

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**BALIKESİR İLİ JEOTERMAL ISITMA SİSTEMLERİNİN
ENERJETİK VE EKSERJETİK ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Can COŞKUN

Balıkesir, Temmuz - 2007

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

BALIKESİR İLİ JEOTERMAL ISITMA SİSTEMLERİNİN
ENERJETİK VE EKSERJETİK ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Can COŞKUN

I. Tez Danışmanı: Doç. Dr. Zuhal OKTAY

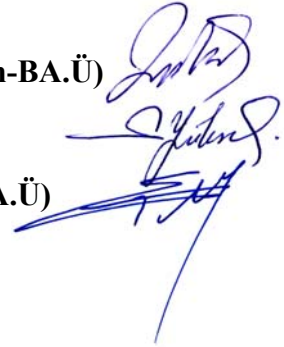
II. Tez Danışmanı: Prof. Dr. İbrahim DİNÇER

Sınav Tarihi : 08.08.2007

Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Zuhal OKTAY (Danışman-BA.Ü)

Prof. Dr. Bedri YÜKSEL (BA.Ü)

Yrd. Doç. Dr. E. Abdullah TUFAN (BA.Ü)



Balıkesir, Temmuz - 2007

ÖZET

BALIKESİR İLİ JEOTERMAL ISITMA SİSTEMLERİNİN ENERJETİK VE EKSERJETİK ANALİZİ

Can COŞKUN

Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

I. Tez Danışmanı: Doç. Dr. Zuhal OKTAY

II. Tez Danışmanı: Prof. Dr. İbrahim DİNÇER

Balıkesir, 2007

Son yıllarda jeotermal enerji kaynaklarının merkezi ısıtma uygulamalarında kullanımı üzerine ilgi artmaktadır. Bu çalışmada, Balıkesir ilinde bulunan Edremit ve Bigadiç merkezi ısıtma sistemlerinin performans değerlendirmesi oluşturulmaya çalışılmıştır. Alınan termal veriler doğrultusunda sistemin tüm elemanlarının ve genel olarak sistemin enerji ve ekserji analizleri yapıldı. Bu analizlere boru iletim hattı ve sistemin diğer elemanları da katılarak değerlendirme yapıldı. Verilerin alındığı gün için enerji ve ekserji verimleri bulunarak karşılaştırmalar yapıldı. Farklı referans sıcaklıklarında sistemde neler olduğunun daha iyi anlaşılabilmesi için enerji ve ekserji akış grafikleri çizildi.

Bunlara ek olarak çalışmada, kapsamlı bir şekilde Bigadiç ve Edremit için enerji ve ekserji açısından yıllık performans analizi oluşturuldu. Enerji ve ekserji akışının referans sıcaklığının değişimiyle nasıl değiştiği de bu çalışmada verilmiştir. Ayrıca ortalama dış sıcaklığa bağlı olarak günlük ve aylık enerji talebi belirlendi. Belirlenen sistem işletme sıcaklık değerlerinde bu enerji ihtiyacını karşılayacak jeotermal akışkan ve network su debileri yıllık periyotta belirlendi. Değişen referans sıcaklığa bağlı olarak enerji ve ekserji verimlerinin nasıl değiştiğini gösteren grafikler oluşturuldu. Tüm sistem elemanları için farklı referans sıcaklıklarına ait ekserji yıkımı / kaybı oranları belirlendi.

Bu çalışmada, jeotermal sistemler için dört yeni parametre de ortaya konmuştur. Bu parametreler sırasıyla; enerjetik yenilenebilirlik oranı, ekserjetik yenilenebilirlik oranı, enerjetik reenjeksiyon oranı ve ekserjetik reenjeksiyon oranı olarak ortaya konabilir. Bu kavramlar daha sonra Edremit ve Bigadiç jeotermal merkezi ısıtma sistemi için uygulandı.

Tez çalışmasının ilk bölümünde, genel bir giriş yapılarak çalışmanın amacı ve kapsamı hakkında bilgi verilmiştir.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde, literatür’den bu konuda yapılmış çalışmalar ifade edilmiştir.

Tez çalışmasının üçüncü bölümünde, Dünya ve Türkiye genel jeotermal enerji statüsü ifade edilmiştir. Ayrıca bu başlık altında jeotermal enerji sistemlerine de değinilmiştir.

Tez çalışmasının dördüncü bölümünde üzerinde çalışılan jeotermal merkezi ısıtma sistemlerin modellenmesi ve sistemin genel tanımlanması yapılmıştır.

Tezin ana çatısının oluşturulduğu son bölümünde ise Bigadiç ve Edremit jeotermal merkezi ısıtma sisleri için enerji ve ekserji analizi sonuçları verilmiş ve sistemlerin yıllık enerji ve ekserji performans analizi üzerinde kapsamlı bir çalışmada bu bölümde ifade edilmiştir. Ayrıca bu bölümde sonuçlar hakkında genel yorumlar da verilmiştir. Türkiye’deki diğer jeotermal merkezi ısıtma sistemlerle de karşılaştırmalar bu kısımda verilmiştir.

Bu çalışmanın ve sonucunda ulaşılan değerlerin araştırma ve mühendislik alanında katkı sağlayabileceği umulmaktadır.

ANAHTAR SÖZCÜKLER: Enerji ve ekserji analizi, jeotermal enerji, jeotermal merkezi ısıtma sistemleri.

ABSTRACT

ENERGETIC AND EXERGETIC ANALYSES OF THE BALIKESIR GEOTHERMAL DISTRICT HEATING SYSTEMS

Can COSKUN

**Balikesir University, Institute of Science, Department of Mechanical
Engineering**

(M.Sc. Thesis / Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Zuhul OKTAY)

Balikesir-Turkey, 2007

During the past decade there has been an increasing interest in using geothermal energy resources for district heating applications. In this study, comprehensive energy and exergy analyses are conducted for performance evaluation of the Bigadic and Edremit Geothermal District Heating Systems (GDHSs) in Balikesir, Turkey. The actual thermal data taken from the Technical Department of the GDHSs are utilized in the analysis to determine the exergy destructions in each component of the system, and the overall energy and exergy efficiencies of the system. In the analyses the pipeline and the system components (e.g., heat exchangers, pumps) are included. Energy and exergy efficiencies are determined and compared for various cases, and the total irreversibilities are investigated for performance improvement purposes since their reductions will make the system and its components more efficient. Energy and exergy flow diagrams are drawn for better illustration of what is going on in the system at different reference temperatures.

In addition, in this study a comprehensive annually performance analysis of the Bigadic and Edremit Geothermal District Heating Systems (GDHS) in Balikesir, Turkey is performed through thermodynamic assessment in terms of energy and exergy efficiencies. A parametric study is also conducted to show how energy and exergy flows change with the reference environment temperature. Both daily and monthly energy requirements are calculated according to average temperatures. Then it is found that both geothermal mass flow rates and fresh water mass flow rates are needed to be adjusted according to system design temperatures for annually period. Energy and exergy efficiency diagrams are drawn for better illustration of how to change both energy and exergy efficiency by changing the ambient temperature. Farther more, change of exergy loss/destruction for each part was determined for different ambient temperatures.

In this study, four new parameters, namely energetic renewability ratio, exergetic renewability ratio, energetic reinjection ratio, and exergetic reinjection ratio for the geothermal systems are introduced and applied to the Edremit and Bigadic

systems. The results are expected to be helpful to researchers and engineers in the area.

The first part of the thesis, after giving the general introduction, gives information about the scope and objectives of the thesis. The second part is a review of previous literature studies. The third part discusses world's and Turkey's general energy status, particularly about the geothermal energy systems. The fourth part is about the modeling of the geothermal district heating systems and descriptions of the studied geothermal district heating systems. The last section gives information about the modeling of the Bigadic and Edremit geothermal district heating systems, energy and exergy analyses of the systems as well as annual energy and exergy performance analyses, and discusses the results. Then the studied systems are compared to other geothermal district heating systems in Turkey for their performance comparisons.

KEY WORDS: Energy and Exergy analysis, geothermal energy, geothermal district heating systems.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	II
ABSTRACT	IV
İÇİNDEKİLER	VI
SEMBOL LİSTESİ	VIII
ŞEKİL LİSTESİ	IX
ÇİZELGE LİSTESİ	XII
ÖNSÖZ	XIII
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
3. DÜNYA ve TÜRKİYE ENERJİ STATÜSÜ	18
3.1 Jeotermal Enerjinin Dünya Enerji Kaynakları Arasındaki Durumu	18
3.2 Jeotermal Enerjinin Türkiye'deki Enerji Kaynakları Arasındaki Durumu	19
3.3 Türkiye'deki Jeotermal Kaynaklar	24
3.4 Türkiye deki Jeotermal Uygulamalar	26
3.5 Jeotermal Kaynakların Sınıflandırılması	27
3.6 Jeotermal Kullanımın Sınıflandırılması	28
3.7 2005 Yılı İtibariyle Jeotermal Kullanımı	29
3.8 Jeotermal Enerjini Kullanımını Etkileyen Faktörler	30
3.9 Direkt Kullanım	32
3.9.1 Jeotermal Kaynakların Direkt Kullanımı	33
3.10 Jeotermal Enerji Sistemleri	35
3.10.1 Jeotermal Merkezi Isıtma Sistemleri	35
3.10.1.1 Jeotermal Akışkanın İndirek Kullanılmadığı Sistemler	35
3.10.1.2 Jeotermal Akışkanın Direkt Kullanıldığı Sistemler	35
4. EDREMİT VE BİGADIÇ JEOTERMAL MERKEZİ ISITMA SİSTEMLERİNİN TANIMLANMASI VE MODELLENMESİ	37
4.1. Bigadiç Jeotermal Merkezi Isıtma Sisteminin Tanımlanması	37
4.2 Edremit Jeotermal Merkezi Isıtma Sistemi Genel Tanımlanması	44
4.3 Sistemlerin Modellenmesi	51
4.4 Sistemlerdeki Debilerin Belirlenmesi	55
4.5 Yıllık Enerji İhtiyacı Hesabı	57

5.	BULGULAR	59
5.1	Bigadiç Merkezi Isıtma Sistemini Enerji ve Ekserji Analizi	59
5.1.1	Bigadiç Yıllık Performans Analizi	63
5.2	Edremit Merkezi Isıtma Sistemini Enerji ve Ekserji Analizi	73
	Bulguları	
5.2.1	Edremit Yıllık Performans Analizi	78
6.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER	92
6.1	Edremit Merkezi Isıtma Sistemi İçin Sonuçlar	92
6.2	Bigadiç Merkezi Isıtma Sistemi İçin Sonuçlar	94
6.3	Genel Sonuçlar ve Karşılaştırmalar	97
7.	KAYNAKLAR	98

SEMBOL LİSTESİ

<u>Simge</u>	<u>Adı</u>	<u>Birim</u>
P	Basınç	kPa
T	Sıcaklık	⁰ C veya K
H	Entalpi	kJ/kg
S	Entropi	kJ/kgK
<i>E</i>	Enerji	kJ
\dot{E}	Enerji Oranı	kW
<i>E_x</i>	Ekserji	kJ
\dot{E}_x	Ekserji Oranı	kW
IP	İyileştirilebilirlik Potansiyeli	kW
\dot{m}	Akışkan Debisi	kg/s
W	İş	kW
SE _{XI}	Spesifik Ekserji İndeksi	(-)
η	Enerji veya İlk Yasa Verimliliği	%
ε	Ekserji veya İkinci Yasa Verimliliği	%
Ψ	Ekserji Akışı	kJ/ kg
C_f	Özgül Isı Kapasitesi	kJ/ kg K
Rein _E	Enerjetik Reenjeksiyon Oranı	(-)
Rein _{Ex}	Ekserjetik Reenjeksiyon Oranı	(-)
Ren _E	Enerjetik Yenilenebilirlik Oranı	(-)
Ren _{Ex}	Ekserjetik Yenilenebilirlik Oranı	(-)
EŞ	Eşanjör	
gir.	Giren	
çik.	Çıkan	
ja	Jeotermal Akışkan	
yar.	Yararlı	
sis.	Sistem	
0	Referans Çevre	
kyp.	Kayıp	
sgk.	Soğuk	
sck.	Sıcak	
ds	Dışarı Salınım	
geo	Jeotermal	
kul.	Kullanılan	

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil Numarası	Adı	Sayfa
Şekil 3.1	2005–2025 Perspektifinde Kömür ve Petrol+Doğal Gazın Yıllık Toplam Kullanım İçindeki Oransal Dağılımı	21
Şekil 3.2	2005–2025 Perspektifinde Petrol ve Kömür Dışındaki Diğer Enerji Kaynaklarının Yıllık Toplam Kullanım İçindeki Oransal Dağılımı	22
Şekil 3.3	Türkiye’de Kaydedilmiş Olan Jeotermal Akışkan Sıcaklıkları	26
Şekil 3.4	Yıllık Jeotermal Akışkan Direk Kullanımdaki Enerji Dağılımı Grafiği (2005)	34
Şekil 3.5	Yıllık Jeotermal Akışkan Direk Kullanımdaki Kurulu Kapasite Dağılımı (2005)	34
Şekil 3.6	Jeotermal Su Kullanımıyla Isıtma Yapan Sistemlere Örnekler	36
Şekil 4.1	Bigadiç JMIS Yerinin Gösterimi	38
Şekil 4.2	Verilerin Alındığı Dönem İçin Bigadic JMIS Akış Şematiği.	41
Şekil 4.3	Bigadiç JMIS Mayıs 2007 İtibariyle Akış Şematiği	42
Şekil 4.4	Bigadiç JMIS’ın Isı Merkezindeki Sirkülasyon Pompaları	43
Şekil 4.5	Bigadiç JMIS’ın Isı Merkezindeki Eşanjörler	43
Şekil 4.6	Edremit JMIS Yerinin Gösterimi	45
Şekil 4.7	Edremit JMIS Akış Diyagramı	47
Şekil 4.8	Edremit JMIS’de Kuyu Başı Pompalarından Bir Görünüm	49
Şekil 4.9	Edremit JMIS’de Bina Altı Eşanjörlerinden Bir Görünüm	50
Şekil 4.10	Edremit İline Ait Yıllık Sıcaklık Verileri Grafiği	51
Şekil 4.11	Değişken Devirli Pompa ve Sistem Karakteristiği	56
Şekil 4.12	Değişken Devirli Pompa İçin Çeşitli Veriler.	56
Şekil 5.1	Bigadiç JMIS Aralık-2006 Enerji Akış Diyagramı	62
Şekil 5.2	Bigadiç JMIS Aralık-2006 Ekserji Akış Diyagramı	61
Şekil 5.3	Uygulamanın Yapıldığı İki Farklı Gün İçin Enerji ve Ekserji Değerleri	62
Şekil 5.4	Bigadiç JMIS Tasarım Sıcaklıkları	64
Şekil 5.5.	Aylık Enerji ve Ekserji Verimliliği Grafiği	66
Şekil 5.6.	Aylık Debi İhtiyacı Grafiği	66
Şekil 5.7.	Aylık Bazda Reenjeksiyon Enerji Oranı Grafiği	67
Şekil 5.8.	Aylık Bazda Yenilenebilir Ekserji Oranı Grafiği	67
Şekil 5.9.	Aylık Bazda Reenjeksiyon Ekserji Oranı Grafiği	68

Şekil 5.10	Aylık Bazda Yenilenebilir Enerji Oranı Grafiği	68
Şekil 5.11	Ev sisteminin Aylık Enerji İhtiyacı ve Jeotermal Kaynaktan Gelmesi Gereken Aylık Enerji Gösterimi Grafiği	69
Şekil 5.12	Aylık Enerji Talebi Grafiği	69
Şekil 5.13	Aylık Enerji ve Ekserji İhtiyacı Grafiği	70
Şekil 5.14	Aylık Kuyu Başı Ekserji / Enerji Oranı Grafiği	70
Şekil 5.15	Isıtma Sezonundaki Aylık Ortalama Gerçek Sıcaklıklar İçin Ekserji Verimi	71
Şekil 5.16	Isıtma Sezonundaki Aylık Ortalama Gerçek Sıcaklıklar İçin Reenjeksiyon Ekserji Kayıplarının Giren Kaynak Ekserjiye Oranı	71
Şekil 5.17	Isıtma Sezonundaki Aylık Ortalama Gerçek Sıcaklıklar İçin Pompa Ekserji Kayıplarının Giren Kaynak Ekserjiye Oranı	72
Şekil 5.18	Isıtma Sezonundaki Aylık Ortalama Gerçek Sıcaklıklar İçin Yenilenebilir Ekserjetiklik Oranı Grafiği	72
Şekil 5.19	Isıtma Sezonundaki Aylık Ortalama Gerçek Sıcaklıklar İçin Reenjeksiyon Ekserjetiklik Oranı Grafiği	73
Şekil 5.20	Edremit JMIS Enerji Akış Diyagramı.	76
Şekil 5.21	Edremit JMIS Ekserji Akış Diyagramı	77
Şekil 5.22	Edremit JMIS İçin Ekserji Dağılımının Enerji Grafiği İçindeki Gösterimi	77
Şekil 5.23	Edremit JMIS Tasarım Sıcaklıkları	79
Şekil 5.24	Edremit JMIS'nin Yıllık Enerji ve Ekserji Verim Diyagramı	82
Şekil 5.25	Edremit JMIS İçin Reenjeksiyon Enerjetiklik Oranı	82
Şekil 5.26	Edremit JMIS İçin Ekserjetik Reenjeksiyon Oranı	83
Şekil 5.27	Edremit JMIS İçin Yenilenebilir Ekserjetiklik Oranı	83
Şekil 5.28	Edremit JMIS İçin Yenilenebilir Enerjetiklik Oranı	84
Şekil 5.29	Edremit JMIS İçin Aylık Enerji İhtiyacı	84
Şekil 5.30	Edremit JMIS İçin Kaynak ve Kullanıcılar İçin Gerekli Olan Enerji İhtiyacı	85
Şekil 5.31	Edremit JMIS Isıtma Sezonu İçin Akışkan Debisi	85
Şekil 5.32	Jeotermal Kuyu Başı Ekserji / Enerji Oranı	86
Şekil 5.33	Edremit JMIS Isıtma Dönemi Enerji ve Ekserji Talebi	86
Şekil 5.34	Edremit JMIS Isıtma Dönemi Ekserji Kayıpları	87
Şekil 5.35	Isıtma Sezonundaki Günlük Ortalama Gerçek Sıcaklıklar İçin Ekserji Verimi Değişimi	87
Şekil 5.36	Isıtma Sezonundaki Günlük Ortalama Gerçek Sıcaklıklar İçin Reenjeksiyon Ekserji Kayıplarının Giren Kaynak Ekserji' ye Oran	88
Şekil 5.37	Isıtma Sezonundaki Günlük Ortalama Gerçek Sıcaklıklar İçin Boru Ekserji Kayıplarının Giren Kaynak Ekserji' ye Oranı	88
Şekil 5.38	Isıtma Sezonundaki Günlük Ortalama Gerçek Sıcaklıklar İçin Yenilenebilir Enerjetiklik Oranını Değişimi	89
Şekil 5.39	Isıtma Sezonundaki Günlük Ortalama Gerçek Sıcaklıklar İçin Yenilenebilir Ekserjetiklik Oranının Değişimi	89

- Şekil 5.40 Isıtma Sezonundaki Günlük Ortalama Gerçek Sıcaklıklar İçin 90
Pompa Ekserji Kayıplarının Giren Kaynak Ekserji' ye Oranı
- Şekil 5.41 Isıtma Sezonundaki Günlük Ortalama Gerçek Sıcaklıklar İçin 90
Reenjeksiyon Enerjetiktik Oranı Grafiği
- Şekil 5.42 Isıtma Sezonundaki Günlük Ortalama Gerçek Sıcaklıklar İçin 91
Reenjeksiyon Ekserjetiktik Oranı Grafiği

ÇİZELGE LİSTESİ

Şekil		
<u>Numarası</u>	<u>Adı</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1	Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Potansiyeli	2
Çizelge 3.1	Türkiye'deki Enerji Kaynaklarının Yıllara Göre Değişim Grafiği	21
Çizelge 3.2	Türkiye Enerji Kaynaklarının Geniş Çaplı Genel Bir Gösterimi	23
Çizelge 3.3	Türkiye'deki Jeotermal Kuyulardaki Çıkış Suyu Sıcaklık Dağılımı(2003)	24
Çizelge 3.4	Jeotermal Potansiyelin Bölgelere Göre Dağılımı(2003)	25
Çizelge 3.5	Türkiye'de Bulunan Jeotermalle Isıtılabilir Alanlar(2003)	25
Çizelge 3.6	Türkiye Jeotermal Kullanım Kapasitesi	27
Çizelge 3.7	Türkiye de Jeotermal Kullanımın 2005 İtibariyle Durumu	27
Çizelge 3.8	Jeotermal Kaynağın Sıcaklık ve Akış Kapasitelerine Göre Sınıflandırılması	27
Çizelge 3.9	Jeotermal Akışkan Sıcaklığına Bağlı Genel Kullanımını Gösteren Lingal Diagramı	28
Çizelge 3.10	2005 İtibariyle Jeotermalden Elektrik Üretimi ve Kullanım Kapasiteleri	29
Çizelge 3.11	2005 Yılı İçin Dünyadaki Toplam Jeotermal Kullanımı	29
Çizelge 3.12	Jeotermal Akışkan Sıcaklığına Bağlı Kullanım	32
Çizelge 3.13	Akışkan Debisine Bağlı Güç Kapasiteleri	32
Çizelge 4.1	Bigadiç Jeotermal Alanından Alınan Jeotermal Akışkanın Kimyasal Analizi	38
Çizelge 4.2	Sistemi Besleyen Ana Eşanjörlerin Kapasite Verileri	40
Çizelge 4.3	Bigadiç JMIS'in Her Bir Noktası İçin Akışkan Özellikleri, Enerji ve Ekserji Oranları	44
Çizelge 4.4	Edremit ED-1 kuyusunun kimyasal analiz tablosu	46
Çizelge 4.5	Edremit Jeotermal Alanındaki Kuyular	46
Çizelge 4.6	Jeotermal Enerji Kullanımı	48
Çizelge 4.7	Edremit JMIS Genel Karakteristiksel Özellikleri	48
Çizelge 4.8	Edremit JMIS'in Her Bir Noktası İçin Akışkan Özellikleri, Enerji ve Ekserji Oranları	50
Çizelge 5.1	Bigadiç JMIS İçin Aylık Enerji İhtiyacı	63
Çizelge 5.2	Karşılaştırma İçin Bazı Sistemlerin Enerji ve Ekserji Verimlilikleri	76
Çizelge 5.3	Sistemin Karakteristik Özellikleri	78
Çizelge 5.4	Edremit JMIS İçin Aylık Enerji İhtiyacı	78

ÖNSÖZ

Tez çalışmam sırasında bilgi ve tecrübesi ile bana yol gösteren çok değerli danışman hocalarım Sayın Doç. Dr. Zuhâl OKTAY'a ve Prof. Dr. İbrahim DİNÇER'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tezimin hazırlanması sırasında değerli görüşlerinden yararlandığım jüri üyelerimden Prof. Dr. Bedri YÜKSEL ve Yrd. Doç. Dr. E. Abdullah TUFAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım esnasında maddi ve manevi olarak sürekli destek olan aileme de ayrıca sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Balıkesir, 2007

Can COŞKUN

1. GİRİŞ

Dünyanın birçok farklı bölgesinde enerji kullanımı açısından tam anlamıyla bir eşitlik bulunmamaktadır. Dünya nüfusunun % 70'inin kişi başına düşen enerji tüketim seviyesindeki oran, Batı Avrupa'nın dörtte biri, Birleşik Devletlerin altıda biri düzeyindedir [1].

İki milyar insan, yani üçüncü dünya ülkelerinin nüfusu kadar bir kısmı modern enerji servisinden yararlanamamaktadır. Yoksulların hayat standardını geliştirmek için anahtar öncelik; temiz enerjiyi karşılayabilecekleri fiyata mümkün kılmaktır. Dünya nüfusunun 21. yüzyılın sonlarına doğru iki kat artacağı öngörülmektedir.

Dünya enerji konseyi (WEC) gelecekteki enerji ihtiyacının karşılanması için birkaç senaryo yayınlamıştır. Tüm senaryolar özellikle de gelişen ülkeler için sosyal ve ekonomik gelişme sağlamak için oluşturulmuştur. 1990–2050 arasında birincil enerji tüketiminin en iyi çevresel şartlar düşünüldüğünde % 50 oranında artabileceği ifade edilmiştir. En yüksek büyüme oranı senaryosu düşünüldüğünde ise bu tüketimin % 275 civarında artabileceği ortaya konmuştur [2].

Dünya enerji konseyinin (WEC) tüm senaryolarında, petrol ve doğal gazın tüm şartlar altında önemli bir enerji kaynağı olarak kalacağını ifade edilmiştir. Fakat yenilenebilir enerji kaynaklarının kömürün yerini alacak seviye ulaşabileceği ifade edilmiştir. Tüm enerji senaryolarında yenilenebilir enerji, önemli bir katkı sağlayıcı olarak ortaya konmuştur. Tüm bu senaryolara göre; 2050 tarihi itibariyle yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanabilecek enerjinin birincil enerji tüketimi içinde % 20 ile %40 arasında bir paya sahip olabileceğini ifade edilmektedir. Benzer şekilde bu oranın, 2100 tarihi itibariyle %30 ile %80 arasında oluşabileceği açıklanmıştır.

Çizelge 1.1 Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Potansiyeli [1]

Enerji kaynakları	EJ Yıllık
Hidro-güç	50
Biokütle	276
Güneş enerjisi	1575
Rüzgâr enerjisi	640
Jeotermal enerji	5000
Toplam	7541

Not: Bir exajoule (EJ) = 10^{18} joules veya 23.9 Mtoe.

Çizelge 1.1’de yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyelini gösterilmiştir. (Kaynak: World Energy Assessment (WEA, 2000)). Teknik potansiyel; yıllık olarak yenilenebilir kaynakların bulunula- bilirliğini göstermiştir. Şundan hiç kuşku yok ki yenilenebilir enerjinin teknik potansiyeli dünya enerji ihtiyacını karşılamak açısından yeterli büyüklüğe sahiptir [28].

Bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynağı olan jeotermal enerjinin merkezi ısıtma sistemlerinde uygulanması üzerinde çalışmalar yapılmış ve Balıkesir iline bağlı olan Edremit ve Bigadiç ilçelerinde halen uygulamada olan sistemler ele alınmıştır. Bu sistemlerin yıllık bazda performans analizleri yapılarak sistemdeki enerji ve ekserji kayıpları bulunmuş ve sistemin ve verimliliğinin arttırılması için yapılması gerekenler ortaya konmuştur.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde, literatürde jeotermal enerji merkezi ısıtma ile ilgili olarak yapılan çalışmalar tarih sırasına göre verilmiştir.

Özgener ve arkadaşları [3] yaptıkları çalışmada Salihli jeotermal merkezi ısıtma sistemi için eksergoekonomik analiz yapmışlardır. Buna ek olarak çalışmalarında kütle, enerji, ekserji ve maliyet analizleri üzerine de değinmişlerdir. Çalışmada sermaye maliyeti ile sistem bileşenleri için termodinamik kayıplar arasındaki ilişki incelenmiştir. Tüm sistem ve parçalar için exergy kayıpları ile maliyet arasında sistematik bağın olduğu ancak bu ilişkinin, enerji ile ilk sermaye maliyeti arasında bulunmadığı ortaya konmuştur. Ayrıca çalışmalarında, termodinamik kayıplarla sermaye maliyeti arasındaki oranının referans sıcaklıkla nasıl değişiklik gösterdiği bulunmuş ve pratik analizlerde kullanmak için bir bağdaşım geliştirilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçların özellikle de termodinamik ile ekonomiyi bir araya getiren tasarım ve analiz yönteminin geliştirilmesi açısından jeotermal merkezi ısıtma sistemleri için kullanışlı veriler barındırdığına değinilmektedir. Ayrıca bu tür sistematik bir çalışmanın; eksergoekonomik analiz ve enerji tasarrufunu arttırmak açısından buna benzeyen diğer sistemlere de genişletilerek uygulanabileceğinden bahsedilmektedir.

Vladimir ve arkadaşlarının [4] çalışmalarında İtalyanın Zemun şehrinde bulunan merkezi ısıtma sisteme uyguladıkları modelden bahsetmektedirler. Modellemelerini karmaşık boru ağı sistemlerinde faz değiştirmeyen akışkanların nümerik benzeşim ve analizini yapan, verimli bir metot üzerine çalışmışlardır. Bu metot sayesinde bir merkezi ısıtma sisteminin enerji verimliliği analizi üzerine çalışmada bulunmuşlardır. Kolay uygulanabilir ve yüksek verimliliğinden dolayı, yayınlanan metodun karmaşık boru hatlarında faz değiştirmeyen hidrolik hesaplarında önerildiğinden bahsedilmektedir. Yine aynı şekilde bu metodun su, gaz

ve diğ er ađ sistemleri için uygulanabilir olduğ undan bahsedilerek, bu çalışmada açıklanan hidrolik hesaplama metotlarıyla ileri uygulamalarında kullanılarak, ısıl geçiş modeliyle sıcaklık ve ısıl yuklerin belirlenmesinin sağ lanacağ ından bahsedilmektedir.

Akpınar ve arkadaşlarının [5] yaptıkları çalışmada Türkiye’de jeotermal enerji ile diğ er enerji kaynakları arasındaki karşılaştırmalar üzerinde durmaktadırlar. 2003’de Türkiye’nin birincil enerji tk etimi yaklaşık 64 Mton petrol eşdeğ eri civarında olduğu ifade edilmektedir. Toplam enerji tk etiminin % 74.7’si fosil kaynaklardan sağ landığ ından bahsedilerek, yenilenebilir enerji kaynağ ı kullanımının % 25.3 civarında olduğu ifade edilmiştir. Yenilenebilir enrji kaynaklarının dağ ılımı şu şekilde ifade edilmiştir;

- % 14.6 hidroenerji formunda,
- % 9 Biomass (Biyokt le) ,combustible renewable ve atık
- % 1.2 jeotermal
- % 0.5 diğ er yenilenebilir kaynaklar

Türkiye jeotermal potansiyel olarak zengin olmasına rağ men (Türkiye dünyadaki jeotermal potansiyeli açısından 7. en zengin ülke), potansiyelinin sadece % 4 lk kısmını verimli bir şekilde kullandığ ı gereğ ine değ inilmiştir. Mevcut uygulamalara göre; jeotermal enerjinin diğ er fosil yakıtlarla ve yenilenebilir diğ er kaynaklara göre hem daha temiz hem de çok daha ucuz olduğ undan, jeotermal enerjinin umut verici alternatif olarak ortaya ıktığ ından ve bu sektördeki geliştirme çalışmaları ve yatırımlarının desteklenmesi gerektiğ inden bahsedilmektedir. şu andaki jeotermal enerji kullanımı belirlenmiş jeotermal enerji potansiyelimizin ufak bir bölümünü oluşturduğ una değ inilmekte ve Türkiye’nin tüm jeotermal enerji potansiyelini kullandığ ında toplam ısı+elektrik ihtiyacının % 12.7 sini jeotermal enerjiden karşılayabileceğ ine değ inilmektedir. 2004 de yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen toplam enerjinin 46339 GWh olduğu bildirilerek, bu enerjinin % 99.4’lk büyük bir kısmı hidroelektrik santrallerden sağ landığ ı ve % 0.2’lik kısmını ise atık veya biomass, biogaz,, % 0.2’lik kısmını jeotermalden, % 0.1’lik kısmını ise rüzgâr enerjisinden karşılandığ ına değ inilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında enerji maliyeti en düşük kaynağ ın jeotermal enerji olduğu

bildirilmektedir. Onu daha sonra rüzgâr, güneş enerjisi ve hidroenerji takip etmektedir. Türkiye'nin gelecekteki enerji ihtiyacı göz önüne alındığında, bu ihtiyacı karşılamada büyük bir rol üsleneyeğine değinilmektedir. Ancak bu enerjinin kullanımı tek başına yeterli olmayacağı bildirilmektedir.

Etemoğlu ve Can [6] çalışmalarında Türkiye'deki jeotermal kaynakları spesifik ekserji oranına (SER) göre sınıflandırılmaktadırlar. Ekserji analizleri sonucunda ortaya çıkan sonuçlar; jeotermal kaynakların karakteristiğini oluşturmak için kullanılmıştır. Ayrıca bu sınıflandırma yardımıyla jeotermal kaynakların hangi uygulama alanı için daha uygun ve elverişli olduğunun un saptanacağı üzerinde durulmuştur.

Richter ve arkadaşları [7] çalışmalarında merkezi ısıtma sistemindeki korozyonu, boru hattı denetim metodu ile belirlemişlerdir. İzlanda'nın Reykjavik şehrinde yaptıkları çalışma sonucunda, paslanma sonucu çürüme faktörü tespit edilmiş ve ayrıca oksijen ölçer ile başarılı bir şekilde, sudaki çözünmüş oksijen oranını ölçülmüştür. Çalışmalarındaki sonuçlar şunu göstermiştir; çözünmüş oksijen oranı 100 ppm'in altında olduğunda yerel korozyon ihtimali çok azalmaktadır.

Ozgener ve arkadaşları [8] çalışmalarında Salihli ve Bornova merkezi ısıtma sisteminin ekserjetik performansını değerlendirmiştir. 2003 ve 2004 yıllarındaki ısıtma değerleri göze alınıp referans sıcaklık 1 °C olarak alınarak sistemdeki exergy kayıpları saptanmış ve akış diyagramları halinde göstermiştir. Sonuçlar şunu göstermiştir ki; sistemdeki exergy kayıpları pompada, eşanjörlerde, boru hattında ve reenjeksiyon bölümünde oluşmaktadır. Sonuç olarak exergy kayıpları şu şekilde tespit edilmiştir:

- Pompa bölümünde: Bornova sistemi için; % 1.55 ve Salihli sistemi için % 2.14
- Eşanjörlerde: Bornova sistemi için; % 5.78 ve Salihli sistemi için % 16.29 olarak
- Boru hattında: Bornova sistemi için; % 31.90 ve Salihli sistemi için % 21.95 olarak bulunmuştur.

Bornova ve Salihli merkezi ısıtma sisteminin exergy verimliliği ise sırasıyla % 42.89 ve % 59.58 olarak bulunmuştur. Ayrıca, SE_{EXI} parametresi temelinde Balçova orta ve Salihliyse düşük kalitede jeotermal kategorisine girdiği saptanmıştır.

Oktaç ve Aslan [9] yaptıkları çalışmada Türkiye'deki jeotermal merkezi ısıtma sistemlerine genel olarak değinildikten sonra Gönen jeotermal merkezi ısıtma sistemi için sistemin son durumu üzerine kapsamlı bir araştırma yapmışlardır. Sistemin genel potansiyeli, jeotermal alanı ve kuyuların açılma aşamalarının tarihsel gelişimine değinilerek, sistemin aylara göre ortalama ısı ihtiyacının bulunması üzerine kapsamlı bir çalışma yapılmıştır. Ayrıca sistemin ekonomikliği de araştırılmıştır. Çalışmanın son bölümlerinde ise Gönen jeotermal merkezi ısıtma sisteminin çevresel etkileri üzerine bir değerlendirme de yapmışlardır.

Köse [10] yaptığı çalışmasında, Türkiye de elektrik üretimi için, jeotermal enerjinin statüsünü araştırmayı amaçlamıştır. Çalışmanın yapıldığı dönem itibariyle, Denizli–Kızıldere jeotermal alanında işletmede olan 20.4 MWe'lik kapasitesiyle bir tane jeotermal elektrik santrali bulunduğu bahsedilmektedir. Ayrıca, Aydın–Germencik jeotermal alanındaki santralin yapım aşamasında olduğundan bahsedilerek, Kütahya–Simav bölgesinin potansiyeli ve bulunan jeotermal enerji kaynaklarının kullanımını da incelenmiştir. Simav–Eynal bölgesindeki alanında çıkan jeotermal akışkanın sıcaklığı merkezi ısıtma için çok yüksek olması sebebiyle binary çevrimiyle elektrik üretimi elverişliliği araştırılmıştır. Çevresel nedenlerden dolayı çevrimde dolaşacak akışkan olarak HCFC–124 seçilmiştir. Kurulum kapasitesi olarak 2.9MWe'lik bir güç ile 17020 MWh/yıl elektrik enerjisi sağlanabileceği üzerinde durulmuştur. Sonuç olarak da çalışmanın uygulanabilirlik değerlendirmesinde, sistemin uygulanabilir olduğu tespitine değinilmiştir.

Dağdaş [11] jeotermal merkezi ısıtma sistemlerinde eşanjör optimizasyonu ile ilgili çalışmasını, yakıt tasarrufu yaklaşımı ile gerçekleştirmiştir. Jeotermal uygulama projelerinde, eşanjör maliyetleri ilk yatırım maliyetinin büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Jeotermal sistemlerdeki ısıtma cihazlarında en yaygın olarak kullanılan araçlardan birinin eşanjörler olarak bilindiği ve eşanjörler için ekonomi bağlamında en önemli parametrelerden biri; ısı transferi alanıdır. Bu sebepten,

eşanjörlerde optimum ısı transfer alanı belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, 90 °C de düşük sıcaklıktaki bir jeotermal kaynak için model uygulanarak, akışkan giriş sıcaklığı ve debisi bilinen ters akışlı eşanjör için optimum ısı transfer alanının bulunması için matematiksel modeller oluşturulmuştur. Çalışmadaki amaç, en yüksek yıllık net karıda düşünerek, optimum ısı transfer alanını için en uygun fonksiyonu bulmak olarak belirlenmiştir.

Özgener ve arkadaşları [12] yaptıkları çalışmada Balçova, Salihli ve Gönen jeotermal merkezi ısıtma sistemleri hakkında kapsamlı bir analiz yapmışlardır. Bu bağlamda enerji ve ekserji ve performans geliştirme alternatiflerine değinilmişlerdir. Ayrıca bu üç sistem için enerji - ekserji modelleri ve sistem performans analizleri oluşturulmuştur. Bu üç sistemin 4 °C referans sıcaklığında enerji verimlilikleri % 39.6 ile % 55.6 arasında değişirken, ekserji verimliliği ise % 45.7 ve % 63 arasında değişmiştir. Aynı referans sıcaklığında toplam enerji girdi oranı 17.02 MW ile 101.22 MW arasında değiştiği bulunmuştur. Yapılan çalışmada Salihli jeotermal merkezi ısıtma sisteminin incelen üç sistem arasında en yüksek enerji verimliliğine sahip olduğu belirlenmiş, Salihliyi daha sonra Balçova ve Gönen takip etmiştir. En yüksek ekserji verimliliği ise Gönen Jeotermal Merkezi Isıtma sisteminde gözlemlenmiştir. Gönenin yüksek ekserji verimliliğine sahip olmasına en büyük sebep olarak; diğer sistemlerle karşılaştırıldığında boru kayıplarının daha az olması ve sisteminin parçalarının otomatik kontrollerinin olması gösterilmiştir.

Barelli ve arkadaşlarının [13] yaptıkları çalışmada ısıtma sezonu boyunca oldukça karmaşık olan kullanıcıların ısı güç gereksiniminin en uygun formunu bulmak için bilim adamları tarafından geliştirilen benzeşim modellerini kullanılması gerektiğini vurgulamaktadır. Ayrıca ısı talebin karşılamak için en iyi alternatiflerden birinin de birleşik sistemlere bağlanmış merkezi ısıtma sistemi uygulamaları olduğu üzerinde durulmuştur. Böyle bir model temelinde, çalışma geniş çaplı olarak ısı yükün elde edilmesi analizi ve önerilen olası çözümler ışığında ısı işletmenin ölçülendirilmesi konuları üzerinde odaklanmıştır. Ayrıca birleşik sistemlerle birleştirilmiş merkezi ısıtma sisteminin ölçülendirilmesi üzerinde de çalışılmıştır.

Çalışma, İtalya'nın merkezindeki bir şehirde seçilen özel bir bölge için birleşik sistemlerle birleştirilmiş merkezi ısıtma sistemi uygulamaları

ölçülendirilmesi üzerine oluşturulmuşlardır. Bu amaç doğrultusunda, yeni geliştirilmiş bir benzeşim modeli kullanarak gerekli ısı güç bulunmuştur. Bu sistem sayesinde 450001 Nm³ yani % 7'lik bir doğal gaz tasarrufu sağlanmış ve bu sayede CO₂, CO ve NO_x azaltılarak, sırasıyla % 27. % 6 ve % 6 oranlarına çekilmiştir.

Hepbaşlı ve arkadaşları [14] genel olarak jeotermal kaynaklı ısı pompası sisteminin enerjetik ve ekserjetik yönlerini araştırmışlardır. Ayrıca ısı pompası sistemi ve tüm gerekli elemanlarının performansları üzerine kapsamlı enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Bu çalışmada düşük sıcaklıkta jeotermal kaynak kullanan ısı pompası sistemlerinin performansının nasıl olduğu bulunmaya çalışılmıştır. Deneysel ve kabul yapılan değerlerden analizlerde yararlanılarak tüm sistem için ekserji kayıpları ölçülmüştür. Çalışmalarında ısı pompası sistemlerinin modellenmesi ve performans analizi konularıyla da ilgilenilmiştir. Isı pompası sistemi Niğde Üniversitesi'nde modellenip test edilerek, 2005 den beri başarılı bir şekilde işletildiğine değinilmektedir. Çalışmalarında; deneysel verilere dayanarak enerji ve ekserji metotları kullanılarak sistem performansı belirlenmiş ve ayrıca hem ısı pompasının tüm elemanları hem de tüm sistem için enerji ve ekserji verimliliği bağıntıları da ortaya konmuştur. Yakıt tüketim oranı, bağıl tersinmezlikler, verimlilik yoksunluğu, ekserjetik faktör, geliştirilebilirlik potansiyeli tüm sistem için göz önüne alınarak araştırılmıştır. Referans sıcaklık 0 ile 25 °C aralığında değiştiğinde; üretim/yakıt temelli enerji ve ekserji verimliliği oranlarının sırasıyla % 73.3 ile % 73.9 ve % 63.3 ile % 51.7 değer aralığında değiştiği bulunmuştur.

Ozgener ve arkadaşları [15] çalışmalarında Balçova ve Salihli jeotermal merkezi ısıtma sisteminin enerjetik performans analizini yapmışlardır. Modellemede sistemin tüm önemli parçalarına yer vermişlerdir. Bu çalışma sistem analizi ve enerjetik performansını içermektedir. 2003 ve 2004 yılları için ısıtma sezonuna ait veriler doğrultusunda enerji akış diyagramları oluşturulmuştur. Bu grafiklerde giren çıkan enerji miktarları ve kayıplar ayrıntılı şekilde sergilenmiştir. Buna ilaveten, enerji verimleri karşılaştırma açısından şu şekilde bulunmuştur. Enerji verim değerleri Balçova'daki sistem için % 39.36 ve Salihli için % 59.31 olarak bulunmuştur. Enerji analizi için modelleme analizi yapılırken kütle ve enerji denge eşitlikleri kullanılmış ve sonuçlar kısmında Salihli'deki sisteminin Balçova'daki

sistemden daha yüksek verimliliğe sahip olduğu saptanmıştır. Bunlara ek olarak sonuçlar kısmında daha verimli ve etkili bir sistem için enerji kazanımlarının sağlanması gerektiği gerçeği üzerinde durulmuştur.

Lund [16], Türkiye’de yapılan ve 68 ülkenin katıldığı dünya jeotermal kongresi 2005’de yapılan değerlendirmelerin yer aldığı bu çalışmada değinilen konular ana başlıklarıyla bu şekilde sınıflandırılabilir:

- Jeotermal kullanımının tarihi gelişimi
- Jeotermal enerjinin 2005 itibariyle kullanımı
- Jeotermalden elektrik üretimi
- Jeotermalin direk kullanımı
- Çevresel etkiler
- Enerji ekonomisi
- Jeotermal enerjinin geleceği

Çalışmalarında yukarıda bahsedilen konularda geniş ve kapsamlı değerlendirmeler yapılmıştır.

Köse [17] çalışmasında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında en önemli problemlerden birinin; enerji seviyesindeki kısa ve uzun dönemli büyük değişimler olduğundan bahsetmektedir. Jeotermal enerjinin doğada yüksek oranlarda bulunduğu ve kaynağın hava koşullarından direk etkilenmediğini bildirmektedir. Ayrıca Türkiye’nin Avrupa’nın ikinci en yüksek jeotermal enerji potansiyeline sahip olmasına rağmen, jeotermalden elektrik üretimi oldukça düşük olduğundan bahsetmektedir. Bu çalışmada da; elektrik üretiminde jeotermal enerjinin kullanımı örneklendirmekte ve Kütahya–Simav bölgesinde bulunan enerji kaynaklarından elektrik üretiminin uygulanabilirliği araştırmıştır. Bölgede sıvı yüzde oranı yüksek ve nispeten düşük sıcaklıktaki jeotermal akışkandan çıkmaktadır. Bu akışkandan elektrik üreten güç santralının tasarlanması aşamasında ikili çevrim kullanıldığından bahsedilmektedir. Bu elektrik santralinde, kaynama noktası sudan düşük olan R134a akışkanı ikincil akışkan olarak seçilmiştir ve tasarlanan santralin termal verimi % 12.93 olarak ölçülmüştür.

Ozgener ve arkadaşları [18] çalışmalarında; enerji ve ekserji değerlendirmeleri ve seçilen sistem için jeotermal merkezi ısıtma sistemlerinin modellenmesi üzerine bir inceleme yapmışlardır. Balçova jeotermal merkezi ısıtma sistemi ile de ilişkilendirilerek sistem için performans ve optimizasyon değerlendirmeleri yapılmıştır. Termal veriler alınarak analiz için kullanılmıştır. Bu bağlamda, merkezi ısıtma sistemi için performans, enerji-ekserji verimleri ve ekserji kayıp değerleri belirlenmiştir. Balçova jeotermal merkezi ısıtma sistemi için ayrıca ekserji kayıpları belirlenerek akış diyagramlarında gösterilmiştir. Ayrıca karşılaştırma amacıyla enerji ve ekserji akış diyagramları da çalışmada verilmiştir. Enerji ve exergy verimleri sırasıyla % 41.9 ve % 46 olarak bulunmuştur.

Hepbasli ve Ozgener [19] yaptıkları bu çalışmada ana amaçları Türkiye açısından jeotermal enerjideki tarihsel gelişmeleri ve şu anki durumunu özetlemek olmuştur. Türkiye’de jeotermal enerjiden yararlanmayı elektrik üretimi ve direk kullanım olmak üzere iki ana başlığa ayırarak incelemişlerdir. Direk kullanımda dünyadaki ilk beşin içinde yer aldığımızıza değinmişlerdir. Jeotermal kaynaklardan direk kullanımda yararlanmanın son 36 yılda hızlı bir şekilde geliştiğine değinilen bu çalışmada, özellikle gelişmelerin tek bir binanın ısıtılması ekseninden merkezi ısıtma sistemine, sera ısıtmacılığına, endüstriyel kullanıma, modern hamam ve fizik tedavi merkezlerine doğru kaydığı tespiti yapılmıştır. Denizli’deki santralin kurulu kapasitesinin 20.4 MWe olduğu ve 2001’deki elektrik enerji üretiminin 89,597 MW h olduğu bildirilmiştir. Son dönemlerde, direk kullanım için toplam kurulu kapasitenin 820 MWt değerine çıktığından da bahsedilmiştir. Jeotermal ile ısıtılan toplam sera alanının 35 ha değerini geçtiğinden ve ısıtma kapasitesi de 81 MWt olduğundan bahsedilmiştir. Ayrıca jeotermal veya yer kaynaklı ısı pompaları Türkiye pazarına 1998’den sonra girdiği ancak henüz yer kaynaklı ısı pompası sistemi üreten bir Türk firması olmamasına rağmen, 3 MW toplam kapasiteyle 207 ünite çalışmanın yapıldığı tarihe kadarki dönemde kurulmuştur.

Çalışmada buna ek olarak Türkiye’de jeotermalden elektrik üretimi kısmında şu dört sistemden ayrıntılı bahsedilmektedir.

- Denizli–Kızıldere jeotermal alanı
- Aydın-Germencik jeotermal alanı

- Çanakkale-Tuzla jeotermal alanı
- Aydın-Salâvatlı jeotermal alanı

Ayrıca direk kullanım bölümünde; merkezi ısıtma, ısı pompaları, sera ısıtması ve endüstriyel kullanım bölümüne de ayrıntılı olarak değinilmiştir.

Kaygusuz K. ve Kaygusuz A. [20] Türkiye'deki jeotermal enerjinin sürdürülebilir geleceği üzerine yaptıkları kapsamlı araştırmada genel hatlarıyla şu başlıklar üzerinde durulmuşlardır:

- Türkiye'nin şu andaki enerji durumu
- Türkiye'nin enerji sürdürülebilirliği ve jeotermal enerjinin rolü
- Türkiye'deki jeotermal enerji uygulamaları
- Türkiye'deki jeotermal enerji kullanımı
- Jeotermal ısı pompası sistemleri

Bloomquist [21] yaptığı çalışmada jeotermal kaynakların ısıtma endüstrisinin % 37'sinde kullanıldığını ve bunun % 75'inin bölgesel ısıtma sistemlerinde olduğunu belirtmiştir. İlk endüstriyel jeotermal kullanım 14. yy.'da Fransa'da Chaudes-Aigues Cantal'da bölgesel ısıtma sistemi olduğunu, 2003 yılı itibariyle bölgesel jeotermal ısıtma sistemlerinin 12 ülkede kullanıldığını ve 44.772 TJ yıllık enerji üretiminin olduğu belirtilmiştir. Bölgesel ısıtma için genelde 50⁰C sıcaklığın üzerindeki sıcaklıkların gerektiğini ve bazı şartlarda 40⁰C gibi düşük sıcaklıkların kullanılabilirdiğini ve eğer jeotermal ısı pompaları da dahil edilirse bölgesel ısıtmanın diğer enerji formlarına iyi bir alternatif olduğunu belirtmiştir.

Evrendilek ve Ertekin [22] Türkiye'nin artan enerji gereksiniminin karşılamak için, 27.8 GW olan 2001'deki kurulu elektrik kapasitesini 2010 yılına kadar ikiye katlaması gerektiğinden ve 2020 yılı için ise dört katına çıkarması gerektiği tespiti üzerinde vurgu yapmaktadır. Türkiye'nin ekonomik olarak uygun yenilenebilir enerji potansiyeli toplam 495.4 TWh/yıl olduğu değerlendirmesinde bulunmaktadır. Bu miktar içinde yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitlerine göre miktarlarını şu şekilde sıralanabilmektedir.

- Biokütle: 196.7 TWh /yıl
- Hidrosantraller: 124 TWh/yıl

- Güneş enerjisi: 102.3 TWh/yıl
- Rüzgâr enerjisi: 50 TWh/yıl
- Jeotermal enerji: 22.4 TWh/yıl

Takip edilen ve uygulanan sürdürülebilir temelli enerji politikalarının; Türkiye'nin toplam enerji ihtiyacını yaklaşık % 90'nını ve 2010'da tüketileceği düşünülen enerjinin % 35'ini karşılayabileceği tespiti üzerinde durmaktadır.

Kaygusuz ve Sarı [23] çalışmalarında, Türkiye'nin enerji ihraç eden bir ülke olduğu gerçeğinden yola çıkarak enerji ihtiyacının yarısından fazlasını dışarıdan ithal edildiğini bildirmektedirler. Hava kirliliği büyük bir çevre sorunu olmaya başlamaktadır. Bu bağlamda, yenilenebilir enerji gelişmeleri ve çevresel kirliliğin önlenmesi açısından yenilenebilir enerji kaynakları en etkili ve verimli çözüm olarak görüldüğüne değinilmektedir. Bunlara ek olarak Türkiye'nin kayda değer bir jeotermal enerji potansiyelinin olduğu ve 1962'den bu yana toplanan verilerin; yüksek entalpili bölgelerde elektrik üretimi için 4500 MW'lık bir enerji potansiyelinin olabileceğini gösterdiğine değinilmektedir. Çalışmanın yapıldığı tarih itibariyle jeotermal kaynaklar kullanılarak yapılan ısıtma kapasitesi 350 MWt 'a ulaştığı, bu enerjinin eşdeğerinin de 50000 bina eşdeğeri ısıya eşit olduğu bildirilmektedir. Bu sayının yedi katına yani 2250 MWt (350 000 bina eşdeğeri ısı) çıkarılabileceğinden bahsedilmektedir. Türkiye 1.3 milyon bina eşdeğeri ısıtma yapılmasının (7700 MWt) hedeflendiğinden bahsedilmektedir. Ayrıca, direk kullanım için 31000 MW bir jeotermal enerji potansiyeli belirlenmiştir. 1998 verileriyle Türkiye'nin toplam jeotermal enerji potansiyeli 2268 MW'dır, fakat hem elektrik üretimi hem de direk kullanım açısından jeotermal enerjinin kullanımı sadece 1200 MW civarındadır. Çalışmanın yapıldığı tarih itibariyle 26 jeotermal merkezi ısıtma sistemi olduğundan bahsedilmektedir. Ana jeotermal merkezi ısıtma sistemi olarak Gönen, Simav ve Kırşehir gösterilebilir.

ZREU firması [24] bu çalışmada Türkiye'deki jeotermal kaynaklar ve kaynaklardan yararlanma şekli üzerinde geniş ve kapsamlı bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada genel olarak değinilen konular ana başlıklarıyla şu şekilde sıralanabilir.

- Türkiye enerji sektörü analizi
- Türkiye'deki jeotermal potansiyel

- Türkiye’de jeotermal enerjinin kullanım alanları ve kullanım şekilleri
- Jeotermal uygulamaların ekonomiye katkısı

Eliasson ve Björnsson [25] çalışmalarında jeotermal enerji için uygulanabilir sürdürülebilirlik konularına değinmişlerdir. Çalışmada jeotermal enerjinin kullanımıyla bütünleştirilmiş çoklu kullanım kavramı açıklanmaktadır. Bu kavramın uygulamasıyla elde edilebilecek yararlar şu şekilde örneklendirilmektedir; uzun hazne ömrü, düşük çevresel etkisi, yüksek oranda pazarlama esnekliği ve karlılık. Bunlara ek olarak çalışmada ayrıca, tüm uygulamalar boyunca en yüksek sıcaklık düşüşüne ulaşmanın, en düşük uygun debi, optimum pompa karakteristiği ve minimum akışkanın haznedeki çekilmesi konuları üzerine önemle durulmuştur. Eğer jeotermal akışkanın içeriği direkt kullanıma izin veriyorsa ekonomik sebeplerden dolayı jeotermal akışkanın direkt kullanılmasının daha iyi olacağı tespiti yapılmaktadır. Akışkanın direkt kullanılma izin vermediği durumlarda korozyon ve diğer zararlı etkilerin önlenmesi için jeotermal akışkan ve ısıtılan akışkanın eşanjörler yardımıyla ayrılmasının gerekliliğine vurgu yapılmaktadır. Çalışma ayrıca bazı ısıtma sistem çeşitlemelerini, jeotermal ısıtma sistemlerinin karakteristiği ve otomatik kontrol sistemleri tanımlamaktadır. Bunlara ek olarak önerilen jeotermal bölge yönetimi ve izleme sistemine değinilmektedir. Çalışmada ayrıca pratikte uygulanan birkaç örnek projeye değinilmektedir. Jeotermal enerji konusunda ne yapıldığı ve gelecekte ne yapılacağı konularına da değinilerek, jeotermal enerjiyi daha çekici ve dünya çapında yaygın hale getirecek yenilikler ve gelişmeler için bazı öneriler yapılmıştır.

Yasukawa ve Takasugi [26] Japonya’da düşük entalpili jeotermal enerjinin kullanımını inceleyerek, özellikle jeotermal ısı pompaları ve endüstriyel kullanımın diğer ülkelerin çok gerisinde olduğu saptamasında bulunmuşlardır. 1998’de Japonya’nın düşük entalpili jeotermal kaynaklarının kullanım uygulanabilirliği çalışmaları yapıldığından bahsedilerek. 2010’da 140000 ısı pompası sisteminin kurulması amacıyla 2001’de Japonya Jeotermal Isı Tanıtım İşbirliği çalışmalarına başladığına değinilmektedir. Japonya jeotermal araştırma topluluğu bu sektörde yeni aktivitelere giriştiğinden bahsederek, üniversite araştırma grupları ve diğer ulusal enstitüler düşük entalpili kaynaklardan yararlanılması konusu üzerine geniş çalışmalar başlattığı bildirilmektedir.

Mertoglu ve arkadaşları [27] çalışmalarında jeotermal enerjinin, Türkiye’de çoğunlukla direk uygulamalarda kullanıldığından bahsederek 2003 tarihi itibariyle jeotermal enerji kullanılarak 61000 konut eşdeğeri ısıtma yapıldığından bahsetmektedir. Toplamda 565000 m² sera ısıtması ve 665 MWt merkezi ısıtma yapıldığından bahsedilmektedir. Ayrıca jeotermal su, 195 kaplıcada (327 MWt) kullanılmaktadır. ORME jeotermal şirketi, yaklaşık 300 000 konut eşdeğerinde enerji sağlayacak merkezi ısıtma sistemlerinin mühendislik modellemesini tamamlamış durumdadır. Ayrıca 2003 itibariyle 170 jeotermal alanın bulunduğu bahsedilmektedir. Kızıldere’deki 20.4 MWe kapasiteli tekli-flash güç santralleri, sıvı CO₂ ve kuru buz üreten bir fabrikaya bağlandığından ve 25 MWe kapasiteli ikili çevrim güç santralinin Aydın/Germencik’e yapımı kısa bir sürede tamamlanacağından bahsetmektedir. Jeotermal merkezi ısıtma uygulamaları bölümünde, jeotermal enerjinin neden diğer enerji kaynaklarından daha elverişli olduğu konusu kapsamlı şekilde değerlendirilmiştir.

Fridleifsson [28] dünya enerji kaynakları arasında jeotermal enerjinin durumu üzerine yaptıkları bu çalışmada; dünyanın birincil enerji tüketimi 400 EJ/yıl civarında olduğu ve bu ihtiyacın çoğunluklarda fosil kaynaklardan sağlandığına (% 80) değinilmektedir. Yenilenebilir enerjinin % 14’lük bir birincil enerji ihtiyacını karşılamakta olduğu ve oransal olarak şu değerlere sahip olduğu bildirilmektedir: biokütle (% 10), hidroelektrik güç santralleri (% 2) ve yeni yenilenebilir kaynaklar (% 2). Nükleer enerjinin de geriye kalan % 6’lık ihtiyacı karşıladığından bahsedilmektedir. Dünya Enerji Komitesi, farklı bazı senaryolar doğrultusunda dünyanın birincil enerji tüketimi 2050 yılı itibariyle % 50 ile 275 arasında artacağını bildirdiğini ifade eden bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarının; birincil enerji kullanımının 2050 yılı itibariyle % 20–40’ını, 2100 itibariyle de % 30–80’ninin karşılanacağını düşünülüyor ifade edilmektedir. Yenilenebilir enerjinin teknik potansiyelinin 7600 EJ/yıl olarak düşünülüyor ve bu değerinde gelecekte oluşacak enerji ihtiyacını karşılamada yeterli büyüklükte olacağını düşünülüyor. 1998 verileri itibariyle yenilenebilir enerjiden karşılanan elektrik üretiminin 2826 TWh civarında olduğu ve oransal olarak da % 92’lik kısmı hidroelektrik güç santrallerinden, % 5.5’lik kısmı biokütleden, % 1.6’lık kısmı jeotermalden ve % 0.6’lık kısım rüzgârdan sağlandığı bildirilmektedir. Ayrıca güneş enerjisinden elde

edilen miktar % 0.05 ve gel-git enerjiden elde edilen ise % 0.02 civarında olduğu ve jeotermalden ve su gücünden elektrik üretim maliyeti 2 ile 10 US\$/kWh arasında değiştiği ifade edilmiştir. Rüzgâr içinse 5 ile 13US\$/kWh arasında, güneş enerjisinden ise 12 ile 18 US\$/kWh arasında maliyetler değiştiği çalışmada ifade edilmektedir. Ayrıca, toplam direk ısı kullanımının % 93'ünü biokütle, % 5'ini jeotermal ve % 2'si de güneş enerjisinden karşılandığı tespiti çalışmada yer almaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından ısı üretimi, ticari olarak geleneksel yöntemlerle rekabetçi bir yapıya sahip olduğu bildirilerek, biokütleden ısı sağlanımı 1 ile 5 US\$/kWh arasında, jeotermalden 0.5–5 US\$/kWh ve güneş enerjisinden 3–20 US\$/kWh arasında maliyetinin oluştuğu da çalışmada verilmiştir.

Hepbasli ve Canakci [29] çalışmalarını, iki ana amaç çerçevesinde şekillenmektedir.

- a) Türkiye'deki jeotermal merkezi ısıtma uygulamalarının şu anki ve gelecekteki durumu üzerine genel bir değerlendirme
- b) Yüksek sıcaklıktaki merkezi ısıtma sistemi uygulamalarından olan İzmir–Balçova merkezi ısıtma sistemi üzerine genel bir değerlendirme

Barbier [30] çalışmasında jeotermal enerjinin, sıcak su ve buhar olarak, elektrik üretimi, merkezi ısıtma ve endüstriyel kullanım için onlarca yıldır kullanıldığından bahsederek, 2000 yılı itibariyle, dünyadaki jeotermal kurulu elektrik kapasitesinin 7974 MWe olduğunu ve yıllık temelde elektrik enerji üretiminin 49.3 milyon kWh/yıl olduğuna değinilmektedir. Jeotermalden elde edilen bu elektrik enerjisi 2000 yılındaki dünya toplam elektrik enerjisinin, 15342 milyon kWh, % 0.3 temsil ettiği tespiti ortaya konmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerde jeotermal enerji önemli bir rol oynadığı düşüncesini ortaya atarak bazı gelişmekte olan ülkelerin jeotermalden elde ettiği elektrik oranı verilmiştir. Bu ülkelere bazı örnekler şu şekilde verilebilir: Filipinlerdeki elektrik enerjisinin % 21'i jeotermal buhardan sağlanmaktadır, El Salvador'da bu oran % 20, Nikaragua da % 17, Kostarika'da % 10 ve Kenya'da % 8'dir. Jeotermalden elektrik üretiminin verimi % 10–17 arasında değiştiğini bildirilmektedir. 1998 verilerine göre kurulu elektrik kapasitesi biokütle in 1/5'i ve rüzgâr enerjisiyle de karşılaştırılabilecek düzeyde olduğunu bildirmektedir. 2000 yılı verileri itibariyle jeotermalin elektrik üretimi dışındaki

kullanımından olan sera ısıtması, kaplıca sisteminde, merkezi ısıtmada ve endüstriyel kullarımdaki kapasitesi 15.14 MWt olarak bildirilmektedir. 1973–1992'deki dönemde dünya çapında hem elektrik üretimi hem de direk kullanım alanında jeotermal kullanımına yapılan finansal yatırım 22000 US\$ milyona ulaştığı bildirilmektedir. Şu anki teknoloji; jeotermal kullanımın çevresel etkilerinin kontrol edilmesini mümkün kılmaktadır ve etkili ve kolayca uygulanabilir politikalar jeotermal enerji gelişimini cesaretlendirmektedir. Geliştirilmiş teknolojilerle jeotermal enerjinin gelecekteki kullanımına da kısaca değinilmiştir.

Kanoğlu ve Cengel [31] çalışmalarında, jeotermal enerji ile güç üretimi, ısıtma ve soğutma yapan sistemlerin ekonomiklik değerlendirmesini yapmıştır. Tipik bir jeotermal kaynağın ekonomiklik analizi göstermiştir ki, jeotermal ısıtmadan veya soğutmadan potansiyel kazanç tek başına güç üretiminden çok daha fazla olabilmektedir. Tek başına güç üretimiyle karşılaştırıldığında; jeotermal ısıtmada 3.1, jeotermal soğutmada 2.9 kat daha fazla bir kazanç sağlanabilmektedir. Aynı şekilde tek başına güç üretimiyle karşılaştırıldığında; birleşik güç üretimi ve ısıtma uygulaması 2.1 kat, birleşik güç üretimi ve soğutma 1.2 kat daha kazançlıdır. Maliyet ve geri ödeme periyodu düşünüldüğünde güç üretimi daha iyi görüldüğü, daha sonrasında da merkezi ısıtmanın geldiği açıklanmıştır.

Afgan ve arkadaşlarının [32] yaptıkları çalışmada; sürdürülebilir enerji gelişmelerine genel olarak değinilmekte ve konu ile alakalı çalışmaların önemli yönleri vurgulanmaktadır. Mevcut olan bilgilerin incelenmesi yardımıyla şu anki enerji bakış açısıyla alakalı kısa bir giriş oluşturulduktan sonra yenilenebilirlik ve onun kapsamlı anlamı üzerinde özellikle durulmuştur. Çalışmada sürdürülebilirliğin geliştirilmesi yaklaşımının ortaya konması yerine, ilgi tümüyle sürdürülebilirlik kıstaslarının araştırılması üzerine tahsis edilmiştir. Daha sonra sürdürülebilir enerji gelişmelerine öncülük edebilecek bir bilim olan enerji mühendisliği bilimindeki potansiyel gelişmelere vurgu yapılmıştır. Çok özel problemler ve sürdürülebilir enerji gelişmeleri ile alakalı 7 ana bölüm şu şekilde ortaya konmuştur:

- Enerji araştırmaları ve geliştirmeleri
- Verimli değerlendirmeler
- Temiz hava teknolojileri

- Bilgi teknolojileri
- Yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları
- Çevresel kapasite
- Çevreye olan nükleer güç tehdidinin hafifletilmesi

Ayrıca çalışmada herhangi bir ekonomik gelişme için eğitim sisteminin dönüm noktası olarak görülmesi gerektiği üzerine vurgu yapılarak, bu bağlamda sürdürülebilir enerji gelişmeleri, eğitim sisteminin yeni gelişmelere tahsis edilmesiyle sağlanacağına değinilmektedir.

3. DÜNYA ve TÜRKİYE ENERJİ STATÜSÜ

3.1 Jeotermal Enerjinin Dünya Enerji Kaynakları Arasındaki Durumu

Dünya enerji değerlendirmesi (WEA, 2000) verilerine dayanılarak, dünya birincil enerji tüketimi 400 EJ/yıl civarındadır ve bu ihtiyaç çoğunlukla da fosil kaynaklardan sağlanmaktadır (% 80). Yenilenebilir enerji % 14 lük bir birincil enerji ihtiyacını karşılamaktadır ve oransal olarak şu değerler ortaya çıkmaktadır. Biokütle (% 10), hidroelektrik güç santralleri (% 2) ve yeni yenilenebilir kaynaklar (% 2). Nükleer enerjinin de geriye kalan % 6'lık ihtiyacı karşılamaktadır. Dünya Enerji Komitesi, farklı bazı senaryolar doğrultusunda dünyanın birincil enerji tüketiminin 2050 yılı itibariyle % 50 ile 275 arasında artacağını bildirmekte ve ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarının; birincil enerji kullanımının 2050 yılı itibariyle % 20–40'ını, 2100 itibariyle de % 30–80'ini karşılanacağını bildirmektedir.

Yenilenebilir enerji teknik potansiyeli 7600 EJ/yıl olarak düşünülmektedir ve bu değerinde gelecekte oluşacak enerji ihtiyacının karşılanmasında yeterli büyüklükte olacağı düşünülmektedir. 1998 verileri itibariyle yenilenebilir enerjiden karşılanan elektrik üretiminin 2826 TWh civarındadır ve oransal olarak ta % 92'lik kısmı hidroelektrik güç santrallerinden, % 5.5'lik kısmı biokütleden, % 1.6'lık kısmı jeotermalden ve % 0.6'lık kısım ise rüzgârdan sağlanmaktadır. Ayrıca güneş enerjisinden elde edilen miktar % 0.05 ve gel git enerjisinden elde edilen ise % 0.02 civarındadır. Jeotermalden ve su gücünden elektrik üretim maliyeti 2 ile 10 US\$/kWh arasında değişmektedir. Rüzgâr içinse 5 ile 13 US\$/kWh arasında, güneş enerjisinden ise 12 ile 18 US\$/kWh arasında maliyetler değişmektedir. Ayrıca, toplam direk ısı kullanımının % 93'nü biokütle % 5'ni jeotermal ve % 2'si de güneş enerjisinden karşılanmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından ısı üretimi, ticari olarak geleneksel yöntemlerden daha rekabetçi bir yapıya sahiptir, Biokütleden ısı sağlanımı 1 ile 5 US\$/kWh arasında, jeotermalden 0.5–5 US\$/kWh ve güneş enerjisinden 3–20 US\$/kWh arasında değişmektedir [28].

3.2 Jeotermal Enerjinin Türkiye’deki Enerji Kaynakları Arasındaki Durumu

2003’de Türkiye’nin birincil enerji tüketimi yaklaşık 64 Mton civarındadır, bu ihtiyaç çoğunlukla da fosil kaynaklardan sağlanmaktadır (%74.7). Yenilenebilir kaynak kullanımı toplandığında % 25.3 civarındadır. Yenilenebilir kaynakların dağılımına bakıldığında ise (% 14.6) hidro formunda, (% 9) ise atık veya yanmanın yenilenmesi, (% 1.2) ise jeotermalden, (% 0.5) ise diğer yenilenebilir kaynaklardan oluşmaktadır.

Türkiye jeotermal potansiyel olarak zengin olmasına rağmen (Türkiye dünyadaki jeotermal potansiyeli açısından 7. en zengin ülke), potansiyelinin sadece % 4’lük kısmını verimli bir şekilde kullanmaktadır. Mevcut uygulamalar şunu gösteriyor ki; jeotermal enerjinin diğer fosil yakıtlarla ve yenilenebilir diğer kaynaklara göre hem daha temiz hem de çok daha ucuzdur. Bu yüzden jeotermal enerji umut verici alternatif olarak ortaya çıkmaktadır.

Türkiye’de jeotermal enerji diğer fosil ve yenilenebilir enerji kaynaklarıyla karşılaştırıldığında hem daha temiz hem de daha ucuz bir kaynak olup, enerji sektöründe ümit verici bir alternatiftir. Bu çalışmadan çıkarılacak ana yargılar aşağıdaki gibi listelenebilir;

- Türkiye deki enerji ihtiyacının bir bölümünü karşılamak için; yenilenebilir enerji kaynakları arasında çoğunlukla biokütle ve hidrolik enerji kullanılmaktadır. Fosil yakıtlarla karşılaştırıldığında, jeotermal enerjinin çok daha fazla avantajları bulunmaktadır. Bunları şu şekilde sıralayabiliriz. Jeotermal enerji yenilenebilir, temiz, ucuz yerel bir enerji kaynağıdır. Bu

sebepten bu sektördeki geliştirme çalışmaları ve yatırımlar desteklenmelidir.

- Şu andaki jeotermal enerji kullanımı, belirlenmiş jeotermal enerji potansiyelimizin ufak bir bölümünü oluşturmaktadır. Türkiye tüm jeotermal enerji potansiyelini kullandığında toplam ısı+elektrik ihtiyacının % 12.7'sini jeotermal enerjiden karşılayabilmektedir.
- 2004'de yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen toplam enerji 46.339GWh'dir. % 99.4'lük büyük bir kısmı hidroelektrik santralleri olarak barajlardan sağlanmaktadır. % 0.2'lik kısmı ise atık veya yanmanın yenilenmesi, % 0.2'lik kısmı jeotermalden, % 0.1'lik kısmı ise rüzgâr enerjisinden karşılanmaktadır.
- Jeotermal enerji sırasıyla; taş kömürden (% 77.7), linyitten (% 21.6), fuel-oilden (% 27.7), rüzgâr enerjisinden (% 9.8) ve doğal gazdan (% 56.9) daha ucuzdur. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında enerji maliyeti en düşük kaynak jeotermal enerjidir. Onu daha sonra rüzgâr, solar enerji ve hidroenerji takip etmektedir. Türkiye'nin gelecekteki enerji ihtiyacı göz önüne alındığında, bu ihtiyacı karşılamada büyük bir rol üsleneyeceği açıkça görülmektedir. Ancak bu enerjinin kullanımı tek başına yeterli olmayacaktır [33].

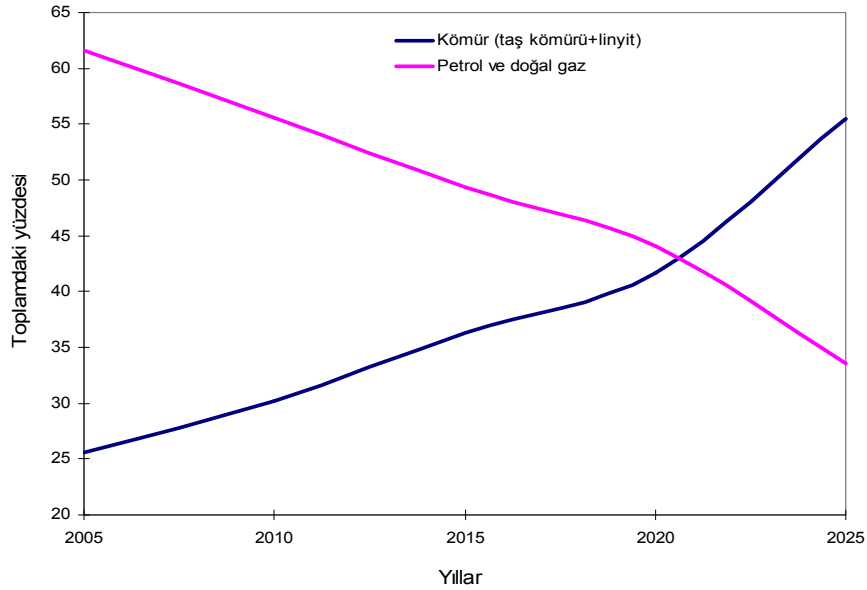
2005 – 2025 perspektifinde Türkiye'deki enerji kaynaklarının beş yıllık bir periyotta nasıl bir değişim gösterebileceği Çizelge 3.1'den ifade edilmiştir. Bu grafikteki değerler doğrultusunda petrol+doğal gazın kullanımı azalacağı ön görülürken kömür kullanımının yüzdesel bazda artacağı belirtilmektedir.

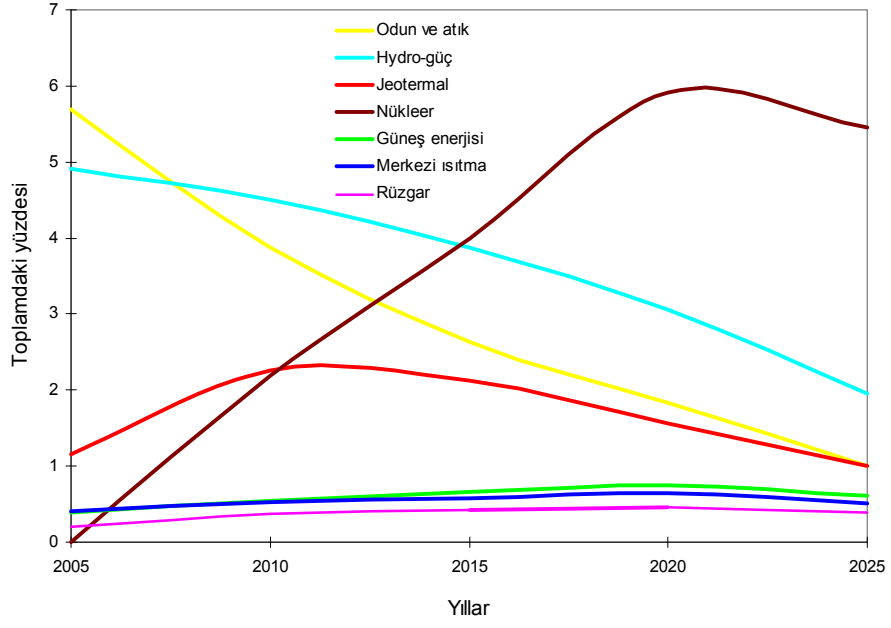
Çizelge 3.1'den alınan veriler doğrultusunda kömür, petrol+doğal gaz, odun+atık, hydro-güç, jeotermal, nükleer, güneş enerjisi, merkezi ısıtma ve rüzgâr enerjisi kullanımının yıllık toplam kullanım içindeki oransal dağılımı Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de görsel olarak daha anlaşılır şekilde verilmektedir.

Çizelge 3.1 Türkiye’deki Enerji Kaynaklarının Yıllara Göre Değişim Grafiği [27].

Enerji kaynakları	2005	2010	2015	2020	2025
	ktoe: kiloton petrol eşdeğeri.				
Taş kömürü+linyit	30 474	50 311	83 258	129 106	296 997
Petrol ve doğal gaz	73 256	92 637	112 993	136 365	179 765
Odun ve atık	6760	6446	6029	5681	5393
Hydro-güç	5845	7520	8873	9454	10 445
Jeotermal	1380	3760	4860	4860	5400
Nükleer	-	3657	9143	18 286	29 200
Güneş enerjisi	459	907	1508	2294	3248
Merkezi ısıtma	495	884	1336	2018	2748
Rüzgâr	250	620	980	1440	2134
Toplam	118 919	166 742	228 980	309 504	535 330

Şekil 3.1 2005–2025 Perspektifinde Kömür ve Petrol+Doğal Gazın Yıllık Toplam Kullanım İçindeki Oransal Dağılımı





Şekil 3.2 2005–2025 Perspektifinde Petrol ve Kömür Dışındaki Diğer Enerji Kaynaklarının Yıllık Toplam Kullanım İçindeki Oransal Dağılımı

Çizelge 3.2 Türkiye Enerji Kaynaklarının Geniş Çaplı Genel Bir Gösterimi [22].

Enerji kaynakları		Sağlanan	Olası	Muhtemel	Toplam
<i>Fosil yakıtlar</i>					
	Taş kömürü (Mt)	428	456	245	1126
	Linyit (Mt)	7339	626	110	8075
	Asfaltit (Mt)	45	29	8	82
	Ziftli tortulu şist (Mt)	555	1086	0	1641
	Ham petrol (Mt)	41,8	-	-	41,8
	Doğal gaz (milyon m ³)	8,7	-	-	8,7
<i>Nükleer kaynaklar (t)</i>					
	Doğal uranyum	9129	-	-	9129
	Toryum	380000	-	-	380000
<i>Yenilenebilirler</i>					
	Hydro				
	TWh/yıl	124	-	-	124
	MW/yıl	34729	-	-	34729
	Jeotermal (Mton/yıl)	1,8			
	Elektrik (MW/yıl)	200	-	4300	4500
	Termal (MW/yıl)	2600	-	28900	31500
	Rüzgâr (TWh/yr)	50	120	230	400
	Biokütle (Mton/yıl)	16,9			32
	NPP (DW Mt/yıl)				
	Forest NPP	-	-	-	86–412
	Terrestrial NPP	-	-	-	191–1660
	Terrestrial NPP + aquatic NPP	-	-	-	202–1730
	Güneş enerjisi (Mton/yıl)	35,2	-	52.8	88
	Elektrik	8,8	-	-	
	Termal	26,4	-	-	

3.3 Türkiye'deki Jeotermal Kaynaklar

Çizelge 3.3 Türkiye'deki Jeotermal Kuyulardaki Çıkış Suyu Sıcaklık Dağılımı(2003) [24]

Türkiye'nin batısı		Türkiye'nin orta bölümü		Türkiye'nin doğusu	
Dağılım (%)	Sıcaklık (°C)	Dağılım (%)	Sıcaklık (°C)	Dağılım (%)	Sıcaklık (°C)
1	240–250	5	90–100	6	160–170
2	230–240	4	80–90	6	80–90
2	220–230	4	70–80	6	70–80
5	200–210	4	60–70	16	60–70
11	190–200	17	50–60	16	50–60
5	170–180	34	40–50	38	40–50
2	130–140	32	30–40	11	30–40
7	110–120				
3	100–110				
21	90–100				
5	80–90				
8	70–80				
7	60–70				
9	50–60				
7	40–50				
5	30–40				

Türkiye düşük sıcaklıktaki jeotermal kaynaklar açısından oldukça yüksek bir potansiyele sahiptir. Türkiye'de yaklaşık 170 jeotermal alan bulunmaktadır, bu kaynakların % 95 kadarı düşük ve orta seviyede sıcaklıkta jeotermal akışkan sağlamaktadır. Düşük sıcaklıktaki kaynaklar çoğunlukla ısıtma uygulamalarında kullanılmaktadır. Jeotermal ısıtma uygulamaları genellikle indirek şekilde oluşturulmaktadır. Yani jeotermal akışkandan alınan ısı enerjisi, şebekede dolaşan temiz suya eşanjörler yardımıyla iletilmektedir [29].

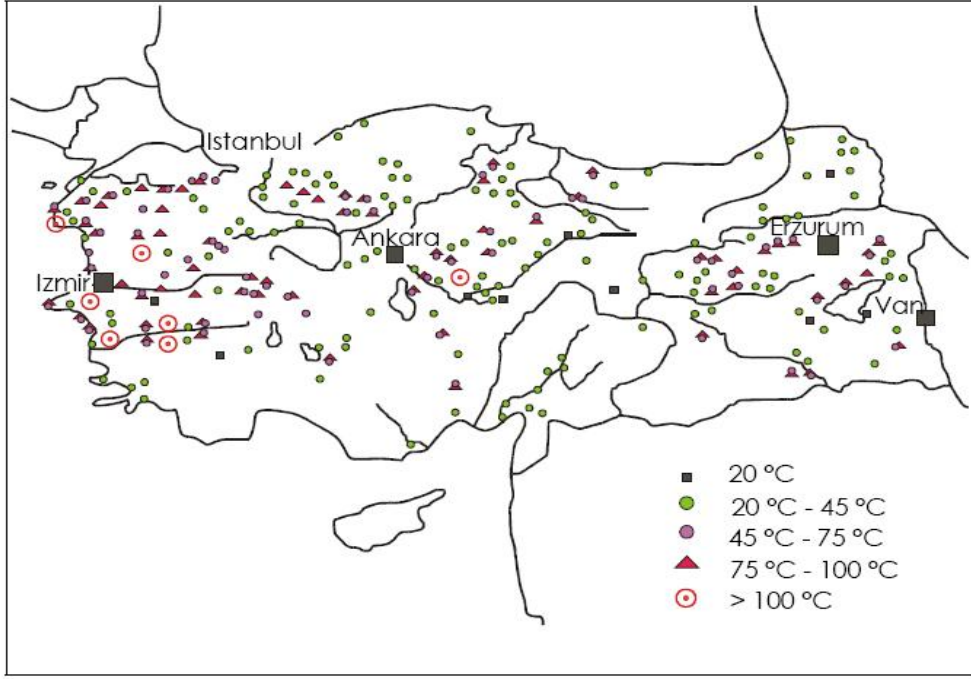
Günümüze kadar Türkiye'de 420 jeotermal üretim kuyusu ve 300 gradient kuyusu açılmıştır. Türkiye'nin potansiyeli düşünüldüğünde, jeotermal üretim kuyularının sayısı oldukça azdır. Jeotermal kuyulardaki sıcaklık dağılımı Çizelge 3.3'de listelenmektedir. Türkiye'nin jeotermal enerji potansiyelinin bölgelere göre dağılımı Çizelge 3.4'de açıkça ifade edilmiştir. Bu dağılım doğrultusunda en yüksek jeotermal enerji potansiyeline sahip olan bölge Ege bölgesi olarak karşımıza çıkmaktadır[24].

Çizelge 3.4 Jeotermal Potansiyelin Bölgelere Göre Dağılımı(2003) [24]

Bölge	Jeotermal Potansiyellerin Dağılımı (%)
Marmara bölgesi	12.8
Karadeniz bölgesi	1.9
Doğu Anadolu bölgesi	2.5
Ege bölgesi	66.7
İç Anadolu bölgesi	15.2
Akdeniz bölgesi	0.7
Güneydoğu Anadolu	0.2
Toplam	100

Çizelge 3.5 Türkiye’de Bulunan Jeotermalle Isıtılabilir Alanlar(2003) [24]

Afyon	Çan	Gözlek	Kızılcahamam	Sarıkaya
Akyazı	Çavundur	Güre	Kızıldere	Seben
Alan güllü	Çermik	Gülpınar	Kozaklı	Seferihisar
Alaşehir	Çeşme	Güzelbahçe	Kös	Sıcak-çermik
Aliağa	Çiçekdağı	Hamamözü	Kuzuluk	Simav
Armutlu	Çifte han	Havran	Kütahya	Sındırgı
Ayaş	Çiğli-Ulukent	Havza	Lâpseki	Sivas
Aydın	Davutlar	Haymana	Mahmutlu	Sorgun
Ayvacak	Denizli	Heybeli	Manisa	Söke
Balçova	Dikili	Hisaralan	Narköy	Sultanhisar
Balıkesir	Diyadin	İlgın	Narlidere	Sulusaray
Balya	Edremit	Ilıca	Nazilli	Susurluk
Banaz	Emet	İkizdere	Ortaklar	Şanlıurfa
Bayındır	Erciş	İncirliova	Pamukçu	Tatvan
Bergama	Erzurum	İsmil	Pasinler	Turgutlu
Bigadiç	Ezine	İzmir	Reşadiye	Tuzla
Boğazlıyan	Gazlı göl	Kalkım	Salâvatlı	Yalova
Bolu	Gediz	Karacasu	Salihli	Yenice



Şekil 3.3 Türkiye’de Kaydedilmiş Olan Jeotermal Akışkan Sıcaklıkları[24]

Türkiye’de bulunan Jeotermalle ısıtılabilir alanlar Çizelge 3.5’de ifade edilmektedir. Bu bölgelerin bazılarında ısıtma yapılırken bazı bölgelerde henüz ısıtma yapılmamaktadır.

Türkiye’de kaydedilmiş olan jeotermal akışkan sıcaklıkları Şekil 3.3’de verilmektedir. Bu akışkan sıcaklıkları bize hangi bölgelerde hangi jeotermal uygulamaların daha elverişli olduğunu göstermesi açısından yararlıdır.

3.3 Türkiye deki Jeotermal Uygulamalar

Türkiye’deki jeotermal uygulamalar daha anlaşılır ve özet olması açısından kısaca tablo halinde verilmiştir. Türkiye’deki jeotermal kullanım kapasitesi Çizelge 3.6’dan kolaylıkla görülebilmektedir. Bu Çizelge doğrultusunda Türkiye’deki en yaygın jeotermal direk kullanımın merkezi ısıtma sistemleri olduğu açıkça ifade edilebilir. Ayrıca yine bu çizelgeden elektrik üretiminde jeotermalden yararlanıldığı da açıkça görülmektedir.

Çizelge 3.6 Türkiye Jeotermal Kullanım Kapasitesi [33].

Jeotermal kullanım	Kapasite
Merkezi ısıtma	827MWt
Kaplıca kullanımı	402MWt
Toplam direk kullanım	1229MWt
Güç üretimi	*20MWe (Denizli-Kızıldere)(işletmede) *25MWe (Germencik)(yapım aşamasında) *10MWe (Aydın Salavatlı)(yapım aşamasında)

Çizelge 3.7 Türkiye de Jeotermal Kullanımın 2005 İtibariyle Durumu [34-36].

	Sağlanan potansiyel (MW)	Olası veya sağlanabilir potansiyel (MW)
Isıtma (<473 K)	3293MWt	31,500MWt
Elektrik(>473 K)	200MWe	4500MWe

Türkiye de Jeotermal Kullanımın 2005 İtibariyle Durumu Çizelge 3.7'de açıkça belirtilmektedir. Bu çizelge Türkiye'de, jeotermal enerjiden sağlanan potansiyelin olası kullanım potansiyelinin çok altında olduğunu açıkça göstermektedir. Olası potansiyelin kullanılmasıyla çok büyük bir enerji kazancı sağlanmış olacaktır.

3.5 Jeotermal Kaynakların Sınıflandırılması

Çizelge 3.8 Jeotermal Kaynağın Sıcaklık ve Akış Kapasitelerine Göre Sınıflandırılması[37].

	En düşük sıcaklık [°C]	En düşük kapasite [m ³ /h]
Yüksek entalpili jeotermal	90	2900
Düşük entalpili jeotermal	35	1000

Jeotermal enerji sistemleri sıcaklık ve akış kapasitelerine sınıflandırılmaktadır. Deneyimler göz önüne alınarak bu limitler kabul görmüştür. (Çizelge 3.8)

3.6 Jeotermal Kullanımın Sınıflandırılması

Jeotermalin kullanımı genel olarak iki gruba ayrılabilir; elektrik üretimi ve direk kullanım uygulamaları. Çizelge 3.9'da çeşitli uygulamalar için gerekli olan minimum jeotermal su sıcaklığı verilmektedir.

Çizelge 3.9 Jeotermal Akışkan Sıcaklığına Bağlı Genel Kullanımını Gösteren Lingal Diagramı [32].

Sıcaklık °C	Genel kullanımı	Elektrik	Isıtma
180	Yüksek Konsantrasyon Solüsyonun buharlaşması	+	-
180	Amonyum absorpsiyonu ile soğutma	+	-
170	Hidrojen sülfür yoluyla ağır su eldesi	+	-
170	Diyatomitlerin kurutulması	+	-
160	Kereste, balık vb. yiyeceklerin kurutulması	+	-
150	Bayer's yoluyla alüminyum elde si	+	-
140	Çiftlik ürünlerinin çabuk kurutulması (Konservecilik)	-	+
130	Şeker endüstrisi, tuz eldesi	-	+
120	Temiz tuz elde si, tuzluluk oranının artırılması	-	+
110	Çimento kurutulması	-	+
100	Organik maddeleri kurutma/ yün yıkama ve kurutma	-	+
90	Balık kurutma	-	+
80	Ev ve sera ısıtma	-	+
70	Soğutma (alt sıcaklık sınırı)	-	+
60	Kümes ve ahır ısıtma	-	+
50	Mantar yetiştirme, kaplıca sistemi	-	+
40	Toprak ısıtma, kent ısıtma(alt sıcaklık sınırı) ,sağlık tesisleri	-	+
30	Yüzme havuzları, fermantasyon, damıtma, sağlık tesisleri	-	+
20	Balık çiftlikleri	-	+

3.7 2005 Yılı İtibariyle Jeotermal Kullanımı

Çizelge 3.10 2005 İtibariyle Jeotermalden Elektrik Üretimi ve Kullanım Kapasiteleri

Kullanım	Kurulu güç (MW)	Yıllık enerji kullanımı (GWh/yıl)	Kapasite Faktörü	Kullanan Ülkeler
Elektrik gücü	8 933	56 786	0.73	24
Direk kullanım	28 268	75 943	0.31	72

Çizelge 3.11 2005 Yılı İçin Dünyadaki Toplam Jeotermal Kullanımı [42].

Bölgeler	Elektrik üretimi		Direk kullanım	
	% MWe	% GWh/yr	%MWt	%GWh/yr
Afrika	1.5	1.9	0.7	1.1
Amerika	43.9	47.0	32.3	16.7
Asya	37.2	33.8	20.9	29.4
Avrupa	12.4	12.4	44.6	49.0
Okyanus bölgesi	5.0	4.9	1.5	3.8

2005’de 68 ülkenin katılımıyla Türkiye’de toplanan, Dünya Jeotermal kongresinde (WGC2005) sunulan çalışmalarda, jeotermalden elektrik üretimi ve direk kullanım kapasiteleri Çizelge 3.10’da verilmiştir.

Bu toplantıda, toplam 72 ülke 2000 ve 2005 arasındaki jeotermalden nasıl yararlandıklarını rapor etmişlerdir. Elektrik üretme kapasitesini gösteren şekiller hassas bir şekilde oluşturulmuştur. Ancak genelin % 0.5 gibi küçük bir bölümünü oluşturan bazı ülkelerin yıllık üretim değerleri (GWh) hakkında bazı kabuller yapılmıştır. Jeotermalin direk kullanımını gösteren şekillerin ise elektrik üretimini gösteren değerlere göre daha az güvenilir olduğu söylenebilir. Bu değerler Çizelge 3.11’de detaylı olarak verilmiştir.

Amerika ve Asya toplam jeotermal kaynaklı elektrik üretiminin % 80'ine yakını elinde tutmaktadır. Çizelge 3.10 ve 3.11'den de açıkça görüleceği gibi, elektrik üretimi göz önüne alındığında kurulu kapasite ve enerji üretimi, yaklaşık aynı yüzdelerde paylaşılmaktadır. Bunun aksine bazı bölgelerde jeotermalin direk kullanımında, kurulu kapasite ve enerji üretimi arasında gözle görülür farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Jeotermal ısı pompalarının düşük kapasite faktörleriyle işletilmesi bunun oluşmasında büyük rol oynamaktadır. Amerika kıtasında bu oranlar şu şekildedir; % 32.3 ile % 16.7 [42].

3.8 Jeotermal Enerjini Kullanımını Etkileyen Faktörler

Jeotermal kullanım şeklini etkileyen faktörler aşağıdaki şekilde sıralanabilir

Jeotermal Akışkan Sıcaklığı

Jeotermal kaynağın enerji kalite değeri akışkan sıcaklığının artışıyla yükselmektedir. 100 ile 150⁰C arasındaki akışkan dünyada yaygın olarak elektrik üretiminde kullanılmaktadır ve elektrik üretimi sonrasında jeotermal akışkan çoğunlukla ısıtma uygulamalarında kullanılmaktadır. 115 ile 65⁰C arasındaki akışkan genelde ısıtma ihtiyacı amaçlı kullanılmaktadır. Direk jeotermal ısıtma sistemleri için en düşük akışkan sıcaklığı 60⁰C olarak kabul edilmektedir. Daha düşük sıcaklıklardaki akışkanların kullanımı için özel ısıtma sistemlerine(döşemeden ısıtma vb.) veya ısı pompalarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Debi Değeri

Sıcaklığa bağlı olarak akışkan debisi, kaynağın merkezi ısıtma uygulamaları için yeteli bir potansiyele sahip olup olmadığını belirlemektedir. Jeotermal ısıtma sistemlerinde kullanıcıya ulaşan su sıcaklığı genellikle 60 ile 90⁰C arasında olup, dönüş su sıcaklığı ise 35 ile 50 ⁰C arasında değişmektedir. Temel olarak sistemdeki enerji verimliliği, kullanılan jeotermal akışkan sıcaklığının ne kadar düşürülebildiğine bağlıdır [39].

Jeotermal Akışkanın Kimyasal Özellikleri

Jeotermal sıcak su, mineral bakımından soğuk yeraltı sularından daha zengindir. Jeotermal suyun kimyasal içeriğinin bilinmesi, enerji dönüşüm sistemlerinde hangi malzemelerin (plastik, titanyum, paslanmaz çelik, fiberglass) seçilmesi konusunda önem taşımaktadır. Ayrıca uygun sistem seçimi konusunda da büyük önem taşımaktadır. Bu seçime etki eden ana bileşenler şunlardır: silika, oksijen, klor, kalsiyum, magnezyum, hidrojen sülfat ve akışkanın PH değeridir.

Eğer akışkanın klor oranı 50 ppm'den, silika oranı 50 ppm'den, ve serbest oksijen oranı da 5 ppm'den düşükse, akışkan radyatörlerde direk olarak kullanılabilir. Eşanjör kullanımı veya direk kullanım açısından suda bulunan mineral miktarı veya sistem için zararlı maddeler içerip içermediği büyük önem taşımaktadır [39].

Jeotermal Kaynağın Kullanım Yerine Olan Uzaklığı

Jeotermal kaynakla potansiyel kullanıcılar arasındaki mesafe teknik ve finansal kapasite açısından çok önemli bir parametredir. Kısa mesafeler daha yaygın ve arzu edilenlerdir.

Taşıma sisteminin ekonomik boru çapı(kaynak) ve kaynakla kullanıcılar arasındaki maksimum ekonomik uzunluk iki grup parametreye bağlı olarak değişir. İlk grup parametreler şu şekilde sayılabilir:

- Ana ishale hattının ve buna bağlı olarak kurulması gereken sistemlerin ilk yatırım maliyeti.
- İkinci grup parametreler ise, işletme maliyetleriyle alakalıdır (Boru hatlarındaki ısı kayıpları, akışkan pompalama maliyetleri, destek ısıtma sisteminin kurulması).

Çizelge 3.12 Jeotermal Akışkan Sıcaklığına Bağlı Kullanım [36-38].

Isıtma	20–100 °C
Kurutma	80–160 °C
Kimyasal işlemler	150–200 °C

Çizelge 3.13 Akışkan Debisine Bağlı Güç Kapasiteleri

Isıtma	10–25 MWt
Kurutma	1–10 MWt
Kimyasal işlemler	10–100 MWt

Bir örnek verilecek olursa: Büyük ölçekte bir direk jeotermal kullanımda 200 MWt ve üzeri bir sistemde 30 km ekonomik bir mesafe olabilirken, 10 MWt'lik küçük bir sistemde bu mesafe 3 km'ye kadar düşmektedir [39].

Jeotermal merkezi ısıtma amaçlı jeotermal su taşıma hattı en uzun 61 km ile İzlanda'da yer almaktadır. Ayrıca, yine İzlanda'da 2 °C'lik sıcaklık kaybı ile 27 km'lik jeotermal su taşıması yapılmaktadır. Türkiye'de ise en uzun taşıma 10 – 18 km ile Afyon ve Balıkesir'dedir.

3.9 Direk Kullanım

Jeotermalin direk uygulamalarda kullanımında iki parametre bulunmaktadır, sırasıyla bunlar: akışkan sıcaklığı ve akışkan debisi. Direk kullanım için düşünüldüğünde akışkan, sıcaklığına göre üç kısma ayrılabilir.

Uygulama kapasitesinin belirlenmesinde akışkan debisi önemli bir belirleyicidir. Bu bağlamda kabaca debiye bağlı olarak güç kapasiteleri şu şekilde verilebilir (Çizelge 3.14).

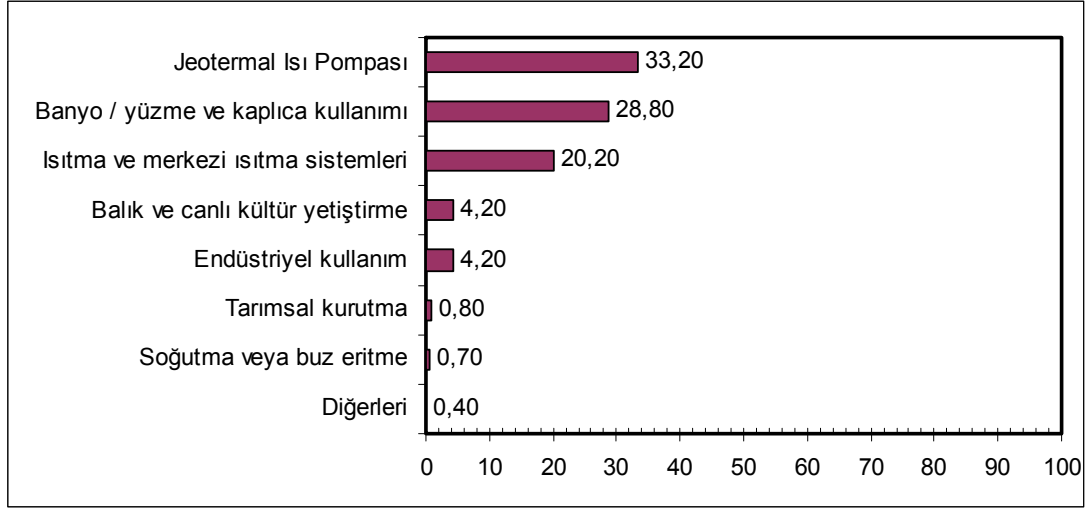
Akışkan sıcaklığına ve debisine bağlı olarak jeotermalin hangi uygulama için uygun olduğu belirlenir.

3.9.1 Jeotermal Kaynakların Direk Kullanımı

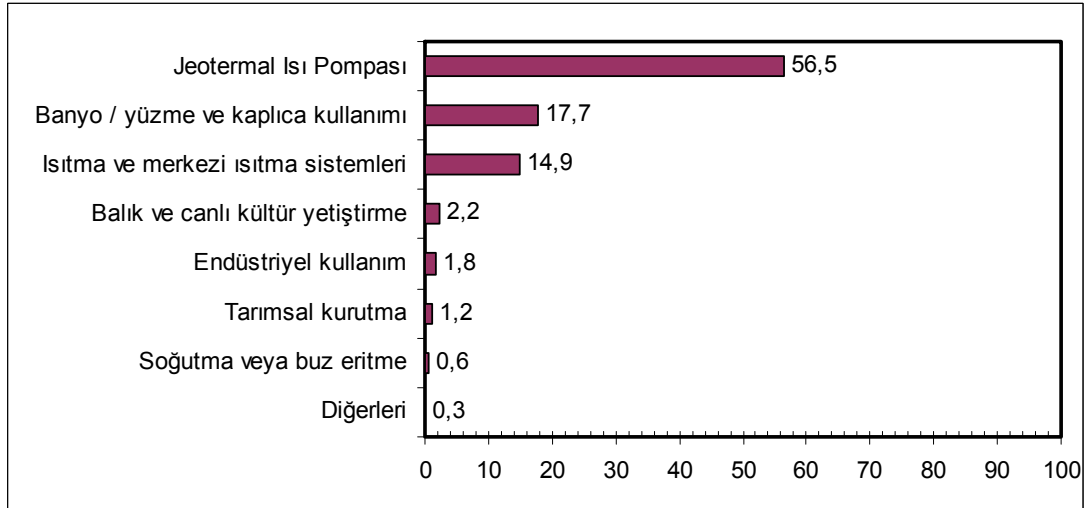
Dünyadaki direk jeotermal enerji kullanımını saptamak zordur, çünkü bu enerjinin birçok çeşit kullanımı vardır ve bunlar çoğu zaman küçük ve uzak bölgelerdedir. Ülkelerde ise, jeotermalin direk kullanımı hakkında bilgili bir birimi veya bir grubu bulmak çoğu zaman zor olmaktadır. Bunlara ilave olarak kullanım belirlense dahi, akış debileri ve sıcaklıklar genellikle bilinmemekte veya rapor edilmemektedir. Bu sebeplerden dolayı kapasite ve enerji kullanımı belli kabuller sonucunda ortaya konulmuştur. Yüzme havuzlarında, banyo ve hamam sistemlerinde, jeotermal su kullanımı için aynı şekilde tam bilgi edinilmemektedir. Bu sebepten bilinen değerlerden, değişiklikleri karşılaştırmak zordur.

Jeotermalde 2000 ile 2005 yılı arasında en göze çarpan kısım; jeotermal enerjiden yararlanan ülke sayısının büyük oranda artmış olmasıdır. 14 ülke bu dönemde jeotermal enerjiden yararlanmaya başlamıştır. 2005 itibariyle, 76 ülke bir şekilde jeotermal enerjiden faydalanmaktadır.

Bu dönemde göze çarpan önemli bir diğer değişiklik ise; jeotermal veya yer kaynaklı ısı pompalarının sayısındaki büyük artıştır. Kapasitede, yıllık yaklaşık % 24'e varan bir artış oranıyla beş yıl içinde % 198'lik bir artış gerçekleştirilmiştir. 33 ülkede, kurulan sistemlerin gerçek sayısı yaklaşık 1700000 civarındadır. Bunların çoğu da Birleşik devletler ve Avrupa'dadır. 12 kWt (orta çapta) eşdeğerinde kurulan sistem sayısı yaklaşık 1300000 civarındadır. Jeotermalin direk kullanıldığı sistemlerin dağılım kapasitesi ve yıllık enerji kullanımının tüm kullanıma oranı Şekil 3.4'de verilmiştir [16].



Şekil 3.4 Yıllık Jeotermal Akışkan Direk Kullanımdaki Enerji Dağılım Grafiği (2005)



Şekil 3.5 Yıllık Jeotermal Akışkan Direk Kullanımdaki Kurulu Kapasite Dağılımı (2005)

Merkezi ısıtma sistemleri, jeotermalden yararlanılarak yapılan ısıtma sistemleri içinde % 80'lik bir paya sahiptir. Jeotermal direk enerji kullanımı, ülke enerji bütçesine olumlu yönde katkıda bulunmaktadır. İki ülke buna örnek gösterilebilir: İzlanda ve Türkiye [16].

İzlanda, ülkenin ısıtma ihtiyacını % 86'sını jeotermalden sağlamaktadır. Bu sayede ülke 100 milyon \$'lık petrolü dışarıdan ihraç etmemektedir [16].

Türkiye’de ise kurulu kapasite 5 yıllık dönem içinde 820 MWt’dan 1495 MWt’a çıkmıştır. Bu enerjinin çoğu merkezi ısıtmada kullanılmaktadır ve bu enerji 103000 ev eşdeğeri ısıya eşittir. Türkiye 2010 projeksiyonda, 3500 MWt’luk jeotermal enerji kullanımı öngörülmektedir. Bu enerji, 500 000 evin (Türkiye’deki evlerin %30) ısıtılması anlamına gelmektedir [16].

3.10 Jeotermal Enerji Sistemleri

3.10.1 Jeotermal Merkezi İstıtma Sistemleri

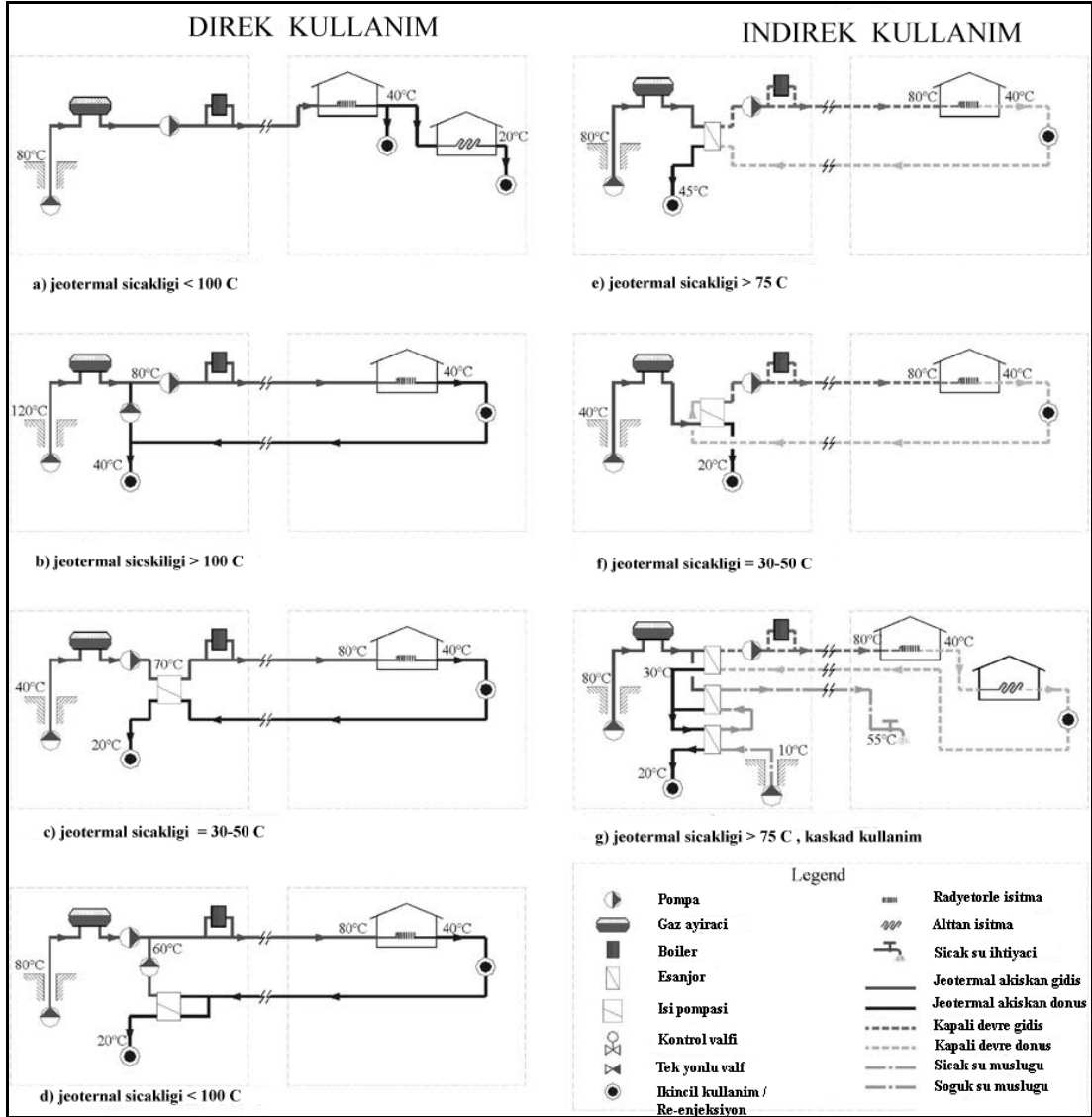
Jeotermal merkezi ısıtma sistemleri akışkanın direk veya indirek kullanılmasına bağılı olarak iki ana guruba ayrılabilir.

3.10.1.1 Jeotermal Akışkanın İndirek Kullanılmadığı Sistemler

Bu sistemde jeotermal akışkan, merkezi ısıtma sisteminden eşanjörler vasıtasıyla ayrılır. Bu kullanım akışkanın kimyasal karakteristiğı, yüksek sıcaklığı ve basıncından dolayı önem kazanmaktadır. Sistemde kullanılan eşanjörlerin ana amacı jeotermal akışkandaki ısının temiz suya geçirilmesini sağlamaktır. Bu sistemde merkezi ısıtma sistemi kapalı bir devre olarak çalışır. Sıcak su evlerde kullanıldıktan sonra boru sistemleriyle toplanarak tekrar eşanjörlere ulaştırılır. Sıcak su kullanıcılara pompa yardımıyla pompalanarak iletilir.

3.10.1.2 Jeotermal Akışkanın Direk Kullanıldığı Sistemler

Jeotermal akışkanın kalitesi (kimyasal içeriğı, basınç, sıcaklık vs.) direk kullanıma izin verdiğı koşullarda ev ısıtma sistemlerinde bu sistem kullanılabilir. Bu kullanımda sistem eşanjörle ayrılmaz.



Şekil 3.6 Jeotermal Su Kullanımıyla Isıtma Yapan Sistemlere Örnekler [38].

4. EDREMİT VE BİGADIÇ JEOTERMAL MERKEZİ ISITMA SİSTEMLERİNİN TANIMLANMASI VE MODELLENMESİ

4.1 Bigadiç Jeotermal Merkezi Isıtma Sisteminin Tanımlanması

Bigadiç jeotermal alanı Balıkesir iline 38 km uzaklıkta bir alanda bulunmaktadır (Şekil. 4.1). Bigadiç jeotermal ısıtma sistemini besleyen kuyuların bulunduğu kısım yaklaşık 1 km² bir alan işgal etmektedir. Jeotermal akışkanın kaynak hazne sıcaklığı 110°C civarındadır. Jeotermal alanda altı tane kuyu açılmıştır. Bunların ikisinde jeotermal akışkana rastlanmayıp dört tanesinde jeotermal akışkana rastlanmıştır. Verilerin alındığı 2006 yılının sonu itibariyle, HK-2 ve HK-3 isimlerinde iki kuyu şebeke için jeotermal su sağlamakta olduğu tespit edilmiştir. Bu kuyuların derinlikleri de sırasıyla 429 m ve 307 m olduğu öğrenilmiştir. Jeotermal akışkanın kuyu başı sıcaklığının 98°C civarında olduğu gözlemlenmiştir. Kuyulardan çıkan jeotermal akışkanın kimyasal analizi Çizelge 4.1'de açık bir şekilde verilmiştir. Verilerin alındığı dönem itibariyle kuyu başı sistemde pompa bulunan iki kuyuya ilave olarak üçüncü bir kuyuya da pompa yerleştirme için çalışmalar sürmekteydi. Sistemin son durumunun gözden geçirilmesi için 2007 Mayıs sonu itibariyle yapılan ziyarette bu kuyuya da pompa yerleştirildiği gözlemlenmiştir.

Verilerin alındığı dönem itibariyle sistemde 5 pompa çalıştığı tespit edilmiştir. Bu pompalardan 3 tanesi kuyu sistemi için kullanılırken diğer ikisi de ısı merkezinde sıcak temiz suyun devir daimi için kullanılmaktadır. Pompa-1 ve pompa-2 artezyen kaynak pompası olarak kullanılmaktadır. Verilerin alındığı gün Pompa-1 ve pompa-2 devredeyken pompa-3 devrede olmadığı gözlemlenmiştir. Pompa_3, kaynaktan istenen debi ihtiyacını debi ihtiyacının 100 kg/s geçmesi halinde devreye girmektedir. Verilerin alındığı gün ve saat itibariyle Pompa-3 çalışmadığı gözlemlenmiştir. Kasım ve Aralık (2006) ayları içinde veri alınan iki gün için, kaynaktan alınan debiler 53 kg/s ve 63.8 kg/s olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.1 Bigadiç JMIS Yerinin Gösterimi [45].

	Sıcaklık 98 (°C)
	(mg/L)
K ⁺	64.52
Na ⁺	655.22
Ca ²⁺	31.68
Mg ²⁺	15.80
NH ₄ ⁺	2.97
Fe ²⁺	0.30
Br ⁻	0.58
HCO ₃ ⁻	1098
SO ₄ ²⁻	440
HPO ₄ ²⁻	0.77
Cl ⁻	209.69
F ⁻	2.58
CO ₂	13.2

Çizelge 4.1 Bigadiç Jeotermal Alanından Alınan Jeotermal Akışkanın Kimyasal Analizi [45]

Pompa-3 'ün genelde çalışmamasının bir nedeniyse; kaynak ile ısı merkezi arasındaki 200 metrelik yükselti farkının jeotermal akışkanın iletimini büyük ölçüde kolaylaştırması ve potansiyel enerji kazanımı oluşturmaktadır. Eğer debi ihtiyacı artış gösterirse, pompa devreye alınmaktadır.

Burada sistemi üç ana kısımda inceye biliriz. İlk kısım olarak, jeotermal akışkanın 'çamur ve gaz seperatorüne içindeki zararlı maddelerin alınması için yollanması. Gaz ve çamur seperatorünün ardından akışkan ısı merkezine yollanması işlemi gerçekleşmektedir. 18 km lik bir boru hattını izleyen akışkan, ısı merkezine gelmektedir. Bu mesafe boyunca yaklaşık 4°C - 6°C lik bir ısı kaybı gerçekleşmektedir.

İkinci kısımda ise; kaynaktan gelen jeotermal akışkan iki ana eşanjörde yaklaşık 44°C 'ye soğutulmaktadır. Eşanjörlerdeki ısı transferinin gerçekleşmesinin ardından jeotermal akışkan çevreye (dereye) bırakılmaktadır. Evlere enerjiyi taşıyan merkezi boru hatlarında temiz su dolaşmaktadır. Verilerin alındığı gün itibariyle (6 Aralık, 2006) temiz su eşanjörlere ısınmak üzere 47°C 'de girmiş ve ısıdıktan sonra 68°C 'de ısı merkezini terk etmiştir.

Üçüncü kısımda ise; ısıtılmış temiz su, her binanın altında bulunan bina altı eşanjörlerine yollanmaktadır. Sistem her binanın altında bir veya iki eşanjör olacak şekilde tasarlanmıştır. Bir eşanjör ısıtma ihtiyacını karşılarken diğeri de evler için sıcak su temininde kullanılmaktadır. Sistemde genelde aynı marka olmak üzere plaka tipi eşanjörler kullanılmıştır.

Sistemde 3 ana sıcak su iletim hattı bulunmaktadır. Çalışmalarımızın yapıldığı dönem itibariyle ikinci ve üçüncü ana sıcak su iletim hattı devredeyken birinci ana sıcak su hattının devreye alınması için çalışmalar sürmekteydi. 2007–2008 ısıtma sezonunda devreye alınmak üzere üçüncü eşanjörde sisteme monte edilmesi için çalışmalar sürdürülmekteydi.

İkinci ve üçüncü ana sıcak su iletim hattı 2200 konut eşdeğeri (15253 kW) ısı iletimini gerçekleştirebilmiştir. Bu iki ana hattan; bir postahane, bir yurt, sekiz okul, bir devlet hastanesi, iki polis merkezi ve on adette devlete ait resmi kurum ısıtılmaktadır.

Çizelge 4.2 Sistemi Besleyen Ana Eşanjörlerin Kapasite Verileri

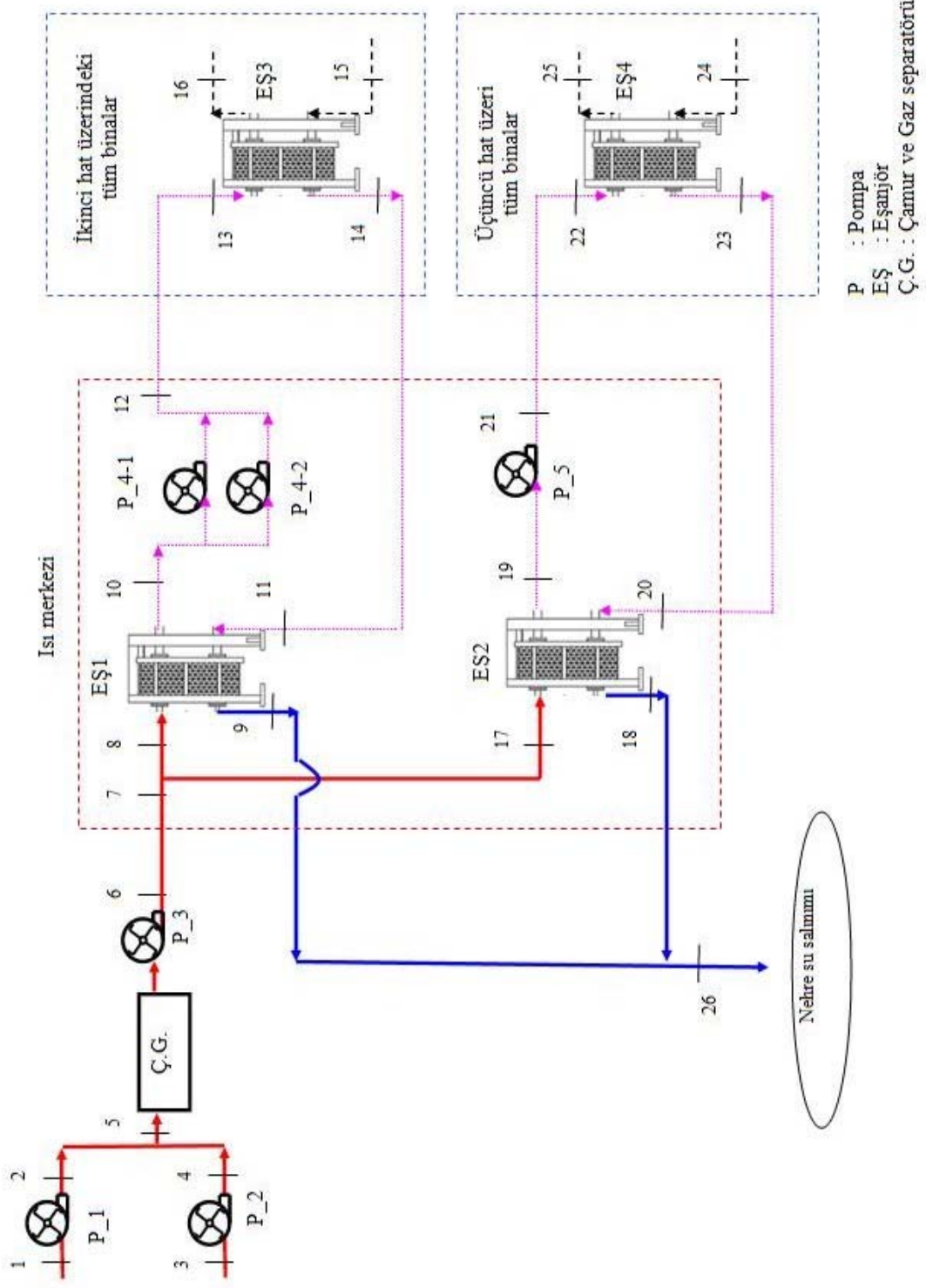
Eşanjör ismi	Kapasitesi
1.zon eşanjör	2 500 kcal/h
2. zon eşanjör	5500 + 2500 kcal/h
3.zon eşanjör	9 500 kcal/h

Çalışma sırasında tüm bina altı eşanjörlerin tek bir eşanjör gibi davrandığı düşünülmüş ve gösterim olarak tek bir eşanjör de toplanmıştır. İkinci ana sıcak su iletim hattı boyunca bulunan tüm eşanjörler bir noktaya toplanarak üçüncü eşanjör olarak isimlendirilmiştir. Aynı yöntemle üçüncü ana sıcak su iletim hattı boyundaki eşanjörlerde toplanarak dördüncü eşanjör olarak isimlendirilmiştir.

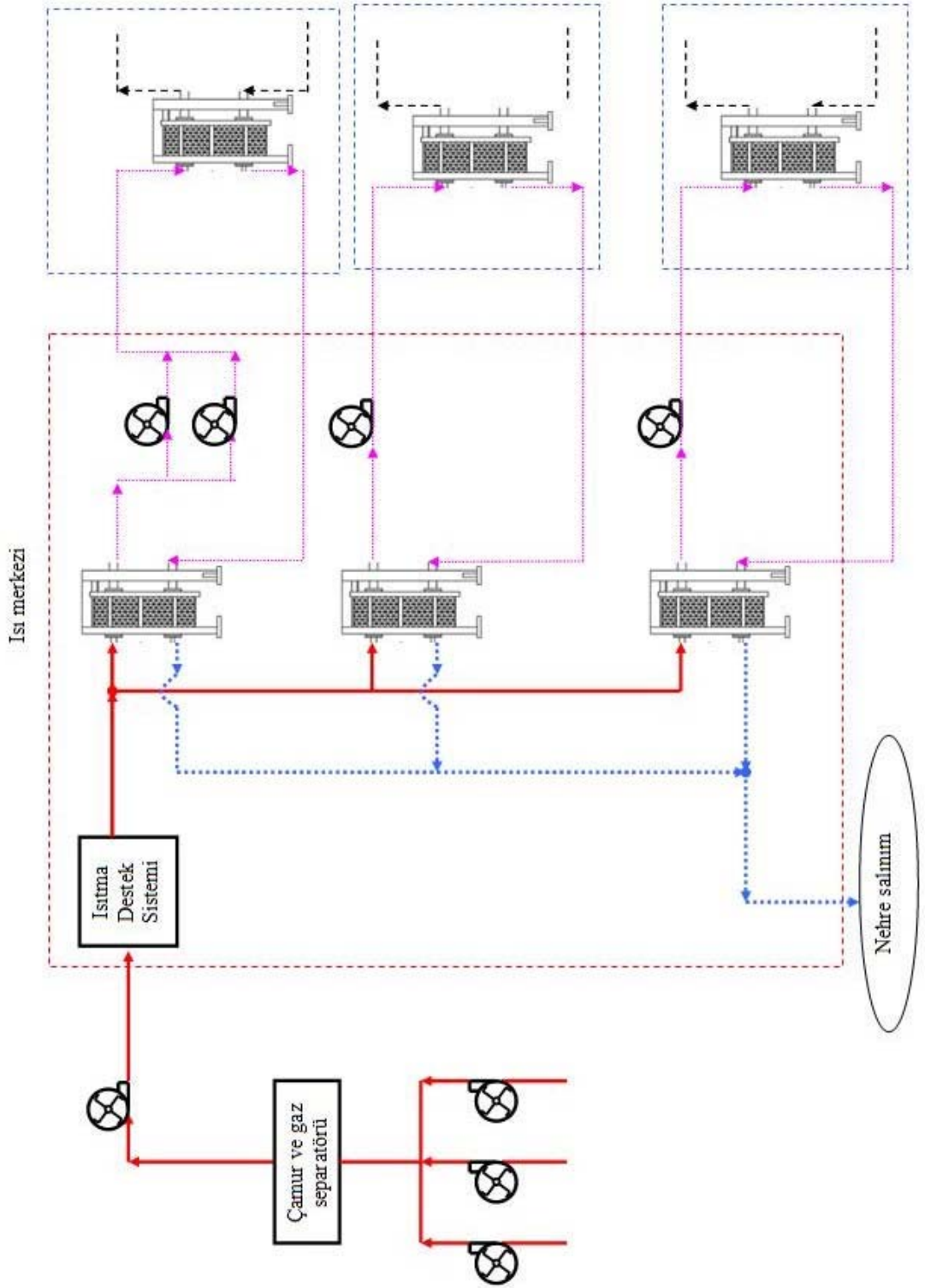
Isının tamamının da en uzak ve yüksek eşanjöre iletildiği düşünülmüştür. Devlet hastanesi sıcak su iletim hattının en uzak ve yüksek noktası olduğu için hesaplamalarda kritik nokta olarak bu nokta alınmıştır. Sıcaklık ve basınç değerleri bu nokta baz alınarak hesaplanmıştır. Sistemde ek ısıtma sistemi olarak, aşağıdaki ısıtma kapasitelerinde üç kazan bulunmaktadır (2 000 000 x 3 tane kazan= 6 000 000 kcal/h).

Çizelge 4.1’de 2007 Mayıs sonu itibariyle sistemi besleyecek olan üç eşanjörün kapasiteleri verilmiştir.

Şekil 4.2’de sistemin enerji ekserji hesaplamaları için değerlerin alındığı dönemdeki sistem şematiği ve Şekil 4.3’de 2007 Mayıs sonu itibariyle sistemin son şematik şekli gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Verilerin Alındığı Dönem İçin Bigadic JMIS Akış Şematığı.



Şekil 4.3 Bigadiç JMIS Mayıs 2007 İtibariyle Akış Şematiği



Şekil 4.4 Bigadiç JMIS'in Isı Merkezindeki Sirkülasyon Pompaları



Şekil 4.5 Bigadiç JMIS'in Isı Merkezindeki Eşanjörler

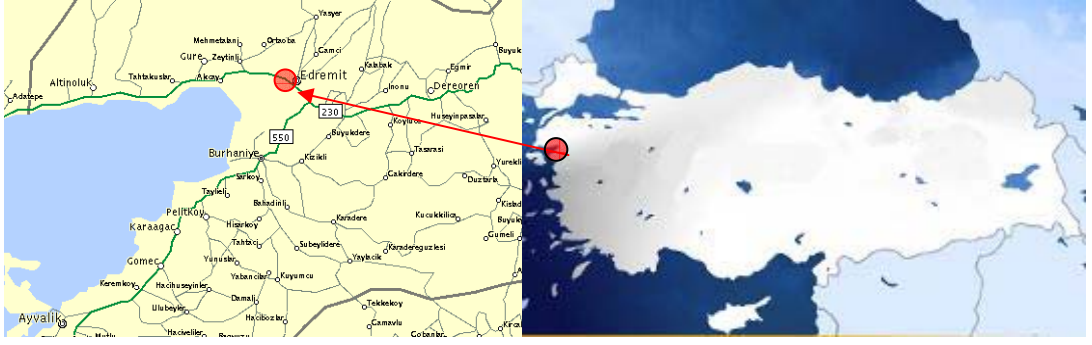
Çizelge 4.3 Bigadiç JMIS’in Her Bir Noktası İçin Akışkan Özellikleri, Enerji ve Ekserji Oranları

No	Akışkan çeşidi	Sıcaklık T (°C)	Basınç P (kPa)	Spesifik entalpi h (kJ/kg)	Spesifik entropi s (kJ/kgK)	Debi \dot{m} (kg/s)	Spesifik ekserji Ψ (kJ/kg)	Ekserji oranı \dot{E}_x (kW)	Enerji oranı \dot{E} (kW)
0	Jeoter.	11	101.32	46.29	0.1658	-	-	-	-
1	Jeoter.	97	101.32	406.4	1.273	35	45.6652	1598.28	14224.00
2	Jeoter.	97.05	404	406.8	1.274	35	45.7812	1602.34	14238.00
3	Jeoter.	96	101.32	402.2	1.261	28.8	44.8732	1292.35	11583.36
4	Jeoter.	96.05	404	402.6	1.262	28.8	44.9892	1295.69	11594.88
5	Jeoter.	96.64	390	405.1	1.268	63.8	45.7852	2921.10	25845.38
6	Jeoter.	94.5	380	396.1	1.244	63.8	43.6012	2781.76	25271.18
7	Jeoter.	90	505	377.2	1.192	63.8	39.4692	2518.13	24065.36
8	Jeoter.	90	505	377.2	1.192	27.15	39.4692	1071.59	10240.98
9	Jeoter.	47	450	197.2	0.6646	27.15	9.2508	251.16	5353.98
10	Su	68	132	284.7	0.9303	55.55	21.292	1182.77	15815.09
11	Su	47	152	196.9	0.6647	55.55	8.9224	495.64	10937.80
12	Su	68.06	600	285.3	0.9307	55.55	21.7784	1209.79	15848.42
13	Su	67.1	253	281	0.9192	55.55	20.7444	1152.35	15609.55
14	Su	48	203	201.1	0.6777	55.55	9.4304	523.86	11171.11
15	Su	47	223	197	0.6647	81.71	9.022	737,22	16097
16	Su	60	192	251.2	0.831	81.71	15.993	1306,80	20525
17	Jeoter.	90	505	377.2	1.192	36.65	39.4692	1446.55	13824.38
18	Jeoter.	47	450	197.2	0.6646	36.65	9.2508	339.04	7227.38
19	Su	68	132	284.7	0.9303	75	21.292	1596.90	21352.50
20	Su	47	152	196.9	0.6647	75	8.9224	669.18	14767.50
21	Su	68.06	600	285.3	0.9307	75	21.7784	1633.38	21397.50
22	Su	67.1	253	281	0.9192	75	20.7444	1555.83	21075.00
23	Su	48	203	201.1	0.6777	75	9.4304	707.28	15082.50
24	Su	47	223	197	0.6647	110.33	9.022	995,44	21735
25	Su	60	192	251.2	0.831	110.33	15.993	1764,52	27714
26	Jeoter.	44	400	184.4	0.6254	63.8	7.5836	483.83	11764.72

Not: Sıfır noktası referans durumu göstermektedir, Jeoter. :Jeotermal akışkan

4.2 Edremit Jeotermal Merkezi Isıtma Sistemi Genel Tanımlanması

Jeotermal akışkanı kullanım şekillerine göre merkezi ısıtma sistemleri iki ana gruba ayrılabilir. Birinci grupta jeotermal akışkan ev ısıtma sistemlerinde direk olarak kullanılmaktadır. İkinci grup kullanımda ise jeotermal akışkan direk kullanılmamakta, enerjisi ikinci akışkanın kullanıldığı diğer kapalı akışkan sistemine eşanjörler yardımıyla iletilerek kullanılmaktadır. 60 ile 125°C arasındaki jeotermal



Şekil 4.6 Edremit JMIS Yerinin Gösterimi

akışkan sıcaklığının merkezi ısıtma sistemleri için uygun olduğu yaygın olarak kabul görmektedir. Ayrıca direk kullanım için en düşük sıcaklık 60°C olarak kabul görmektedir [39].

Türkiye'deki birçok ısıtma sistemi indirek jeotermal akışkan sistemine göre işletilmektedir. Ancak Edremit Merkezi Isıtma Sisteminde jeotermal akışkan kullanıcılara direk pompalanmakta ve merkezi dağıtma sistemiyle kullanıcılara ulaştırılmaktadır.

Edremit jeotermal alanı Balıkesir'in 87 km batısında bulunmaktadır. (Şekil 4.6). Jeotermal kaynak ile Edremit merkezi arasında 3–4 km lik bir mesafe bulunmaktadır. Kasım 2006 itibariyle; sahada derinlikleri 195 ile 496 m arasında değişen 7 tane kuyu bulunmaktaydı. Kuyular hakkındaki bilgiler Çizelge 4.3'de açıkça ifade edilmiştir.

ED-1, ED-3, EDJ-3 isimlerindeki üç kuyu üretim kuyusu olarak kullanılmaktadır. ED-2 adındaki kuyu yetersiz debi nedeniyle kapatılmıştır. EDJ-4, ED-5, EDJ-7 adındaki diğer üç kuyunun pompaları hazır ancak henüz sisteme bağlantıları yapılmamıştır. Kuyu başı üretim sıcaklıkları 60°C civarındadır. Kuyulardaki debiler ise 18 kg/s ile 86 kg/s arasında değişmektedir

Edremit Merkezi Isıtma Sisteminin potansiyeli 9.815 MWt [44] olarak bilinmektedir. Sistemi besleyen kuyuların yerleştiği alan yaklaşık 0.3 km^2

civarındadır. Edremit jeotermal kuyularındaki akışkanın kimyasal analizi Çizelge...
'da ifade edilmektedir.

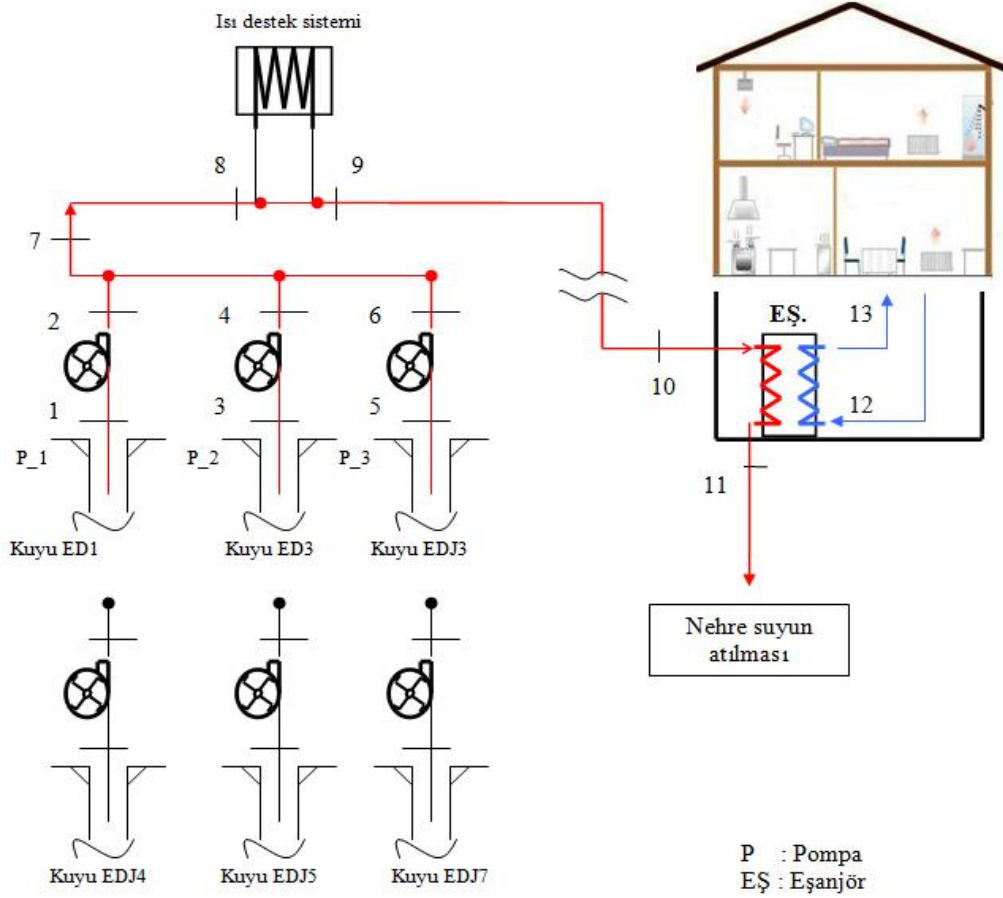
Çizelge 4.4 Edremit ED-1 kuyusunun kimyasal analiz tablosu[46]

Su tipi		Sodyum Sülfat			
Kasyon					
	Ca	Mg	Na	K	Fe
mg/L	18	26.8	199	8	0.44
Anyon					
	HCO ₃	CO ₃	SO ₄	Cl	NO ₃
mg/L	79	9	300	60.5	4.5
Mn	NO ₂	PO ₄	F	B	SiO ₂
-	-	-	0.2737	0.0526	-
TDS	Alkalinity	İletkenlik	pH	Kasyonlar (epm)	Anyonlar (epm)
-	-	1291	7.9	12	9.9

Çizelge 4.5 Edremit Jeotermal Alanındaki Kuyular

İsimleri	Toplam derinlik (m)	Kuyubaşı Sıcaklığı (°C)	Akışkan debisi (kg/s)	Tipi / Durumu
ED-1	195.60	60.00	75	Üretim/ İşletmede
ED-2	496.50	55.00	2	Kapalı
ED-3	495.00	59.00	18	Üretim/ İşletmede
EDJ-3	266.00	60.00	86	Üretim/ İşletmede
EDJ-4	296.00	49.00	86	Üretim/ şu an çalışmıyor
EDJ-5	216.00	58.70	45	Üretim/ şu an çalışmıyor
EDJ-7	246.00	58.30	30	Üretim/ şu an çalışmıyor

Isıtma sistemleri dış sıcaklık 15°C nin altına düştüğünde devreye girmektedir. Bu sıcaklık temelinde Edremit bölgesinde yıllık 190 “soğuk“ (ısıtma gereken) gün bulunmaktadır. Ortalama 175 gün olan sıcak veya yaz günlerinde sistem sadece sıcak su ihtiyacını karşılamaktadır. Sistemin dizaynı aşamasında proje mühendisleri tarafından, evlerin ihtiyacı olan ısı miktarını belirlerken en düşük sıcaklık olarak -3°C seçilmesine rağmen meteorolojiden alınan veriler doğrultusunda



Şekil 4.7 Edremit JMIS Akış Diyagramı

ortalama en düşük dış sıcaklık 4.9°C civarında olduğu görülmüştür. Sistem 5°C nin üzerindeki sıcaklıklarda ihtiyaç duyulan enerjinin jeotermal kaynaktan elde edilmesi temelinde kurulmuştur. Dış sıcaklık 5°C nin altına düştüğünde gereken ilave ısı ihtiyacı, fuel-oil yakan kazan sistemlerden karşılanacak şekilde tasarım gerçekleştirilmiştir.

Edremit Merkezi Isıtma Sistemini üç aşama olacak şekilde toplam 7500 konut eşdeğeri ısı sağlayacaktır. İlk aşamada 1500 konut eşdeğerine ulaşmış ve bu değeri geçerek 2006 sonu itibarıyla 1648 konut eşdeğeri için ısıtma gerçekleştirmiştir. İkinci aşamada 5000 ve son aşamada da 7500 konut eşdeğeri ısıtma sağlanacaktır. Şekil 4.7' de sistemin şematik diyagramını gösterilmektedir. 20 Ocak 2007 itibarıyla sistem bir cami, bir yurt, bir okul, iki hastane ve 1345 dairenin ısı ihtiyacını karşıladığı saptanmıştır. Çizelge 4.4'de ısıtılan konutlar ve ısıtma eşdeğeri karşılıkları verilmiştir.

Çizelge 4.6 Jeotermal Enerji Kullanımı

Kullanıcı	Konut Eşdeğeri	%
Cami ısıtması	6	0.36
Yurt ısıtması	9	0.55
Okul ısıtması	72	4.36
Hastanelerin ısıtılması	65	3.94
Ev ısıtılması	1496	90.78

Çizelge 4.7 Edremit JMIS Genel Karakteristiksel Özellikleri

Edremit JMIS	
Kurulu bulunduğu yer	Edremit (Türkiye)
Kuyu başı sıcaklığı (°C)	60
Kapasite (MWt)	9.815 [44]
İşletmeye girme tarihi	2003
Jeotermal akışkan eşanjörlere ortalama giriş / çıkış sıcaklığı .	59/40-42
Şebeke suyunun eşanjörlere ortalama giriş / çıkış sıcaklığı .	58/38-40
Sisteme bağlanan ısı eşdeğeri /Maximum kapasite	1648/7500
Kullanılan boru tipi	Ana hatlarda CTP (camyünü takviyeli plastik) boru kullanılmaktadır.

Sistemin parçalarını şu şekilde sıralanabilir; pompalar, bina altı eşanjörleri, dağıtım boru şebekesi, peaking (Isı destek) merkezi. Isı destek merkezi dış sıcaklık çok düştüğünde veya jeotermal kaynakta bir problem olduğunda sisteme girecek şekilde düşünülmüştür. Sistem her binada en az bir bina altı eşanjörü olacak şekilde tasarlanmıştır. Şu anda ısıtılan her binada en az bir bina altı eşanjör bulunmaktadır.

Ayrıca bina altlarında sıcak su ihtiyacını sağlamak üzere ikinci bir eşanjörde bulunmaktadır. Çalışmaların yapıldığı zaman itibariyle 1648 ısıtma eşdeğerindeki 62 bina bu enerjiden faydalanmaktadır. Hesaplamalarda tüm eşanjörlerden tek tek veri almak zor olduğu için bu 62 binadaki tüm eşanjörler ‘EŞ’ adında tek bir eşanjörmüş



Şekil 4.8 Edremit JMIS’de Kuyu Başı Pompalarından Bir Görünüm

gibi düşünülmüş ve hesaplamalar bu şekilde yapılmıştır. Sistem sıcak su iletim hattında çok fazla yükselti farkı olmadığı için yükseltinin etkisi göz ardı edilmiştir. Daha sonra veriler sistemin ulaştığı en uzak noktadaki binadan alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Bu nokta sistemdeki kritik nokta olarak değerlendirilmiştir. Sistemde aynı tip yani plaka tipi eşanjörler kullanılmaktadır.

Sıcaklık ve basınç verileri 20 Ocak 2007 tarihinde alınmıştır. Üç üretim kuyusundan yaklaşık 60°C sıcaklıkta toplanan jeotermal akışkan bina altı eşanjörlere pompalanmaktadır. Akışkan ısı destek merkezini geçtikten sonra bina altı eşanjörlerine ortalama 57–59°C sıcaklık aralığında ulaşmaktadır. Eşanjörlerde ev şebekesinde devir daim yapan suya ısı transferi sağlanmaktadır. Eşanjörlerden ayrılan jeotermal akışkan 38–40°C sıcaklık aralığında Edremit çayına bırakılmaktadır. Dağıtım hattı ve akışkanın dereye bırakılması bölümlerinde pompaya ihtiyaç duyulmamaktadır. Üretim kuyularınca sağlanan basınç, jeotermal akışkanın sirkülasyonu kolaylıkla sağlamaktadır.

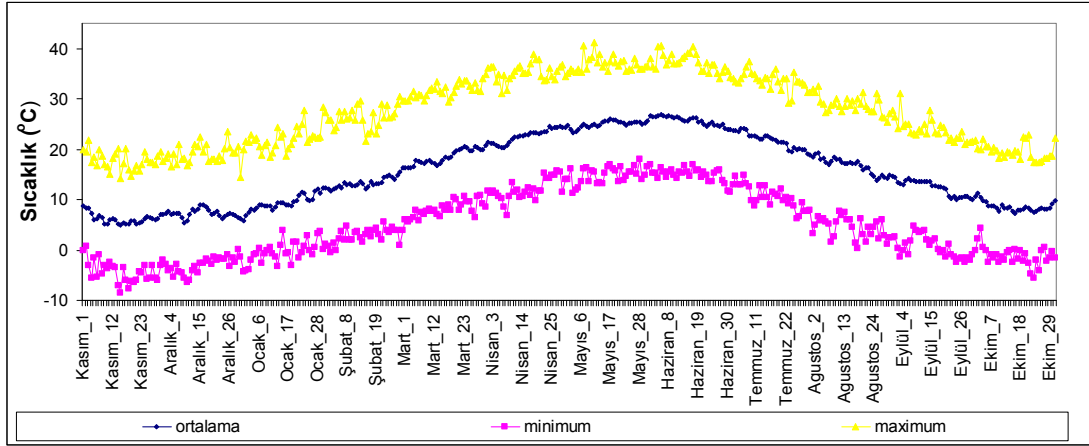


Şekil 4.9 Edremit JMIS’de Bina Altı Eşanjörlerinden Bir Görünüm

Çizelge 4.8 Edremit JMIS’in Her Bir Noktası İçin Akışkan Özellikleri, Enerji ve Ekserji Oranları

No	Akışkan tipi	Sıcaklık T (°C)	Basınç P (kPa)	Spesifik entalpy h (kJ/kg)	Spesifik entropy s (kJ/kgK)	Debi \dot{m} (kg/s)	Spesifik ekserji e_x (kJ/kg)	Ekserji oranı \dot{E}_x (kW)	Enerji oranı \dot{E} (kW)
0	Jeotermal	13.4	101.32	56.36	0.2011				
1	Jeotermal	60	55.5	251.1	0.831	56.25	14.336	806.43	14124.38
2	Jeotermal	60.15	435	252.1	0.8327	56.25	14.849	835.29	14180.63
3	Jeotermal	60	55.5	251.1	0.831	63.75	14.336	913.96	16007.63
4	Jeotermal	60.15	435	252.1	0.8327	63.75	14.849	946.67	16071.38
5	Jeotermal	59	55.5	247	0.8185	15	13.816	207.24	3705
6	Jeotermal	59.14	435	247.9	0.8202	15	14.229	213.44	3718.5
7	Jeotermal	60.03	435	251.6	0.8312	135	14.779	1995.21	33966
8	Jeotermal	59	390	247.2	0.8183	135	14.073	1899.97	33372
9	Jeotermal	59	390	247.2	0.8183	135	14.073	1899.97	33372
10	Jeotermal	58.5	250	245	0.8121	135	13.649	1842.69	33075
11	Jeotermal	38	180	159.3	0.5456	135	4.275	577.15	21505.5
12	Su	38	130	159.3	0.5456	196	4.275	837.93	31222.8
13	Su	52	190	217.8	0.7294	196	10.134	1986.43	42688.8

Not: sıfır noktası referans sıcaklığını göstermekte. Su: Şebeke suyu, Jeotermal: Jeotermal akışkan



Şekil 4.10 Edremit İline Ait Yıllık Sıcaklık Verileri Grafiği

Edremit İline ait sıcaklık dağılımı Şekil 4.10'da ifade edilmektedir. Bu değerler doğrultusunda sistemin yıllık ekserji ve enerji değerleri hesaplanmıştır.

4.3 Sistemlerin Modellenmesi

Bu çalışmada kütle, enerji ve ekserji denge eşitlik bağıntıları sistemin kararlı durum ve kararlı akış gibi davrandığı düşünülerek yapıldı. Enerji ve ekserji verimliliği bağıntıları hem tüm sistemin hem de sistemin parçaları için yazıldı.

a) Kütle dengesi

Kütle denge bağıntıları tüm jeotermal sistem için şu şekilde yazılabilir:

$$\sum_{i=1}^n m_{gir} = \sum_{i=1}^n m_{çik} \quad (1)$$

b) Enerji Analizi

Jeotermal suyun enerji değeri, n sayıdaki kuyu için aşağıdaki eşitliklerden bulunabilir:

$$\dot{E}_{ja} = \sum_{i=1}^n \dot{m}_{ja,i} * h_{ja,i} \quad (2)$$

Enerji verimi aşağıdaki denklemden bulunur.

$$\eta_{sis} = \frac{\dot{E}_{yar}}{\dot{E}_{ja}} \quad (3)$$

c) Ekserji Analizi

Jeotermal suyun enerji ve ekserji değerleri, aşağıdaki eşitliklerden bulunabilir:

$$\dot{E}x_{ja} = \sum_{i=1}^n \dot{m}_{ja,i} [(h_{ja,i} - h_0) - T_0(s_{ja,i} - s_0)] \quad (5)$$

Eşanjör, pompa ve sistemin diğer elemanları için ekserji kaybı aşağıdaki eşitliklerden bulunabilir:

$$\dot{E}x_{kyp,ES} = \dot{E}x_{gir} - \dot{E}x_{çik} \quad (6)$$

$$\dot{E}x_{kyp,Pompa} = \dot{W}_{pompa} - (\dot{E}x_{çik} - \dot{E}x_{gir}) \quad (7)$$

$$\dot{E}x_{kyp,Boru} = \sum_{i=1}^n \dot{E}x_{n+1} - \dot{E}x_n \quad (8)$$

$$\dot{E}x_{kyp,Sis} = \sum \dot{E}x_{kyp,ES} + \sum \dot{E}x_{kyp,Boru} + \sum \dot{E}x_{kyp,Pompa} \quad (9)$$

Eşanjörün ekserji verimliliği; soğuk akışkandaki ekserji değişiminin sıcak akışkandaki ekserji değişimine bölünmesiyle bulunmaktadır. Eşitlik aşağıda şu şekilde verilmektedir:

$$\varepsilon_{E\dot{S}} = \frac{m_{sgk}(\psi_{sgk,\dot{c}ik} - \psi_{sgk,\dot{g}ir})}{m_{sck}(\psi_{sck,\dot{g}ir} - \psi_{sck,\dot{c}ik})} \quad (10)$$

Eşitlikte karşımıza çıkan ‘spesifik ekserji ‘(ψ) ifadesi şu şekilde açılabilir:

$$\psi = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (11)$$

Bunun yanında sistemin ekserji verimliliği aşağıdaki eşitlikten bulunabilir:

$$\varepsilon_{sis} = \frac{\dot{E}x_{kls,E\dot{S}}}{\dot{E}x_{ja}} = 1 - \frac{\dot{E}x_{kyp,sis} + \dot{E}x_{ds}}{\dot{E}x_{ja}} \quad (12)$$

Ülkeler ve kökenlerine göre değişik sınıflandırmalar söz konusu olmasına rağmen jeotermal enerji, SExI (Spesifik enerji indexi) göre üç guruba ayrılabilir , SExI Jeotermal kaynağın sınıflandırmasında Spesifik ekserji indeksi aşağıda görüldüğü şekilde bir çeşit orantılandırma sağlamaktadır [42] .

- SExI < 0.05 düşük kalitede jeotermal kaynak;
- 0.05 < SExI < 0.5 orta kalitede jeotermal kaynak;
- 0.5 < SExI yüksek kalitede jeotermal kaynak;

Spesifik ekserji indeksi (SExI) aşağıdaki eşitliklerle tanımlanabilir [42, 43]

$$SEx I = \frac{h_{ja} - (273.16).s_{ja}}{1192} \quad (13)$$

SExI denklemi içinde yer alan jeotermal akışkanın entalpi (h_{ja}) ve entropi (s_{ja}) eşitlikleri şu şekilde yazılabilir:

$$h_{ja} = \frac{\sum_{i=1}^n \dot{m}_i h_i}{\sum_{i=1}^n \dot{m}_i} \quad (14)$$

$$s_{ja} = \frac{\sum_{i=1}^n \dot{m}_i s_i}{\sum_{i=1}^n \dot{m}_i} \quad (15)$$

Ayrıca, Hammond and Stapleton [40] tarafından geliştirilen ‘iyileştirme potansiyeli(IP)’ sistemin ne kadar geliştirilebilirlik potansiyelinin olduğu göstermektedir. Eşanjörler için IP değeri aşağıdaki şekilde verilmektedir. Bu eşitlik diğer elemanlar içinde yazılabilir.

$$IP = (1 - \varepsilon_{ES}) [\dot{E}x_{gir} - \dot{E}x_{cik}] \quad (16)$$

Jeotermal kaynak yenilenebilir enerji grubu içine girmektedir. Bu bölümde dört yeni parametre tanımlanmaktadır. Sırasıyla bu parametreler şu şekilde sıralanabilir; Sistem Enerjetik Yenilenebilirlik Oranı, Sistem Ekserjetik Yenilenebilirlik Oranı, Enerjetik Reenjeksiyon Oranı ve Ekserjetik Reenjeksiyon Oranı. Aşağıda bu yeni parametrelerin açıklaması verilmiştir:

Sistem Enerjetik Yenilenebilirlik Oranı: Sistemden elde edilen toplam yenilenebilir enerjinin toplam enerji girdisine (yenilenebilir ve yenilenemez bir arada) oranı Enerjetik Yenilenebilirlik Oranı olarak tanımlanabilir.

$$R_{RenE} = \frac{\dot{E}_{kul}}{\dot{E}_{toplaml}} \quad (17)$$

$$\dot{E}_{toplaml} = \dot{E}_{jeo} + W_{pompa} \quad (17.1)$$

Sistem Ekserjetik Yenilenebilirlik Oranı: Sistemden elde edilen toplam yenilenebilir enerjinin toplam enerji girdisine (yenilenebilir ve yenilenemez bir arada) oranı Ekserjetik Yenilenebilirlik Oranı olarak tanımlanabilir.

$$R_{ReinEx} = \frac{\dot{E}x_{kul}}{\dot{E}x_{toplaml}} \quad (18)$$

$$\dot{E}x_{toplaml} = \dot{E}x_{jeo} + W_{pompa} \quad (18.1)$$

Sistem Enerjetik Reenjeksiyon Oranı: Sistemden reenjekte edilen toplam enerjinin, sağlanan toplam jeotermal enerjiye oranı Sistem Enerjetik Reenjeksiyon Oranı olarak tanımlanabilir.

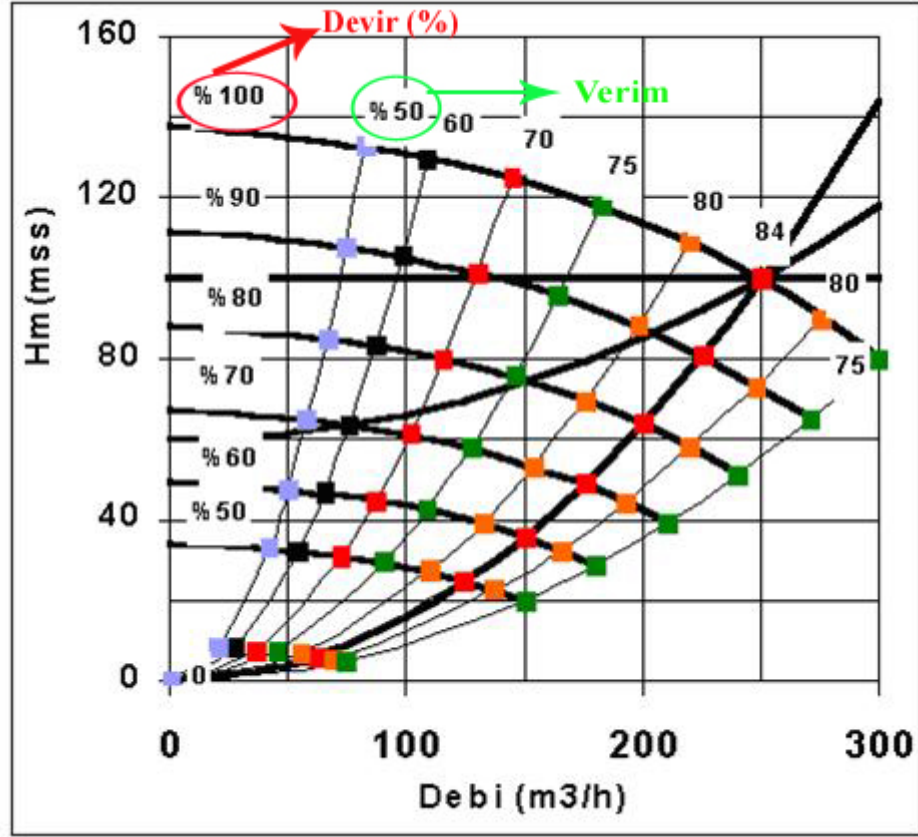
$$R_{ReinE} = \frac{\dot{E}_{Rein}}{\dot{E}_{ja}} \quad (19)$$

Sistem Ekserjetik reenjeksiyon oranı: Sistemden reenjekte edilen toplam enerjinin, sağlanan toplam jeotermal enerjiye oranı Sistem Ekserjetik Reenjeksiyon Oranı olarak tanımlanabilir.

$$R_{ReinEx} = \frac{\dot{E}x_{Rein}}{\dot{E}x_{ja}} \quad (20)$$

4.4 Sistemlerdeki Debilerin Belirlenmesi

Ele alınan iki sistemde de debilerin ölçülmesi için her hangi bir debi ölçme sistemi bulunmamaktaydı. Sistemin debilerinin belirlenmesi işlemi motor devir sayılarının belirleyen Herz değerlerinin girilmesiyle sağlanmaktaydı. Sistemin işletmecileri pompa şirketlerinden sağladıkları pompa karakteristiği tabloları doğrultusunda debi değerlerini belirlenmektedir. Debilerin belirlenmesi işlemi şu şekilde ifade edilebilir.



Şekil 4.11 Değişken Devirli Pompa ve Sistem Karakteristiği

Devir	Q	Hm	Verim
%	m ³ /h	mss	%
100	250	100	83
93	212.5	82	82
88.5	187.5	87	81.5
84.5	162.5	83	77.5
78	125	78	66

Şekil 4.12 Değişken Devirli Pompa İçin Çeşitli Veriler.

Pompa şirketleri tarafından değişik devir sayılarındaki karakteristik ve sabit verim eğrileri oluşturulmaktadır. Pompaların hangi devir sayısında, yüzde kaç verimde çalışacağını belirlemek için doğru zamanda yaptıkları testlerde, değişken devirli pompa ve sistem karakteristiği grafikleri oluşturulmaktadır (Şekil 4.11). Bu grafikler kullanılarak hangi devirde ne kadarlık bir verime ulaşılabileceği belirlenmektedir. Seçilen bir pompa için debiyeye bağlı olarak sistemin çalışma

noktalarını ifade eden bir örnek ifade edilecek olursa Şekil 4.12’de ifade edilen değerler ortaya çıkmaktadır.

Sistemimizde tüm pompalar için tam devir ile %50 devir sayısı (minimum işletme devri) için verimin en yüksek değeriyle en düşük değeri arasında doğru orantılı olarak azaldığı düşünüldü. Buna bağlı olarak devirlerden verim daha sonrada debi değerleri belirlendi. Bu debi değerlerin sağlamaları daha sonra enerji ve kütle eşitliğinden tekrardan kontrol edilerek hesaplamalar yapılmıştır.

4.5 Yıllık Enerji İhtiyacı Hesabı

Isıtılan Konutlar İçin Ortalama Dış Sıcaklığa Bağlı Isı Talebi

Yaz döneminde konutlardaki sıcak su ihtiyacının karşılanması için gerekli olan enerji talebi şu şekilde belirlenebilmektedir.

$$\dot{E}_{smr} = N_{dw} \cdot N_{per} \cdot S \cdot \Delta T_w \cdot c_f \quad (21)$$

Eşitlikte gösterilen N_{per} ise bir evdeki ortalama insan sayısını ifade etmektedir ve hesaplamalar için 4 olarak alınmıştır. S ise günlük ortalama sıcak su ihtiyacını belirtmektedir ve hesaplamalarda 50 lt/(kişi-gün veya 50 kg/(kişi-gün), ve ΔT_w ise sıcak su (60 °C) ile şebekeden gelen su (10 °C) arasındaki sıcaklık farkını ifade etmektedir. Bu şekilde hesaplamalar yapıldığında, örneğin 2200 konut eşdeğerli Bigadiç için değer şu şekilde bulunur.

$$\dot{E}_{smr} = [(2200 \times 4 \times 50) \text{kg} / (24 \times 3600 \text{sn})] \cdot (50 \text{ } ^\circ\text{C}) \cdot (4.18 \text{kJ} / \text{kg } ^\circ\text{C}) = 1064 \text{ kW}$$

Isıtma sezonu için toplam ısı talebi (sıcak su ihtiyacı + ısıtma ihtiyacı) şu şekilde ifade edilebilir:

$$\dot{E}_{tasarim} = \dot{E}_{dw} \cdot N_{dw} \quad \dots \quad (22)$$

Burada N_{dw} ortalama konut sayısıdır. E_{dw} ; bir konut için ısı yüküdür. 2200 konut eşdeğeri ısıyı, bir ev için maximum ısı yükü olan 6.9 kW ile çarparak anlık ısıtma ısı yükü 15.25 MW olarak bulunabilir.

Dış sıcaklık değiştiği için, bizim $\Delta T_{ortalama} = (T_{iç} - T_{dış})_{ortalama}$ iç sıcaklığın sabit kaldığını düşünerek bir ortalama sıcaklık ifadesi kullanımını göz önüne almamız gerekmektedir. Burada sıcaklık katsayısı kavramı ortaya çıkmıştır.

$$T_R = \frac{\Delta T_{ortalama}}{\Delta T_{tasarim}} \quad (23)$$

$\Delta T_{tasarim} = (T_{iç} - T_{dış})_{tasarim}$ iç sıcaklık ile dış sıcaklık arasındaki fark olarak ifade edilebilir.

Ortalama ısı yükünü ise şu şekilde ifade edebilir:

$$\dot{E}_{ortalama} = T_R \cdot E_{tasarim} \quad (24)$$

Sistemde networkta dolaşması gereken debi ise aşağıdaki eşitlikten bulunabilir.

$$\dot{m} = \frac{\dot{E}_{ortalama}}{C_f \cdot \Delta T} \quad (25)$$

5. BULGULAR

5.1 Bigadiç Merkezi Isıtma Sisteminin Enerji ve Ekserji Analizi

Çalışma sırasında jeotermal akışkan içerisinde bulunan tuz diğer parçacıkların etkisi ihmal edilerek, akışkanın termodinamik özellikleri saf su gibi alınmıştır. Termodinamik özellikler; termodinamik çizelgeler ve bilgisayar programı sayesinde elde edilmiştir.

Ayrıntılı parametrik çalışma, 2006 yılı Kasım ve Aralık döneminde alınan veriler doğrultusunda hazırlanmıştır. Bigadiç Jeotermal Merkezi ısıtma sistemi enerji-ekserji verimliliği ve ekserji kaybı, alınan veriler kullanılarak elde edilmiştir. Jeotermal akışkanın ve sıcak suyun sıcaklık, basınç ve debi değerlerinden Engineering Equation Solver (EES) programı yardımıyla enerji ve ekserji değerlerine ulaşılmıştır. Daha sonra aynı programa bağıntılar girilerek istenen tüm değerler elde edilmiştir. 2006 Aralık dönemi değerleri Çizelge 4.3'de göstermektedir. Sıfır ile gösterilen durum hem jeotermal akışkan hem de temiz su için ölü durumu ifade etmektedir. Ölü hal koşulları 11°C ve 101.3 kPa olarak alınmıştır.

Enerji eşitlik diyagramları Şekil 5.1'de ortaya konmuştur. Jeotermal akışkanın doğal dışarı salınımında, toplam enerji girdisinin %45.62'si dışarı atılmıştır. Ayrıca toplam girdi enerjinin %24.15'si pompa ve boru hattında kaybolmuştur. Bunun yanında, ekserji akış diyagramlarında da detaylı bir şekilde görülebileceği gibi (Şekil 5.2) giren toplam ekserjinin %51 (1468 kW) sistemde kaybolmuştur. Sadece kalan %49'luk kısmı yararlı bir şekilde kullanılmıştır.

En yüksek ekserji kaybı (%37) boru iletim hattı boyunca oluşmuştur. %34 (498.3 kW) bir değerle ikinci en yüksek ekserji kaybı ise reenjeksiyondan dolayı

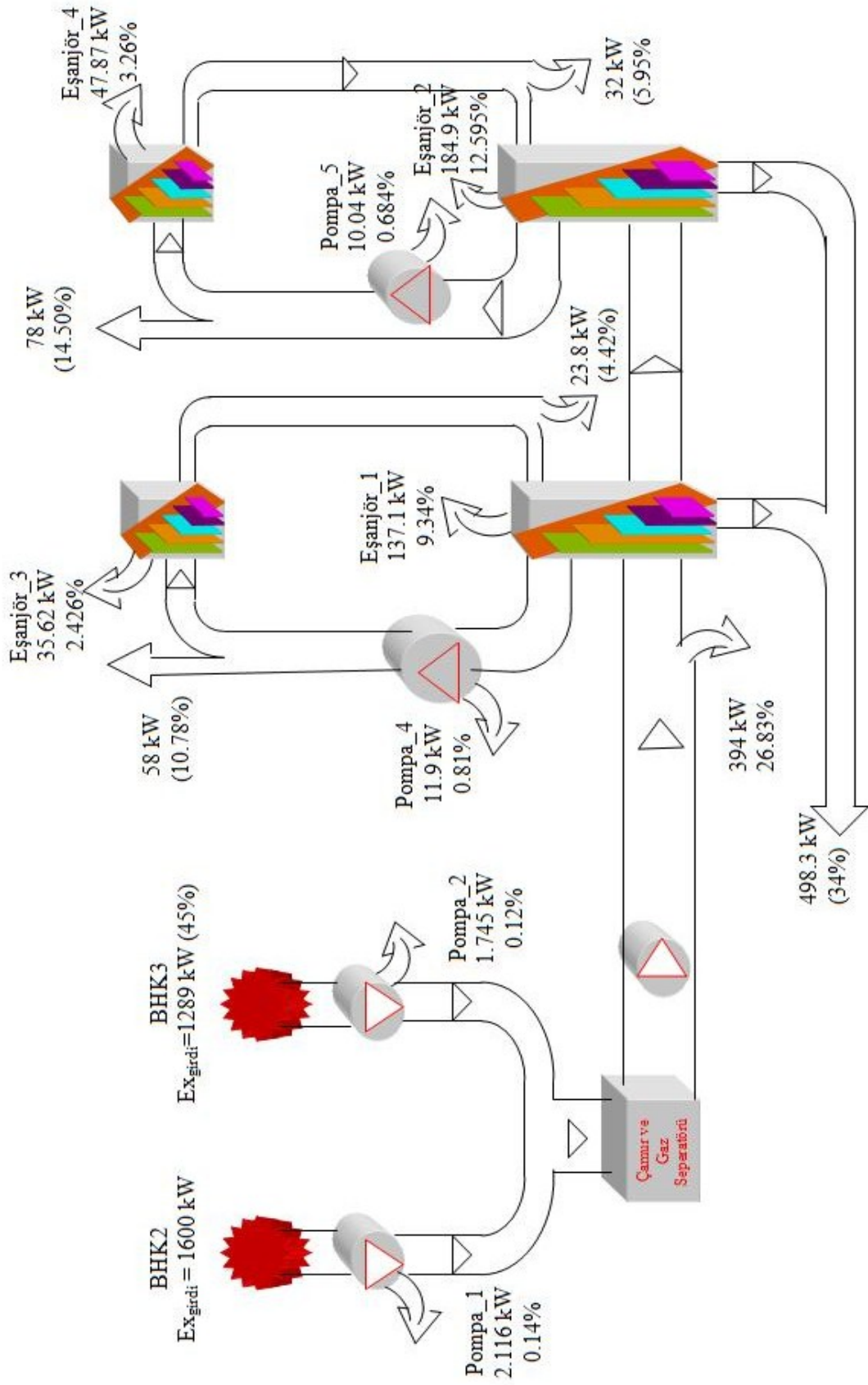
oluşmuştur. Bu değeri sırasıyla %26.3 ile eşanjörlerdeki kayıpları (405.5 kW) ve %1.7 ile pompa kayıpları (25.81 kW) takip etmiştir.

Kasım (2006) ayı değerleri için enerji ve ekserji verimliliği sırasıyla %30 ve %36 bulunmuştur. Aynı şekilde Aralık (2006) değerleri için enerji ve ekserji verimliliği sırasıyla, 40% ve %49 bulunmuştur. Kasım ayı için referans sıcaklık 15.6⁰C alınırken, Aralık için bu değer 11⁰C alınmıştır. Kasım ve Aralık ayı için enerji kaybı sırasıyla %70 ve %60 olarak bulunmuştur. Ekserji kaybına baktığında ise bu değer sırasıyla %64 ve %51 olmuştur. Sonuç olarak ekserji verimliliği yüksek çıkmasının sebebi olarak, giren ekserji değerine göre ekserji kaybı oranının düşük olması gösterilmiştir.

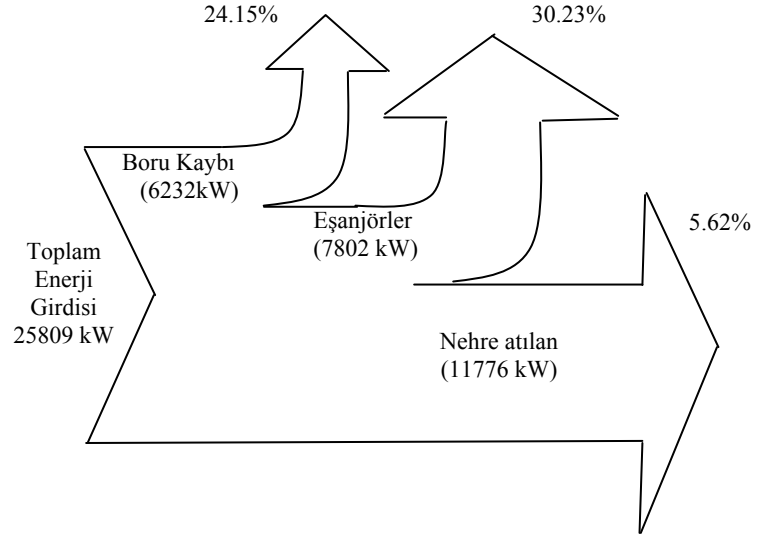
Yaz ayları boyunca sistem sadece sıcak su ihtiyacını karşıladığından dolayı, enerji talebi sabit kalmaktadır. Ancak kış aylarında dış sıcaklıklardaki değişlere bağlı olarak enerji talebi devamlı değişmektedir, aylık ortalama dış sıcaklıklara bağlı olarak enerji talep oranları Çizelge 5 1’de belirtilmiştir.

Şekil 5.2,’de 2006 Kasım ve Aralık ayları için deneysel ve hesaplanan ekserji kayıp değerleri sonuçları gösterilmiştir. Hesaplanan ekserji talepleri doğrultusunda ekserji kayıp değerlerinin büyük ölçüde azaltılabileceği görüşü ortaya konmuştur.

Bigadiç Jeotermal Merkezi Isıtma Sisteminde henüz bir reenjeksiyon sistemi kurulu bulunmamaktadır. Bu sebepten kullanılan jeotermal su, ısı merkezinden nehre 45⁰C civarlarında bırakılmaktadır. Nehre salınan ekserji oranı 493 kW civarında bulunmuştur. Sistemin ekserji verimliliği sisteme jeotermal kaynaklı ısı pompalarının eklenmesiyle artırılabilir görüşü ortaya konmuştur.



Şekil 5.2 Bigadiç JMIS Aralık-2006 Ekserji Akış Diyagramı



Şekil 5.1 Bigadiç JMIS Aralık-2006 Enerji Akış Diyagramı

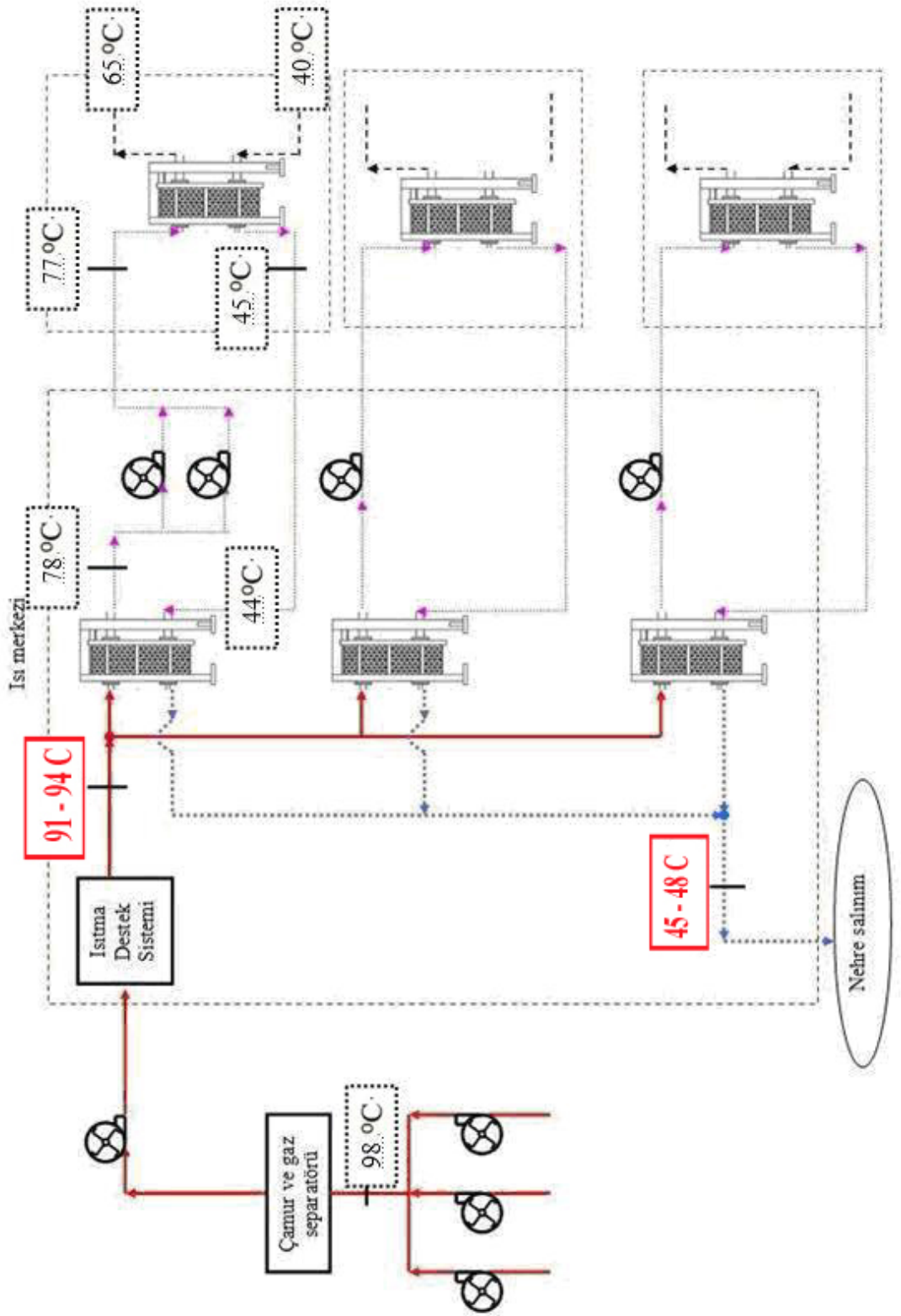
Çizelge 5.1 Bigadiç JMIS İçin Aylık Enerji İhtiyacı

Aylar	Ortalama Dış Sıcaklık (°C)	Sıcaklık Oranı Katsayısı (T _R)	Toplam Ortalama Enerji (kW)
Kış Ayları için			
Ekim	15.1	0.188	2874.60
Kasım	9.7	0.396	6042.53
Aralık	6.7	0.512	7802.50
Ocak	4.7	0.588	8975.80
Şubat	5.4	0.562	8565.15
Mart	8.2	0.454	6922.52
Nisan	13.4	0.254	3871.92
Yaz Ayları için			
Mayıs	17.7	-	1064
Haziran	22.4	-	1064
Temmuz	24.5	-	1064
Ağustos	23.6	-	1064
Eylül	19.9	-	1064

5.1.1 Bigadiç Yıllık Performans Analizi

Bigadiç sisteminin yıllık performans analizi bulunurken aylık ortalama gerçek dış sıcaklıklar kullanılarak gerekli değerler elde edilmiştir. Isıtma sezonu için sistem dizayn sıcaklıkları Şekil 5.5’de verilmiştir. Isıtmanın yapılmadığı dönemde, yani yaz döneminde sistem sadece sıcak su ihtiyacını karşılamaktadır. Yaz döneminde eşanjöre şehir şebekesinden gelen su ısıtılıp kullanılmakta ve atılmaktadır.

Yaz dönemi için bir sirkülasyon sağlanmamaktadır. Yaz dönemi için eşanjöre giren / çıkan su sıcaklıkları kış dönemine göre farklılık göstermektedir. Şehir su şebekesinden eşanjöre ulaşan su sıcaklık lığının tespiti için belirli dönemde alınan veriler doğrultusunda sıcaklıkların 15 ile 20 °C arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Yaz dönemi için hesaplamalarda bu değerlerin ortalaması olan 17,5 °C kullanılmıştır. Yaz dönemi için eşanjörden evlere giden hat için giriş / çıkış su sıcaklığı 17,5 / 60 °C alınmıştır. Jeotermal akışkan için eşanjöre giriş / çıkış sıcaklıklarının değişmediği düşünülerek 77 / 45 °C alınmıştır.



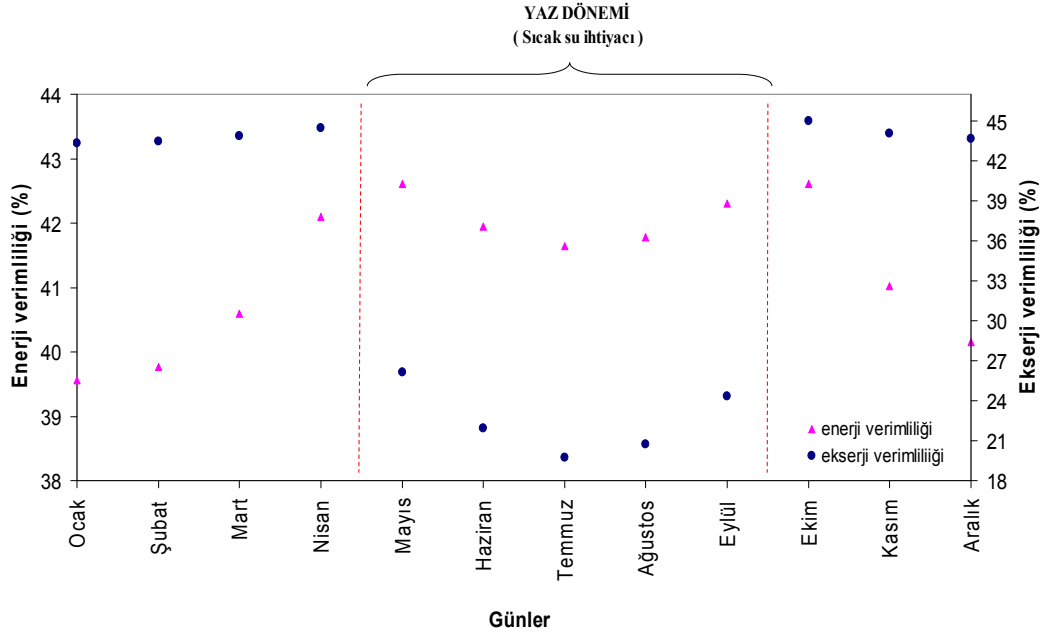
Şekil 5.4 Bigadiç JMIS Tasarım Sıcaklıkları

Hesaplamalar sonucunda elde edilen şekillerin açıklamaları şu şekilde ifade edilmiştir.

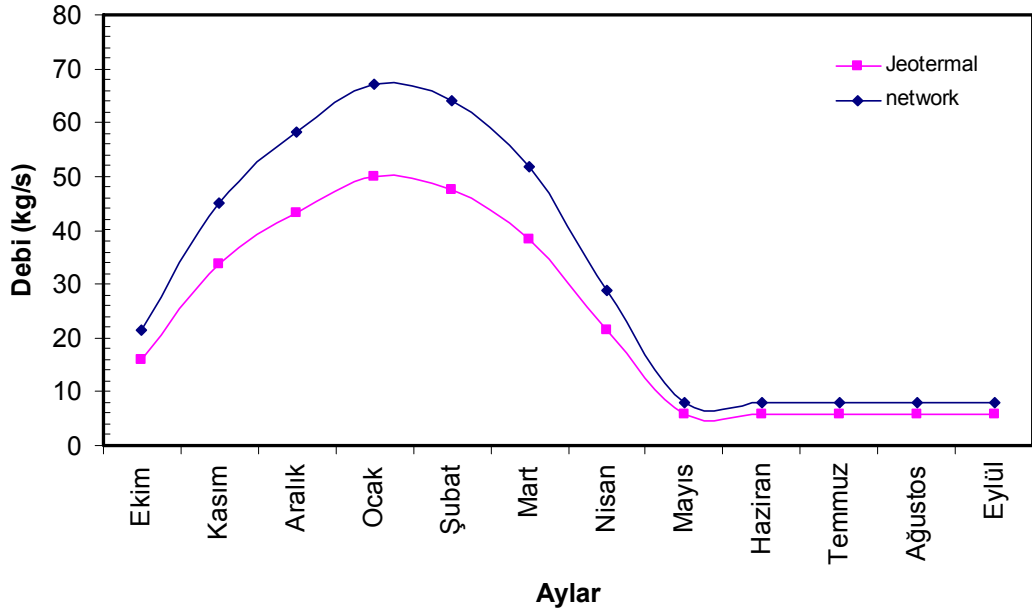
- Tasarım sıcaklıklarının sabit kaldığı düşünülerek aylık ısıtma ihtiyacı için gerekli debiler bulunmuş ve Şekil 5.6'de verilmiştir.
- Sıcaklık ve debi değerleri belirlendikten sonra referans çevre sıcaklığının değişimiyle enerji ve ekserji veriminin nasıl değiştiği bulunmuş ve Şekil 5.5'de verilmiştir.
- Sistemin yenilenebilir ekserji oranının aylara göre değişimi de Şekil 5.8'de ifade edilmiştir.
- Sistemin reenjeksiyon ekserji oranının aylara göre değişimi de Şekil 5.9'da ifade edilmiştir.
- Sistemin yenilenebilir enerji oranının aylara göre değişimi de Şekil 5.10'da ifade edilmiştir.
- Sistemin reenjeksiyon enerji oranının aylara göre değişimi de Şekil 5.7'de ifade edilmiştir.
- Aylık bazda evlere verilmesi ve jeotermal kaynaktan çekilmesi gereken enerji gereksinimi Şekil 5.11'de ifade edilmiştir.
- Aylık ortalama sıcaklıklara bağlı olarak anlık enerji talebi de Şekil 5.12'de verilmiştir.
- Aylık ortalama sıcaklıklara bağlı olarak anlık enerji ve ekserji talebi aynı grafik içinde Şekil 5.13'de verilmiştir.
- Kuyu başındaki enerjinin referans çevre sıcaklıklarında hangi düzeyde bir ekserji potansiyelinin olduğunu gösterimi Şekil 5.14'de ifade edilmiştir.
- Isıtma sezonundaki aylık ortalama gerçek sıcaklıklara bağlı ekserji verimindeki değişim Şekil 5.15'de ifade edilmiştir.
- Isıtma sezonunda aylık ortalama dış sıcaklıklara bağlı olarak giren kaynak ekserjisi'nin yüzde kaçının reenjeksiyonla dışarı atıldığı Şekil 5.16'de ifade edilmiştir.
- Isıtma sezonundaki aylık ortalama gerçek sıcaklıklara göre pompa ekserji kayıplarının giren kaynak ekserjisine oranı Şekil 5.17'de ifade edilmiştir.
- Aylık ortalama gerçek sıcaklıklara bağlı olarak yenilenebilir ekserjetiklik

oranı Şekil 5.18’de ifade edilmiştir.

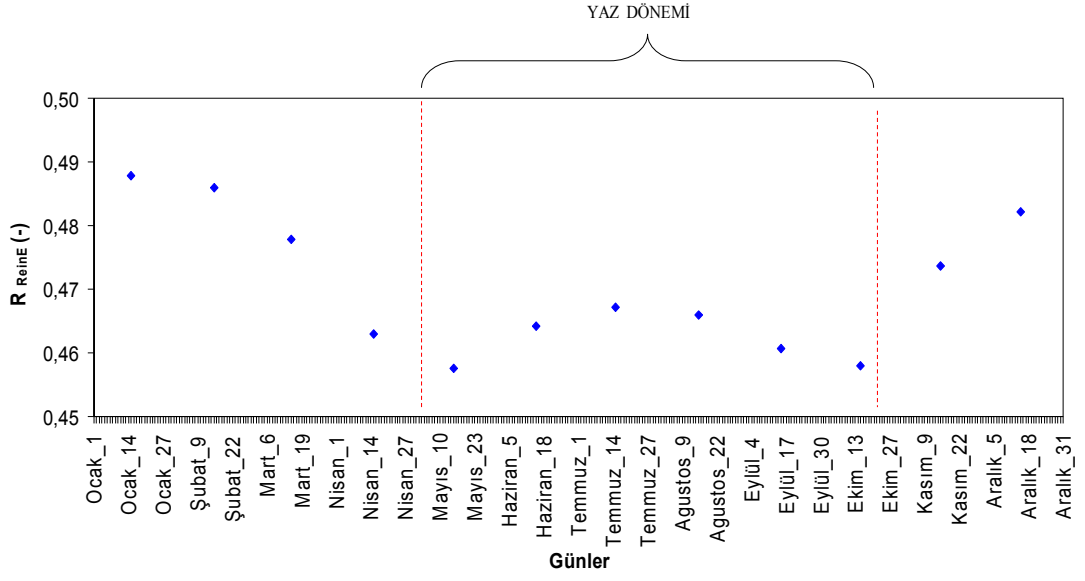
- Aylık ortalama gerçek sıcaklıklara bağlı olarak Reenjeksiyon Ekserjetiklik Oranındaki değişim Şekil 5.19’de ifade edilmiştir.



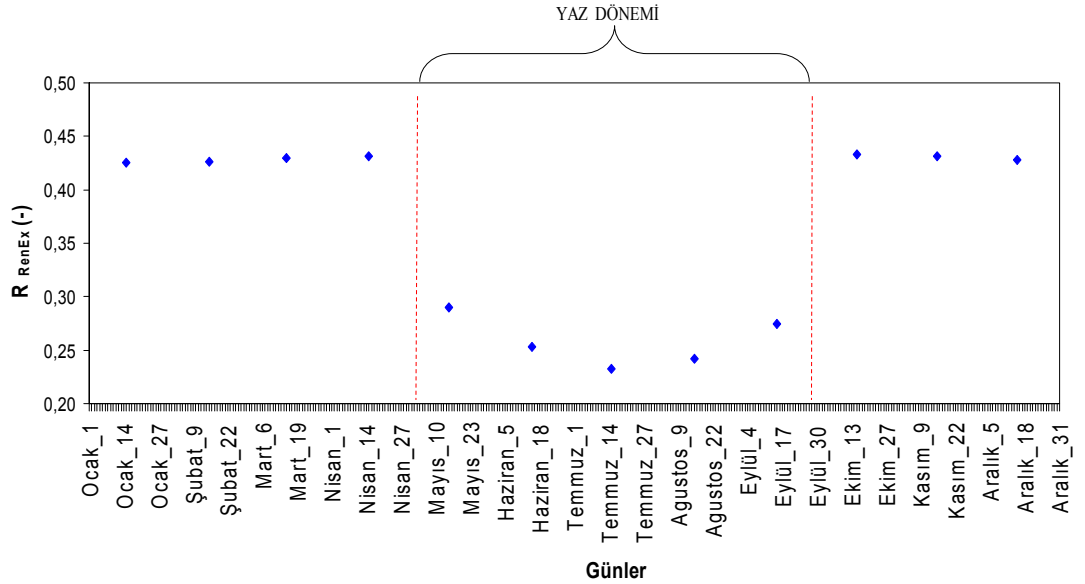
Şekil 5.5 Aylık Enerji ve Ekserji Verimliliği Grafiği



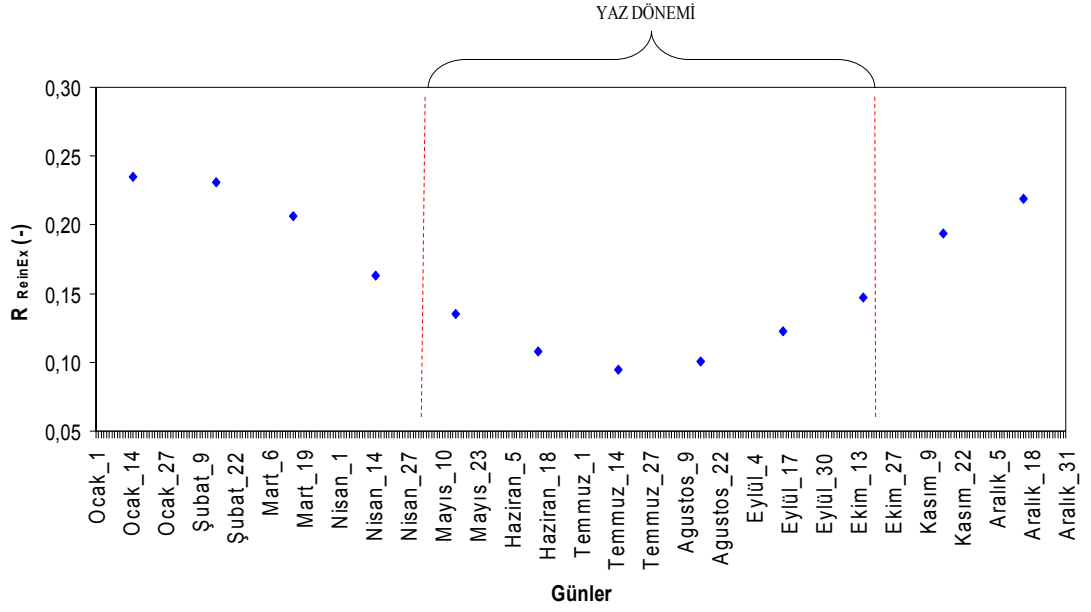
Şekil 5.6 Aylık Debi İhtiyacı Grafiği



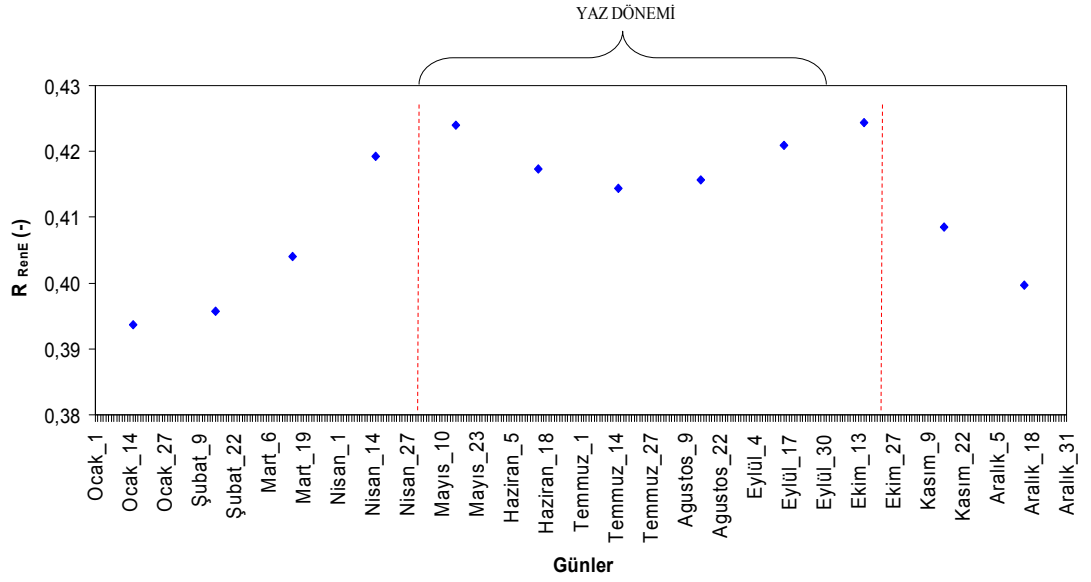
Şekil 5.7. Aylık Bazda Reenjeksiyon Enerji Oranı Grafığı



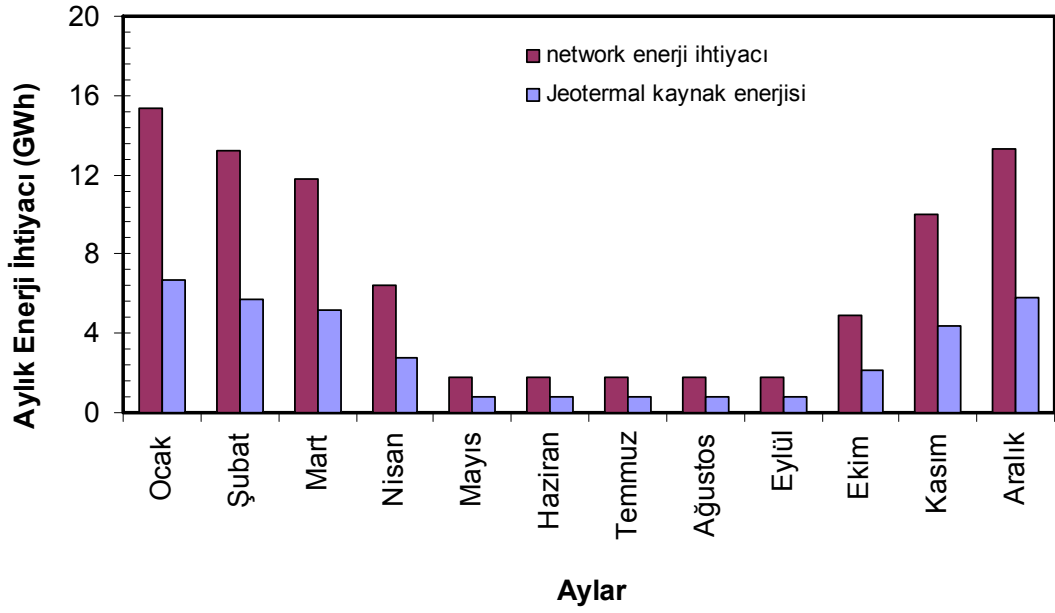
Şekil 5.8 Aylık Bazda Yenilenebilir Ekserji Oranı Grafığı



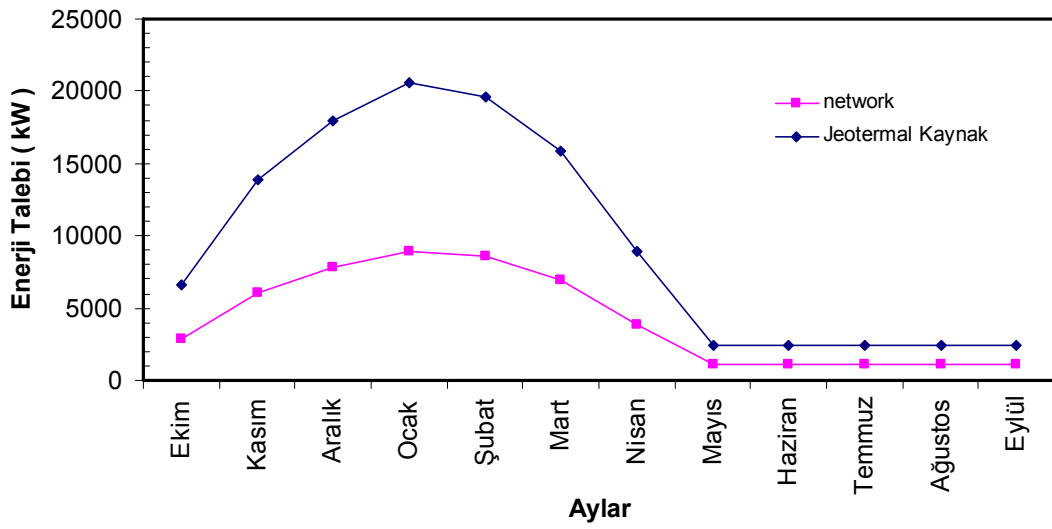
Şekil 5.9 Aylık Bazda Reenjeksiyon Ekserji Oranı Grafiği



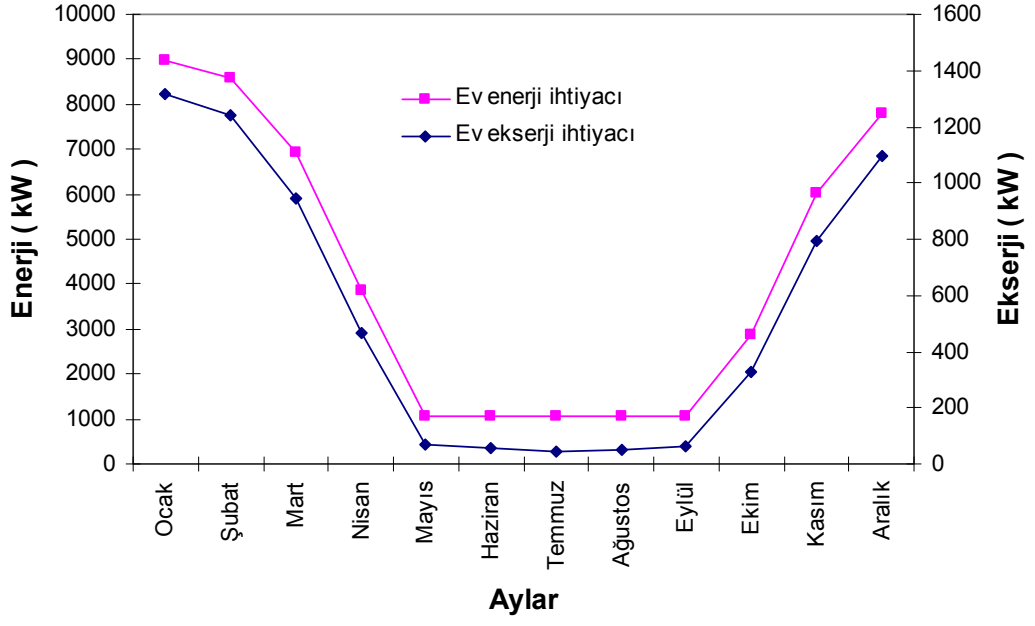
Şekil 5.10 Aylık Bazda Yenilenebilir Enerji Oranı Grafiği



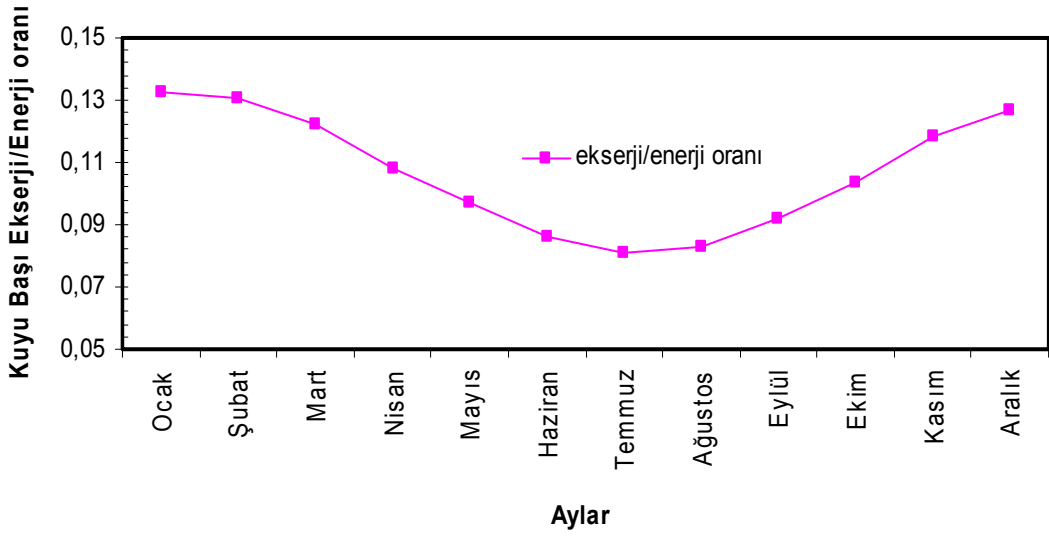
Şekil 5.11 Ev Sisteminin Aylık Enerji İhtiyacı ve Jeotermal Kaynaktan Gelmesi Gereken Aylık Enerji Gösterimi Grafiği



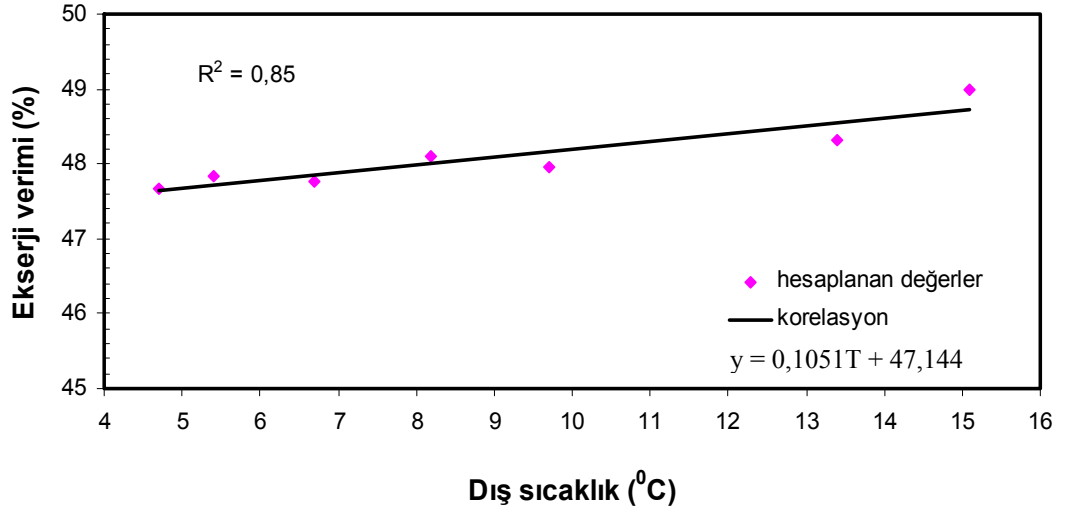
Şekil 5.12 Aylık Enerji Talebi Grafiği



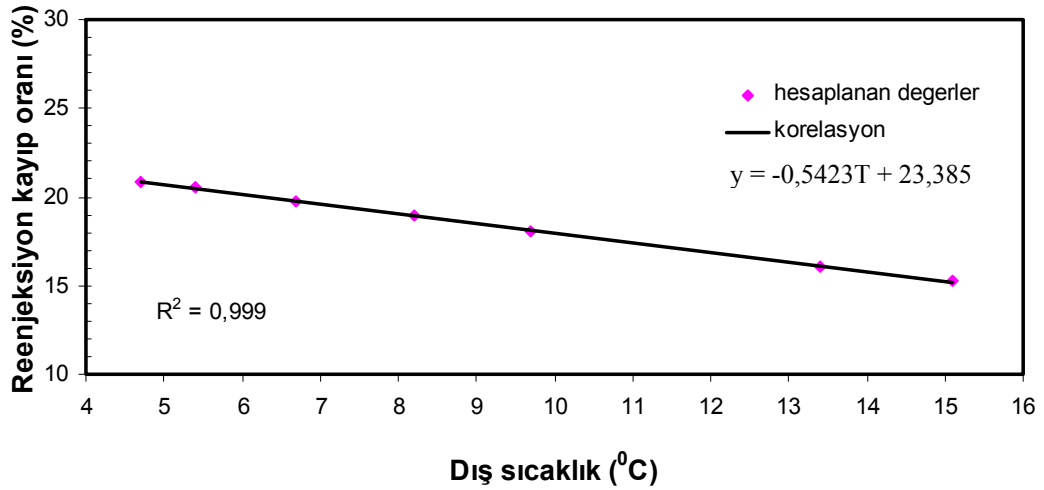
Şekil 5.13 Aylık Enerji ve Ekserji İhtiyacı Grafiği



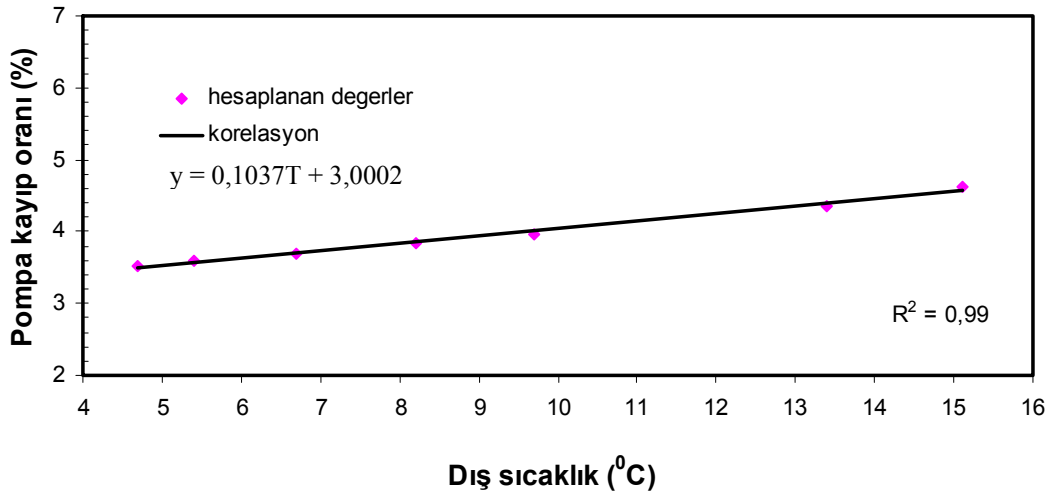
Şekil 5.14 Aylık Kuyu Başı Ekserji / Enerji Oranı Grafiği



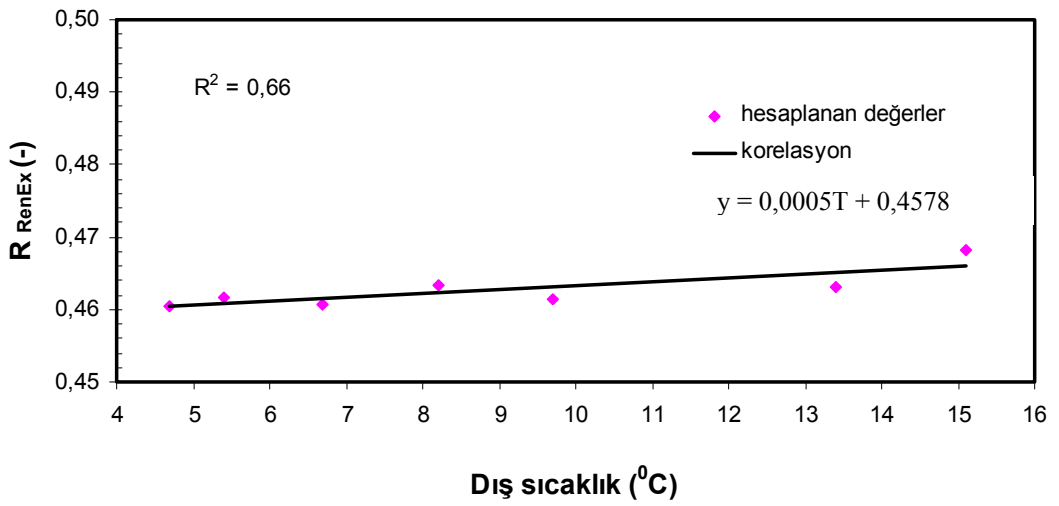
Şekil 5.15 Isıtma Sezonundaki Aylık Ortalama Gerçek Sıcaklıklar İçin Ekserji Verimi



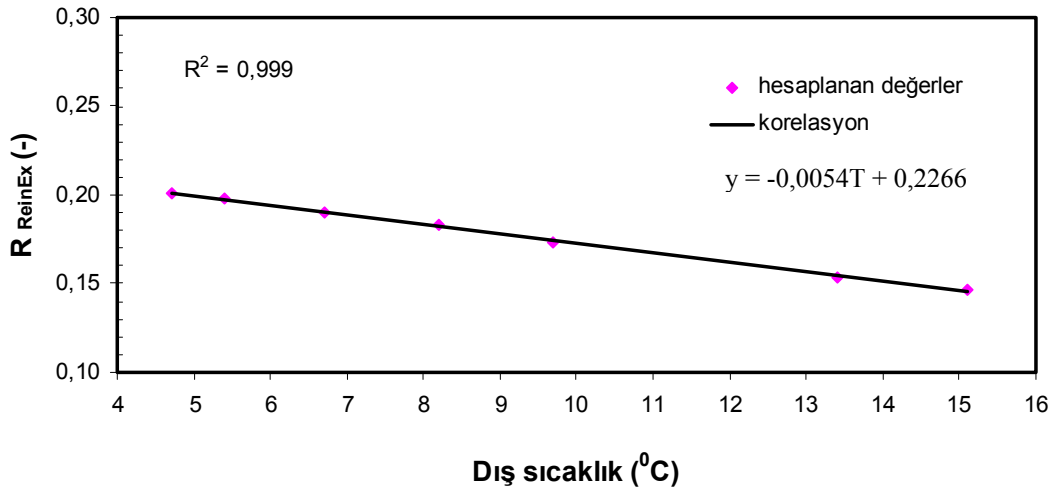
Şekil 5.16 Isıtma Sezonundaki Aylık Ortalama Gerçek Sıcaklıklar İçin Reenjeksiyon Ekserji Kayıplarının Giren Kaynak Ekserjiye Oranı



Şekil 5.17 Isıtma Sezonundaki Aylık Ortalama Gerçek Sıcaklıklar İçin Pompa Ekserji Kayıplarının Giren Kaynak Ekserjiye Oranı



Şekil 5.18 Isıtma Sezonundaki Aylık Ortalama Gerçek Sıcaklıklar İçin Yenilenebilir Ekserjetiklik Oranı Grafiği



Şekil 5.19 Isıtma Sezonundaki Aylık Ortalama Gerçek Sıcaklıklar İçin Reenjeksiyon Ekserjetiklik Oranı Grafiği

Grafikler sonuçlar bölümünde yorumlanmıştır.

5.2 Edremit Merkezi Isıtma Sistemini Enerji ve Ekserji Analizi Bulguları

Edremit jeotermal akışkanın içerisinde bulunan tuz diğer parçacıkların etkisi ihmal edilerek, akışkanın termodinamik özellikleri saf su gibi alınmıştır. Termodinamik özellikler; termodinamik çizelgeler ve bilgisayar programı sayesinde elde edilmiştir.

Ekonomik hesaplarda en kötü durum göz önüne alındığında, yıllık enerji ihtiyacının %0,2'sinin destek ısıtma sistemden sağlanacağı düşünülmektedir. Sistem kapasitesi 7500 konut eşdeğerine ulaştığında, yıllık enerji ihtiyacı, ev ısıtması, sıcak su ve sera ısıtması için sırasıyla 109,6 GWh, 22,3 GWh ve 20 GWh değerlerinde olacaktır.

Jeotermal kaynak ile Edremit merkezi arasında 3–4 km'lik bir mesafe bulunmaktadır. Bu mesafe ilk yatırım ve işletme maliyeti açısından ekonomik değerler arasında bulunmaktadır.

Sistemden veriler 20 Ocak 2007 itibariyle sistemden alınmış ve analiz için kullanılmıştır. Veriler yardımı ile enerji-ekserji verimliliği ve sistemin ekserji kaybı bulunmuştur. Jeotermal akışkan ve sistemde dolaşan temiz sıcak su için sistemden alınan sıcaklık, basınç ve debi verileri kullanılarak sistem için enerji oranı, ekserji oranı ve enerji-ekserji değerleri termodinamik çizelgeler ve bilgisayar programları kullanılarak elde edilmiştir. Referans sıcaklık ve basınç değeri olarak 13.4 °C ve 101.3 kPa alınmıştır.

Enerji ve ekserji kayıpları Şekil 5.19 ve Şekil 5.20'de sırasıyla verilmiştir. Şekil 5.19'a göre sistemdeki en yüksek enerji kaybı; kullanılan jeotermal akışkanın dereye bırakılması işlemi sırasında oluşmuştur. Kullanılan suyun reenjeksiyonu işlemi sırasında toplam enerji kaybının % 97 (yaklaşık, 21505,5 kW) bir kısmı oluşmuştur. Geriye kalan % 3 (i.e., 865,5 kW)'lük bir enerji kaybında boru sisteminde boru enerji kaybı olarak meydana gelmiştir. Bunun yanında ekserji kaybı birçok sistem bileşeninde de meydana gelmiştir. Toplam ekserji kayıpları sırası ile şu bileşenlerde ve belirtilen oranlarda meydana gelmiştir.

- Pompa ekserji kaybı: %4
- Eşanjör ekserji kaybı: %13
- Boru hattı ekserji kaybı: %18
- Suyun nehre reenjeksiyon ekserji kaybı: %65

Tüm enerji kayıpları içinde en yüksek kayıp oranı reenjeksiyon bölümünde gerçekleşmektedir. Kullanılan jeotermal akışkanın, diğer bazı uygulamalarda tekrardan kullanılabilirse bu kayıp oranı da azaltılabilir. Boru iletim hattının mesafesinin kısa olması boru ekserji kaybının nispeten daha düşük olmasını sağlamıştır. Eşanjör ve pompa ekserji kaybının da düşük değerlerde olması sistem için olumlu özelliştir. Yani reenjeksiyon kısmı hariç gider ekserji kayıplarının düşük değerlerde olması bu bölümlerde fazla iyileştirmeye gerek duyulmadığını da göstermektedir.

Şekil 5.19'da merkezi ısıtma sistemine giren enerji ve dağılımı verilmiştir. 20 Ocak 2007 tarihi itibarıyla girdi enerji miktarı 33837 kW olarak hesaplanmıştır. Toplam enerji girdisinin % 64,96 nehre bırakıldığı bulunmuştur. Boru kayıpları giren toplam enerjinin % 2,55 lik bir kısmını oluşturduğu belirlenmiştir.

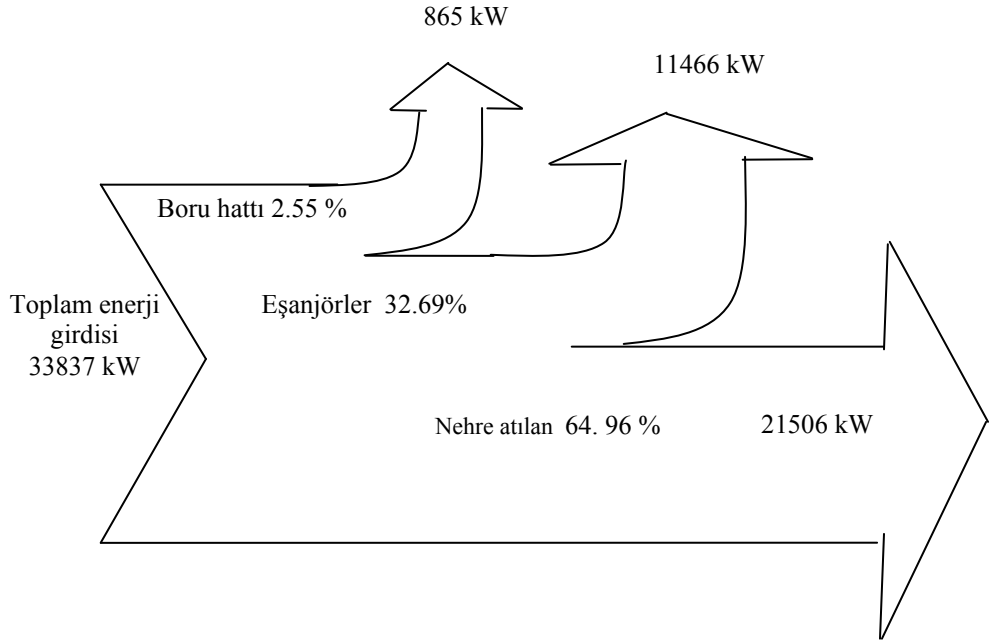
Detaylı ekserji akış diyagramları Şekil 5.20'de verilmiştir. Şekillerden de anlaşılacağı üzere giren toplam enerjinin % 45,74 lik kısmı yani (1927 kW) kayıplara harcanmıştır. Geriye kalan % 54,26 lik kısım ise kullanılmıştır. En yüksek ekserji kaybı % 29,94 olarak, kullanılan suyun dışarı reenjeksiyonu sırasında oluşmuştur.

Edremit JMIS için enerji ve ekserji verimliliği sırasıyla % 32,69 ve %54,26 olarak bulunmuştur. Çizelge 5.2'de karşılaştırma açısından bazı ısıtma sistemlerinin enerji ve ekserji verimlilikleri verilmiştir.

Çalışılan jeotermal sistem için yeni parametrelerden olan enerjetik ve ekserjetik yenilenebilirlik kavramları, sırasıyla 0,34 ve 0,52 olarak ve ayrıca, jeotermal sistem için enerjetik ve ekserjetik reenjeksiyon oranı sırasıyla 0,64 ve 0,30 olarak bulunmuştur (Çizelge 5.3).

Çizelge 5.2 Karşılaştırma İçin Bazı Sistemlerin Enerji ve Ekserji Verimlilikleri[41]

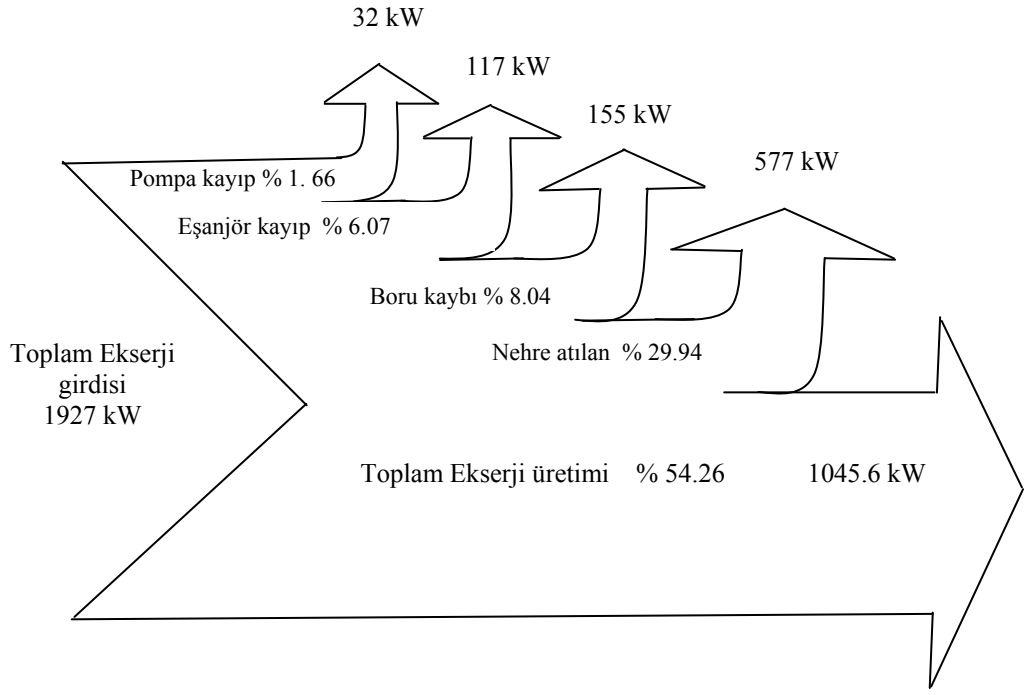
Kullanım	Enerji verimliliği (%)	Ekserji verimliliği (%)
Fuel-oil kullanan ev ısıtma sistemi	60	9
Ev için sıcak su sağlayan ısıtıcılar (fuel-oil)	40	2-3
Yüksek –basıçlı buhar kazanları	90	50
Buhar kullanan Isıtma Sistemleri	100	40
Edremit JMIS	33	54



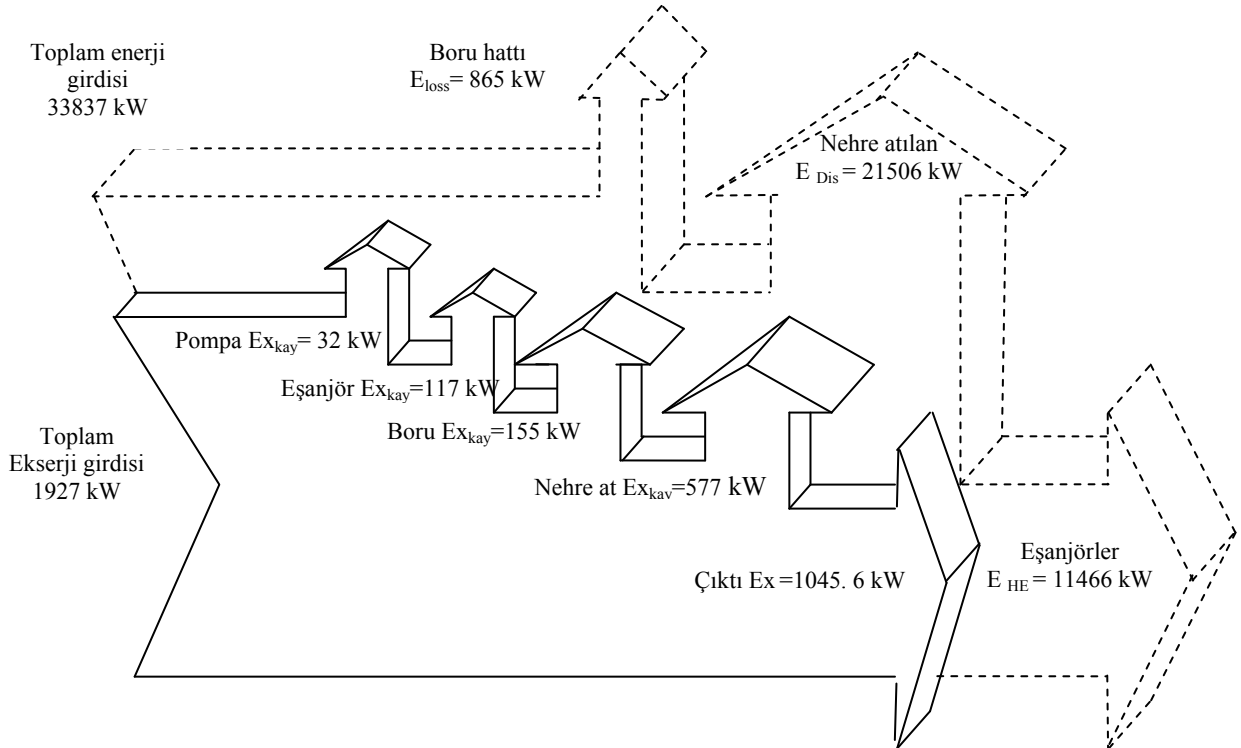
Şekil 5.20 Edremit JMIS Enerji Akış Diyagramı.

Edremit jeotermal merkezi ısıtma sistemi henüz reenjeksiyon bölümüne sahip değildir. Bu sebepten kullanılan jeotermal akışkan 38⁰C’de nehre salınmaktadır. Kullanılan jeotermal akışkanın enerji ve ekserji değeri sırasıyla 21506 kW ve 577 kW olarak bulunmuştur. Şekil.5.21’de, giren enerji ve ekserji miktarlarının hangi bölümlere hangi oranlarda dağıldığı verilmiştir.

20 Ocak 2007 itibariyle, sistemin başlangıç noktasından bu yana \$8.51 milyon harcanmıştır. Edremit JMIS tam olarak 7500 ısı eşdeğerine ulaştığında, CO₂ emisyonu yıllık olarak 53586 ton/ yıl daha azaltılmış olacaktır.



Şekil 5.21 Edremit JMIS Ekserji Akış Diyagramı



Şekil 5.22 Edremit JMIS İçin Ekserji Dağılımının Enerji Grafiği İçindeki Gösterimi

Çizelge 5.3 Sistemin Karakteristik Özellikleri

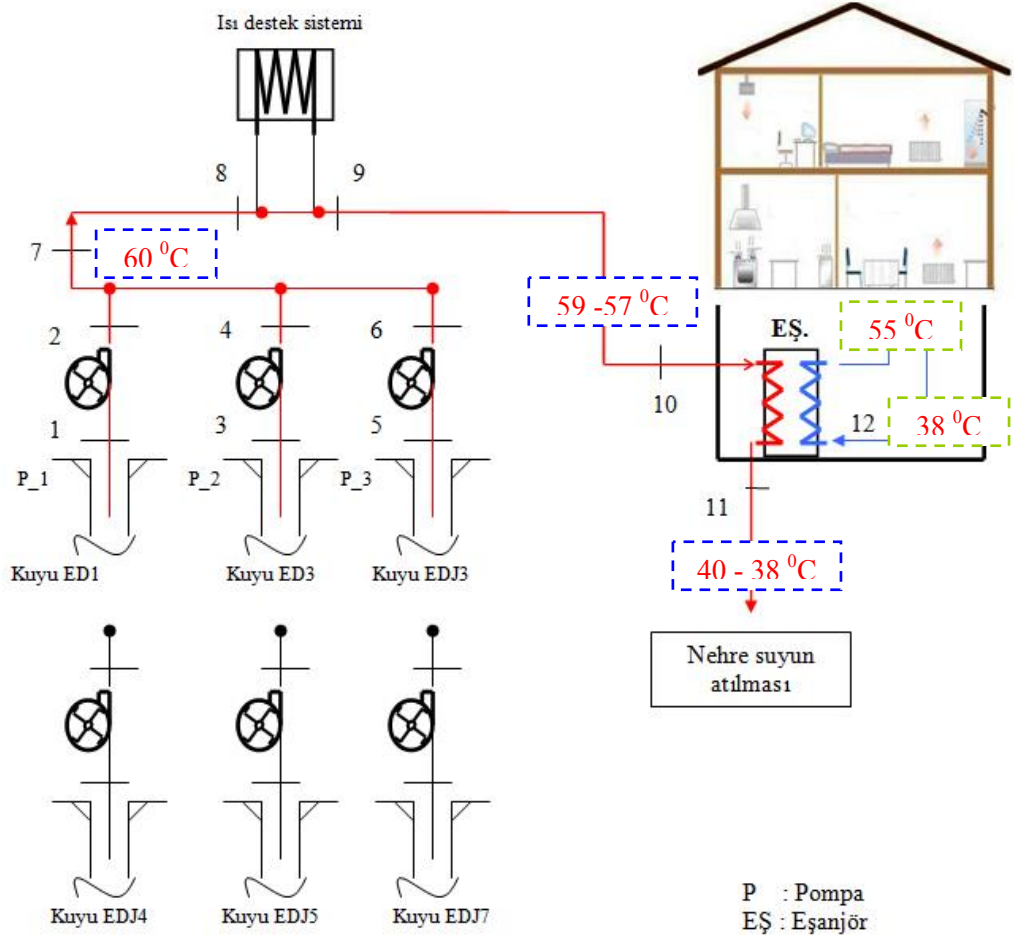
Spesifik Ekserji İndeksi	(SE_{xI})	0.02
İyileştirme Potansiyeli	(IP)	10.83
Enerjetik yenilenebilirlik oranı	R_{RenE}	0.34
Exerjetik yenilenebilirlik oranı	R_{RenEx}	0.52
Enerjetik reenjeksiyon oranı	R_{ReinE}	0.64
Exerjetik reenjeksiyon oranı	R_{ReinEx}	0.30

Çizelge 5.4 Edremit JMIS İçin Aylık Enerji İhtiyacı

Aylar	Ortalama Dış Sıcaklık (°C)	Sıcaklık Oranı Katsayısı (T_R)	Toplam Ortalama Enerji (kW)	Gün Sayısı	Toplam Ortalama Enerji (kW)
Kış Ayları için					
Ekim	16.3	0.1609	2539.43	26	1584.604
Kasım	12.4	0.3304	4457.99	30	3209.752
Aralık	8.6	0.4957	6329.03	31	4708.798
Ocak	6.2	0.6	7509.6	31	5587.142
Şubat	7	0.5652	7115.7	28	4781.75
Mart	9.3	0.4652	5983.8	31	4451.195
Nisan	13.4	0.2869	3965.62	30	2855.246
Mayıs	17.2	0.1217	2095.72	15	754.459
Yaz Ayları için					
Mayıs	17.2	-	718.2	15	258.552
Haziran	22.6	-	718.2	30	517.104
Temmuz	24.2	-	718.2	31	534.340
Ağustos	24.9	-	718.2	31	534.340
Eylül	21.7	-	718.2	30	517.104
Ekim	16.3	-	718.2	5	86.184
Yıllık Toplam Enerji Talebi (MWh)					30380.57

5.2.1 Edremit JMIS Yıllık Performans Analizi

Edremit sisteminin yıllık performans analizi bulunurken günlük ortalama gerçek dış sıcaklıklar kullanılarak gerekli değerler elde edilmiştir. Isıtma sezonu için sistem dizayn sıcaklıkları sistemden alınan ve analiz yapılan sıcaklık değerleri olarak kabul edilmiştir. Isıtmanın yapılmadığı dönemde yani yaz döneminde sistem sadece sıcak su ihtiyacını karşılamaktadır.



Şekil 5.23 Edremit JMIS Tasarım Sıcaklıkları

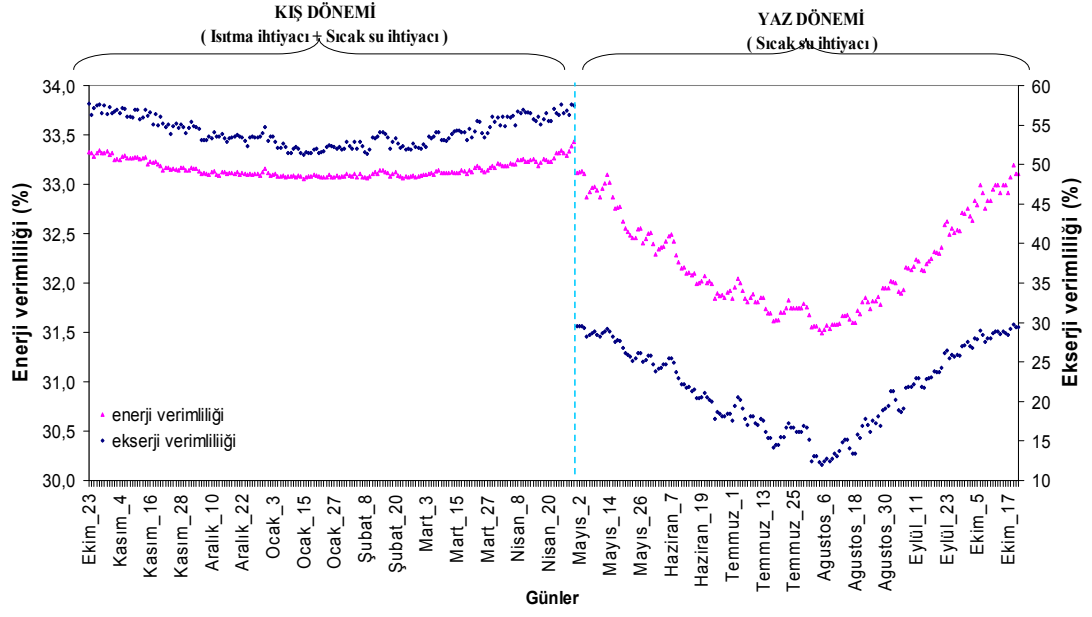
Yaz döneminde eşanjöre şehir su şebekesinden gelen su ısıtılıp kullanılmakta ve atılmaktadır. Yaz dönemi için bir sirkülasyon sağlanmamaktadır. Yaz dönemi için eşanjöre giren / çıkan su sıcaklıkları kış dönemine göre farklılık göstermektedir. Şehir su şebekesinden eşanjöre ulaşan su sıcaklığının tespiti için belirli dönemde alınan veriler doğrultusunda sıcaklıkların 15 ile 20 °C arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Yaz dönemi için hesaplamalarda bu değerlerin ortalaması olan 17,5 °C kullanılmıştır. Yaz dönemi için eşanjörden evlere giden hat için giriş / çıkış su sıcaklığı 17,5 / 50 °C alınmıştır. Jeotermal akışkan için eşanjöre giriş / çıkış sıcaklıklarının değişmediği düşünülerek 55 / 35 °C alınmıştır. Hesaplamalar sonucunda elde edilen şekillerin açıklamaları şu şekilde ifade edilmiştir.

- Tasarım sıcaklıklarının sabit kaldığı düşünülerek aylık ısıtma ihtiyacı için gerekli debiler bulunmuş ve Şekil 5.31’de verilmiştir.

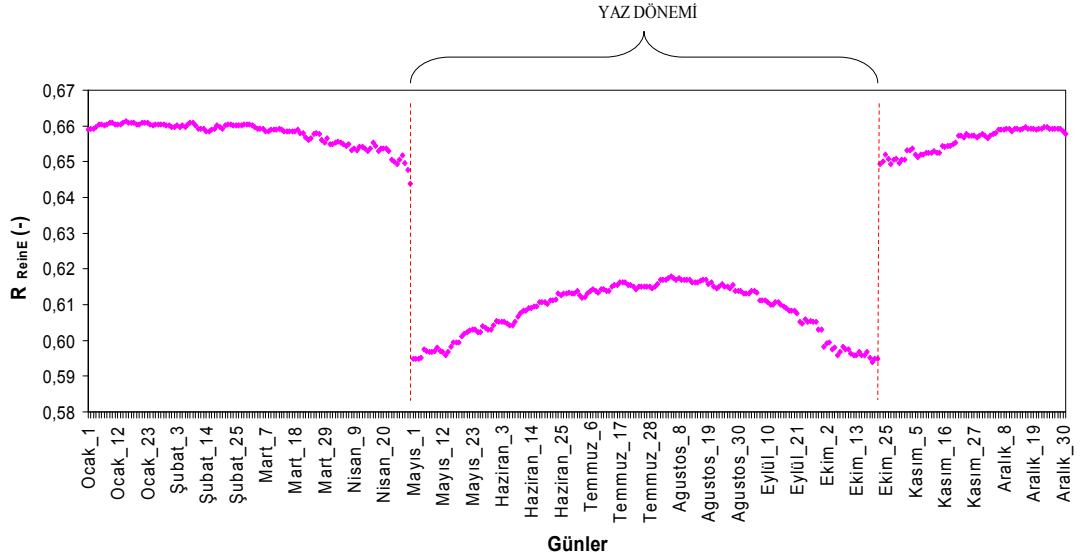
- Sıcaklık ve debi değerleri belirlendikten sonra referans çevre sıcaklığının değişimiyle enerji ve ekserji veriminin yıllık içerisinde günlük olarak nasıl değiştiği bulunmuş ve Şekil 5.24’de verilmiştir.
- Edremit JMIS’nin ısıtma sezonu için Enerjetik Reenjeksiyon Oranı günlük ortalama dış sıcaklıklara bağlı olarak bulunmuş ve Şekil 5.25’de ifade edilmiştir.
- Edremit JMIS’nin ısıtma sezonu için Ekserjetik Reenjeksiyon Oranı günlük ortalama dış sıcaklıklara bağlı olarak bulunmuş ve Şekil 5.26’de ifade edilmiştir.
- Sistemin ısıtma sezonu için Enerjetiklik Yenilenebilirlik Oranı günlük ortalama dış sıcaklıklara bağlı olarak bulunmuş ve Şekil 5.28’de ifade edilmiştir.
- Sistemin ısıtma sezonu için Ekserjetik Yenilenebilirlik Oranı günlük ortalama dış sıcaklıklara bağlı olarak bulunmuş ve Şekil 5.27’de ifade edilmiştir.
- Sistem için aylık enerji ihtiyacı günlük ortalama sıcaklıklara bağlı olarak hesaplanmış ve Şekil 5.29’da grafiksel olarak ifade edilmiştir.
- Edremit JMIS için kaynaktan gelmesi gereken ve kullanıcılar için gerekli olan enerji ihtiyacı hesaplanmış ve grafiksel olarak Şekil 5.30’da verilmiştir.
- Edremit JMIS için jeotermal kuyu başı ekserji / enerji oranı belirlenmiş ve Şekil 5.32’de ifade edilmiştir.
- Edremit JMIS ısıtma dönemi enerji ve ekserji talebi hesaplanarak Şekil 5.33’de grafiksel olarak ifade edilmiştir.
- Sistem için ısıtma dönemi boyunca ki ekserji kayıpları Şekil 5.34’de ifade edilmiştir.
- Isıtma sezonundaki günlük ortalama gerçek sıcaklıklara bağlı olarak ekserji verimindeki değişim Şekil 5.35’de açık bir şekilde verilmiştir.
- Isıtma sezonundaki günlük ortalama gerçek sıcaklıklara bağlı olarak reenjeksiyon ekserji kayıplarının giren kaynak ekserji’ ye oranı Şekil 5.36’de açık bir şekilde verilmiştir.
- Isıtma sezonundaki günlük ortalama gerçek sıcaklıklara bağlı olarak boru ekserji kayıplarının giren kaynak ekserji’ ye oranı Şekil 5.37’de verilmiştir.
- Isıtma sezonundaki günlük ortalama gerçek sıcaklıklara bağlı olarak

yenilenebilir ekserjetiklik oranındaki değişim Şekil 5.39’da ifade edilmiştir.

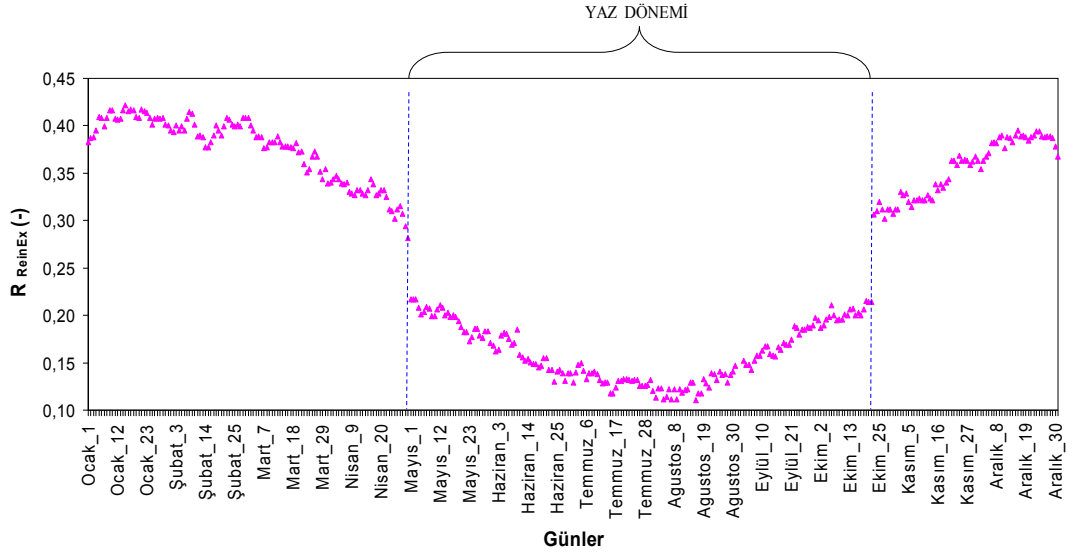
- Isıtma sezonundaki günlük ortalama gerçek sıcaklıklara bağlı olarak yenilenebilir enerjetiklik oranındaki değişim Şekil 5.38’de ifade edilmiştir
- Isıtma sezonundaki günlük ortalama gerçek sıcaklıklara bağlı olarak pompa ekserji kayıplarının giren kaynak ekserji’ ye oranı Şekil 5.40’da ifade edilmiştir
- Isıtma sezonundaki günlük ortalama gerçek sıcaklıklara bağlı olarak reenjeksiyon enerjetiklik oranındaki değişim Şekil 5.41’de açıkça ifade edilmiştir.
- Isıtma sezonundaki günlük ortalama gerçek sıcaklıklara bağlı olarak reenjeksiyon ekserjetiklik oranındaki değişim Şekil 5.42’de açıkça ifade edilmiştir.



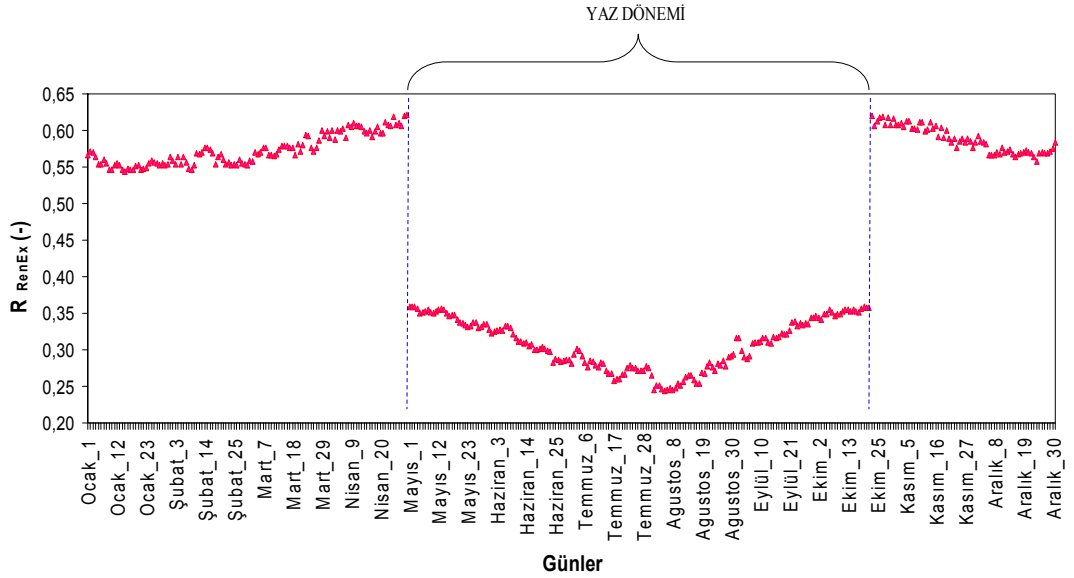
Şekil 5.24 Edremit JMIS'nin Yıllık Enerji ve Ekserji Verim Diyagramı



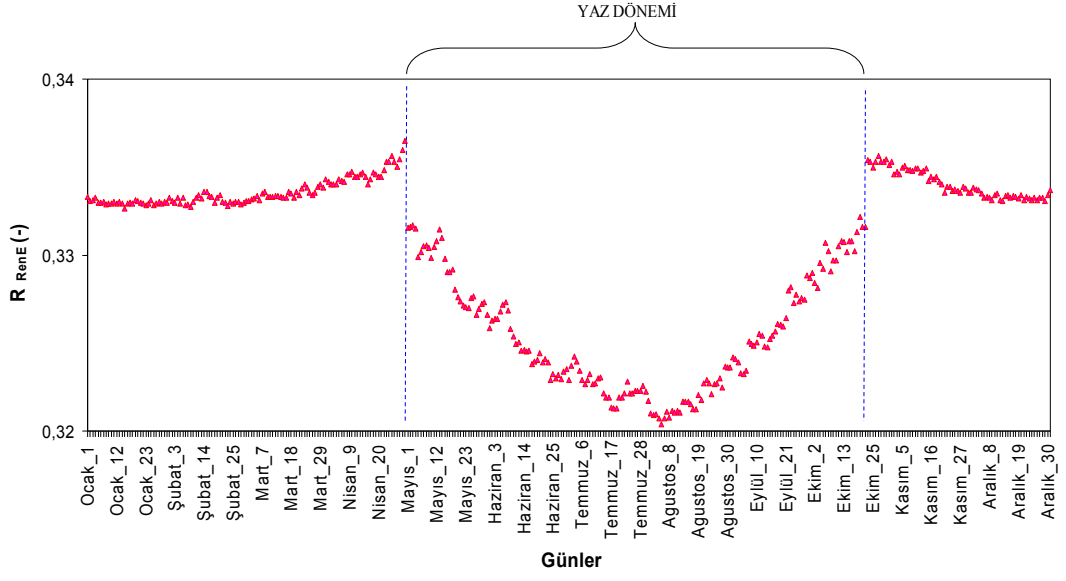
Şekil 5.25 Edremit JMIS İçin Reenjeksiyon Enerjetiklik Oranı



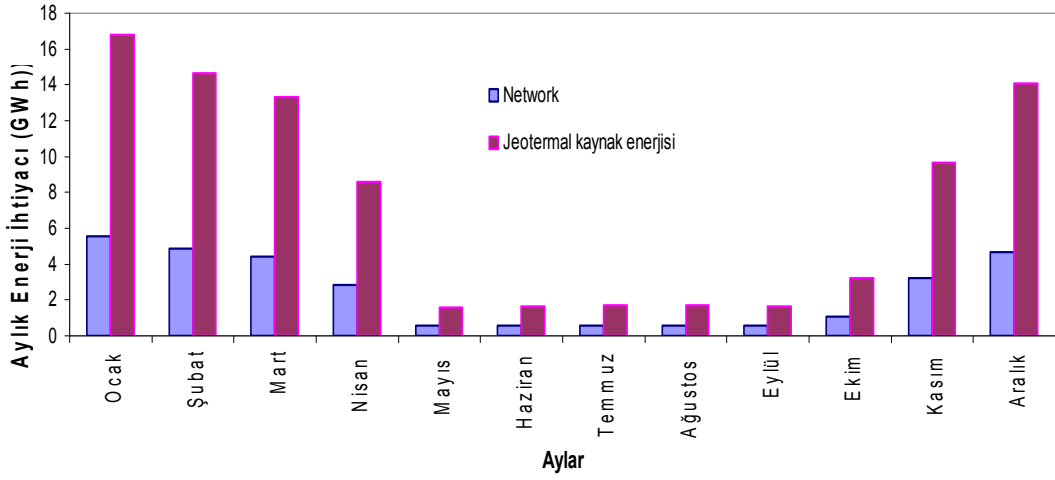
Şekil 5.26 Edremit JMIS İçin Ekserjetik Reenjeksiyon Oranı



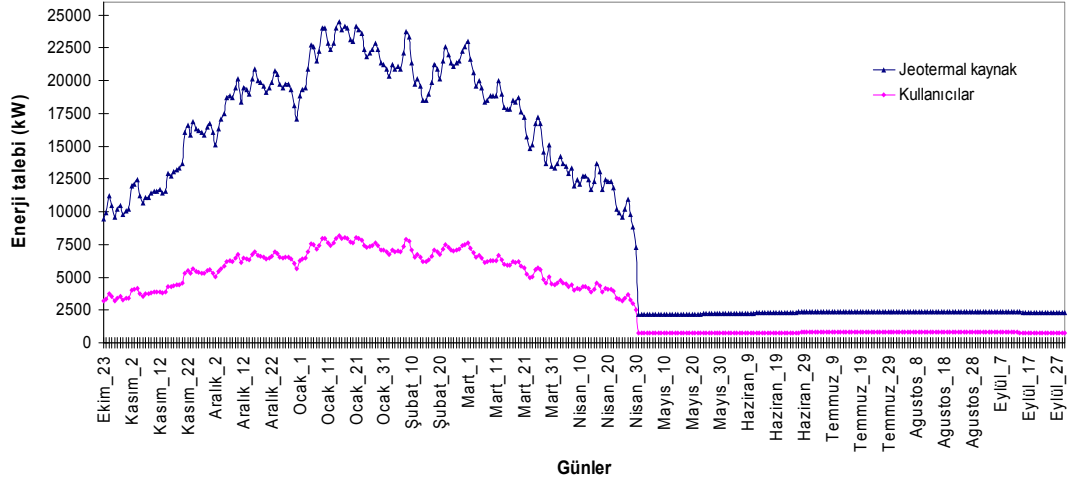
Şekil 5.27 Edremit JMIS İçin Yenilenebilir Ekserjetiklik Oranı



Şekil 5.28 Edremit JMIS İçin Yenilenebilir Enerjetiklik Oranı



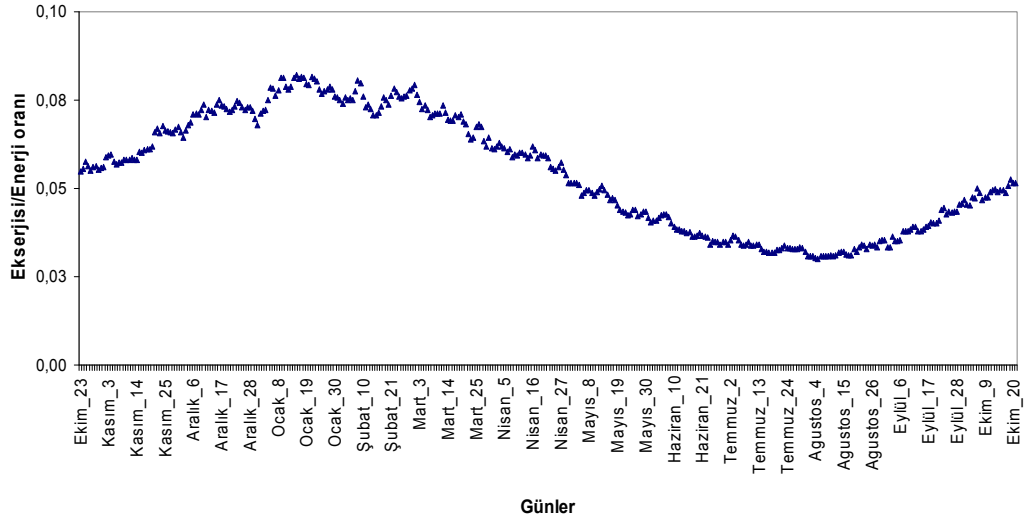
Şekil 5.29 Edremit JMIS İçin Aylık Enerji İhtiyacı



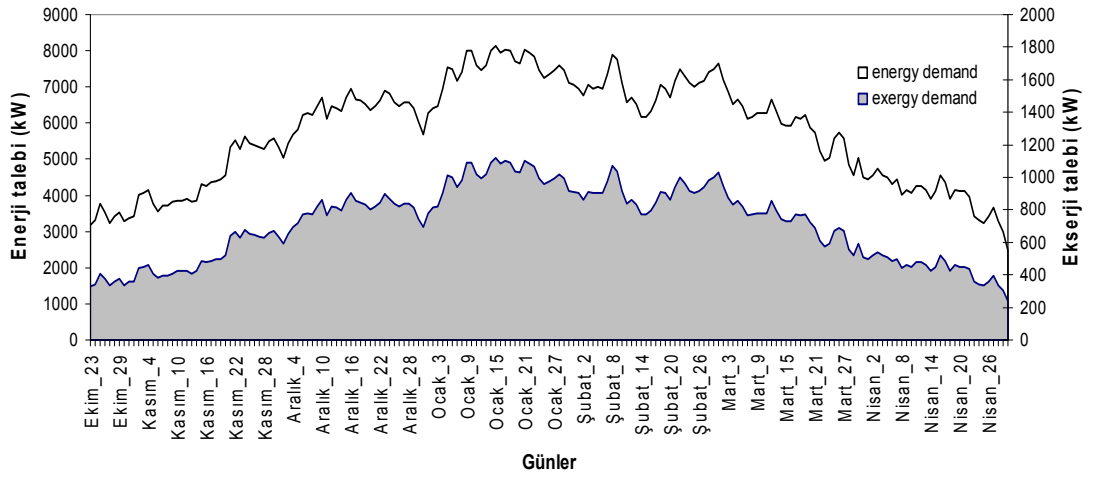
Şekil 5.30 Edremit JMIS İçin Kaynak ve Kullanıcılar İçin Gerekli Olan Enerji İhtiyacı



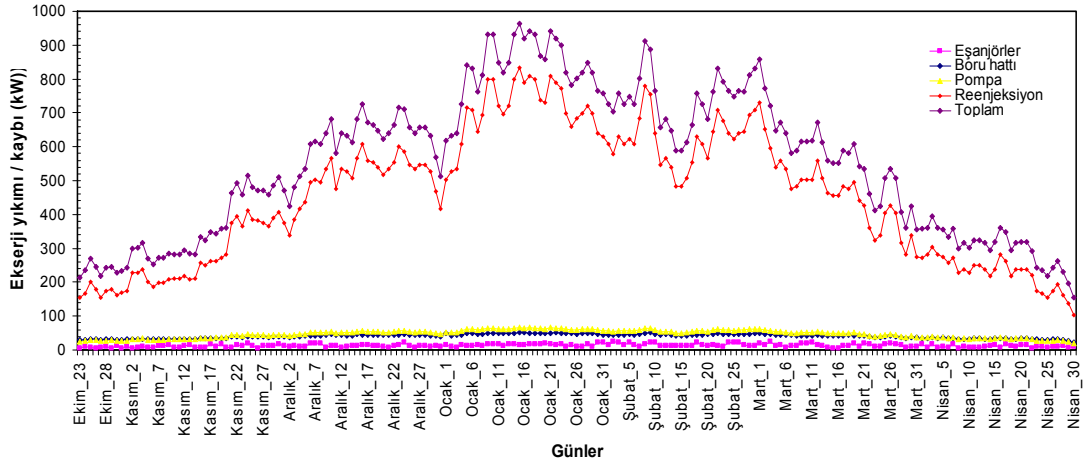
Şekil 5.31 Edremit JMIS Isıtma Sezonu İçin Akışkan Debisi



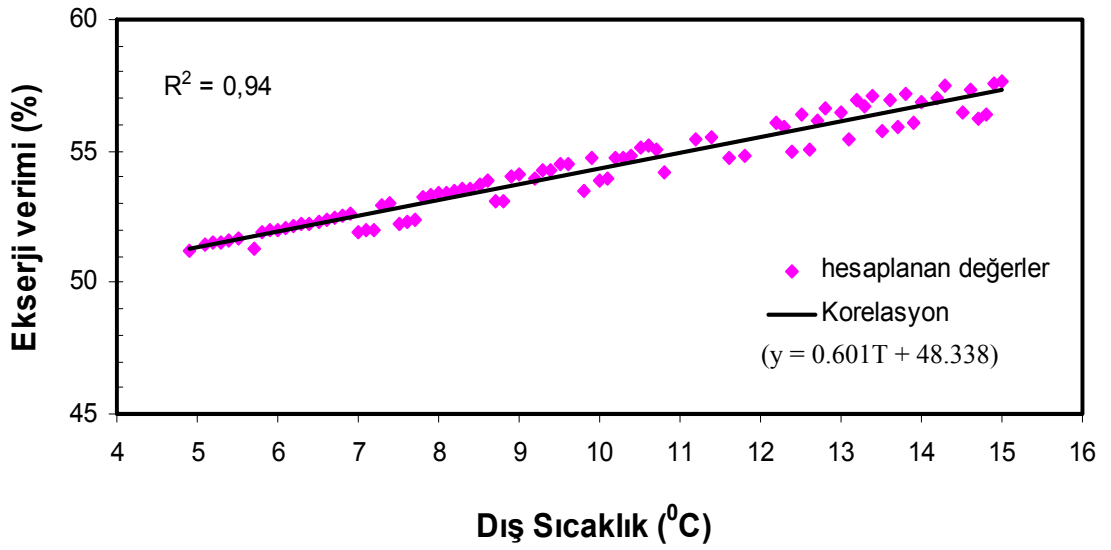
Şekil 5.32 Jeotermal Kuyu Başı Ekserji / Enerji Oranı



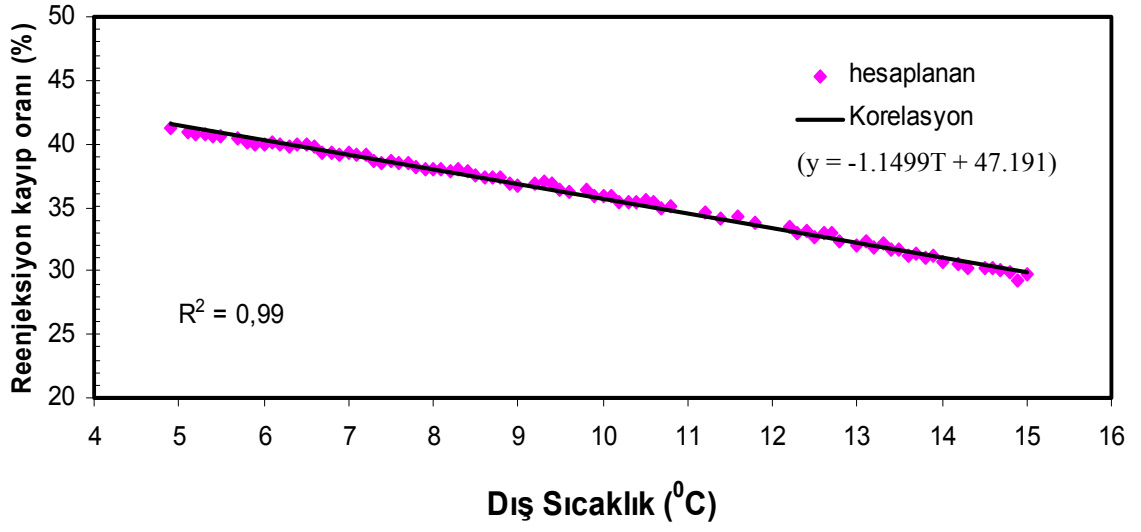
Şekil 5.33 Edremit JMIS Isıtma Dönemi Enerji ve Ekserji Talebi



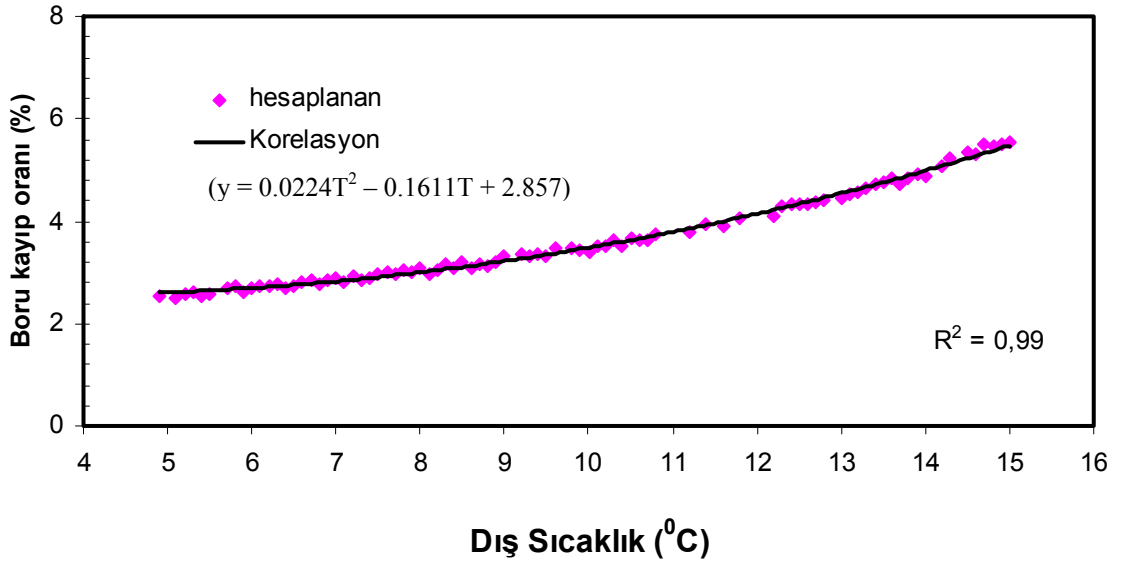
Şekil 5.34 Edremit JMIS Isıtma Dönemi Ekserji Kayıpları



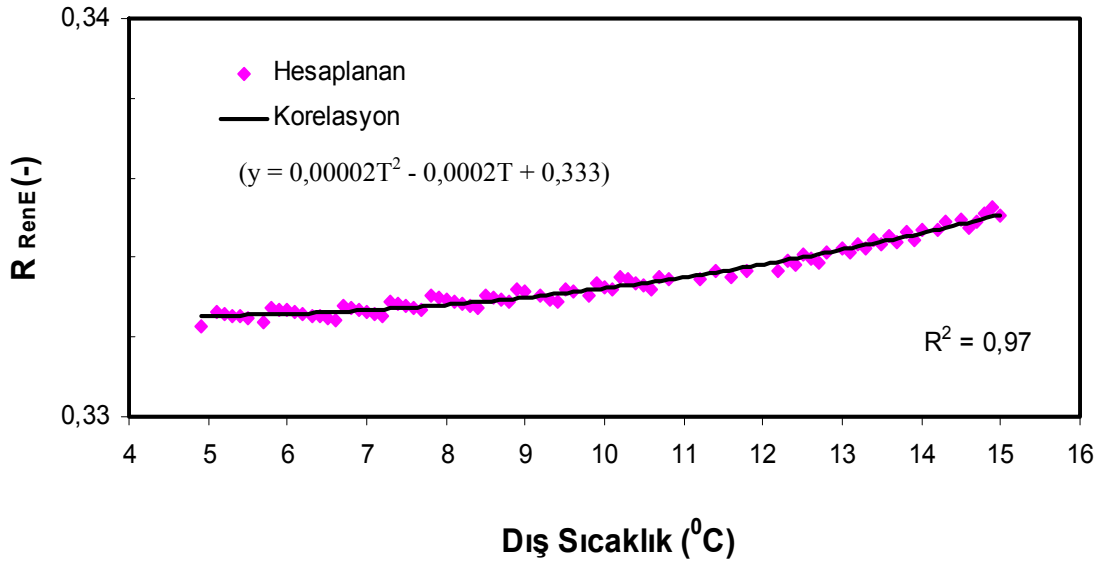
Şekil 5.35 Isıtma Sezonundaki Günlük Ortalama Gerçek Sıcaklıklar İçin Ekserji Verimi Değişimi



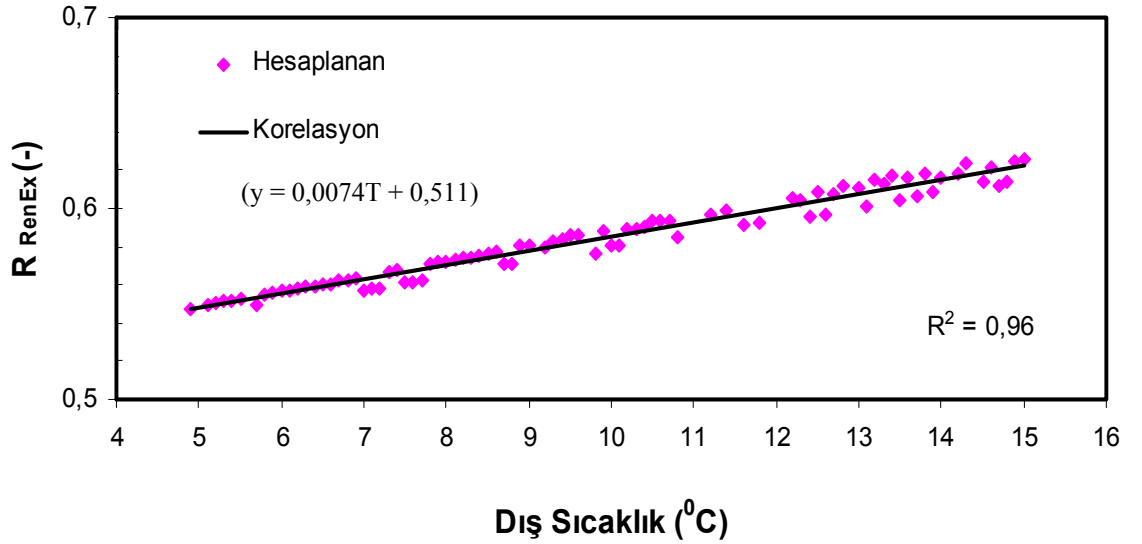
Şekil 5.36 Isıtma Sezonundaki Günlük Ortalama Gerçek Sıcaklıklar İçin Reenjeksiyon Ekserji Kayıplarının Giren Kaynak Ekserji' ye Oran



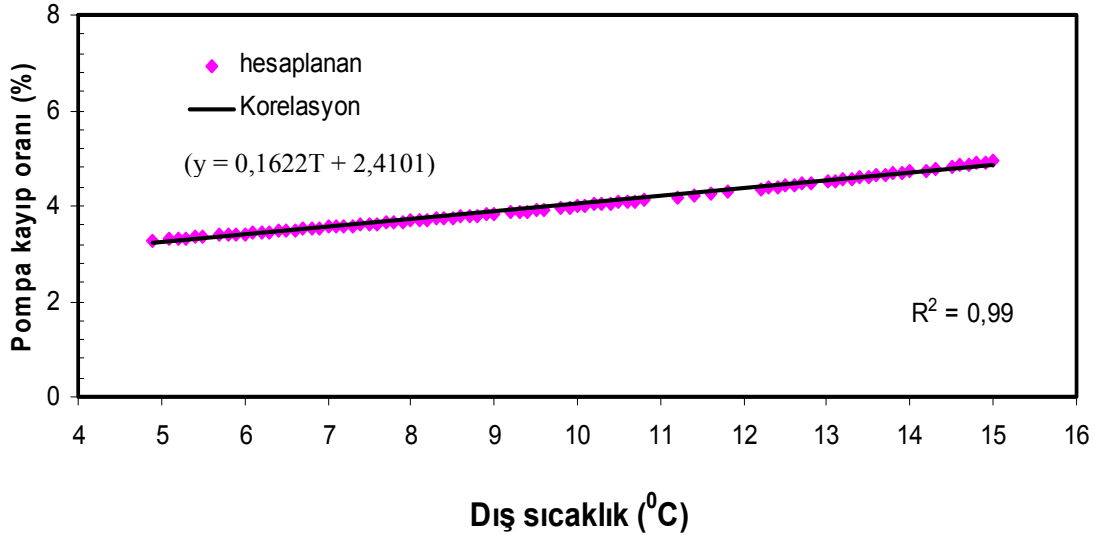
Şekil 5.37 Isıtma Sezonundaki Günlük Ortalama Gerçek Sıcaklıklar İçin Boru Ekserji Kayıplarının Giren Kaynak Ekserji' ye Oranı



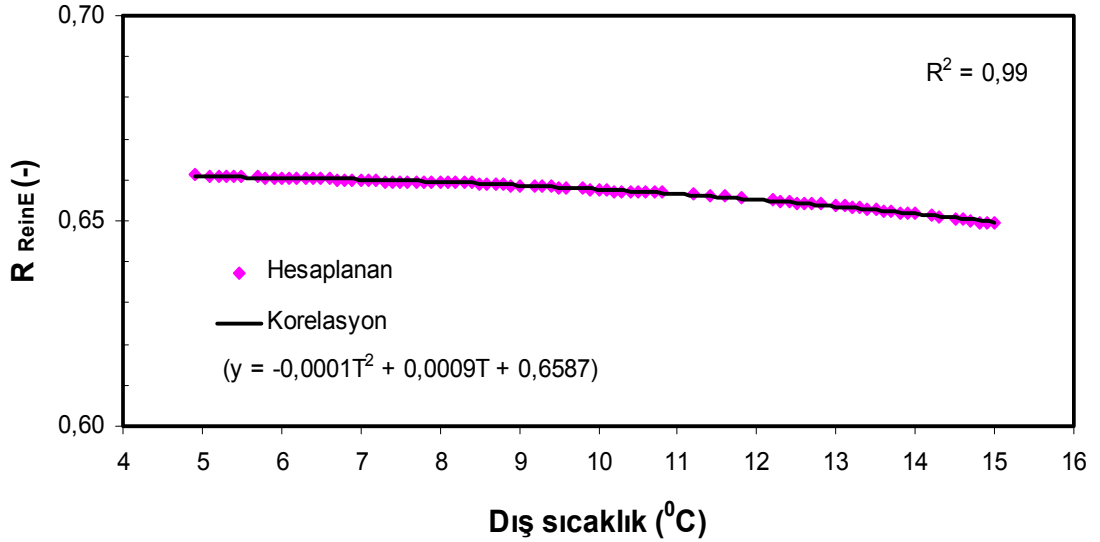
Şekil 5.38 Isıtma Sezonundaki Günlük Ortalama Gerçek Sıcaklıklar İçin Yenilenebilir Enerjetik Oranını Değişimi



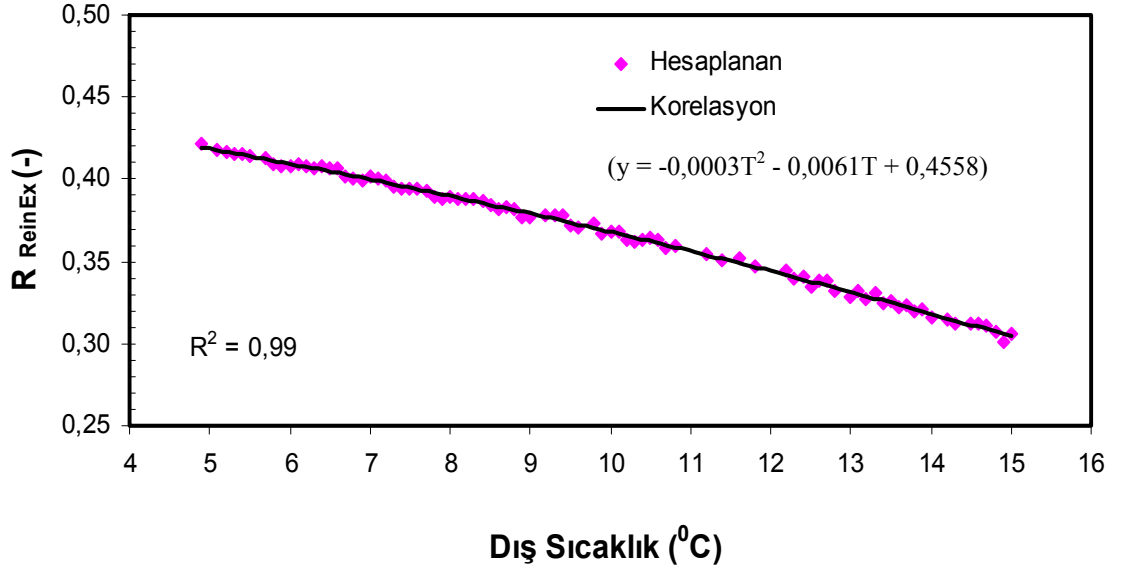
Şekil 5.39 Isıtma Sezonundaki Günlük Ortalama Gerçek Sıcaklıklar İçin Yenilenebilir Ekserjetik Oranının Değişimi



Şekil 5.40 Isıtma Sezonundaki Günlük Ortalama Gerçek Sıcaklıklar İçin Pompa Ekserji Kayıplarının Giren Kaynak Ekserji'ye Oranı



Şekil 5.41 Isıtma Sezonundaki Günlük Ortalama Gerçek Sıcaklıklar İçin Reenjeksiyon Enerjetiktik Oranı Grafiği



Şekil 5.42 Isıtma Sezonundaki Günlük Ortalama Gerçek Sıcaklıklar İçin Reenjeksiyon Ekserjetiktik Oranı Grafiği

Grafiklerin yorumları sonuçlar kısmında verilmiştir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1 Edremit Merkezi Isıtma Sistemi İçin Elde Edilen Sonuçlar

Birçok jeotermal ısıtma sistemi dolaylı olarak jeotermal ısıyı kullanırken, Edremit JMIS bina içindeki eşanjörler yardımıyla jeotermal akışkanın ısısından yararlanmakta ve ısı merkezindeki ana eşanjörde meydana gelen kayıp ortadan kaldırılmış olmaktadır. Eşanjör ekserji kayıplarının azaltılmış olması da sistem ekserji verimini olumlu yönde etkilemektedir. Bu sistem için pozitif yönlerden ilkiyen ikincisi de jeotermal kaynakların Edremit şehir merkezine çok yakın olması borulardaki iletimden dolayı ortaya çıkan enerji ve ekserji kayıplarını azaltmaktadır. Bilindiği üzere boru hattı mesafesi, boru hattı enerji ve ekserji kayıplarında oldukça önemli bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Edremit JMIS de boru hattı mesafesinin azalması enerji ve ekserji kayıplarının azalmasını sağlamıştır. Ayrıca Edremit'in fazla yükselteli bir yapıya sahip olmaması pompaların çalışması açısından da büyük bir avantaj oluşturmaktadır.

Ancak sistemde kullanılan suyun yeraltına bırakılması işlemi yapılmadığı için kaynaktaki su seviyesinde bir azalma meydana gelebileceği gerçeği karşımıza çıkmaktadır. Sistemin eksik bir diğer noktası ise direk kullanımdan dolayı eşanjörlerde oluşacak ve sistemin verimliliğinin azalmasına neden olan korozyonun önlenmesi için jeotermal suyun yumuşatılması ve pH kontrol ünitesinin eklenmemiş olmasıdır. Ayrıca sistemde reenjeksiyon bölümü oluşturulmalı ve bu bölümden öncede verimli bir sera ısıtması uygulaması sisteme ilave edilmelidir.

Sonuçların ışığı altında Edremit jeotermal alanın düşük-kalitede bir jeotermal kaynak olmasına rağmen, direk kullanımın etkisiyle yüksek bir ekserji verimliliğine ulaştığı gözlemlenmiştir.

Çalışmanın yıllık performans bölümünde ortaya çıkan grafikler jeotermal sistemler hakkında yararlı bazı bilgilerin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Sırasıyla Edremit JMIS için elde edilen grafiklerin yorumları şu şekilde verilmiştir.

- Referans çevre sıcaklığın düşüşüyle; boru ekserji kaybı ve pompa ekserji kaybının jeotermal kaynaktan gelen toplam ekserji içindeki yüzdeleri düşüş göstermiştir (Şekil 5.37 ve Şekil 5.40). Bunun sonucu olarak sıcaklığın azalışı ile ekserji veriminin yükseleceği düşünülebilir ancak sıcaklığın düşüşüyle reenjeksiyon ekserji kaybının jeotermal kaynaktan gelen ekserji içindeki yüzdesi büyük oranda artış göstermiştir. Sıcaklığın azalışıyla ekserji kayıplarındaki oransal artış kaynaktan gelen ekserjinin oransal artışının üzerine çıkmış ve enerji/ekserji veriminin düşmesine neden olmuştur. Referans çevre sıcaklığının düşüşüyle ekserji veriminin düşüşü kısaca bu şekilde ifade edilebilir (Şekil 5.35).
- Reenjeksiyon enerjetiklik ve ekserjetiklik oranı da referans çevre sıcaklığın düşüşüyle artış göstermiştir (Şekil 5.41 ve Şekil 5.42). Sistemden atılan kullanılmış jeotermal akışkanın sıcaklığı sabit kalsa dahi referans çevre sıcaklığının düşüşüyle kullanılmış jeotermal akışkanın ekserji değeri artmakta ve reenjeksiyon ekserji kaybının artmasına sebep olmaktadır.
- Yenilenebilir ekserjetiklik ve enerjetiklik oranı da referans çevre sıcaklığının düşüşüyle azalış göstermiştir (Şekil 5.38 ve Şekil 5.39). Sıcaklığın düşüşüyle sistemin genelindeki enerjetik ve ekserjetik kayıplar artış göstermekte ve yenilenebilir ekserjetiklik/enerjetiklik oranında düşüşe büyük yönde etki etmektedir.
- Isıtma sezonunda sıcaklığın düşüş gösterdiği Aralık, Ocak ve Şubat aylarında enerji/ekserji verimleri de düşüş göstermektedir (Şekil 5.24). Bunun sebebi olarak da kayıpların kaynaktan gelen enerji/ekserjiye oranla daha fazla artmasıdır. Isıtma sezonunda ekserji verimi, enerji verimininden daha yüksek bir değerlerde elde edilmiştir. Bu durum jeotermal sistemler için alışıla geldik bir sonuç olmasına rağmen, yaz döneminde ekserji verimi enerji veriminin altında bir değere ulaşmıştır. Bunun en büyük sebebi ise sistem için sadece sıcak su ihtiyacının karşılandığı yaz döneminde eşanjöre giren temiz su giriş/çıkış sıcaklıklarında büyük değişimler yaşanmasıdır. Isıtma döneminde, binalarda dolaşan ısıtma suyu hem sirkülasyon yapmakta hem de

hem de yüksek sıcaklıklarda dolaşmaktadır. Ancak yazın ısıtılıp kullanılan suyun dışarı atılması ve şehir su şebekesinden gelen temiz suyun düşük sıcaklıkta olması eşanjör ekserji verimini büyük ölçüde düşürmektedir. Bilindiği üzere eşanjöre giren ve çıkan su sıcaklıkları arasındaki fark ne kadar fazla ise eşanjör ekserji verimi o ölçüde azalmaktadır.

- Çevre sıcaklığının düşüşüyle reenjeksiyon kaybı büyük oranda artmış bunun sonucu olarak da enerjetik ve ekserjetik reenjeksiyon oranı artış göstermiştir (Şekil 5.41 ve Şeki 5.42). Aynı şekilde enerjetik ve ekserjetik yenilebilirlik oranı da düşüş göstermiştir (Şekil 5.38 ve Şekil 5.39).

Kaynaktan gelmesi gereken akışkan debisi ortalama sıcaklıklara bağlı olarak en soğuk günler için 90-100 kg/s civarına ulaşmakta. Yaz ayları içinse 10 kg/s civarlarına gerilemektedir (Şekil 5.31).

6.2. Bigadiç Merkezi Isıtma Sistemi İçin Sonuçlar

Bigadiç merkezi ısıtma sistemi Türkiye'nin en uzun, dünyanın en uzun üçüncü ishale boru hattına sahiptir. Kaynak ile ısı merkezi arasında 18 km'lik bir boru hattı bulunmaktadır. İshale boru hattı iyi şekilde yalıtılmış olmasına rağmen bu uzun mesafe, boru hattı enerji ve ekserji kaybının yüksek çıkmasını büyük ölçüde etkilemiştir. Enerji ve ekserji analizinin sonucunda görülmüştür ki, sistemde en yüksek enerji ve ekserji kaybı reenjeksiyon bölümünde gerçekleşmiştir. Bu sonuç, reenjeksiyon bölümünde iyileştirilmenin şart olduğunu ortaya koymuştur. Isı merkezinden 45°C gibi nispeten yüksek bir sıcaklıkta uzaklaşan jeotermal akışkandan, sera ısıtması veya kaplıca kullanımında yararlanılabilmesi mümkündür. Bu sayede sistemin hem enerji hem de ekserji veriminde büyük oranda artış sağlanabilecektir. Buna ek olarak sistemde kullanılan jeotermal suyun yeraltına gönderilmesini sağlayan bir sistem henüz oluşturulmamıştır. Kullanılan jeotermal akışkanın hazneye yakın bir noktada yeraltına verilmesi, kaynak hazne sıcaklığının düşmesine neden olacağı için akışkanın yeraltına bırakıldığı noktanın çok iyi şekilde seçilmesi şarttır. Bu noktanın belirlenmesi oldukça maliyetli olduğu için işletmeler bu konuya biraz titiz yaklaşmaktadırlar. Ancak kullanılan jeotermal akışkanın

yeraltına gönderilmesi, yeraltı haznesinin beslenmesi açısından hayati bir önem taşımaktadır. Yenilenebilir enerji kaynağı olarak bilinen jeotermal enerji, ancak kaynak haznesinin beslenmesiyle bu yenilebilir özelliğini sürdürebilir.

Ayrıca, akışkan debilerinin doğru ayarlanması, sistemde dolaşan akışkan sıcaklıkların uygun değerlerde tutulmasını sağlayarak hem pompa hem de eşanjör kayıplarının azalmasına yardımcı olacaktır. Pompaların gereksiz yere yüksek debilerde çalışması işletmenin elektrik sarfiyatının artmasına neden olmaktadır. Bu sebeple sistemdeki akışkan debisinin dış sıcaklığa bağlı olarak değişmesini ve böylece tasarım sıcaklıklarının korunmasını sağlayan bir otomatik kontrol sisteminin eklenmesi, sistemin her sıcaklık altında en yüksek verimde çalışmasını sağlayacaktır. Böylece sistemde tekrardan debilerin devamlı elle kontrol edilmesi işlemi de ortadan kaldırılmış olacaktır.

Çalışmanın yıllık performans bölümünde ortaya çıkan grafikler jeotermal sistemler hakkında yararlı bazı bilgilerin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Sırasıyla Bigadiç JMIS için bu grafiklerin yorumları şu şekilde verilmiştir.

- Daha önce Edremit JMIS değerlendirme kısmında da açıkladığı şekilde referans çevre sıcaklığın düşüşüyle boru ve pompa ekserji kaybının jeotermal kaynaktan gelen toplam ekserji içinde yüzdesel oranında düşüş göstermiştir (Şekil 5.17). Bu sonuçlar bize referans çevre sıcaklığı düştükçe boru ve pompa ekserji kaybı/yıkımının toplam ekserji girişi içindeki yüzdesinin azaldığını göstermektedir. Bunun aksine reenjeksiyon ekserji kaybı referans çevre sıcaklığının düşüşüyle artış göstermiştir (Şekil 5.16).
- Sıcaklığın azalışıyla ekserji kayıplarındaki oransal artış kaynaktan gelen ekserjinin oransal artışının üzerine çıkmış ve enerji/ekserji veriminin düşmesine neden olmuştur. Referans çevre sıcaklığının düşüşüyle ekserji veriminin düşüşü kısaca bu şekilde ifade edilebilir(Şekil 5.15).
- Reenjeksiyon ekserjetiklik oranı referans çevre sıcaklığın düşüşüyle artış göstermektedir(Şekil 5.19). Sistemden atılan kullanılmış jeotermal akışkanın sıcaklığı sabit kalsa dahi referans çevre sıcaklığının düşüşüyle kullanılmış jeotermal akışkanın ekserji değeri artmakta ve reenjeksiyon ekserji kaybının artmasına sebep olmaktadır.

- Yenilenebilir ekserjetiklik oranı referans çevre sıcaklığının düşüşüyle azalış göstermektedir(Şekil 5.18). Sıcaklığın düşüşüyle sistemin genelindeki ekserjetik kayıplar artış göstermekte ve yenilebilir ekserjetiklik oranı da düşüş göstermektedir.
- Isıtma sezonunda sıcaklığın düşüş gösterdiği Aralık, Ocak ve Şubat aylarında enerji/ekserji verimleri de düşüş göstermektedir(Şekil 5.5). Bunun sebebi olarak ta kayıpların kaynaktan gelen enerji/ekserjiye oranla daha fazla artmasıdır.
- Referans çevre sıcaklık düşüşüyle reenjeksiyon kaybı büyük oranda artmakta bunun sonucu olarak da ekserjetik reenjeksiyon oranı artış göstermiştir(Şekil 5.9). Aynı şekilde ekserjetik yenilebilirlik oranı da düşüş göstermiştir(Şekil 5.8).
- Günlük ortalama dış sıcaklıklara bağlı olarak hesaplanmış aylık enerji ihtiyaçları grafiksel olarak ifade edildiğinde , ısıtma dönemi için aylık enerji ihtiyacı 3 ile 7 GWh arasında değiştiği görülmüştür(Şekil 5.12). Dış sıcaklığa bağlı olarak kaynak ve kullanıcı anlık enerji taleplerindeki değişim verilmiş ve enerji talebi Ocak-Şubat döneminde en yüksek seviyelere ulaşmış daha sonrasında yaz ayları içinse sabit seviyelerde kalmıştır(Şekil 5.11).
- Kaynaktan gelmesi gereken akışkan debisi ortalama sıcaklıklara bağlı olarak en soğuk günler için 50-60 kg/s civarına ulaşmakta ve yaz ayları içinse 7 kg/s civarlarına gerilemektedir(Şekil 5.6).
- Kuyu başı ekserji ve enerji oranına bakıldığında kış aylarında en yüksek seviyelere ulaşmış, yaz aylarında sıcaklığında artışıyla en düşük seviyelere gerileği gözlenmiştir(Şekil 5.14).

6.3 Genel Sonuçlar ve Karşılaştırmalar

- Bu çalışmada, öncelikli olarak jeotermal sistemler için dört yeni parametre ortaya konmuştur. Bu parametreler sırasıyla; enerjetik yenilenebilirlik oranı, ekserjetik yenilenebilirlik oranı, enerjetik reenjeksiyon oranı ve ekserjetik reenjeksiyon oranı olarak nitelendirilebilir. Bu tez çalışmasında tanımlanan ve literatüre kazandırılması düşünölen bu kavramlar yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi ve karşılaştırılması sürecinde büyük yararlar sağlanacaktır.
- Çalışma sonucunda jeotermal merkezi ısıtma sistemlerinde genelde en büyük kayıpların reenjeksiyon bölümünde olduğunu gözlemlenmiştir ve sistem verimliliği için kullanılan jeotermal akışkanın sıcaklığının bir şekilde en düşük seviyeye getirilmesi gerektiği gerçeği ortaya konmuştur. Bunun için kullanılan akışkanın sıcaklık değerine bağlı olarak sera ısıtması, kaplıca kullanımı veya ısı pompası gibi birçok alternatifle kullanılması gerekliliği ortaya konmuştur.
- Ayrıca jeotermal merkezi ısıtma sisteminde sıcaklıkların sabit tutularak en yüksek enerji ve ekserji verimine ulaşılabilmesi için sistemin debi kontrolünün dış sıcaklığa bağlı olarak otomatik kontrolle yapılması gereklilikliği ortaya konulmuştur.
- İncelenen her iki sistem için ısıtma sezonunda referans sıcaklıkların düşüşüyle beraber ekserji ve enerji verimlerinde düşüş gözlenmiştir. Bunun sebebi olarak da enerji/ekserji kayıplarındaki sıcaklığın artışıyla oluşan büyük artış, gösterilmiştir. Tam tersine yaz döneminde de sıcaklıkların artışıyla ekserji verimi büyük oranda düşmekte, enerji verimi de genel olarak yatay bir seviyede çok az değişmiştir. Yaz döneminde ekserji veriminin düşmesinin en büyük sebebi sıcaklıkların artışıyla ekserji değerlerinin düşmesidir.

7. KAYNAKLAR

- [1] Dünya Enerji Konseyi (WEC), 1993.
- [2] Nakicenovic, N., Grübler, A., McDonald, A. (Eds.), *Global Energy Perspectives*. Cambridge Univ., (1998). Press. 299pp
- [3] Ozgener, L., Hepbasli, A., Dincer, İ. and Rosen, M. A., "Exergoeconomic analysis of geothermal district heating systems: A case study", *Applied Thermal Engineering*, (2007) **27**, 1303-1310
- [4] Stevanovic, V. D., Prica, S., Maslovaric, B., Zivkovic, B. and Nikodijevic, S., "Efficient numerical method for district heating system hydraulics", *Energy Conversion and Management* (2007), doi:10.1016/j.enconman.2006.11.018
- [5] Akpınara, A., Kömürcü, M. İ., Önsoy, H. and Kaygusuz, K., "Status of geothermal energy amongst Turkey's energy sources", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (2007), doi:10.1016/j.rser.2006.10.016
- [6] Etemoglu, A.B. and Can, M., "Classification of geothermal resources in Turkey by exergy analysis", *Renewable and Sustainable Energy Review*, (2007) **11**, 1596–1606
- [7] Richter, S., Thorarinsdottir, R.I. and Jonsdottir, F., "On-line corrosion monitoring in geothermal district heating systems. II. Localized corrosion", *Corrosion Science* (2007) **49**, 1907–1917
- [8] Ozgener, L., Hepbasli, A. and Dincer, I., "Exergy analysis of two geothermal district heating systems for building applications", *Energy Conversion and Management*, (2007) **48**, 1185–1192
- [9] Oktay, Z. and Aslan, A., "Geothermal district heating in Turkey: The Gonen case study", *Geothermics* (2007) **36**, 167–182
- [10] Kose, R., "Geothermal energy potential for power generation in Turkey: A case study in Simav, Kutahya", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (2007) **11**, 497–511
- [11] Dagdas, A., "Heat exchanger optimization for geothermal district heating systems: A fuel saving approach", *Renewable Energy* (2007) **32**, 1020–1032

- [12] Ozgener, L., Hepbasli, A. and Dincer, İ., "A key review on performance improvement aspects of geothermal district heating systems and applications", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (2006), doi:10.1016/j.rser.2006.03.006
- [13] Barelli, L., Bidini, G. and Pinchi, E.M., "Implementation of a cogenerative district heating system: Dimensioning of the production plant", *Energy and Buildings* (2006), doi:10.1016/j.enbuild.2006.10.005
- [14] Hepbasli, A., and Balta M. T., "A study on modeling and performance assessment of a heat pump system for utilizing low temperature geothermal resources in buildings", *Building and Environment* (2006), doi:10.1016/j.buildenv.2006.09.003
- [15] Ozgener, L., Hepbasli, A. and Dincer, I., "Performance investigation of two geothermal district heating systems for building applications: Energy analysis", *Energy and Buildings* (2006) **38**, 286–292
- [16] Lund, J. W., "Geothermal Energy Focus", World Geothermal Congress 2005 (WGC2005), Turkey, 2006
- [17] Köse, R., "Research on the generation of electricity from the geothermal resources in Simav region, Turkey", *Renewable Energy* (2005) **30**, 67–79
- [18] Ozgener, L., Hepbasli, A. and Dincer I., "Energy and exergy analysis of geothermal district heating systems: an application", *Building and Environment*, (2005) **40**, 1309–1322
- [19] Hepbasli, A. and Ozgener L., "Development of geothermal energy utilization in Turkey: a review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (2004) **8**, 433–460
- [20] Kaygusuz, K., and Kaygusuz, A., "Geothermal energy in Turkey: the sustainable future", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (2004) **8**, 545–563
- [21] Bloomquist, R. G., "Geothermal space heating", *Geothermics*, (2003) **32**, 513–526
- [22] Evrendilek, F. and Ertekin, C., "Assessing the potential of renewable energy sources in Turkey", *Renewable Energy* (2003) **28**, 2303–2315
- [23] Kaygusuz, K. and Sari, A., "Renewable energy potential and utilization in Turkey", *Energy Conversion and Management* (2003) **44**, 459–478
- [24] ZREU (Zentrum für rationelle Energieanwendung und Umwelt GmbH), "Business Opportunities in the Geothermal Energy Sector in Turkey", Directorate-General Energy and Transport and Directorate-General Research Report, 2003
- [25] Eliasson, E. T., Björnsson, O. B., "Multiple integrated applications for low to medium-temperature geothermal resources in Iceland", *Geothermics* (2003) **32**, 439–450

- [26] Yasukawa, K. and Takasugi, S., "Present status of underground thermal utilization in Japan", *Geothermics* (2003) **32**, 609–618
- [27] Mertoglu, O., Bakir, N. and Kaya T., "Geothermal applications in Turkey", *Geothermics* (2003) **32**, 419–428
- [28] Fridleifsson, I. B., "Status of geothermal energy amongst the world's energy sources", *Geothermics* (2003) **32**, 379–388
- [29] Hepbasli, A. and Canakci C., "Geothermal district heating applications in Turkey: a case study of Izmir–Balcova", *Energy Conversion and Management* (2003) **44**, 1285–1301
- [30] Barbier, E., "Geothermal energy technology and current status: an overview" *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (2002) **6**, 3–65
- [31] Kanoğlu, M. and Cengel Y. A., "Economic evaluation of geothermal power generation, heating, and cooling", *Energy* (1999) **24**, 501–509
- [32] Afgan, N. H., Gobaisi, D. A., Carvalho M. G. and Cumo, M., "Sustainable energy development", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (1998) **2**, 235-286
- [33] Geothermal energy in Turkey, /<http://www.jeotermaldernegi.org.tr/>
- [34] Fridleifsson, IB., "Geothermal energy for the benefit of the people", *Renew Sustain Energy Rev.* (2001) **5**, 299–312
- [35] Atlas, M., Ozkan, HF. and Celebi, E., "Energy statistics of the year 2002. In: Proceedings of Tenth Energy Congress of Turkey", World Energy Council-Turkish National Committee, 24–27 September, Istanbul, Turkey.2003 [in Turkish].
- [36] Lund, JW., Freeston, DH. and Boyd, TL., "Direct application of geothermal energy: 2005 worldwide review", *Geothermics* (2005) **34**, 691–727
- [37] The Intergovernmental Panel on Climate Changes, Second Assessment Report, (1996)
- [38] Bjornsson, O.B., "Geothermal district heating. International Workshop on Direct Use of Geothermal Energy", Chamber of Commerce and Industry of Slovenia, Ljubljana, 1999.
- [39] Piatti, A., Piemonte, C. and Szeged, E., "Planning of geothermal district heating systems", *Kluwer Academic Publishers*, Dordrecht, (1992) 308 pp.
- [40] Hammond, G.P. and Stapleton, A.J., "Exergy analysis of the United Kingdom energy system", *Proc. Inst. Mech. Engrs.*, (2001) **215**, 141–162.

[41] Utlu, Z. and Hepbasli, A., "A review on analyzing and evaluating the energy utilization efficiency of countries", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (2007) **11**, 1-29.

[42] Lee., K.C., "Classification of geothermal resources by exergy", *Geothermics*, (2001) **30**, 431–442.

[43] Quijano., J., "Exergy analysis for the Ahuachapan and Berlin geothermal fields. El Salvador", Proceedings of the World Geothermal Congress Kyushu-Tohoku, Japan, May 28–June 10 (2000).

[44] Gunerhan, G.. Kocar, G. and Hepbasli, A., "Geothermal energy utilization in Turkey", *Int. J Energy Res.*, (2001) **25**, 769–784.

[45] BGEI (Bigadic Geothermal Energy Inc.), Reports of Bigadic Geothermal Energy Inc. Unpublished reports, Bigadic, Turkey (in Turkish), (2007).

[46] EGEI (Edremit Geothermal Energy Inc.), Reports of Edremit Geothermal Energy Inc. Unpublished reports, Edremit, Turkey (in Turkish).