., Türker, E., Ulutürk, Y., Gökgöz, A., Erdoğan, E., Başaran, C., ve Çonkar, F.E. (2011a). Afyonkarahisar ilinin termal potansiyelinin araştırılması. AKÜ BAPK Projesi, 146s, Afyonkarahisar.
- Yıldız, A., Başaran, C., Bağcı, M., Ulutürk, Y. (2014). Afyonkarahisar ilinin Türkiye jeotermal enerji potansiyelindeki konumu üzerine güncel veriler. XIth Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, 07-09 Mayıs 2014, 73-80, Afyonkarahisar.
- Yıldız, A. (2015). Jeotermal enerji kaynakları. A.K.Ü. Yenilenebilir Enerji Kış Okulu, Afyonkarahisar.
- Yılmaz, S. (2009). Batı Anadolu’nun Olası Jeotermal Potansiyelinin Belirlenmesi, Türkiye 11. Enerji Kongresi, Tepekule Kongre Merkezi, İzmir.
- Özkaya, M.G., Variyenli, H.İ., ve Yonar, G. (2008). Jeotermal Enerji İle Isıtılan Kütahya İli Simav İlçesindeki Isıtma Sisteminin Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi ve Uygulanması Gereken Yenilikler. C.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi, Fen Bilimleri Dergisi (2008) Cilt 29 Sayı 2.

İnternet Kaynakları

- 1-<http://www.centreforenergy.com/AboutEnergy/Geothermal/History.asp> 06.05.2015.
- 2-<http://www.top-alternative-energy-sources.com/history-of-geothermal-energy.html> 06.05.2015.

3- <http://www.jeotermaldernegi.org.tr/> 01.06 2015.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Serhat DÜZAĞAÇ
Doğum Yeri ve Tarihi : İZMİT, 29.12.1979
Yabancı Dili : İNGİLİZCE
İletişim (Telefon/e-posta) : 5306063479 / serhatduzagac@hotmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Afyon Lisesi 1997

Lisans : Selçuk Üniversitesi Mimarlık Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı 2003

Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Çalıştığı Kurum ve Yıl : Afyonkarahisar Belediyesi (2005 – devam ediyor)