

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



**BİGADIÇ-BALIKESİR JEOTERMAL BÖLGESEL ISITMA
SİSTEMİNİN ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ**

DOKTORA TEZİ

TUĞRUL AKYOL

BALIKESİR, HAZİRAN 2016

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



BİGADIÇ-BALIKESİR JEOTERMAL BÖLGESEL ISITMA
SİSTEMİNİN ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ

DOKTORA TEZİ

TUĞRUL AKYOL

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Bedri YÜKSEL (Tez Danışmanı)

Prof. Dr. Abdulvahap YİĞİT

Prof. Dr. Ramazan KÖSE

Doç. Dr. Nadir İLTEN

Doç. Dr. Hüseyin BULGURCU

BALIKESİR, HAZİRAN 2016

KABUL VE ONAY SAYFASI

Tuğrul AKYOL tarafından hazırlanan “BİGADIÇ-BALIKESİR JEOTERMAL BÖLGESEL ISITMA SİSTEMİNİN ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 15.06.2016 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Prof. Dr. Bedri YÜKSEL



Üye
Prof. Dr. Abdulvahap YİĞİT



Üye
Prof. Dr. Ramazan KÖSE



Üye
Doç. Dr. Nadir İLTEN



Üye
Doç. Dr. Hüseyin BULGURCU



Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Doç. Dr. Necati ÖZDEMİR

.....

Bu tez alışması TÜBİTAK tarafından 108M149 nolu proje ve Balıkesir Üniversitesi Bilimsel Ararştırma Projeleri Birimi tarafından 2009/24 nolu proje ile desteklenmiştir.

ÖZET

BİGADIÇ-BALIKESİR JEOTERMAL BÖLGESEL ISITMA SİSTEMİNİN ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ

DOKTORA TEZİ

TUĞRUL AKYOL

BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. BEDRİ YÜKSEL)

BALIKESİR, HAZİRAN 2016

Bigadiç JBIS, 3000 konut ısıtacak şekilde projelendirilen, 2004-2005 ısıtma sezonunda 300 abone ile işletilmeye başlanan ve 2016 yılı itibarıyla 1548 konut eşdeğerlik ısıtma gerçekleştirilen ülkemizdeki 20'yi aşkın JBIS'lerden biridir. Sistemin çalışma koşulları, işletmeye alındığı 2004 yılından günümüze kadar geçen süreçte, abonelerin ısıtma enerjisi ihtiyacının karşılanabilmesi ve sistem işletme maliyetlerinin düşürülebilmesi amacıyla sürekli değişim göstermiştir. Ancak sistemde bugüne kadar, ölçümlere dayalı güncel sistem verilerine dayalı bir performans değerlendirmesi yapılmamıştır.

Bu çalışmada Bigadiç JBIS'nin, yıllık enerji bilançosunun ortaya koyulabilmesi, sistem verimlerinin tespiti ve kayıpların nerede ve ne büyüklükte meydana geldiğinin belirlenerek iyileştirme önerilerinin sunulabilmesi için enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Analizler, ısıtma sürecindeki farklı yük dalgalanmalarını kapsayabilmesi ve sistemin genel performansı hakkında daha doğru bilgi verebilmesi için 2011 ve 2012 yıllarındaki altı farklı dış sıcaklık koşulunda; kullanımına Şubat 2015'te başlanan kalorimetre uygulamasının etkilerini ortaya koyabilmesi için ise 2016 yılındaki üç farklı yük durumunda yapılmıştır. Böylece sistemin, tüm ısıtma süreci boyunca değerlendirilebilmesi ve 2016 yılındaki güncel performansının ortaya koyulması amaçlanmıştır.

Analiz sonuçları, ısıtma sezonunda sistemin enerji ve ekserji verimlerinin, sırasıyla, %45,10-51,55 ve %15,60-34,79 arasında değiştiğini ve en önemli potansiyel iyileştirmelerin pik güç üniteleri, isale hattı, ısı eşanjörleri, atık termal suyun değerlendirilmesi ve sistem binalarında olduğunu göstermiştir. Kalorimetre uygulamasına geçilmesiyle 2016 yılında %19-48 oranında daha az ısı enerjisi tüketilerek 494 ton yakıt tasarrufu sağlanmıştır. Çalışmada, tüm iyileştirme önerilerinin hayata geçirilmesiyle sistemin, 2016 yılı çalışma koşulları altında, 2011-2012 ısıtma sezonuna göre 1334 ton daha az kömür tüketeceği ve atık jeotermal suyun sera ısıtmasında değerlendirilmesiyle yılda 233 ton kömüre eşdeğer 3,157 GWh'lık ısıtma yapılabileceği hesaplanmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Enerji, ekserji, jeotermal enerji, bölgesel ısıtma, performans değerlendirmesi

ABSTRACT

ENERGY AND EXERGY ANALYSIS OF BİGADIÇ-BALIKESİR GEOTHERMAL DISTRICT HEATING SYSTEM

PH.D THESIS

TUĞRUL AKYOL

BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

MECHANICAL ENGINEERING

(SUPERVISOR: PROF. DR. BEDRİ YÜKSEL)

BALIKESİR, JUNE 2016

Bigadiç GDHS, which was projected for 3000 equivalent residential heating and began operation for 300 users in 2004-2005 heating season and finally reached 1548 equivalent residential heating as of 2016, is one of more than 20 GDHSs in Turkey. The operation conditions of the system have changed continuously to meet the users' heating demand and to reduce the operating costs of the system. However, until now, no study has been carried out on the performance evaluation of the system based on the measurements of the current system data.

In this study the energy and exergy analyses of the Bigadiç GDHS were performed to investigate the annual energy balance, system efficiencies and the location and true magnitude of the losses and thus to develop improvement measures. The analyses were performed under six different heating load conditions chosen in 2011 and 2012 heating seasons so that they could cover the different load fluctuations; and three different loads in 2016 so the effects of calorimeter usage installed in the system buildings in February 2015 could be determined. Thus it was aimed at ensuring the detection of the current system performance in 2016 and investigation of the whole heating period.

The results show that during the heating period the energy and exergy efficiencies of the system vary between 45,10-51,55% and 15,60-34,79%, respectively; the peak power plants, the transmission line, the heat exchangers, the waste geothermal water and the system buildings have great improvement potential. The system saved 494 tons of fuel in 2016 since the heating energy consumption of the buildings was reduced by 19-48% due to the usage of the calorimeters. It was also shown that after all the improvement measures detailed in the study are implemented and the waste geothermal water is used for greenhouse heating, under 2016 operating conditions, the system will consume 1334 tons less coal and provide a 3,157 GWh greenhouse heating which equals to 233 tons of coal per year.

KEYWORDS: Energy, exergy, geothermal energy, district heating, performance evaluation

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
TABLO LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	xii
ÖNSÖZ	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	15
3. JEOTERMAL BÖLGESEL ISITMA SİSTEMLERİ	67
4. METERYAL VE YÖNTEM.....	94
4.1 Bigadiç İlçesinin Tanıtımı.....	94
4.2 Bigadiç Jeotermal Bölgesel Isıtma Sistemi.....	94
4.2.1 Hisarköy Jeotermal Sahası	99
4.2.2 Isı Merkezi.....	104
4.2.3 Boru Hatları.....	109
4.3 Bigadiç JBIS'nin İzlenmesi ve Sistemde Yapılan Ölçümler	110
4.4 Kütle, Enerji ve Ekserji Denge Eşitlikleri	117
4.5 Proje Ekonomi Analizleri ve Net Bugünkü Değer Yöntemi	123
4.6 Bigadiç JBIS'nin Isıl Güç İhtiyacı	124
4.6.1 Isıtma Enerjisi İhtiyacı	124
4.6.2 Konutlarda Sıcak Kullanım Suyu Enerjisi İhtiyacı	124
4.6.3 Boru Hatlarında Isı Kaybı	124
5. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	126
5.1 Bigadiç JBIS'nin Isıl Güç İhtiyacı	126
5.2 Bigadiç JBIS'nin Genel Enerji Bilançosu ve İşletme Koşullarına Yönelik Bulgular.....	160
5.3 Bigadiç JBIS'nin Enerji ve Ekserji Analizi Bulguları	170
5.3.1 2011 ve 2012 Yılları Enerji ve Ekserji Analizi Sonuçları	170
5.3.2 2016 Yılı Enerji ve Ekserji Analizi Sonuçları.....	188
6. SONUÇ ve ÖNERİLER	200
7. KAYNAKLAR	207

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Yenilenebilir enerji kaynaklarının nihai enerji tüketimindeki payı, 2012.	3
Şekil 1.2: Dünyadaki yenilenebilir enerji kapasitesi ve biyoyakıt üretiminde yıllık ortalama büyüme hızları.	4
Şekil 1.3: Global elektrik üretiminde yenilenebilir enerjinin payı, 2013.	5
Şekil 1.4: Dünyadaki yenilenebilir güç kapasiteleri, EU-28, BRICS ülkeleri ve ilk altı ülke, 2013.	6
Şekil 1.5: Birincil enerji tüketiminin sektörlere göre dağılımı.	8
Şekil 1.6: Eylül-2014 itibarıyla Türkiye Elektrik Enerjisi Üretimine birincil enerji kaynaklarına göre dağılımı.	9
Şekil 1.7: Türkiye'nin toplam elektrik üretim kurulu gücü.	9
Şekil 1.8: 2013 yılı ekim ayı sonu itibarı ile kurulu gücün birincil enerji kaynaklarına göre dağılımı.	10
Şekil 1.9: Türkiye'nin kurulu hidroelektrik gücü.	11
Şekil 1.10: Türkiye'nin kurulu rüzgar elektrik santrali gücü.	11
Şekil 1.11: Türkiye'nin kurulu jeotermal elektrik santrali gücü.	12
Şekil 2.1: Dünyada 2013 yılında eklenen jeotermal güç kapasitelerinin ülkelere göre dağılımı.	16
Şekil 2.2: Kümülatif ve ilave jeotermal güç kapasiteleri, 2013 itibarıyla lider on ülke.	16
Şekil 2.3: Kurulu doğrudan jeotermal enerji kapasitesi ve yıllık kullanım miktarındaki gelişim, 1995-2015.	19
Şekil 2.4: Dünya genelinde doğrudan jeotermal enerji kullanım miktarlarının 1995-2015 yılları arasındaki değişimi.	21
Şekil 2.5: Çeşitli doğrudan jeotermal uygulama türlerine ait kapasitelerin 2015 yılı için yüzdesel dağılımı.	22
Şekil 2.6: Çeşitli doğrudan jeotermal uygulama türlerine ait yıllık kullanım miktarlarının 2015 yılı için yüzdesel dağılımı.	22
Şekil 2.7: Isı pompası dışındaki çeşitli doğrudan jeotermal uygulama türlerine ait kapasitelerin 2015 yılı için yüzdesel dağılımı.	23
Şekil 2.8: Isı pompası dışındaki çeşitli doğrudan jeotermal uygulama türlerine ait yıllık kullanım miktarlarının 2015 yılı için yüzdesel dağılımı.	23
Şekil 2.9: Türkiye doğrudan jeotermal uygulama türlerinin toplam kapasite yüzdesi cinsinden dağılımı.	27
Şekil 2.10: Balıkesir ili jeotermal alanları.	29
Şekil 3.1: Tipik bir yük-süreç eğrisi [96].	71
Şekil 3.2: Başlıca JBIS türleri [96].	74
Şekil 3.3: Sıcak su iletim hattında sıcaklık düşümü [98].	77
Şekil 3.4: Toprak üstü ve toprak altı boru hatları için detay örnekleri: a) Sac örtülü toprak üstü boru hattı, b) beton kanal içerisinde çelik boru, c) poliüretan yalıtımlı	

ve polietilen örtülü çelik boru, d) toprak ve çim örtülü asbestli çimento boru [98].	78
Şekil 3.5: Radyatör boyutunun etkileri [96].	80
Şekil 3.6: a) Eksenel ve b) Dalgıç Pompalar [98].	82
Şekil 3.7: Plakalı Isı Eşanjörü [98].	84
Şekil 3.8: Kuyu içi ısı eşanjörü [98].	85
Şekil 3.9: Isıtıcılar: a) zorlanmış hava, b) kanatçıklı boru, c) doğal konveksiyon (radyatör), d) döşeme paneli [98].	86
Şekil 3.10: Jeotermal absorpsiyon soğutma çevrimi [98].	92
Şekil 4.1: Bigadiç JBIS'de yaygın olarak kullanılan bina ısıtma devresi şeması.	95
Şekil 4.2: Kış dönemi Bigadiç JBIS şematik diyagramı.	97
Şekil 4.3: Geçiş dönemi Bigadiç JBIS şematik diyagramı.	98
Şekil 4.4: Hisarköy Jeotermal Sahası.	99
Şekil 4.5: Hisarköy'de bulunan HK-8 numaralı kuyu.	101
Şekil 4.6: Hisarköy Jeotermal Sahasında kuyu iletim hatları.	102
Şekil 4.7: Hisarköy'de bulunan gaz seperatörü ve kuyu bağlantı boruları.	102
Şekil 4.8: Bigadiç JBIS isale hattı.	103
Şekil 4.9: Isı merkezinin içeriden görünümü.	105
Şekil 4.10: Isı merkezinin şematik diyagramı.	105
Şekil 4.11: Mart 2012'ye kadar Bigadiç JBIS'ye ısı destek sağlayan sıcak su kazanları.	107
Şekil 4.12: Bir dönem Bigadiç JBIS kazanlarını beslemede kullanılan LNG tankı.	107
Şekil 4.13: Bigadiç JBIS kömür kazanı ünitesi, ön ocak (sağda) ve kazan (solda) bölümleri.	108
Şekil 4.14: Kömür kazanlarında kullanılan linyit kömürü.	108
Şekil 4.15: Bigadiç JBIS kömür kazanı ünitesinin şematik diyagramı.	109
Şekil 4.16: HK-8 kuyusu çamur seperatörü çıkışında kuyu debisi ölçüm çalışması.	112
Şekil 4.17: Gaz seperatörü kuyu bağlantı noktasında kuyu debisi ölçüm çalışması.	113
Şekil 4.18: HK-6 kuyusu kuyu başı debi ölçüm çalışması.	113
Şekil 4.19: Hisarköy isale hattı başlangıç noktasında toplam kuyu debisi ölçüm çalışması.	114
Şekil 4.20: Isı merkezi girişinde jeotermal akışkan debisi ölçümü.	114
Şekil 4.21: Fethibey Mahallesi ısıtma zonu eşanjör çıkışında hat debisi ölçüm çalışması.	115
Şekil 4.22: Atatürk Caddesi ısıtma zonu eşanjör çıkışında hat debisi ölçüm çalışması.	115
Şekil 4.23: Sirkülasyon pompalarının güç tüketim değerlerinin ölçümü.	116
Şekil 4.24: Konutlarda ısı akış plakası ile U değeri ölçümleri.	117
Şekil 5.1: Bigadiç JBIS'de ısıtılan alanların türlerine göre dağılımı.	128
Şekil 5.2: Isıtma zonlarına göre ısıtılan toplam alanlar.	128
Şekil 5.3: Isıtılan alanların ısıtma zonlarına göre oransal dağılımı.	129
Şekil 5.4: Atatürk Caddesi ısıtma zonundaki bir binaya ait örnek U değer sonucu.	131

Şekil 5.5: Fethibey Mahallesi ısıtma zonundaki bir binaya ait örnek U değeri sonucu.....	131
Şekil 5.6: Bigadiç JBIS’de bulunan bir binada kızılötesi görüntüleme ile tespit edilen ısı köprüleri.	132
Şekil 5.7: Bigadiç JBIS’de bulunan ısı yalıtımlı ve ısı yalıtımsız bitişik iki bina.	133
Şekil 5.8: Bigadiç JBIS’de farklı ısıtma zonlarındaki iki binaya ait kızılötesi görüntüler.	133
Şekil 5.9: Emek Mahallesi ısıtma zonunda bulunan binalarda nizam türü ve kat sayılarına göre ısıtılan alanların oransal dağılımı.....	136
Şekil 5.10: Fethibey Mahallesi ısıtma zonunda bulunan binalarda nizam türü ve kat sayılarına göre ısıtılan alanların oransal dağılımı.....	137
Şekil 5.11: Atatürk Caddesi ısıtma zonunda bulunan binalarda nizam türü ve kat sayılarına göre ısıtılan alanların oransal dağılımı.....	138
Şekil 5.12: Bigadiç JBIS’de bulunan binalarda nizam türü ve kat sayılarına göre ısıtılan alanların oransal dağılımı.....	139
Şekil 5.13: Bigadiç JBIS’de bulunan farklı tür bina grupları için konut başına düşen ısı kayıpları.	140
Şekil 5.14: Bigadiç JBIS’deki konutların 2011-2012 yılları için ısıtma zonlarına göre mevcut ve optimum ısı yalıtımlı ısı güç talepleri.	144
Şekil 5.15: İsale hattında meydana gelen fiili ve hesaplanan ısı kayıpları.	147
Şekil 5.16: Ölçülen ve hesaplanan isale hattı çıkış sıcaklıkları.	148
Şekil 5.17: İsale hattı debisine göre sıcaklık düşümlerinin değişimi. .	148
Şekil 5.18: Farklı ısı yalıtım kalınlıklarına göre isale hattında meydana gelen ısı kayıpları.	151
Şekil 5.19: Farklı ısı yalıtım kalınlıklarında isale hattı çıkış sıcaklıkları.	152
Şekil 5.20: Farklı ısı yalıtım kalınlıklarında isale hattındaki sıcaklık düşümleri.....	152
Şekil 5.21: İsale hattı yalıtım kalınlığının 5,7 cm’ye çıkarılması durumunda sistem enerji verimindeki artış miktarları.	153
Şekil 5.22: 2011 ve 2012 yılları Bigadiç aylık ortalama dış sıcaklık değerleri.	161
Şekil 5.23: Bigadiç JBIS için 2011 yılı yük faktörleri.	164
Şekil 5.24: Bigadiç JBIS için 2012 yılı yük faktörleri.	164
Şekil 5.25: Bigadiç JBIS için 2011 ve 2012 yılları ortalama yük faktörleri.	165
Şekil 5.26: Bigadiç JBIS’nin 2011 yılındaki yakıt tüketim miktarının aylara göre değişimi.	165
Şekil 5.27: Bigadiç JBIS’nin 2012 yılındaki yakıt tüketim miktarının aylara göre değişimi.	166
Şekil 5.28: Aylara göre Bigadiç JBIS ısı merkezine giren jeotermal akışkanın ortalama giriş-çıkış sıcaklıkları ile debi değerleri.	166

Şekil 5.29: Bigadiç JBIS ısı merkezine giren jeotermal akışkanın 2011 ve 2012 yılları ortalaması giriş-çıkış sıcaklıkları, debi değerleri ve ısı güç üretim miktarı.....	167
Şekil 5.30: Isı merkezi jeotermal akışkan giriş, çıkış sıcaklık farklarının aylara göre değişimi.	168
Şekil 5.31: Bigadiç JBIS'ye sağlanan ısıl gücün ihtiyacı karşılama oranları.....	168
Şekil 5.32: Atık jeotermal suyun sıcaklık ve debisinin aylara göre değişimi.....	169
Şekil 5.33: Aylara göre sera ısıtmasında kullanılabilecek ısıl güç.	169
Şekil 5.34: Aylara göre sera ısıtmasında değerlendirilebilecek jeotermal enerji miktarları.	170
Şekil 5.35: Bigadiç JBIS'de meydana gelen enerji kayıplarının toplam enerji girdisine oranları.	178
Şekil 5.36: Bigadiç JBIS'de meydana gelen enerji kayıp bileşenlerinin toplam enerji kayıplarındaki payı.	178
Şekil 5.37: Bigadiç JBIS enerji veriminin referans sıcaklığına göre değişimi.....	179
Şekil 5.38: Bigadiç JBIS'de meydana gelen ekserji kayıplarının toplam ekserji girdisine oranları.	181
Şekil 5.39: Bigadiç JBIS'de meydana gelen ekserji kayıp bileşenlerinin toplam ekserji kayıplarındaki payı.	181
Şekil 5.40: Bigadiç JBIS ekserji veriminin referans sıcaklığına göre değişimi.....	182
Şekil 5.41: Bigadiç JBIS'nin enerji ve ekserji verimleri.	182
Şekil 5.42: Bigadiç JBIS'de bir ısıtma periyodunda meydana gelen enerji kayıp miktarları.	183
Şekil 5.43: Bigadiç JBIS'de bir ısıtma periyodunda meydana gelen ekserji kayıp miktarları.....	184
Şekil 5.44: Isı eşanjörlerinin ekserjetik iyileştirme potansiyelleri.....	186
Şekil 5.45: Bigadiç JBIS'de meydana gelen enerji kayıplarının toplam enerji girdisine oranları (2016).....	192
Şekil 5.46: Bigadiç JBIS'de meydana gelen enerji kayıp bileşenlerinin toplam enerji kayıplarındaki payı (2016).....	192
Şekil 5.47: Bigadiç JBIS enerji veriminin referans sıcaklıklarına göre değişimi (2016).	193
Şekil 5.48: Bigadiç JBIS'de meydana gelen ekserji kayıplarının toplam ekserji girdisine oranları (2016).	194
Şekil 5.49: Bigadiç JBIS'de meydana gelen ekserji kayıp bileşenlerinin toplam ekserji kayıplarındaki payı (2016). ...	195
Şekil 5.50: Bigadiç JBIS ekserji veriminin referans sıcaklığına göre değişimi (2016).	195
Şekil 5.51: 2016 yılı Bigadiç JBIS ortalama jeotermal akışkan üretim sıcaklıkları.	196
Şekil 5.52: Bigadiç JBIS 2011-2012 ve 2016 yılları enerji ve ekserji verimlerinin karşılaştırılması.	197
Şekil 5.53: Bigadiç JBIS 2011-2012 ve 2016 yılları ısıl güç tüketim oranları.	198

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1: Dünya yenilenebilir enerji göstergeleri, 2013.....	3
Tablo 1.2: Yıllık yenilenebilir enerji yatırımı, net kapasite artımı, 2013 yılı üretim miktarına göre ilk beş ülke.....	6
Tablo 1.3: Toplam yenilenebilir enerji kapasitesi veya üretimi bakımından ilk beş ülke, 2013 sonu.....	7
Tablo 2.1: Yıllık kullanım miktarına göre ülkelerin doğrudan jeotermal enerji kullanım sıralaması, 2015.....	17
Tablo 2.2: Dünya geneli için kurulu kapasitelerine göre çeşitli doğrudan jeotermal kullanım alanları, 1995-2015.....	20
Tablo 2.3: Dünya geneli için yıllık kullanım miktarına göre çeşitli jeotermal doğrudan kullanım alanları, 1995-2015.....	21
Tablo 2.4: Türkiye’de jeotermal enerjinin 31 Aralık 2014 itibariyle elektrik üretiminde kullanımı.....	26
Tablo 2.5: Türkiye’deki mevcut ve planlanan jeotermal elektrik üretimi.....	26
Tablo 2.6: Türkiye’deki önemli JBIS’ler.....	27
Tablo 2.7: Balıkesir’de bulunan önemli jeotermal alanlar ve kullanım özellikleri.....	30
Tablo 2.8: Pamukçu Jeotermal Alanındaki kaynaklar.....	31
Tablo 2.9: Pamukçu Jeotermal Alanında açılan kuyular.....	31
Tablo 2.10: Balya-İlica (Şamlı) Jeotermal Alanındaki kaynaklar.....	32
Tablo 2.11: Balya-İlica (Şamlı) Jeotermal Alanında açılan kuyular.....	32
Tablo 2.12: Bigadiç-Hisarköy Jeotermal Alanındaki Kaynaklar.....	32
Tablo 2.13: Bigadiç-Hisarköy Jeotermal Alanında 2000-2001 yılları arasında açılan kuyular.....	33
Tablo 2.14: Bigadiç-Hisarköy Jeotermal Alanında 2002-2007 yılları arasında açılan kuyular.....	33
Tablo 2.15: Bigadiç-Adalı ve Bigadiç-İlyaslar Köyü sondaj sonuçları..	33
Tablo 2.16: Sındırgı-Hisaralan Jeotermal Alanındaki kaynaklar.....	34
Tablo 2.17: Sındırgı-Hisaralan Jeotermal Alanında açılan kuyular.....	34
Tablo 2.18: Havran-Derman Jeotermal Alanındaki Kaynaklar.....	35
Tablo 2.19: Havran-Derman Jeotermal Alanında Açılan Kuyular.....	35
Tablo 2.20: Havran-Derman Jeotermal Alanında 2005-2010 Yılları Arasında Açılan Kuyular*.....	36
Tablo 2.21: Güre Jeotermal Alanındaki kaynaklar.....	36
Tablo 2.22: Edremit-Güre Jeotermal Alanında açılan kuyular.....	37
Tablo 2.23: Edremit-Güre Jeotermal Alanında 2004-2011 yılları arasında açılan kuyular*.....	37
Tablo 2.24: Susurluk-Kepekler Jeotermal Alanındaki kaynaklar.....	38
Tablo 2.25: Susurluk-Kepekler Jeotermal Alanında açılan kuyular.....	38
Tablo 2.26: Gönen Jeotermal Alanındaki kaynaklar.....	39
Tablo 2.27: Gönen Jeotermal Alanında açılan kuyular.....	39
Tablo 2.28: Susurluk-Yıldız Jeotermal Alanındaki kaynaklar.....	40
Tablo 2.29: Merkez-Kirazköy Jeotermal Alanı sondaj sonuçları.....	40
Tablo 2.30: Burhaniye-Pelitköy Jeotermal Alanı sondaj sonuçları*.....	41

Tablo 2.31: Uyuz Jeotermal Alanındaki Kaynaklar.	41
Tablo 2.32: Uyuz Jeotermal Alanı Sondaj sonuçları*	41
Tablo 2.33: Kızık Jeotermal Alanında açılan kuyular.	42
Tablo 2.34: Bazı JBIS'ler için yapılan ekserji analizi sonuçlarının karşılaştırılması.	58
Tablo 4.1: Hisarköy Jeotermal Sahasındaki kuyuların açılış özellikleri.	100
Tablo 4.2: Jeotermal kuyularda kullanılan pompaların etiket değerleri.	101
Tablo 4.3: Isı merkezi eşanjörlerinin teknik özellikleri.....	106
Tablo 4.4: Isıtma zonlarına ait sirkülasyon pompalarının özellikleri... ..	106
Tablo 4.5: Bigadiç JBIS şehir dağıtım hatlarındaki boruların özellikleri.	110
Tablo 4.6: Ölçümlerde kullanılan cihazlar ve bazı teknik özellikleri. ..	111
Tablo 5.1: Mahallelerine göre Bigadiç JBIS aboneleri ve abonelerin toplam ısıtma alanları. (Ocak-2011).	127
Tablo 5.2: Abone türlerine göre Bigadiç JBIS ısıtma alanları (Ocak-2011).	127
Tablo 5.3: Örnek binalarda yapılan birinci grup anket çalışmasının sonuçları.	129
Tablo 5.4: Örnek binalarda yapılan ikinci grup anket çalışmasının sonuçları.	130
Tablo 5.5: Örnek binalarda elde edilen bazı U değeri ölçüm sonuçları.	132
Tablo 5.6: Bigadiç JBIS'deki farklı tür binalar için dış duvar konstrüksiyonları ve toplam ısı geçiş katsayıları.	134
Tablo 5.7: Isı kaybı hesaplarında kullanılan tavan, taban ve pencere konstrüksiyonları.	135
Tablo 5.8: Isıtma zonlarına göre bina yönelimleri.....	136
Tablo 5.9: Emek Mahallesi ısıtma zonunda bulunan binalarda nizam türü ve kat sayılarına göre ısıtılan alanlar.	137
Tablo 5.10: Fethibey Mahallesi ısıtma zonunda bulunan binalarda nizam türü ve kat sayılarına göre ısıtılan alanlar.	137
Tablo 5.11: Atatürk Caddesi ısıtma zonunda bulunan binalarda nizam türü ve kat sayılarına göre ısıtılan alanlar.	138
Tablo 5.12: Karkas ve yığma binalar için oluşturulan modellere ait örnek dış yüzey bileşen alanları.	140
Tablo 5.13: Isı yalıtımlı binalar hesaba dahil edilmeden Bigadiç JBIS'deki konutların ısıtma zonlarına göre ortalama özellik ısı kayıpları.	141
Tablo 5.14: Isı yalıtımlı binaların hesaba katılmasıyla Bigadiç JBIS'deki konutların ısıtma zonlarına göre ortalama özellik ısı kayıpları.	141
Tablo 5.15: 2011 ve 2012 yılları için Bigadiç JBIS ısıtma zonlarının tasarım şartlarında toplam ısı güç ihtiyacı.	142
Tablo 5.16: 2016 yılı için Bigadiç JBIS ısıtma zonlarının tasarım şartlarında toplam ısı güç ihtiyacı.	142
Tablo 5.17: Farklı yakıt kullanımına göre Bigadiç JBIS binaları için önerilen optimum ısı yalıtım kalınlıkları [93].	143

Tablo 5.18: Bigadiç JBIS'deki konutların ısıtma zonlarına göre mevcut ve optimum ısı yalıtım kalınlığındaki ortalama özgül ısı kayıpları.	144
Tablo 5.19: Bigadiç JBIS'deki konutların 2011 ve 2012 yılları için ısıtma zonlarına göre mevcut ve optimum yalıtımlı ısı güç talepleri.	145
Tablo 5.20: Bigadiç JBIS'deki konutların 2016 yılı için ısıtma zonlarına göre mevcut ve optimum yalıtımlı ısı güç talepleri.....	145
Tablo 5.21: Isıtma zonlarına göre sıcak su ısı güç talebi.....	145
Tablo 5.22: Farklı koşullar altında isale hattında meydana gelen fiili ısı kayıpları.	146
Tablo 5.23: İsale hattında meydana gelen fiili ısı kayıplarının hesap değerleriyle karşılaştırılması.....	147
Tablo 5.24: Modellemede kullanılan veriler.	149
Tablo 5.25: Eşitlik (5.2) için doğrulama verileri.....	150
Tablo 5.26: Farklı ısı yalıtım kalınlıklarına göre isale hattında elde edilebilecek tasarruf miktarları.	151
Tablo 5.27: 5,7 cm ısı yalıtım kalınlığına sahip isale hattı projesi için nakit akışlar.....	154
Tablo 5.28: 8,1 cm ısı yalıtım kalınlığına sahip isale hattı projesi için nakit akışlar.....	155
Tablo 5.29: 10,5 cm ısı yalıtım kalınlığına sahip isale hattı projesi için nakit akışlar.....	157
Tablo 5.30: Farklı ısı yalıtım kalınlığındaki isale hatlarının ekonomik analiz sonuçları.	158
Tablo 5.31: Bigadiç JBIS dağıtım hatları ısı kayıpları.	159
Tablo 5.32: 2011 ve 2012 yılları Bigadiç aylık ortalama dış sıcaklık değerleri.	160
Tablo 5.33: Bigadiç'in ısıtma derece-gün sayıları.....	161
Tablo 5.34: 2011 yılı saatlik ortalama dış ortam sıcaklıklarına göre Bigadiç JBIS'nin çalışma süreleri.	162
Tablo 5.35: 2012 yılı saatlik ortalama dış ortam sıcaklıklarına göre Bigadiç JBIS'nin çalışma süreleri.	162
Tablo 5.36: 2008-2012 yılları saatlik ortalama dış ortam sıcaklıklarına göre Bigadiç JBIS'nin çalışma süreleri.	162
Tablo 5.37: Jeotermal enerjinin Bigadiç JBIS'deki kullanım alanları.	163
Tablo 5.38: 2011 ve 2012 yıllarındaki analizler için seçilen günler ve bu günlerdeki bazı işletme parametreleri.....	171
Tablo 5.39: 2011 ve 2012 yılları için Bigadiç JBIS'nin Şekil 4.2 ve 4.3'de belirtilen termodinamik noktalarına ait değer ve özellikler.....	172
Tablo 5.40: 2011 ve 2012 yılları için Bigadiç JBIS'nin Şekil 4.2 ve 4.3'de belirtilen termodinamik noktalarına ait enerji ve ekserji akımları.	174
Tablo 5.41: Farklı referans sıcaklıkları için Bigadiç JBIS'nin enerji analizi sonuçları (2011, 2012).	177
Tablo 5.42: Farklı referans sıcaklıkları için Bigadiç JBIS'nin ekserji analizi sonuçları (2011,2012).....	180
Tablo 5.43: Önemli sistem bileşenlerinin bazı özellikleri.	184

Tablo 5.44: Önemli sistem bileşenlerinin ortalama ekserji verimleri. .	185
Tablo 5.45: Kalorifer yakıtının kütleli analizi.	187
Tablo 5.46: Fuel oil kazanında yapılan baca gazı analiz sonuçları. ..	187
Tablo 5.47: Ekonomizör kullanımı sayesinde kazan veriminde elde edilebilecek artış ve yakıt tasarrufu miktarı.	188
Tablo 5.48: 2016 yılındaki analizler için seçilen günler ve bu günlerdeki bazı işletme parametreleri.	188
Tablo 5.49: 2016 yılı için Bigadiç JBIS'nin Şekil 4.2 ve 4.3'de belirtilen termodinamik noktalarına ait değer ve özellikler.	189
Tablo 5.50: 2016 yılı için Bigadiç JBIS'nin Şekil 4.2 ve 4.3'de belirtilen termodinamik noktalarına ait enerji ve ekserji akımları.	190
Tablo 5.51: Farklı referans sıcaklıkları için Bigadiç JBIS'nin enerji analizi sonuçları (2016).	191
Tablo 5.52: Farklı referans sıcaklıkları için Bigadiç JBIS'nin ekserji analizi sonuçları (2016).	193
Tablo 5.53: Bigadiç JBIS 2011-2012 yılları ile 2016 yılları genel enerji karşılaştırması.	198

SEMBOL LİSTESİ

Simge Adı	Tanımı / Değeri	Birimi
\dot{E}	Enerji akımı	kW
\dot{E}_x	Ekserji akımı	kW
\dot{F}	Yakıtın ekserji akımı	kW
h	Özgül entalpi	kJ/kg
H_u	Alt ısı değeri	kJ/kg, kJ/m ³
i	İndirgeme oranı	%
\dot{I}	Tersinmezlik	kW
IP	İyileştirme potansiyeli akımı	kW
m	Projenin inşa süresi	yıl
\dot{m}	Kütleli debi	kg/s
n	Tesisin ekonomik ömrü	yıl
NNG	Net nakit girişi	TL
\dot{P}	Üretimin ekserji akımı	kW
P	Basınç	kPa
s	Özgül entropi	kJ/kgK
S	Günlük sıcak su ihtiyacı, artık değer	l/kişi-gün, TL
Q	Isı miktarı	kJ/kg
\dot{Q}	Isı akımı	kW
T	Sıcaklık	K, °C
U	Toplam ısı geçiş katsayısı	W/m ² K
\dot{W}	Güç	kW
C_p	Sabit basınçta özgül ısı	kJ/kgK
YF	Yük faktörü	-
η	Verim	-
ε	Ekserji verimi	-
ψ	Özgül ekserji	kJ/kg
k	Isı iletim katsayısı	W/mK

Alt indis	Açıklama
<i>0</i>	Referans çevre
<i>a</i>	Hava, çevre
<i>B</i>	Baca
<i>ç</i>	çıkış
<i>g</i>	giriş
<i>hes</i>	hesap
<i>d</i>	deşarj
<i>eş</i>	Isı eşanjörü
<i>i</i>	Eleman sayısı
<i>jeo</i>	jeotermal
<i>K</i>	Kazan
<i>maks</i>	maksimum
<i>min</i>	minimum
<i>S</i>	su
<i>sis</i>	sistem
<i>t</i>	yıl
<i>top</i>	toplam
<i>Y</i>	Yakıt

Kısaltmalar	Açıklama
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
BRICS	Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin, Güney Afrika
EPS	Expanded polystyrene
EU	European Union
FV	Fotovoltaik
JBIS	Jeotermal bölgesel ısıtma sistemi
NBD	Net bugünkü değer
TEP	Ton eşdeğer petrol

ÖNSÖZ

Tez çalışmalarımnda her türlü desteği sağlayan çok kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. Bedri YÜKSEL'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Deęerli eleştiri ve önerilerinden dolayı tez izleme komitesi üyeleri Sayın Prof. Dr. Abdulvahap YİĞİT ve Sayın Doç. Dr. Nadir İLTEN'e çok teşekkür ederim.

Deęerli katkılarından dolayı Sayın Prof. Dr. Ramazan KÖSE ve Sayın Doç. Dr. Hüseyin BULGURCU'ya; yardımlarından dolayı Sayın Yrd. Doç. Dr. Asiye ASLAN, Sayın Yrd. Doç. Dr. Yakup AKKUŞ, Sayın Yrd. Doç. Dr. A. Deniz KARAOĞLAN, Sayın Arş. Gör. T. Kerem DEMİRCİOĞLU ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Akın ATAŞ'a,

İlgi ve desteklerinden dolayı Bigadiç Belediye Başkanı Sayın İsmail AVCU'ya, eski belediye başkanı Sayın Mustafa GÖKSEL'e ve jeotermal ısıtma sisteminin değerli çalışanlarından Sayın Mehmet ASLAN, Sayın Ernur GÜRLEN, Sayın Ali ATLIĞ, Sayın Muharrem ÇAPKAN ve Sayın Özgür GÜREL'e,

Maddi desteklerinden dolayı TÜBİTAK ve Balıkesir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne,

Tez çalışmalarım sırasında özverili anlayış ve destekleri için sevgili anne ve babama, oğlum Ahmet Benan ve eşim Şehnaz'a gönülden teşekkür ederim.

Haziran 2016

Tuğrul AKYOL

1. GİRİŞ

Bilimsel gelişmeler neticesinde ileri teknolojiye dayalı sosyal ve ekonomik yaşam biçimi ve dünya nüfusunun artması toplumların enerji tüketimlerini önceki yüzyıllara nazaran binlerce kez artırmıştır. Enerji tüketimindeki bu artış, beraberinde enerji-kaynak üretimi, enerji-çevre ve enerji-ekonomi arasında ilişkiler ve sorunlar getirmiştir. Bu nedenle günümüzde enerji üretimi ve tüketimi tüm toplumların en önemli inceleme ve araştırma konularının başında gelmektedir.

Birincil enerji kaynakları içinde en fazla paya sahip fosil yakıtların dünya geneline dengesiz bir şekilde dağılmış olması bazı ülkeleri dezavantajlı konuma getirmiş ve avantajlı ülkelere bağımlı kılmıştır. Bu bağımlılık enerji talebindeki artışla birlikte her geçen gün daha da artmaktadır. Bu nedenle günümüzde, artık, ülkeler öncelikli olarak kendi öz enerji kaynaklarını değerlendirmenin yollarını arama, dış ülkelere bağımlılığı azaltma ve arz güvenliğini sağlamak için enerji kaynaklarını çeşitlendirme yoluna gitmektedir.

Enerji politikalarının sadece günün ihtiyaçlarına cevap verecek şekilde sınırlandırılmaması, buna karşılık uzun vadeli ülke kalkınma politikalarının temel öğelerinden biri olarak değerlendirilmesi gerektiği artık bilinen bir gerçektir. Günümüzde toplumlar, iyi yaşam koşullarına sahip olmak, enerjiyi konforlu bir şekilde kullanmak ve her alanda uluslararası rekabet edebilirliklerini korumak için enerjiyi kesintisiz, ucuz, güvenilir ve temiz bir yolla elde etmek zorundadırlar. Enerjinin sürdürülebilir yönünün de düşünülüp gelecek kuşakların enerji ihtiyaçlarını güvenli bir seviyede yakalamalarının sağlanması bugünden planlanmalı ve bunu yaparken de çevreyi en az etkileyecek yöntemler kullanılmalıdır.

Sürdürülebilir kalkınma ve çevre bilincinin gelişmesi sürecinden önce, sosyal ve ekonomik kalkınma, yaşam standardının gelişmesi, refahın artması, başta gelişmekte olan ülkeler olmak üzere, tüm ülkeler için daima çok önemli olmuş, kalkınmanın önemli girdisi olan enerji arzı ön plana çıkmış, buna karşılık, kalkınma uğruna çevresel sorunlar göz ardı edilmiştir.

Günümüzde ise, artık sürdürülebilirlik kavramı önem kazanmaya başlamış olup, bugünün ve geleceğin yaşamının ve kalkınmasının programlanması olan

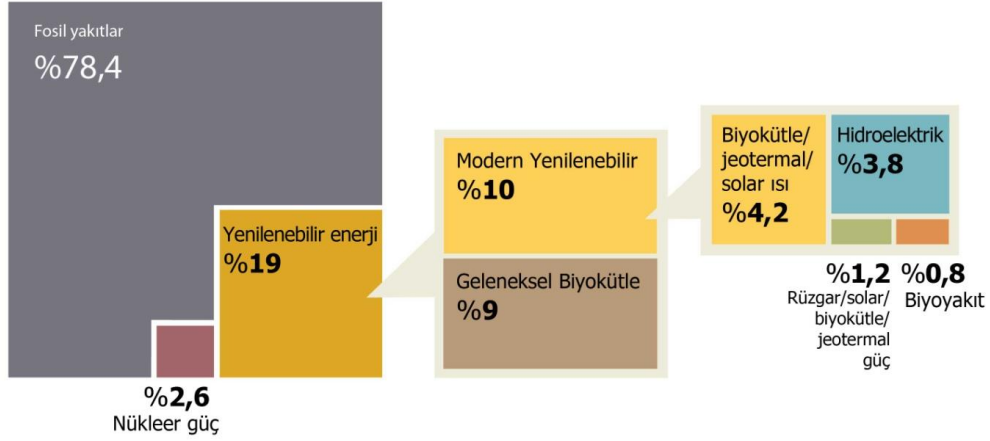
“sürdürülebilir kalkınma” ile kaynaklar tüketilmeden, çevreye zarar vermeden, toplumların, ülkelerin kalkınma ve sanayileşme süreçlerinin devamının sağlanması ve gelecek nesillere yaşanabilir bir dünyanın miras bırakılması hedeflenmektedir.

1970’li yıllarda yaşanan petrol kriziyle birlikte birçok ülke, mevcut enerji tesislerini yeniden gözden geçirmiş ve verimliliklerini artırarak iyileştirme yoluna gitmişlerdir. Bunun yanında fosil yakıtlar dışında yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı konusunda ciddi araştırmalar yapılmaya başlanmıştır. Modern dünyamızın yakın tarihine bakıldığında,

- 1970’lerde, yaşanan petrol kriziyle birlikte kıt olan yakıt kaynaklarının korunması konusu ağırlık kazanmış,
- 1980’lerde, enerji verimliliğinin enerji tüketimi ve maliyetler üzerindeki önemli etkisi fark edilmiş,
- 1990’larda, enerji kullanımının çevre üzerindeki olumsuz etkilerinin (özellikle sera gazlarının kontrolü) azaltılması üzerinde durulmuş,
- 2000’lerde ise sürdürülebilir ve yenilenebilir enerjinin önemi anlaşılmıştır.

Yenilenebilir enerji günümüzde, sadece bir enerji kaynağı olarak değil, aynı zamanda enerji güvenliğinin geliştirilmesi, fosil ve nükleer enerji kullanımından kaynaklanan sağlık ve çevresel etkilerin azaltılması, sera gazı emisyonlarının azaltılması, eğitim fırsatları ve yeni iş sahalarının oluşturulması, yoksulluğun önlenmesi gibi birçok acil ihtiyaca cevap verebilecek nitelikte güçlü bir araç olarak görülmektedir.

Yenilenebilir enerji ile ilgili küresel algı 2004 yılından beri dikkate değer bir biçimde değişim göstermiştir. Son on yılda devam etmekte olan teknolojik atılımlar ve birçok yenilenebilir enerji teknolojisindeki hızlı gelişmeler bu kaynaklardaki büyük potansiyeli gözler önüne sermiştir. Dünya genelinde hızla yaygınlaşmakta olan yenilenebilir enerji kaynakları, 2012 yılında global nihai enerji tüketiminin %19’luk bölümünü oluşturmuş ve hızlı gelişimini 2013 yılında da sürdürmüştür (Şekil 1.1). Yenilenebilir enerji kaynaklarının 2012 yılındaki %19’luk payı içerisinde, %10’luk bölüm hidrolik, solar, rüzgar, jeotermal, biyoyakıt ve modern biokütle gibi modern yenilenebilir enerji kaynaklarından, %9’luk bölüm ise özellikle gelişmekte olan ülkelerin kırsal kesimlerinde pişirme ve ısıtma amacıyla kullanılan geleneksel biokütleden oluşmaktadır. Modern yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen ısı enerjisi global enerji tüketiminin %4,2’sini; hidroelektrik enerji %3,8’ini; rüzgar, güneş, jeotermal ve biyoyakıtlardan elde edilen güç ise %2’sini oluşturmaktadır [1].



Şekil 1.1: Yenilenebilir enerji kaynaklarının nihai enerji tüketimindeki payı, 2012.

Tablo 1.1'de 2013 yılına ait dünya yenilenebilir enerji göstergeleri verilmiştir. Buna göre 2013 yılında dünya genelinde yenilenebilir güç ve yakıt alanında yapılan toplam yatırım, 50 MW'tan büyük hidroelektrik projeler hariç, 214,4 milyar ABD \$'dır. Bu değer 2012 yılında yapılan yatırım miktarından %14 daha az olmakla birlikte 2011 yılında yapılan yatırımdan %23 daha büyüktür. 2013 yılında gerçekleşen yatırımlara 50 MW'tan daha büyük hidroelektrik projelerinin dahil edilmesiyle 2013 yılında yenilenebilir güç ve yakıt alanında yapılan toplam yatırımın en az 249,4 milyar ABD \$ olduğu tahmin edilmektedir [1].

Tablo 1.1: Dünya yenilenebilir enerji göstergeleri, 2013.

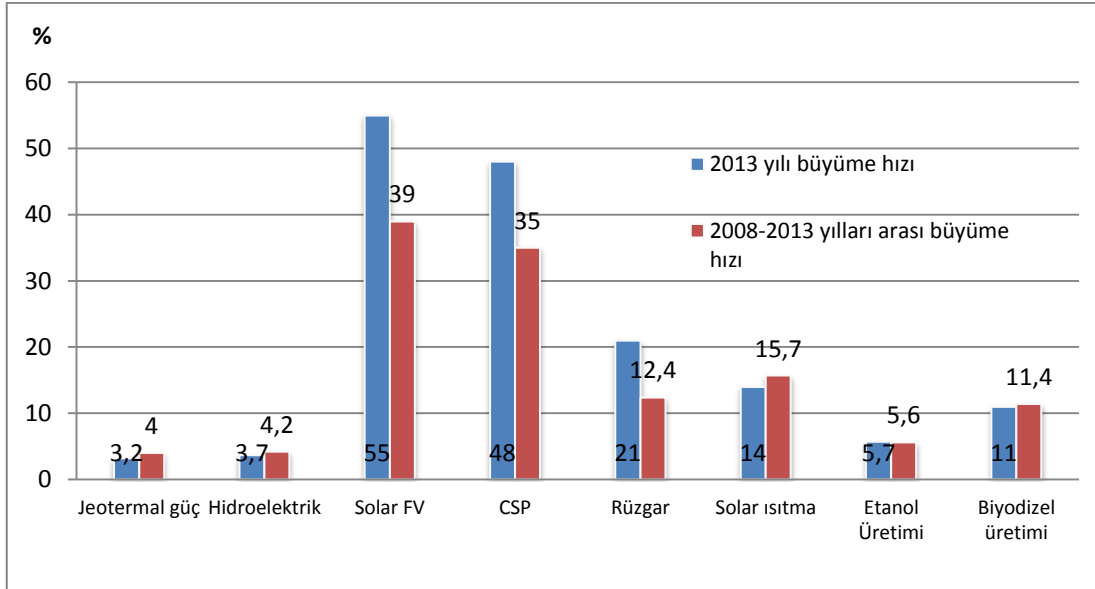
		2004 ¹ başlangıcı	2012 sonu	2013 sonu
YATIRIM				
Yenilenebilir güç ve yakıt ² alanında yapılan yatırımlar (yıllık)	milyar ABD \$	39,5	249,5	214,4 (249,4)
GÜÇ				
Toplam yenilenebilir güç kapasitesi (hidroelektrik hariç)	GW	85	480	560
Toplam yenilenebilir güç kapasitesi (hidroelektrik dahil)	GW	800	1440	1560
Hidroelektrik kapasitesi (toplam)	GW	715	960	1000
Biyo-güç kapasitesi	GW	<36	83	88
Biyo-güç üretimi	TWh	227	350	405
Jeotermal güç kapasitesi	GW	8,9	11,5	12

¹ 2004 yılına ait kapasite bilgileri 2004 yılı başlangıcına ait verilerdir. Yatırım ve biyoyakıt üretimi gibi diğer veriler ise tüm yılı kapsamaktadır.

² Yatırım bilgileri Bloomberg New Energy Finance (BNEF)'den alınmış ve 1 MW'den büyük tüm biyokütle, jeotermal ve rüzgar güç üretimi projelerini; 1 ile 50 MW arasındaki tüm hidroelektrik projelerini; tüm dalga ve gel-git güç üretim projelerini; yıllık kapasitesi 1 milyon litre ve üzerindeki tüm biyoyakıt üretim projelerini kapsamaktadır.

Solar PV kapasitesi (toplam)	GW	2,6	100	139
Yoğunlaştırılmış solar termal güç (toplam)	GW	0,4	2,5	3,4
Rüzgar gücü kapasitesi (toplam)	GW	48	283	318
ISI				
Solar sıcak su kapasitesi (toplam)	GW _t	98	282	326
ULAŞIM				
Etanol üretimi (yıllık)	milyar litre	28,5	82,6	87,2
Biyodizel üretimi (yıllık)	milyar litre	2,4	23,6	26,3

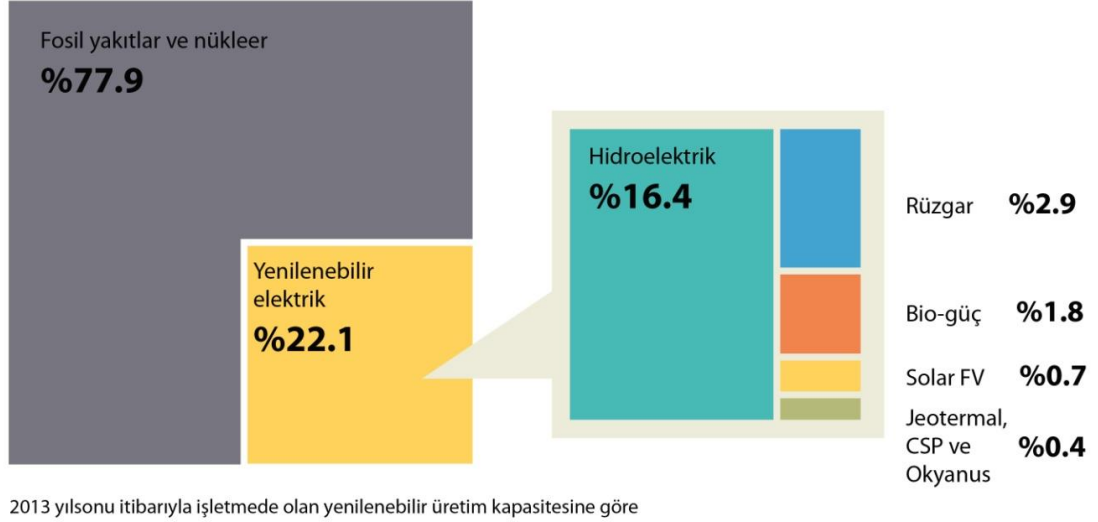
Dünya genelinde 2009-2013 yılları arasında başta elektrik sektörü olmak üzere birçok yenilenebilir enerji kurulu güç kapasitesinde büyük bir gelişme kaydedilmiştir (Şekil 1.2). Bu periyotta tüm yenilenebilir enerji teknolojileri arasında en hızlı kapasite artış oranı solar FV alanında, en fazla güç kapasitesi artışı ise rüzgar enerjisi alanında gerçekleşmiştir. Isıtma ve soğutma uygulamalarında kullanılan modern yenilenebilir enerji kaynaklarında ise sürekli bir ilerleme kaydedilmiştir. Bununla birlikte, ulaşım sektöründe kullanılan biyoyakıt üretimindeki büyüme hızında 2010-2012 yılları arasında azalma, 2013'de ise yüksek petrol fiyatları nedeniyle artma görülmüştür [1].



Şekil 1.2: Dünyadaki yenilenebilir enerji kapasitesi ve biyoyakıt üretiminde yıllık ortalama büyüme hızları.

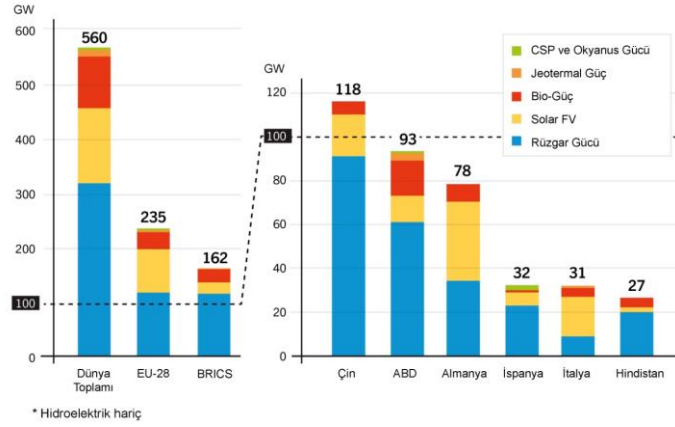
2013 sonu itibarıyla dünya güç üretim kapasitesinin %26,4'ünün, global elektrik üretiminin ise, %16,4'ü hidrolik güç olmak üzere, %22,1'inin yenilenebilir

kaynaklardan sağlandığı tahmin edilmektedir (Şekil 1.3). Yenilenebilir enerji kapasitesi yıldan yıla dünya genelinde büyük bir hızla artarken, yenilenebilir elektriğin global elektrik üretimini karşılama oranındaki artış hızı daha yavaş seyretilmektedir. Bu durum büyük ölçüde, dünya elektrik talebinin halen hızlı bir şekilde artıyor olması ve birçok ilave yenilenebilir enerji kapasitesindeki kararsızlıktan kaynaklanmaktadır [1].



Şekil 1.3: Global elektrik üretiminde yenilenebilir enerjinin payı, 2013.

Çin, ABD, Brezilya, Kanada ve Almanya toplam kurulu yenilenebilir elektrik kapasitesi bakımından lider olma özelliklerini 2013 sonu itibarıyla korumuştur. Yaklaşık 260 GW'lık kurulu hidroelektrik gücüne sahip olan Çin, dünya yenilenebilir güç kapasitesinin %24'ünü elinde bulundurmaktadır. Bununla birlikte hidroelektrik güç haricindeki yenilenebilir güç kapasitesi bakımından lider ülkeler sırasıyla, Çin, ABD, Almanya, İspanya, İtalya ve Hindistan'dır (Şekil 1.4) [1].



Şekil 1.4: Dünyadaki yenilenebilir güç kapasiteleri, EU-28, BRICS ülkeleri ve ilk altı ülke, 2013.

Yenilenebilir enerji alanında net kapasite artışı, üretim miktarı ve toplam kurulu güç bakımından lider ülkeler Tablo 1.2 ve 1.3'te verilmiştir. Buna göre ülkemiz, dünyada 2013 yılında en çok jeotermal ve hidrolik güç ile solar ısıtma kapasitesi artırımı gerçekleştiren ikinci ülke konumundadır (Tablo 1.2). Bununla birlikte ülkemiz, 2013 sonu itibarıyla toplam solar su ısıtma kapasitesi bakımından dünyanın en büyük dördüncü, ısı pompası uygulamaları dışındaki toplam jeotermal ısı kapasitesi bakımından ise en büyük ikinci ülkesi konumundadır (Tablo 1.3) [1].

Tablo 1.2: Yıllık yenilenebilir enerji yatırımı, net kapasite artımı, 2013 yılı üretim miktarına göre ilk beş ülke.

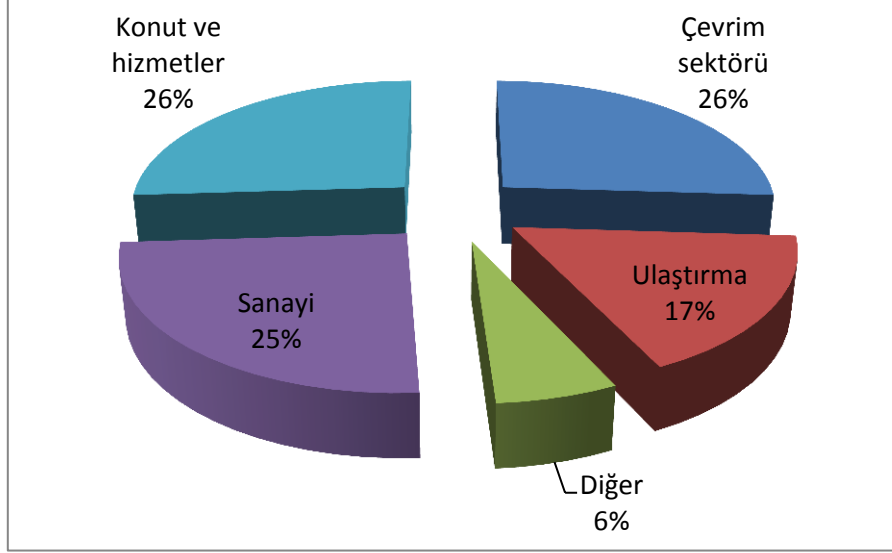
	1	2	3	4	5
Yenilenebilir güç ve yakıt alanındaki yatırım	Çin	ABD	Japonya	İngiltere	Almanya
2012 yılında yapılan yatırımın GSYİH payı	Uruguay	Mauritius	Kosta Rika	Güney Afrika	Nikaragua
Jeotermal güç kapasitesi	Y.Zelanda	Türkiye	ABD	Kenya	Filipinler
Hidrolik güç kapasitesi	Çin	Türkiye	Brezilya	Vietnam	Hindistan
Solar FV kapasitesi	Çin	Japonya	ABD	Almanya	İngiltere
CSP kapasitesi	ABD	İspanya	BAE	Hindistan	Çin
Rüzgar gücü kapasitesi	Çin	Almanya	İngiltere	Hindistan	Kanada
Solar su ısıtma kapasitesi	Çin	Türkiye	Hindistan	Brezilya	Almanya
Biyodizel üretimi	ABD	Almanya	Brezilya	Arjantin	Fransa
Etanol üretimi	ABD	Brezilya	Çin	Kanada	Fransa

Tablo 1.3: Toplam yenilenebilir enerji kapasitesi veya üretimi bakımından ilk beş ülke, 2013 sonu.

	1	2	3	4	5
GÜÇ					
Yenilenebilir güç (hidroelektrik dahil)	Çin	ABD	Brezilya	Kanada	Almanya
Yenilenebilir güç (hidroelektrik hariç)	Çin	ABD	Almanya	İspanya/İtalya	Hindistan
Kişi başına düşen yenilenebilir güç kapasitesi (hidroelektrik hariç)	Danimarka	Almanya	Portekiz	İspanya/İsveç	Avusturya
Biyo-güç üretimi	ABD	Almanya	Çin	Brezilya	Hindistan
Jeotermal güç	ABD	Filipinler	Endonezya	Meksika	İtalya
Hidroelektrik	Çin	Brezilya	ABD	Kanada	Rusya
Hidroelektrik üretimi	Çin	Brezilya	Kanada	ABD	Rusya
CSP gücü	İspanya	ABD	BAE	Hindistan	Cezayir
Solar FV	Almanya	Çin	İtalya	Japonya	ABD
Kişi başına düşen solar FV kapasitesi	Almanya	İtalya	Belçika	Yunanistan	Çek Cum.
Rüzgar gücü	Çin	ABD	Almanya	İspanya	Hindistan
Kişi başına düşen rüzgar gücü kapasitesi	Danimarka	İsveç	İspanya	Portekiz	İrlanda
ISI					
Solar su ısıtma	Çin	ABD	Almanya	Türkiye	Brezilya
Kişi başına düşen solar su ısıtma kapasitesi	Kıbrıs	Avusturya	İsrail	Barbados	Yunanistan
Jeotermal ısı	Çin	Türkiye	İzlanda	Japonya	İtalya

Türkiye, geçtiğimiz on yıllık dönemde İktisadi İşbirliği ve Kalkınma Teşkilatı (OECD) ülkeleri içerisinde enerji talep artışının en hızlı gerçekleştiği ülke olmuştur. Gelecek on yılda da enerji talebinin iki katına çıkması beklenmektedir. Ülkemizin birincil enerji talebi 2012 yılında 120,1 milyon TEP olarak gerçekleşmiştir. Birincil enerji talebi içerisinde doğal gazın payı %31, kömürün payı %30, petrolün payı %26, hidrolik enerjinin payı %4, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının payı %3 ve diğer

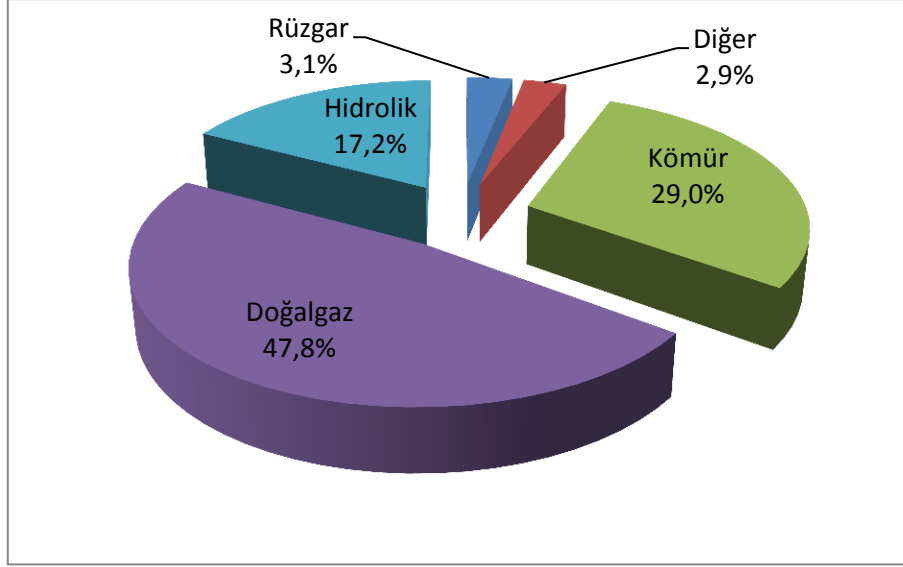
kaynakların payı %6'dır. Birincil enerji talebimizin sektörlere göre dağılımı incelendiğinde; bu talebin %25'inin sanayide, %26'sının konut ve hizmet sektöründe, %17'sinin ulaştırma ve %26'sının çevrim sektöründe kullanıldığı görülmektedir. (Şekil 1.5) [2].



Şekil 1.5: Birincil enerji tüketiminin sektörlere göre dağılımı.

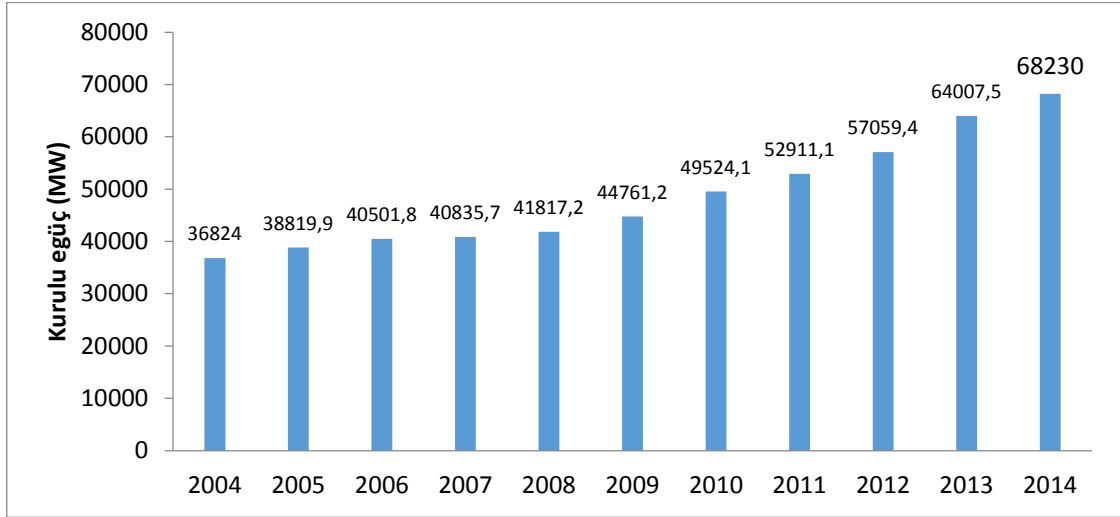
Ülkemizde, yüksek büyüme oranlarının sonucu olarak yıllık elektrik enerjisi tüketim artışı uzun yıllardan beri ortalama %7 seviyelerinde gerçekleşmiştir. Elektrik enerjisi talebinde 2012 yılında %5,2, 2013 yılında ise %1,6 artış olmuştur. 2002 yılında 132,6 milyar kWh olan elektrik tüketimimiz yaklaşık iki kat artarak 2013 yılında 246,4 milyar kWh'ye ulaşmıştır.

2013 yılında 240,1 milyar kWh olan elektrik üretimi, 2014 yılı eylül ayı sonu itibariyle 190 milyar kWh olarak gerçekleşmiş olup, bu üretiminin %47,8'i doğal gazdan, %17,2'si hidrolikten, %29'u kömürden, %3,1'i rüzgâr ve %2,9'u ise diğer kaynaklardan sağlanmıştır (Şekil 1.6) [2].

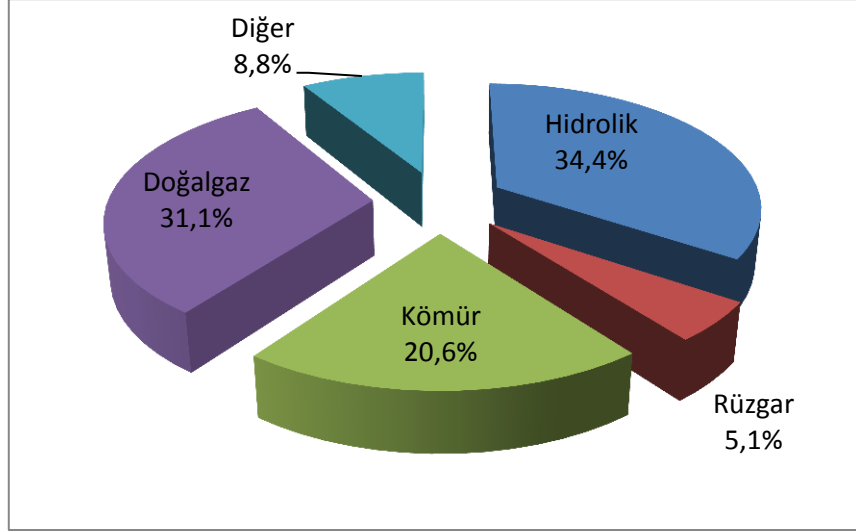


Şekil 1.6: Eylül-2014 itibariyle Türkiye Elektrik Enerjisi Üretiminin birincil enerji kaynaklarına göre dağılımı.

2002 yılında 31.846 MW olan elektrik enerjisi kurulu gücümüz 2013 yılında 64.008 MW'a, 2014 yılı eylül ayı sonu itibarıyla ise yaklaşık iki kat artarak 68.230 MW'a yükselmiştir (Şekil 1.7). Mevcut kurulu gücümüzün %34,4'ü hidrolik, %31,1'i doğalgaz, %20,6'sı kömür, %5,1'i rüzgar ve %8,8'i ise diğer kaynaklardan oluşmaktadır (Şekil 1.8) [2].



Şekil 1.7: Türkiye'nin toplam elektrik üretim kurulu gücü.



Şekil 1.8: 2013 yılı ekim ayı sonu itibarı ile kurulu gücün birincil enerji kaynaklarına göre dağılımı.

Ülkemiz, coğrafi konumu ve jeolojik yapısı nedeniyle yenilenebilir enerji kaynakları bakımından zengin bir ülkedir. Bu kaynaklardan azami ölçüde yararlanmak hem enerji arz güvenliğine katkı sağlayacak hem de yeni istihdam alanlarının oluşumuna zemin hazırlayacaktır.

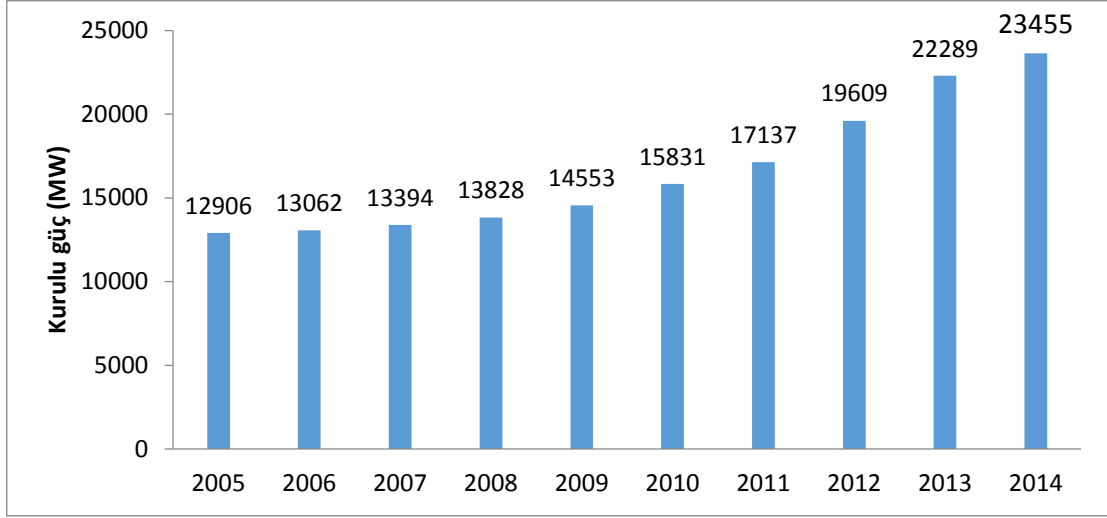
2002 yılında 12.305 MW olan yenilenebilir enerji kaynakları kurulu gücümüz 2014 yılı eylül ayı sonu itibarı ile iki kat artarak 27.585 MW'a ulaşmıştır. 2002 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik üretimimiz 34 milyar kWh iken, 2013 yılında %104 artışla 69,5 milyar kWh'a çıkmıştır. 2014 yılının ilk dokuz ayı içinde işletmeye alınan yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı santrallerin kurulu gücü 2002 MW olup bunların;

- 724,3 MW'ı rüzgar,
- 1166 MW'ı hidrolik,
- 47,6 MW'ı jeotermal,
- 64,1 MW'ı çöp gazı, biyokütle, atık ısı, prolitik yağ ve solar FV

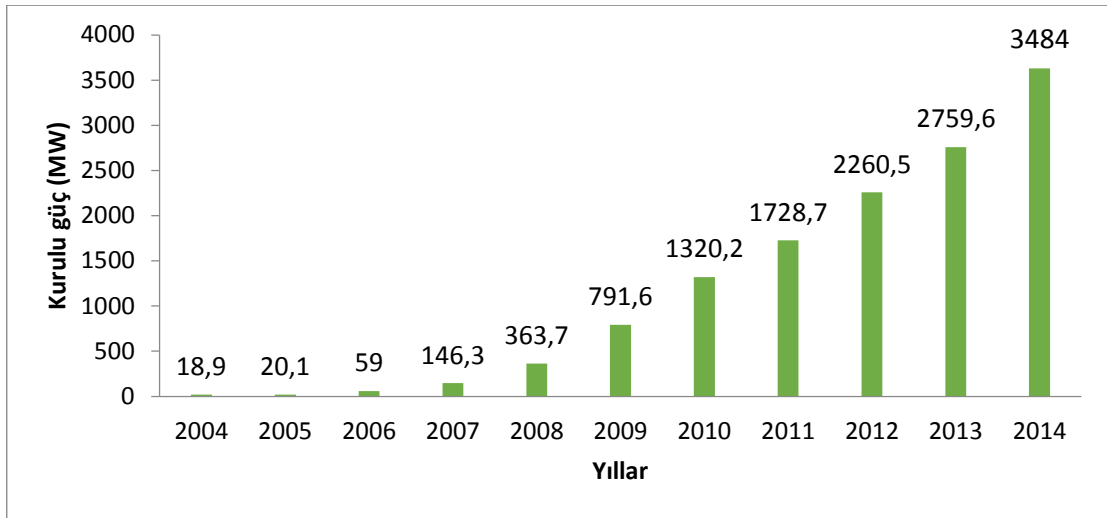
elektrik üretim santralleridir. 2013 ve 2014 yılları birlikte değerlendirildiğinde, devreye alınan 11.170 MW'lık santralin yaklaşık yarısı yenilenebilir kaynaklara dayalıdır [2].

2002 yılında 12.241 MW olan hidrolik kurulu gücümüz %78 artışla 2014 yılı eylül ayı sonu itibarıyla 23.455 MW'a ulaşmıştır (Şekil 1.9). 2002 yılında neredeyse

yok sayılacak düzeyde (18,9 MW) olan rüzgâr enerjisi kurulu gücü 2014 yılı eylül ayı itibarıyla 3484 MW'a ulaşmıştır (Şekil 1.10) [2,3].

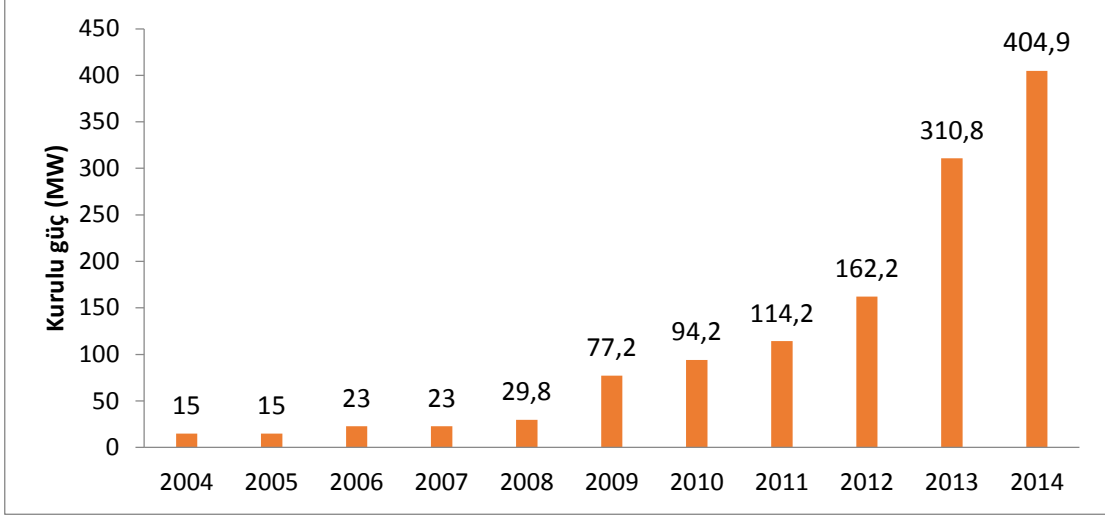


Şekil 1.9: Türkiye'nin kurulu hidroelektrik gücü.



Şekil 1.10: Türkiye'nin kurulu rüzgar elektrik santrali gücü.

Bir diğer yenilenebilir enerji kaynağı olan jeotermal enerjinin yenilenebilir enerji kaynaklarımıza dahil edilmesine yönelik sürdürülen çalışmalarla 2002 yılı sonu itibarıyla sadece 17,5 MW_e olan jeotermal kurulu gücümüz 2014 yılı itibarıyla 404,9 MW'a ulaşmıştır (Şekil 1.11) [2,3].



Şekil 1.11: Türkiye'nin kurulu jeotermal elektrik santrali gücü.

Jeotermal enerjinin doğrudan kullanımı bu enerjiden en eski, en kapsamlı ve en yaygın yararlanma şekli olup, ısıtma ve soğutma için termal enerji elde edilmesi anlamına gelmektedir. Doğrudan kullanımın başlıca uygulamaları arasında hacim ısıtma (bölgesel ısıtma dahil), evsek sıcak su temini, yüzme havuzlarının direkt veya indirekt ısıtılması, sera ısıtma, endüstriyel proses ısısı ve tarımsal kurutma gelmektedir.

Dünya genelinde jeotermal enerjinin doğrudan kullanım miktarının, 2013 yılındaki ilave kapasiteler ile birlikte, yaklaşık 328 PJ (91 TWh) olduğu tahmin edilmektedir. Doğrudan kullanım, İzlanda gibi iyi jeotermal kaynaklara sahip ve bu kaynakların kolaylıkla ısı talebini karşılayabildiği ülkelerle, jeotermal kaynakların daha çok endüstri ve sosyal geleneklere hitap ettiği Japonya, Türkiye ve İtalya gibi ülkelerde yoğunlaşmıştır. En büyük jeotermal doğrudan kullanım kapasitesine sahip ülkeler Çin (2010 yılında 3,7 GW_t), Türkiye (2013 yılında 2,7 GW_t), İzlanda (2013 yılında 2,2 GW_t), Japonya (2010 yılında 2,1 GW_t), İtalya (2012 yılında 0,8 GW_t) ve Macaristan (2012 yılında 0,7 GW_t)'dir. Bu ülkelerin toplam kapasitesi, 22,6 GW_t olarak tahmin edilen global kapasitenin yaklaşık yarısını oluşturmaktadır [1].

Ülkemiz, jeotermal enerjinin doğrudan kullanımı alanında 2002 yılına göre %526 artış ile 2012 yılında sera ısıtmada 3130 dönüme ve konut ısıtmada %198 artış ile 89.563 konuta ulaşmıştır [2]. Hacim ısıtma, jeotermal enerjinin ülkemizdeki en yaygın kullanım şeklidir. Üç farklı hacim ısıtma uygulaması arasında en büyük paya sahip olan uygulama 805 MW_t'lık ısıtma kapasitesi ile jeotermal bölgesel ısıtma uygulamasıdır. Ülkemizde büyük bölümü batı ve orta Anadolu'da yer alan 16 ilde jeotermal enerjiden konut ısıtma alanında yararlanılmaktadır.

Türkiye’de jeotermal kaynakların büyük çoğunluğu başta Ege olmak üzere İç Anadolu ve Marmara Bölgesinde toplanmıştır. Balıkesir, çevresi ile birlikte jeotermal enerji bakımından zengin illerimizden biridir. Ülkemizde, jeotermal enerji ile ilk hacim ısıtma uygulaması bu ilimizde, 1964 yılında Gönen Park Otelinin ısıtılmasıyla, yine ilk bölgesel ısıtma sistemi uygulaması 1987 yılında Gönen’de 16,2 MW_t kapasite ile gerçekleştirilmiştir. İlimizde daha sonra 2004 yılında Edremit ve 2005 yılında Bigadiç ve Güre JBIS’ler kurularak işletmeye alınmıştır.

Balıkesir’de halen faal durumda bulunan JBIS’lerde yapılan araştırmalar, sistemlerin enerji verimlerinin düşük olduğunu ve jeotermal enerjiden yeterince yararlanılmadığını ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, birçok tesisin projelendirilmesinin geçmiş yıllarda zamanın koşullarına göre yapıldığı, boru hatlarında zaman içerisinde kabuklaşma ve korozyon oluştuğu, jeotermal ve sıcak su kaçak miktarlarının arttığı ve sistemlere hat kapasiteleri dikkate alınmadan, bölge sakinlerinden gelen talepler doğrultusunda sonradan konutların ilave edildiği tespit edilmiştir. Daha da önemlisi, uzun zamandır kullanılan jeotermal kuyularda debi ve sıcaklık değerlerinin zamanla değiştiği, aynı jeotermal saha içerisinde daha sonra yeni kuyuların açıldığı ve bu kuyuların eski kuyuların debi değerlerini etkilediği, ilk ve son verilerin karşılaştırılması neticesinde ortaya çıkarılmıştır. Bölgesel ısıtma sistemlerinde meydana gelen tüm bu gelişmeler, üretilen jeotermal enerjinin sistemlerin ihtiyaç duyduğu enerji talebini karşılayamaması sorunu beraberinde getirmiş, bu sorun, Bigadiç JBIS’de olduğu gibi ek ısıtma sistemlerinin kurulması ile giderilmeye çalışılmıştır.

Bigadiç JBIS’de üretilen jeotermal enerjinin sistemin enerji ihtiyacını karşılayamamasının en önemli sebebi zamanla azalan jeotermal kuyu debileridir. Bu durumun büyük ölçüde, sistemde reenjeksiyon uygulamasının bulunmaması nedeniyle meydana geldiği tahmin edilmektedir. Bigadiç JBIS’deki enerji açığı, sistem yöneticilerini yeni sondajlarla yeni jeotermal kuyular açtırmaya yöneltmiş ancak bugüne kadar yapılan sondaj çalışmalarında ihtiyaca cevap verebilecek nitelikte yeni kaynaklar elde edilememiştir. Enerji açığının ısı merkezinde bulunan fuel-oil yakan kazanlarla kapatılmaya çalışılması ise sisteme önemli ölçüde maliyet getirmiştir. Bigadiç JBIS’de yaşanan tüm bu olumsuzluklar, sistemdeki en önemli tüketici konumundaki binaların incelenmesini de kapsayan, detaylı bir çalışmayı zorunlu kılmıştır. Bigadiç JBIS’nin performansının incelenmesi, sistemin kullanım verimliliğinin artırılmasına önemli katkılar sağlayacaktır.

Geniş bir yelpazede kullanım olanağı sunan ve ülkemizde önemli bir potansiyel oluşturan jeotermal enerji kaynağının, var olan diğer enerji kaynakları ile beraber daha fazla kullanılması ve geliştirilmesi gerekmektedir. Başta bölgesel ısıtma sistemleri olmak üzere jeotermal enerji kullanan sistemlerin performans ve verimlilik analizlerinin yapılması, bu enerji kaynağından azami ölçüde yararlanabilmek adına büyük önem taşımaktadır. Bununla birlikte, ekserji analizinin (ya da ikinci kanun analizi), enerji sistemlerinin termodinamik analizlerinin simülasyonunda güçlü bir araç olduğu ispatlanmıştır. Diğer bir deyişle, ekserji analizi, enerji sistemlerinin dizaynı, simülasyonu ve performans değerlendirmesinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu analiz metodu, göz önüne alınan proseslerin termodinamiksel eksikliklerinin sebeplerini tespit etmek ve bu eksiklikleri niceliksel olarak değerlendirmek üzere uygulanır [4].

Bu çalışmada, Bigadiç JBIS'de ölçümlerle elde edilen güncel sistem verileri kullanılarak sistemin enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Bu sayede, sistemin yıllık enerji bilançosu ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Ayrıca sistemin enerji ve ekserji verimleriyle, sistemdeki kayıpların hangi bileşenlerde ve ne büyüklükte meydana geldiği tespit edilerek sistem için iyileştirme önerileri sunulmuştur. Analizler, ısıtma sürecindeki farklı yük dalgalanmalarını kapsayabilmesi ve sistemin genel performansı hakkında daha doğru bilgi verebilmesi için 2011 ve 2012 yıllarındaki altı farklı dış sıcaklık koşulunda; kullanımına Şubat 2015'te başlanan kalorimetre uygulamasının etkilerini ortaya koyabilmesi için ise 2016 yılındaki üç farklı yük durumunda yapılmıştır. Böylece, sistemin sadece yılın soğuk günleri için değil, mevsimsel geçiş dönemleri için de değerlendirilebilmesi ve 2016 yılındaki güncel performansının ortaya koyulması amaçlanmıştır.

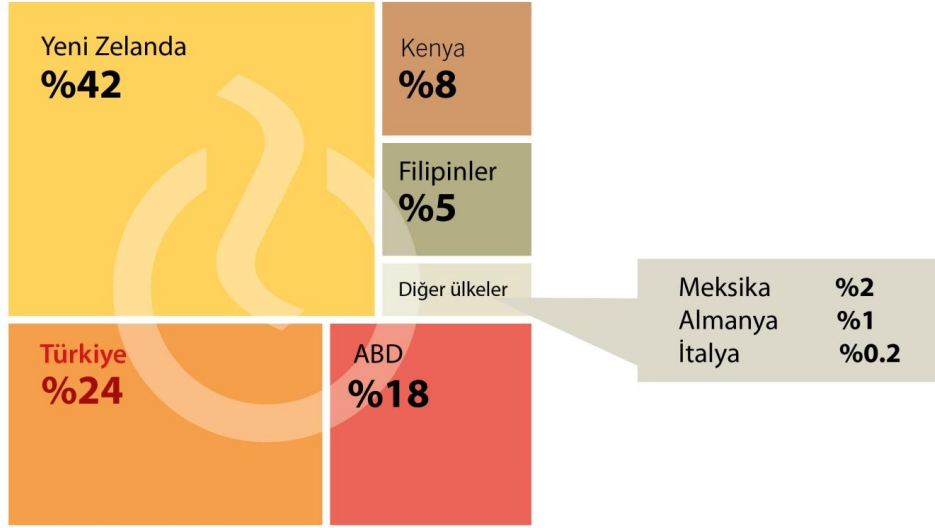
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Dünyada ve Türkiye’de Jeotermal Enerji Kullanımı

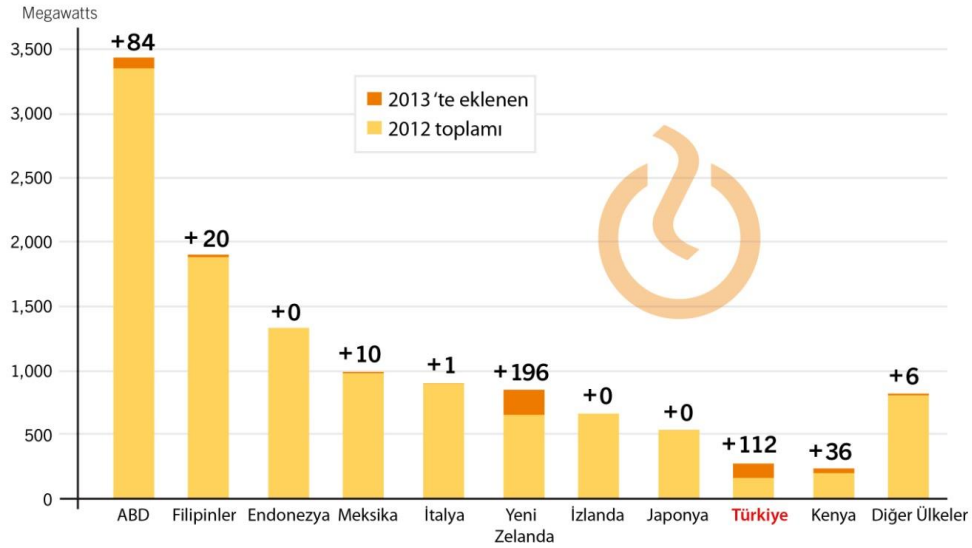
Jeotermal kaynakların 2013 yılında elektrik ve direkt ısıtma ve soğutma uygulamalarıyla dünya genelinde toplam 600 PJ (167 TWh)’lik bir enerji sağladığı tahmin edilmektedir. Jeotermal elektrik üretimi 76 TWh ile toplam jeotermal enerji üretiminin yarısından biraz daha az bölümünü oluştururken geri kalan 91 TWh’lık bölüm jeotermal enerjinin doğrudan kullanımı sonucu elde edilmiştir. Bununla birlikte bazı jeotermal santraller elektrik enerjisinin yanında çeşitli ısı uygulamaları için termal enerji de üretmiştir [1].

2013 yılındaki eklenen en az 530 MW_e’lık yeni kapasite ile toplam global jeotermal güç üretim kapasitesi 12 GW_e’a ulaşmış ve tahmini olarak yıllık 76 TWh’lık üretim gerçekleşmiştir. Bazı yeni santrallerin eskilerinin yerine kurulduğu dikkate alındığında, toplam global kapasitedeki net artış en az 465 MW_e olarak tahmin edilmektedir. Buna göre kümülatif kapasitede %4’lük bir büyüme meydana gelmiş ve önceki iki yıl dikkate alındığında jeotermal güç kapasitesi yıllık ortalama %3 büyümüştür [1].

Mevcut jeotermal güç santrali kapasitelerine 2013 yılında yenilerini ekleyen başlıca ülkeler, Yeni Zelanda, Türkiye, ABD, Kenya, Meksika, Filipinler, Almanya, İtalya ve Avustralya’dır (Şekil 2.1). 2013 yılsonu itibarıyla en büyük jeotermal elektrik üretim kapasitesine sahip ülkeler ise ABD (3,4 GW_e), Filipinler (1,9 GW_e), Endonezya (1,3 GW_e), Meksika (1,0 GW_e), İtalya (0,9 GW_e), Yeni Zelanda (0,9 GW_e), İzlanda (0,7 GW_e) ve Japonya (0,5 GW_e)’dir (Şekil 2.2) [1].



Şekil 2.1: Dünyada 2013 yılında eklenen jeotermal güç kapasitelerinin ülkelere göre dağılımı.



Şekil 2.2: Kümülatif ve ilave jeotermal güç kapasiteleri, 2013 itibarıyla lider on ülke.

Jeotermal enerjinin doğrudan kullanımı ısıtma ve soğutma için termal enerji elde edilmesi anlamına gelip, bu enerjiden en eski, en kapsamlı ve en yaygın yararlanma şeklidir. Doğrudan kullanımın başlıca uygulamaları arasında hacim ısıtma (bölgesel ısıtma dahil), evsek sıcak su temini, yüzme havuzlarının direkt veya indirekt ısıtılması, sera ısıtma, endüstriyel proses ısısı ve tarımsal kurutma gelmektedir.

Dünya genelinde jeotermal enerjinin doğrudan kullanımına ilişkin kurulu kapasite (MW_t), yıllık enerji kullanım miktarı ve kapasite faktörü 2014 yılsonu

itibariyle Tablo 2.1’de verilmiştir. Buna göre, 2014 sonu itibarıyla doğrudan jeotermal enerji kullanımında kurulu global güç kapasitesi, yılda %7,7 büyüyerek 2010 yılına göre %45 artmış ve 70.329 MW_t’e ulaşmıştır. Bu kapasite ile elde edilen enerji miktarı ise yıllık %6,8 büyüme ile 2010 yılına göre %38,7 artmış ve 587.786 TJ/yıl (163.287 GWh/yıl) olarak gerçekleşmiştir. Bu kullanımla birlikte dünya genelinde yıllık 350 milyon varil (52,5 milyon ton) eşdeğer petrol enerji tasarrufu sağlanmış ve atmosfere 46 milyon ton karbon ve 148 milyon ton CO₂ salımı engellenmiştir [5].

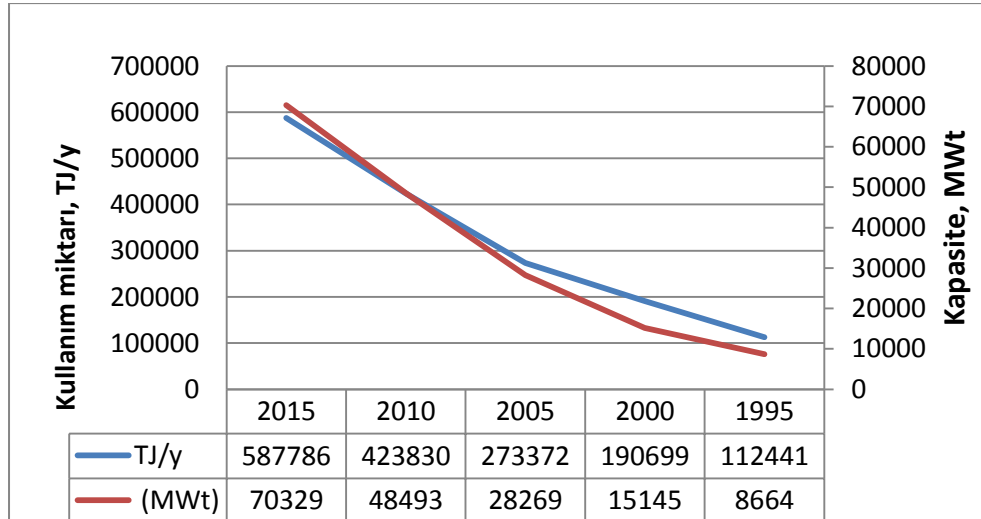
Dünya geneli için doğrudan jeotermal enerji kullanımında kapasite faktörü 0,265 olup (yılda 2321 tam yükte çalışma saatine eşdeğer), bu değer 2010 yılındaki 0,28, 2005’deki 0,31 ve 2000’deki 0,40 değerlerinin altındadır. Kapasite faktöründeki bu düşüş, 0,21 gibi düşük kapasite faktörüne sahip jeotermal kaynaklı ısı pompalarının dünya genelinde yaygınlaşmasından kaynaklanmaktadır. Doğrudan jeotermal enerji kurulu gücünün ve enerji kullanım miktarının son 20 yıl içerisindeki gelişimi Şekil 2.3’te verilmiştir [5].

Tablo 2.1: Yıllık kullanım miktarına göre ülkelerin doğrudan jeotermal enerji kullanım sıralaması, 2015.

Sıra No	Ülke	Kapasite, MW _t	Yıllık Kullanım, TJ/yr	Yıllık Kullanım, GWh/yıl	Kapasite Faktörü
1	Çin	17870	174352	48434,99	0,31
2	ABD	17415,91	75862,2	21074,52	0,14
3	İsveç	5600	51920	14423,38	0,29
4	Türkiye	2886,3	45126	12536	0,5
5	Almanya	2848,6	19531,3	5425,8	0,22
6	Fransa	2346,9	15867	4407,85	0,21
7	Japonya	2186,17	26130,08	7258,94	0,38
8	İzlanda	2040	26717	7422	0,42
9	İsviçre	1733,08	11836,8	3288,26	0,22
10	Finlandiya	1560	18000	5000,4	0,37
11	Kanada	1466,78	11615	3226,65	0,25
12	Norveç	1300	8260	2294,63	0,2
13	İtalya	1014	8682	2411,9	0,27
14	Hindistan	986	4302	1195,1	0,14
15	Macaristan	905,58	10268,06	2852,47	0,36
16	Avusturya	903,4	6538	1816,26	0,23
17	K. Kore	835,8	2682,65	745,24	0,1
18	Hollanda	790	6426	1785,14	0,26
19	Polonya	488,84	2742,6	761,89	0,18
20	Yeni Zelanda	487,45	8621	2394,91	0,56
21	Brezilya	360,1	6622,4	1839,7	0,58

Sıra No	Ülke	Kapasite, MW _t	Yıllık Kullanım, TJ/yr	Yıllık Kullanım, GWh/yıl	Kapasite Faktörü
22	Danimarka	353	3755	1043,14	0,34
23	Rusya	308,2	6143,5	1706,66	0,63
24	Çek Cumhuriyeti	304,5	1790	497,26	0,19
25	İngiltere	283,76	1906,5	529,63	0,21
26	İrlanda	265,54	1240,54	344,62	0,15
27	Romanya	245,13	1905,32	529,3	0,25
28	Yunanistan	221,88	1326,45	368,49	0,19
29	Belçika	206,08	864,4	24,01	0,13
30	Arjantin	163,6	1000,03	277,81	0,19
31	Meksika	155,82	4171	1158,7	0,85
32	Ürdün	153,3	1540	427,81	0,32
33	Slovenya	152,75	1137,23	315,93	0,24
34	Slovak Cumhuriyeti	149,4	2469,6	686,05	0,52
35	Tayland	128,51	1181,2	328,14	0,29
36	Sırbistan	115,64	1802,48	500,73	0,49
37	Litvanya	94,6	712,9	198,04	0,24
38	Bulgaristan	93,11	1224,42	340,14	0,42
39	İsrail	82,4	2193	609,22	0,84
40	İran	81,5	1103,12	306,45	0,43
41	Hırvatistan	79,94	684,49	190,15	0,27
42	Gürcistan	73,42	695,16	193,12	0,3
43	İspanya	64,13	344,85	95,8	0,17
44	Estonya	63	356	98,9	0,18
45	Cezayir	54,64	1699,65	472,25	0,99
46	Makedonya	48,68	601,11	166,99	0,39
47	Suudi Arabistan	44	152,89	42,47	0,11
48	Tunus	43,8	364	101,12	0,26
49	Portekiz	35,2	478,2	132,84	0,43
50	Vietnam	31,2	92,33	25,65	0,09
51	Bosna Hersek	23,92	252,33	70,1	0,33
52	Kenya	22,4	182,62	50,73	0,26
53	Moğolistan	20,16	340,46	94,58	0,54
54	Şili	19,91	186,12	51,7	0,3
55	Kolombiya	18	289,88	80,5	0,51
56	Arnavutluk	16,23	107,59	29,89	0,21
57	Avustralya	16,09	194,36	53,99	0,38
58	Ukrayna	10,9	118,8	33	0,35
59	Mısır	6,8	88	24,45	0,41
60	Ekvator	5,16	102,4	28,45	0,63
61	Fas	5	50	13,89	0,32
62	Belarus	4,73	113,53	31,54	0,76

Sıra No	Ülke	Kapasite, MW _t	Yıllık Kullanım, TJ/yr	Yıllık Kullanım, GWh/yıl	Kapasite Faktörü
63	El Salvador	3,36	56	15,56	0,53
64	Nepal	3,32	81,11	22,53	0,78
65	Filipinler	3,3	39,58	11	0,38
66	Peru	3	61	16,95	0,64
67	Tacikistan	2,93	55,4	15,39	0,6
68	Madagaskar	2,81	75,59	21	0,85
69	Guatemala	2,31	56,46	15,68	0,78
70	Endonezya	2,3	42,6	11,83	0,59
71	Güney Afrika	2,3	37	10,28	0,51
72	Etiyopya	2,2	41,6	11,56	0,6
73	Honduras	1,93	45	12,5	0,74
74	Letonya	1,63	31,81	8,84	0,62
75	Ermenistan	1,5	22,5	6,25	0,48
76	Kosta Rika	1	21	5,83	0,67
77	Grönland	1	21	5,83	0,67
78	Yemen	1	15	4,17	0,48
79	Venezüella	0,7	14	3,89	0,63
80	Pakistan	0,54	2,46	0,68	0,14
81	Karayip Adaları	0,1	2,78	0,77	0,85
82	Papua Yeni Gine	0,1	1	0,28	0,32
	Toplam	70328,98	587786,4	163287,1	0,27



Şekil 2.3: Kurulu doğrudan jeotermal enerji kapasitesi ve yıllık kullanım miktarındaki gelişim, 1995-2015.

Jeotermal enerjinin doğrudan kullanımı bakımından en büyük kapasiteye sahip ilk beş ülke, dünya kapasitesinin %65,8'ini elinde bulunduran Çin, ABD, İsveç, Türkiye ve Almanya'dır. Buna karşın yıllık doğrudan jeotermal enerji kullanım miktarı bakımından önde gelen ülkeler ise dünya toplamının %63,6'sını oluşturan Çin, ABD, İsveç, Türkiye ve Japonya'dır (Tablo 2.1). Ülkelerin yüzölçümleri ve nüfusları dikkate alınarak doğrudan jeotermal enerji kullanımı sıralaması yapıldığında, özellikle İskandinav ülkeleri gibi küçük ülkelerin bu alanda egemen oldukları görülmektedir. Buna göre MW/nüfus dikkate alındığında ilk beş ülke: İzlanda, İsveç, Finlandiya, Norveç ve İsviçre; kişi başına yıllık enerji kullanım miktarı bakımından (TJ/yıl/nüfus) ilk beş ülke: İzlanda, İsveç, Finlandiya, Yeni Zelanda ve Norveç'dir. İlk beş ülke, MW/yüzölçümü dikkate alındığında: İsviçre, İzlanda, Hollanda, İsveç ve Avusturya; yıllık enerji kullanım miktarı (TJ/yıl/yüz ölçümü) dikkate alındığında ise İsviçre, İzlanda, Hollanda, İsveç ve Macaristan şeklinde sıralanmaktadır. Bununla birlikte son beş yılda doğrudan jeotermal kapasitesini (MW_t) en çok arttıran ülkeler Tayland, Mısır, Hindistan, G. Kore ve Moğolistan; yıllık kullanım miktarını (TJ/yıl) en çok arttıran ülkeler ise Tayland, Mısır, Filipinler, Arnavutluk ve Beyaz Rusya olmuştur [5].

Tablo 2.2'de çeşitli doğrudan jeotermal enerji kullanım alanlarına ait kapasiteler, Tablo 2.3'te ise bu uygulamalardaki kullanım miktarları 1995, 2000, 2005, 2010 ve 2015 yılları için verilmiştir [5].

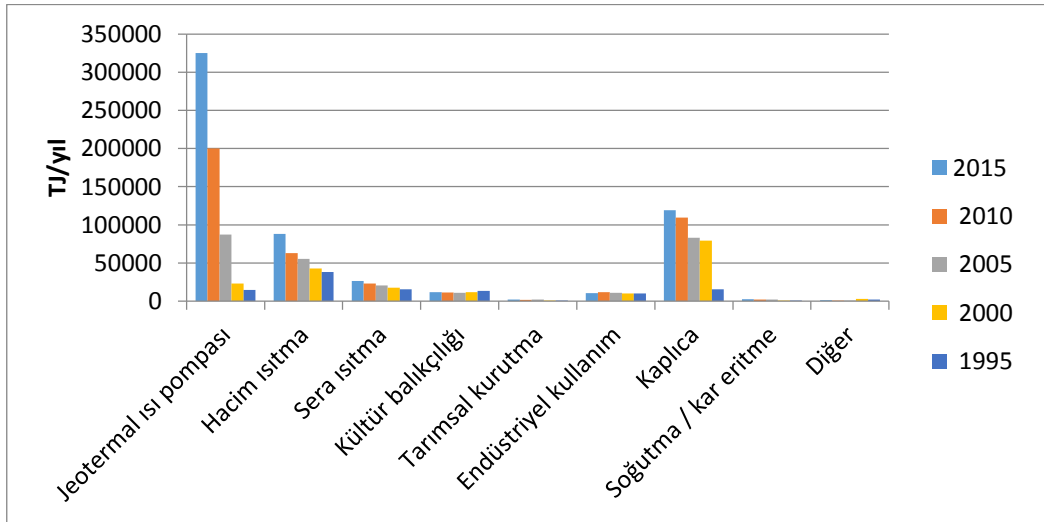
Tablo 2.2: Dünya geneli için kurulu kapasitelerine göre çeşitli doğrudan jeotermal kullanım alanları, 1995-2015.

Kapasite, MW _t	2015	2010	2005	2000	1995
Jeotermal ısı pompası	49898	33134	15384	5275	1854
Hacim ısıtma	7556	5394	4366	3263	2579
Sera ısıtma	1830	1544	1404	1246	1085
Kültür balıkçılığı	695	653	616	605	1097
Tarımsal kurutma	161	125	157	74	67
Endüstriyel kullanım	610	533	484	474	544
Kaplıca	9140	6700	5401	3957	1085
Soğutma / kar eritme	360	368	371	114	115
Diğer	79	42	86	137	238
Toplam	70329	48493	28269	15145	8664

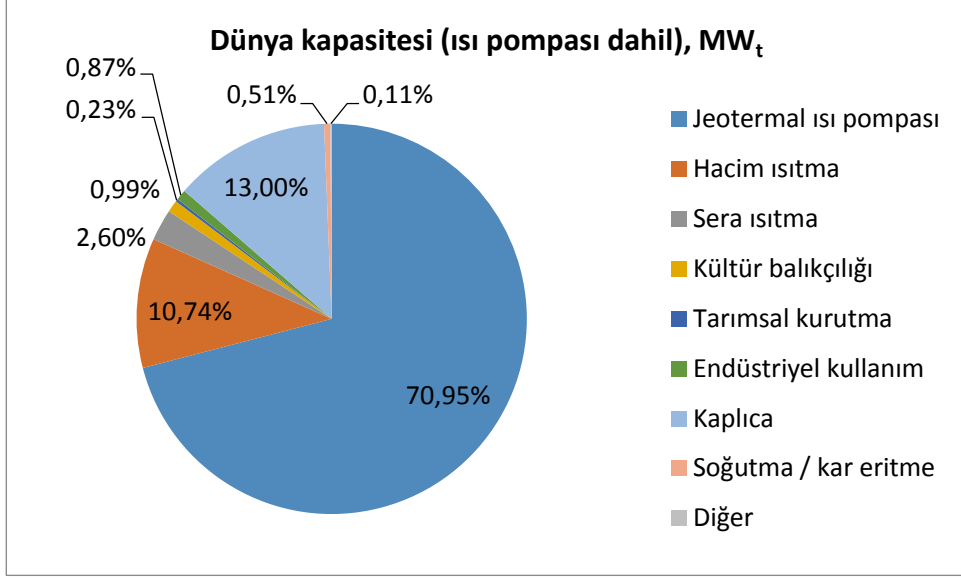
Tablo 2.3: Dünya geneli için yıllık kullanım miktarına göre çeşitli jeotermal doğrudan kullanım alanları, 1995-2015.

Kullanım, TJ/yıl	2015	2010	2005	2000	1995
Jeotermal ısı pompası	325028	200149	87503	23275	14617
Hacim ısıtma	88222	63025	55256	42926	38230
Sera ısıtma	26662	23264	20661	17864	15742
Kültür balıkçılığı	11958	11521	10976	11733	13493
Tarımsal kurutma	2030	1635	2013	1038	1124
Endüstriyel kullanım	10453	11745	10868	10220	10120
Kaplıca	119381	109410	83018	79546	15742
Soğutma / kar eritme	2600	2126	2032	1063	1124
Diğer	1452	955	1045	3034	2249
Toplam	587786	423830	273372	190699	112441

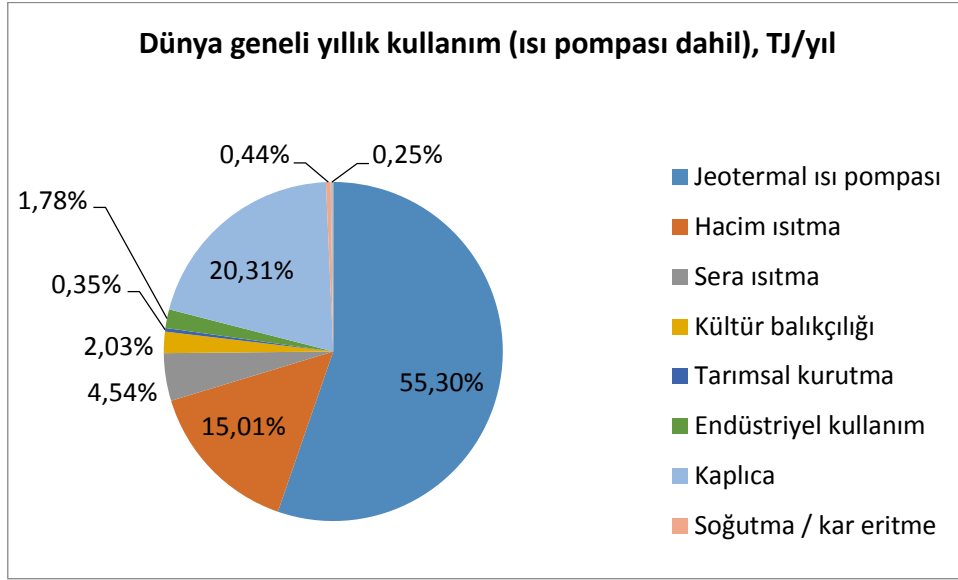
Tablo 2.3'teki veriler aynı zamanda Şekil 2.4'te sütun grafiği şeklinde sunulmuştur. Bununla birlikte doğrudan jeotermal enerji uygulama türlerine ait yüzdesel dağılımlar 2015 yılı için Şekil 2.5-2.8'de pasta grafiği şeklinde verilmiştir. Buna göre 2015 yılında elde edilen jeotermal enerjinin yaklaşık %55,3'ü jeotermal ısı pompası, %20,3 kaplıca (balneolojik kullanım dahil), %15'i hacim ısıtma (%89'u bölgesel ısıtma olmak üzere), %4,5'i sera ısıtma, %2'si su ürünleri yetiştirme, %1,8'i endüstriyel proses ısısı, %0,4'ü kar eritme, %0,4'ü tarımsal kurutma ve %0,3'ü diğer uygulama alanlarında kullanılmıştır (Şekil 2.6) [5].



Şekil 2.4: Dünya genelinde doğrudan jeotermal enerji kullanım miktarlarının 1995-2015 yılları arasındaki değişimi.

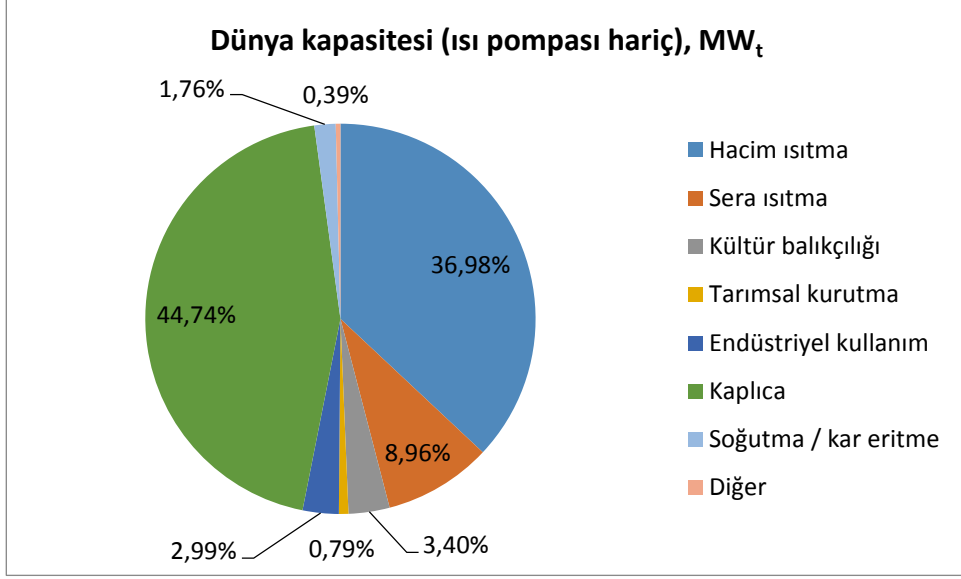


Şekil 2.5: Çeşitli doğrudan jeotermal uygulama türlerine ait kapasitelerin 2015 yılı için yüzdesel dağılımı.

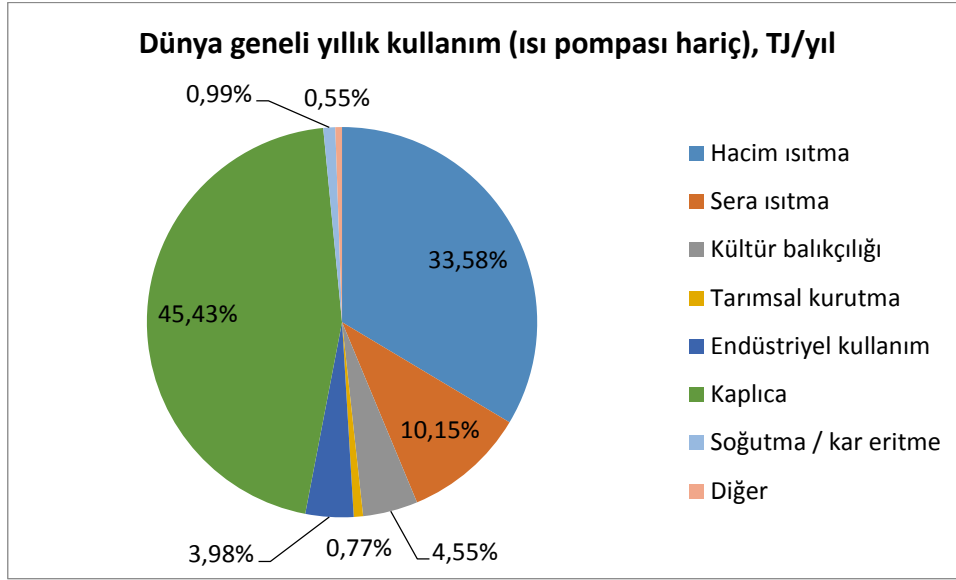


Şekil 2.6: Çeşitli doğrudan jeotermal uygulama türlerine ait yıllık kullanım miktarlarının 2015 yılı için yüzdesel dağılımı.

Jeotermal ısı pompalarının dahil edilmediği doğrudan kullanım dağılımına göre, 2015 yılında elde edilen jeotermal enerjinin yaklaşık %45,43'ü kaplıca (balneolojik kullanım dahil), %33,58'i hacim ısıtma, %10,15'i sera ısıtma, %4,55'i su ürünleri yetiştirme, %3,98'i endüstriyel proses ısısı, %0,99'u kar eritme, %0,77'si tarımsal kurutma ve %0,55'i diğer uygulama alanlarında kullanılmıştır (Şekil 2.8) [5].



Şekil 2.7: Isı pompası dışındaki çeşitli doğrudan jeotermal uygulama türlerine ait kapasitelerin 2015 yılı için yüzdesel dağılımı.



Şekil 2.8: Isı pompası dışındaki çeşitli doğrudan jeotermal uygulama türlerine ait yıllık kullanım miktarlarının 2015 yılı için yüzdesel dağılımı.

Hacim ısıtma uygulamalarında kurulu kapasite ve yıllık enerji kullanımı 2010 yılına göre %40 oranında artmıştır. 2015 yılı itibarıyla hacim ısıtma alanında kurulu kapasite 7556 MW'a, yıllık enerji kullanımı ise 88.222 TJ'ye ulaşmıştır (Tablo 2.2, 2.3). Şekil 2.5-2.8'deki grafiklerde hacim ısıtma uygulamalarında bireysel ve bölgesel ısıtma ayrımı yapılmamış olmasına rağmen, bu uygulama türünde bölgesel ısıtmanın payının kurulu kapasite bakımından %88, yıllık kullanım miktarı bakımından ise %89 olduğu tahmin edilmektedir. Jeotermal bölgesel ısıtma

sistemlerinde yıllık enerji kullanım miktarı bakımından lider ülkeler Çin, İzlanda, Türkiye, Fransa ve Almanya iken; jeotermal enerjiyi bireysel ısıtma alanında en çok kullanan ülkeler Türkiye, ABD, İtalya, Slovakya ve Rusya'dır [5].

Alp – Himalaya Tektonik Kuşağı üzerinde bulunan Türkiye, jeolojik özellikleri ve meteorolojik koşulların etkisiyle jeotermal enerji yönünden oldukça zengin bir ülkedir. Ülkemizde ilk jeotermal enerji aramaları MTA Genel Müdürlüğü tarafından 1962 yılında İzmir Balçova'da başlatılmıştır. O yıldan günümüze kadar 250'nin üzerinde jeotermal saha keşfedilmiş olup bu sahaların %95'i doğrudan kullanıma uygun olan düşük ve orta entalpili sahalardır. Türkiye'nin jeotermal enerji potansiyeli 31.500 MW_t olarak tahmin edilmektedir. Bu potansiyel, ülkemizde bulunan konutların %30'unu ısıtabilecek büyüklüktedir [6].

Jeotermal enerji potansiyeli bakımından dünyadaki en zengin ülkelerden biri olan Türkiye'de, son beş yıl içerisinde (2010-2015) gerek jeotermal elektrik üretiminde gerekse doğrudan jeotermal enerji kullanımında (bölgesel ısıtma, sera ısıtma ve termal turizm) önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Yürürlüğe giren jeotermal enerji kanunu ve ilgili yönetmelikler Türkiye'deki jeotermal aktivitelerin ivmelenmesine büyük katkı sağlamıştır. Özellikle elektrik üretiminde tarife garantisi uygulamasının getirilmesi ve MTA'nın faaliyetleri sektörün önemli ölçüde gelişmesine neden olmuştur [7].

Tarihsel gelişim içinde birçok kaynakta ülkemizin teorik jeotermal enerji potansiyeli 31.500 MW_t olarak ön görülmesine rağmen, günümüzde bu değer 60.000 MW_t olduğu tahmin edilmektedir [8]. Monte-Carlo simülasyonuna dayanan güncel bir çalışmada Türkiye'deki 55 potansiyel saha değerlendirilmiş ve 15°C referans sıcaklığına göre 23.566 MW_t'lık geri kazanılabilir termal güç varlığı tespit edilmiştir [9]. İncelenen 55 sahadan 100 °C üzerinde sıcaklığa sahip 17'sinin elektrik üretimi için uygun olduğu göz önüne alınmış ve Monte-Carlo simülasyon sonuçları 710 MW_e'lık kullanıma hazır elektrik üretim potansiyelinin var olduğunu göstermiştir. Ülkemizde rezervuar sıcaklığı 120°C'nin üzerinde olan jeotermal sahalara aşağıda belirtilmiştir:

1. Denizli-Kızıldere Sahası (242°C)
2. Aydın - Germencik -Ömerbeyli Sahası (232°C)
3. Manisa –Salihli-Göbekli Sahası (182°C)
4. Çanakkale- Tuzla Sahası (175°C)

5. Aydın-Salavatlı Sahası (171°C)
6. Kütahya-Simav Sahası (162°C)
7. Manisa- Salihli-Caferbey Sahası (150°C)
8. İzmir- Seferihisar Sahası (153°C)
9. İzmir-Balçova Sahası (142°C)
10. Aydın-Yılmazköy Sahası (142°C)
11. Aydın-Sultanhisar (145°C)
12. Aydın Atça (125°C)
13. Manisa-Kavaklıdere (213°C)
14. Aydın-Pamukören (187°C)
15. Aydın Umurlu (155°C)
16. Aydın-Hıdırbeyli (143°C)
17. Nazilli-Bozyurt-Güzelköy (140°C)

Ülkemizde elektrik üretimi için kullanılan ilk saha Kızıldere jeotermal sahası olup 1974 yılında burada kurulan 0,5 MW_e kapasiteli pilot santral ile bitişik nizam üç villa için elektrik sağlanmıştır. Kızıldere’de ilk ticari ölçekli elektrik üretimine ise 1984 yılında 15 MW_e’lik kurulu kapasite ile başlanmıştır. Kızıldere santrali 2006 yılına kadar 22 yıl boyunca ülkemizdeki tek jeotermal elektrik santrali olarak hizmet vermiş, bu yıldan sonra hemen hemen her yıl yeni bir santral eklenmiştir [6].

Aralık-2014 itibariyle ülkemizde bulunan 9 jeotermal sahada yer alan 17 jeotermal elektrik santralinin kurulu gücü 400 MW_e’e ulaşmıştır (Tablo 2.4, 2.5). Bu santraller Denizli-Kızıldere (Zorlu, 95,0 MW_e), Aydın-Salavatlı (Menderes, 34,45 MW_e), Aydın-Germencik-1 (Gürmat, 47,4 MW_e), Çanakkale-Tuzla (Enda, 7,5 MW_e), Aydın-Hıdırbeyli (Maren, 92 MW_e), Aydın-Pamukören (Çelikler, 45 MW_e), Denizli-Kızıldere (Bereket, 6,85 MW_e), Manisa-Alaşehir (Türkerler, 24 MW_e), Aydın-Germencik-2 (Gürmat, 22,5 MW_e), Aydın-Gümüşküy (BM, 6,6 MW_e), Denizli-Gerali (Değirmenci, 2,52 MW_e)’de yer almaktadır. Bununla birlikte 2014 Aralık itibariyle yapım aşamasında olan jeotermal elektrik santrallerinin toplam kurulu gücü 165 MW_e’dir. 2020 yılı itibariyle ülkemizin toplam jeotermal elektrik kurulu gücünün 1077,3 MW_e’e ulaşacağı tahmin edilmektedir [7].

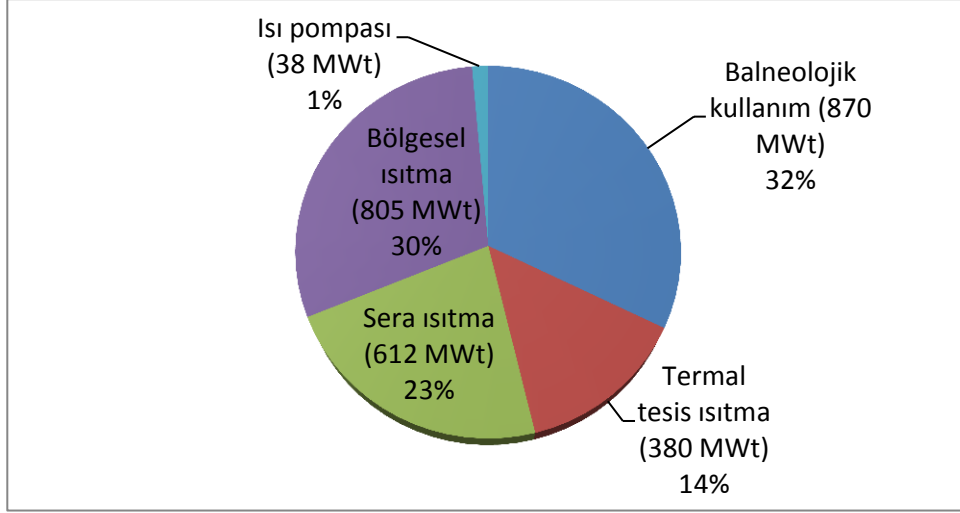
Tablo 2.4: Türkiye’de jeotermal enerjinin 31 Aralık 2014 itibariyle elektrik üretiminde kullanımı.

Yer	Santral adı	Yıl	Ünite sayısı	Ünite türü*	Toplam kurulu kapasite, MW _e	Yıllık enerji üretimi, GWh/yıl	Yapım veya planlama aşamasında olan kapasite, MW _e
Denizli	Kızıldere	1984/2003	2	1F, 2F, B	95	700	
Aydın	Dora 1,2,3	2006/2013	3	B	50,86	546	37
Aydın	Germencik	2009	1	2F	47,4	400	47,4
Çanakkale	Tuzla	2010	1	B	7,5	60	7,5
Aydın	Hıdırbeyli	2011/2013	3	B	92	677	96
Aydın	Pamukören	2013	1	B	45	360	
Denizli	Kızıldere	2007	1	B	6,85	10,3	
Manisa	Alaşehir	2014	1	B	24	250	
Aydın	Gümüşköy	2014	1	B	6,6	40	6,6
Denizli	Gerali	2014	1	B	2,52	17	
Aydın	Germencik	2014	1	B	22,5	187	25,3
*1F: Tek buhar, 2F: Çift buhar, B: Binary (Rankine Çevrimi)				Toplam	400,23	3247,3	219,8

Tablo 2.5: Türkiye’deki mevcut ve planlanan jeotermal elektrik üretimi.

	Kapasite, MW _e	Brüt üretim miktarı, GWh/yıl
Aralık-2014 itibariyle işletmede olan	400	2660
Aralık-2014 itibariyle yapım aşamasında olan	165	1100
2020 yılına kadar planlanan toplam kapasite	1077,3	7172

Ülkemizde jeotermal enerji alanında meydana gelen en büyük gelişme doğrudan kullanım alanında gerçekleşmiştir. Bugüne kadar açılan kuyular (4209 MW_t) ve doğal çıkışlarla (600 MW_t) birlikte kullanıma hazır hale getirilen toplam kapasite 4809 MW_t'tir. Günümüz itibariyle bu kapasitenin, 805 MW_t'i konut ısıtma, 612 MW_t'i sera ısıtma, 380 MW_t'i termal tesis ısıtma, 870 MW_t'i balneolojik kullanım ve 38 MW_t'i ısı pompası alanında olmak üzere %58'inden (2705 MW_t) yararlanılmaktadır (Şekil 2.9) [6].



Şekil 2.9: Türkiye doğrudan jeotermal uygulama türlerinin toplam kapasite yüzdesi cinsinden dağılımı.

Hacim ısıtma, jeotermal enerjinin ülkemizdeki en yaygın kullanım şeklidir. Üç farklı hacim ısıtma uygulaması arasında en büyük paya sahip olan uygulama 805 MW'lık ısıtma kapasitesi ile jeotermal bölgesel ısıtma uygulamasıdır. Ülkemizde büyük bölümü batı ve orta Anadolu'da yer alan 16 ilde jeotermal enerjiden konut ısıtma alanında yararlanılmaktadır. İlk jeotermal bölgesel ısıtma sistemi uygulaması ülkemizde 1987 yılında Gönen'de başlamıştır. Ülkemizde bulunan önemli JBIS'ler Tablo 2.6'da sunulmuştur. Mevcut JBIS kapasitesinin yarıya yakın bölümü İzmir-Balçova'dadır [6].

Tablo 2.6: Türkiye'deki önemli JBIS'ler.

İlçe, il	Yıl	Mevcut kapasite (KE)*
Gönen, Balıkesir	1987	3400
Simav, Kütahya	1991	7500
Kırşehir, Kırşehir	1994	1900
Kızılcahamam, Ankara	1995	2500
Balçova, İzmir	1996	35000
Afyon, Afyon	1996	8000
Kozaklı, Nevşehir	1996	3000
Sandıklı, Afyon	1998	6000
Diyadin, Ağrı	1999	570
Salihli, Manisa	2002	7292
Sarayköy, Denizli	2002	2200

Edremit, Balıkesir	2003	4881
Bigadiç, Balıkesir	2005	1500
Sorgun, Yozgat	2008	750
Bergama, İzmir	2008	450
Dikili, İzmir	2008	1160
Toplam		86853**

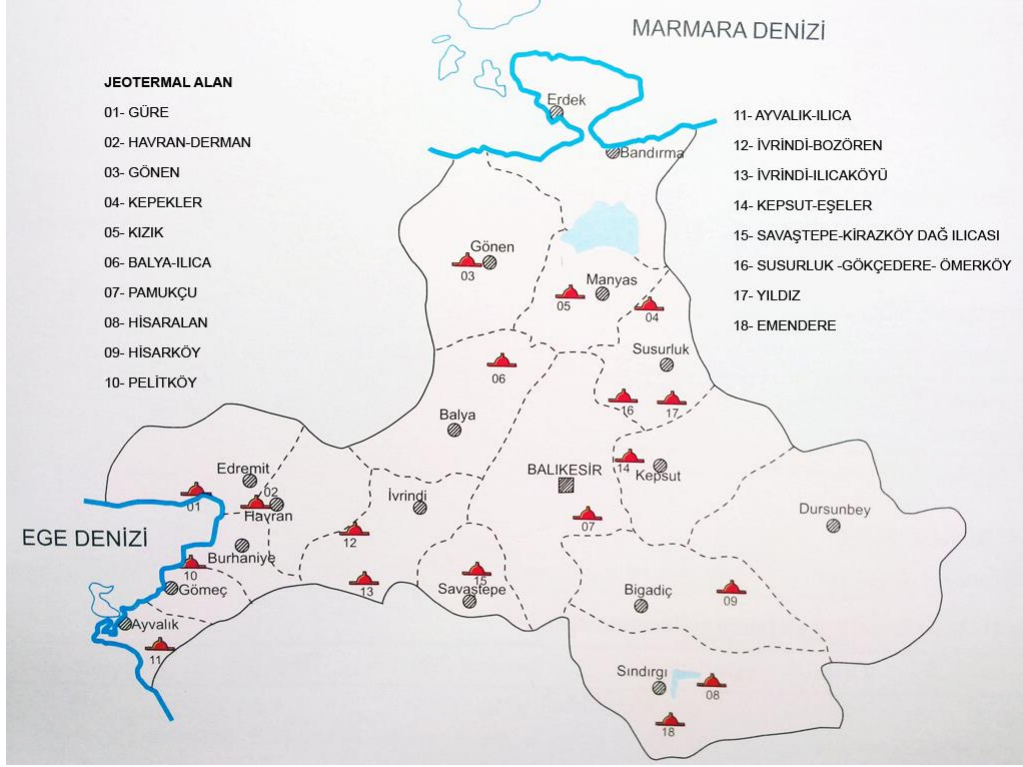
*KE: Konut eşdeğer, 1KE: 100 m² ısıtılan alan.

** Listeye çeşitli sebeplerle işletmede olmayan 2590 KE kapasitesindeki bazı diğer JBIS'ler dahil edilmemiştir.

Sera ısıtmacılığı ülkemizde JBIS'lerden sonra en büyük ısıtma uygulamasıdır. İlk jeotermal sera uygulaması 1973 yılında UNDP kapsamında 2000 m²'lik bir alanla Denizli-Kızıldere'de başlamıştır [6]. Günümüzde jeotermal sera uygulamaları 2002 yılına göre 2014 Eylül ayı itibarıyla %526 artış ile 3130 dönüme ulaşmış olup, bu alanlar yaygın olarak batı Anadolu'da bulunan altı ilimizde toplanmıştır [2].

2.2 Balıkesir'de Jeotermal Enerji Kullanımı

Balıkesir ili jeotermal alanlar bakımından oldukça zengindir (Şekil 2.10). Türkiye'de jeotermal enerji potansiyeli en yüksek il sıralamasında Balıkesir dördüncü sıradadır. Kaynakların sıcaklıkları 25-98°C arasında değişmektedir. Balıkesir-Pamukçu, Balya-Dağ Ilıcısı, Bigadiç-Hisarköy, Sındırgı-Hisaralan, Edremit-Derman, Güre, Manyas-Serpin, Kepekler, Gönen ve Susurluk-Yıldız Köy yörelerinde jeotermal enerji açısından çok önemli sıcak su kaynakları bulunmaktadır (Tablo 2.7) [10, 11].



Şekil 2.10: Balıkesir ili jeotermal alanları.

Tablo 2.7: Balıkesir’de bulunan önemli jeotermal alanlar ve kullanım özellikleri.

JEOTERMAL ALAN ADI	SICAK SU DOĞAL ÇIKIŞ ADI	DOĞAL ÇIKIŞ			SONDAJ			KULLANIM ALANI	KURULU TESİS	REF. ³
		Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)	Potansiyel (MW _t)	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)	Potansiyel (MW _t)			
GÜRE-HAVRAN	Güre	48-58	1,45		33-55	21	5,35	Kaplıcada, kaplıca tesisi ve sera ısıtılmasında	Kaplıca	** ** **
	Derman	57-59	0,5		47-65	159	15,1	Kaplıcada, kaplıca tesisi, sera ve Havran ilçesinin ısıtılmasında	Kaplıca, sera ısıtılmasında	** ** **
GÖNEN	Gönen	34-78	23		71-84	128,7	25	Kaplıcada, kaplıca tesisi, şehir ve sera ısıtılmasında, tabakhaneler proses sıcak suyu kullanımında	Kaplıca, kaplıca tesisi ve şehir ısıtması, endüstriyel kullanım ve sera ısıtılmasında	** ** **
KEPEKLER-KIZIK	Kepekler	31-62	17		64	15	1,82	Kaplıcada, kaplıca tesisi ve sera ısıtılmasında	Kaplıca	** ** **
	Kızık	49	-	-	-	-	-			** **
	Ömerköy	31	1	-	-	-	-			** **
	Susurluk-Yıldız	56-75	65	-	-	-	-			** **
BALYA-ILICA (ŞAMLI)		51-60	2,7		59,2	27	2,74	Kaplıcada, kaplıca tesisi ısıtılmasında	Kaplıca	** ** **
PAMUKÇU	Pamukçu	26-58	2,18		53-58,5	35	4	Kaplıca, kaplıca tesisi, sera ve konut ısıtılmasında	Kaplıca	** ** **
HİSARALAN	Hisaralan	27-98,5	177					Kaplıcada, kaplıca tesisi, Sındırgı ilçesi ve sera ısıtılmasında	Kaplıca ve sera ısıtılması	** ** **
HİSARKÖY	Hisarköy	25-94	10		38-98	103	31,84	Kaplıcada, kaplıca tesisi, Bigadiç ilçesi ve sera ısıtılmasında	Kaplıca ve kaplıca tesisi ısıtılması	** ** **
BURHANİYE					35	5				
PELİTKÖY		26-31	1,5							**
AYVALIK	Ilıca	31-34	0,56							**
İVRİNDİ	Bozören	27	1							**
	Ilıca-Gümeli	28,8-39,3	4,3							**
KEPSUT	Eşeler	26-28	1,5							**
SAVAŞTEPE	Kirazköy	31-40	13,5							**
EMENDERE		33	10							**

³ * MTA, 1996. Türkiye Jeotermal Envanteri ** MTA, 2005. Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri *** DPT, 2001. 8. Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, Enerji Hammaddeleri Alt Komisyonu Jeotermal Enerji Çalışma Grubu raporu, Not: Sondajlardaki potansiyel değerleri, kuyuların ilk üretim debilerinin toplamına göre hesaplanmıştır.

2.2.1 Merkez-Pamukçu Jeotermal Alanı

Balıkesir yerleşim merkezinin 15 km güneyinde, Pamukçu yerleşim merkezinin ise 2 km kadar doğusunda yer almaktadır. Pamukçu kaynakları 2 grupta toplanmıştır (Tablo 2.8) [10].

Tablo 2.8: Pamukçu Jeotermal Alanındaki kaynaklar.

Kaynak Adı	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)
1. Grup Kaynaklar	45 - 58	2,18*
2. Grup Kaynaklar	26 - 37	

* Her iki kaynak grubunun toplam debisi.

Alanda yapılan jeolojik ve jeofizik etütleri sonucu belirlenen lokasyonlarda yapılan sondaj çalışmaları Tablo 2.9'da verilmiştir [12].

Tablo 2.9: Pamukçu Jeotermal Alanında açılan kuyular.

Kuyu No	Tarih	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)	Pafta No (1/25000)	Koordinatlar			Açıklama
						X(yuk.)	Y(sağa)	Z(m)	
P-1	1989	193,40	53	7	İ19-c3	78819	73860	110	İl Özel İd.
P-2	1989	50,00	58	18	İ19-c3	78760	73760	110	İl Özel İd.
P-3	2001	500	58,5	10	İ19-c3	78964	73573	110	Pamukçu B.
ÖK-1	1998	30	59	6	İ19-c3	78764	73841	110	Pamukçu B.
ÖK-2	1999	30	-	-	İ19-c3	78762	73846	110	Pamukçu B.
ÖK-3	1999	70	56	6	İ19-c3	78760	73822	110	Pamukçu B.

Pompaj ile kaptajdan alınan sıcak sular depolanarak kaplıca amaçlı olarak kullanılmaktadır. Sahada 28 adet lojman ve iç ve dış turizme hitap eden beş yıldızlı otel Nisan 2005 yılında hizmete girmiştir.

2.2.2 Balya-Ilıca (Şamlı) Jeotermal Alanı

Dağ ılıcası olarak da anılan Şamlı kaynaklarına ait debi ve sıcaklık değerleri Tablo 2.10'da verilmiştir [12].

Tablo 2.10: Balya-Ilıca (Şamlı) Jeotermal Alanındaki kaynaklar.

Kaynak Adı	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)	Pafta No (1/25000)	Koordinatlar		
				X(yuk.)	Y(sağa)	Z(m)
Havuz	60	1,5	İ19-b1	66003	14454	125
Kum banyoları	58	5	İ19-b1	66069	14472	125
Çamaşırhane kaynakları	58	2	İ19-b1	65959	14382	125
Çamaşır yıkama yeri	61	0,2	İ19-b1	65968	14360	125

Sahada 2002 yılında başlatılan jeotermal proje kapsamında yürütülen jeolojik, jeotermal, jeofizik çalışmalardan sonra 2005 yılında MTA Genel Müdürlüğü tarafından bir kuyu açılmıştır (Tablo 2.11) [12].

Tablo 2.11: Balya-Ilıca (Şamlı) Jeotermal Alanında açılan kuyular.

Kuyu No	Tarih	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)	Pafta No (1/25000)	Koordinatlar		
						X (yuk.)	Y(sağa)	Z(m)
B-1	2005	675	50	27	İ19-b1	66229	14132	168

Sıcak suların kaplıca ve tesis ısıtımında yararlanılmaktadır. Sahada 72 odalı motel bulunmaktadır. Çevre köylerin çamaşır yıkama ihtiyacı da karşılanmaktadır.

2.2.3 Bigadiç-Hisarköy Jeotermal Alanı

Alanda 16 adet kaynak bulunmaktadır. Kaynaklar sızıntı halinde alüvyondan çıkmaktadır (Tablo 2.12) [10].

Tablo 2.12: Bigadiç-Hisarköy Jeotermal Alanındaki Kaynaklar.

Kaynak Adı	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)	Pafta No (1/25000)	Koordinatlar		
				X(yuk.)	Y(sağa)	Z(m)
Hisarköy*	25-94	10**	J20-b1	-	-	-

* 16 adet kaynak kurumuştur.

** 16 adet kaynağın toplam debisi.

Bölgede yapılan jeolojik etüt sonucu belirlenen lokasyonlarda 2000-2001 yılları arasında sondajlı çalışmalar yapılmıştır (Tablo 2.13). 2002-2007 yılları arasında yapılan sondaj çalışmaları ile 4 kuyu daha açılmıştır (Tablo 2.14) [12].

Tablo 2.13: Bigadiç-Hisarköy Jeotermal Alanında 2000-2001 yılları arasında açılan kuyular.

Kuyu No	Tarih	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)	Koordinatlar			Açıklama
					X(yuk.)	Y(sağa)	Z(m)	
BH-1	2000	264	38	0,2	10672	65377	345	Bigadiç Bel.
HK-2	2000	429	98	60	10658	65421	347	Bigadiç Bel.
HK-3	2001	350	98	40	10644	65318	342	Bigadiç Bel.
HK-4	2001	750	57	3	10636	65623	366	Bigadiç Bel.

Tablo 2.14: Bigadiç-Hisarköy Jeotermal Alanında 2002-2007 yılları arasında açılan kuyular.

Kuyu No	Tarih	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)	Koordinatlar			Açıklama
					X (yuk.)	Y (sağa)	Z (m)	
HK-5*	2002	590	52	2	-	-	-	Bigadiç Bel.
HK-6*	2006	624	70	20	-	-	-	Bigadiç Bel.
HK-7*	2007	397	-	-	-	-	-	Bigadiç Bel.
HK-8*	2007	630	93	32	-	-	-	Bigadiç Bel.

* Kuyu bilgileri ilgililerden alınmıştır.

Bununla birlikte 2008 yılında MTA tarafından Bigadiç-İlyaslar Köyü yakınlarında 1 adet ve 2010 yılında Hisarköy'e 4 km uzaklıkta bulunan Adalı Köyü civarında 1 adet olmak üzere 2 jeotermal sondaj daha yapılmıştır. Sondaj sonucu açılan kuyulara ait özellikler Tablo 2.15'de verilmiştir.

Tablo 2.15: Bigadiç-Adalı ve Bigadiç-İlyaslar Köyü sondaj sonuçları.

Kuyu No	Tarih	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)	Pafta No (1/25000)	Açıklama
BGD-1*	2008	1574	50	10	J20-b1	İlyaslar K.
BGD-2*	2010	650	70	7	J20-b1	Adalı K.

* Kuyu bilgileri MTA Kuzeybatı Anadolu Bölge Müdürlüğü'nden alınmıştır.

2004 yılında faaliyete geçen 3000 konutluk Bigadiç Jeotermal Bölgesel Isıtma Sistemi (JBIS) ile Hisarköy Jeotermal Alanında üretilen enerjiden konut ısıtmada yararlanılmaktadır. Jeotermal suların ayrıca kaplıca amaçlı olarak ve termal tesis ısıtmasında yararlanılmaktadır. Hisarköy'de Bigadiç Belediyesi Hisarköy Termal Tesisleri bulunmakta olup ayrıca Bigadiç ilçe merkezinde birbirine simetrik

232'şer daireden oluşan ve 2 ayrı tesis olarak planlanmış olan termal devre mülklerin 1. Etabı 2007 yılında hizmete girmiştir.

2.2.4 Sıdırgı-Hisaralan Jeotermal Alanı

Yörede çok sayıda sıcak su kaynağı bulunmakta olup, bu kaynakların sıcaklık ve debi değerleri oldukça büyüktür (Tablo 2.16) [10]. Sahada TPAO tarafından 1989 yılında bir kuyu açılmıştır (Tablo 2.17) [12].

Tablo 2.16: Sıdırgı-Hisaralan Jeotermal Alanındaki kaynaklar.

Kaynak Adı	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)	Pafta No (1/25000)	Koordinatlar		
				X(yuk.)	Y(sağa)	Z(m)
Hisaralan	46-98,5	176*	J20-b4	13821	34781	430
Kepez	68-86	-	J20-b4	14811	47575	435
M. Esenöz Değirmeni	56	-	J20-b4	13381	47183	280
Çatak	27	0,6	-	-	-	-

* 130 adet sıcak su kaynağının toplam debisi.

Tablo 2.17: Sıdırgı-Hisaralan Jeotermal Alanında açılan kuyular.

Kuyu No	Tarih	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)	Koordinatlar		
					X(yuk.)	Y(sağa)	Z(m)
TPAO	1989	881	107	32,5	13893	48013	445

Bölgede küçük çaplı seracılık yapılmakta olup sıcak su kaynakları çevresindeki tesisler son derece yetersizdir. Bununla birlikte Haziran 2012'de, 50.000 m² açık alan 12.500 m² kapalı alanda 58 adet standart oda 24 adet villa süit oda, 8 adet süit oda ve 2 adet engelli odası olmak üzere toplam 92 oda ve 250 yatak kapasiteli bir termal otel bölgede faaliyete geçmiştir. Ayrıca Hisaralan mevkiinde bulunan kuyu ile sahadaki doğal boşalımın kullanılarak 16 km uzaklıkta bulunan Sıdırgı ilçesi için 3000 konutluk ısıtma gerçekleştirilmesi planlanan Sıdırgı Jeotermal Bölgesel Isıtma Sistemi (JBIS) projelendirilmiş olup, isale hattının yapımına başlanmıştır.

2.2.5 Havran-Derman Jeotermal Alanı

Kaplıca bölgesi Edremit-Burhaniye, Edremit-Balıkesir yol kavşağındadır. Derman jeotermal alanında çıkan kaynaklara ait veriler Tablo 2.18’de verilmiştir [10]. Sahada MTA ve birçok özel şahıs tarafından açılmış ve sağlıklı bilgilere ulaşılamayan kuyular bulunmaktadır (Tablo 2.19) [12]. Sahada 2007-2010 yılları arasında açılan kuyulara ilişkin özellikler Edremit Jeotermal Bölgesel Isıtma Sistemi yetkililerinden alınmış ve Tablo 2.20’de verilmiştir.

Bölgede 2003 yılında Edremit ilçe merkezinin ısıtılması amacıyla Edremit JBIS faaliyete geçmiş olup, proje 3 kademe olarak ve toplam 7.500 konut kapasiteye cevap verecek şekilde dizayn edilmiştir.

Tablo 2.18: Havran-Derman Jeotermal Alanındaki Kaynaklar.

Kaynak Adı	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)
Derman	57	*
Bostancı köyü kaynakları	40	Ölçülemedi.
Ilıca Çeşmesi	25	-

* Kaynak kurumuştur.

Tablo 2.19: Havran-Derman Jeotermal Alanında Açılan Kuyular.

Kuyu No	Tarih	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)	Koordinatlar			Açıklama
					X (yuk.)	Y (sağa)	Z (m)	
A 10-1	1965	220	50	18,4	-	-	-	MTA Pr.
A 10-2	1965	114	50	24,5	-	-	-	MTA Pr.
D-1	1978	86	65	21	-	-	-	Ücretli
ED-1	2000	189,5	60	75	03642	80395	25	Ücretli
ED-2	2001	496,5	47	2	04014	80293	27	Edremit B.
ED-3	2001	495	59	18	03710	80335	24	Edremit B.
İB-1	2005	-	-	-	03641	80255	22	Edremit B.
İB-2	2005	-	-	-	03470	80137	20	Edremit B.
İB-3	2005	-	-	-	03978	80399	27	Edremit B.
IB-3	2005	-	-	-	04060	80275	29	Edremit B.
KAP. k.	-	70	56,7	5	03739	80209	25	Havran-Ç.
AT-1	-	64	42	-	03133	79639	18	Altın tohum
AT-2	-	64	44	-	03149	79636	19	Altın tohum
AT-3	-	64	43	-	03089	79625	15	Altın tohum
AT-4	-	64	42	-	03002	79654	15	Altın tohum
AT-5	-	64	44	-	03067	79721	16	Altın tohum
HK-1	-	-	46	0,3	03916	80092	25	Hanife K.
AP-1	-	-	30,1	-	03519	80844	22	Adsan Pet.
MO-1	-	18	50,7	-	03917	80389	21	Mustafa O.
AR-1	-	21	37,6	-	03538	80634	25	Akkaş Ren.
TB	-	-	36,7	-	03713	80600	26	Akkaş Ren.

MÖ	-	52	47,8	-	03609	80405	24	Mehmet Ö.
PK	-	33	31	-	03694	80469	25	Pakpen
AD	-	-	37,5	5	02873	79142	20	Adramis O.
ET-1	-	-	55	5	03755	80174	23	Entur Ter.
ET-2	-	-	57	5	03752	80178	23	Entur. Ter.
ET-3	-	-	56	5	03736	80173	23	Entur Ter.
Total	-	-	36,7	-	03713	80600	26	Özel şahıs
Total yanı	-	-	-	-	03694	80576	24	Özel şahıs

Tablo 2.20: Havran-Derman Jeotermal Alanında 2005-2010 Yılları Arasında Açılan Kuyular*.

Kuyu Adı	Açıldığı Yıl	Derinlik (m)	Debi (l/s)	Sıcaklık (°C)	Açan Kurum
EDJ – 2	2007	290	72	55	İller Bankası
EDJ – 3	2005	266	72	59	İller Bankası
EDJ – 4	2005	296	86	49	İller Bankası
EDJ – 5	2006	216	45	59	İller Bankası
EDJ – 6	2009	405	30	60	Özel
EDJ – 7	2006	246	30	59	İller Bankası
EDJ – 8	2007	250	55	59	İller Bankası
EDJ – 9	2010	485	3	35	Özel
EDJ – 10	2010	335	72	57	Özel

* Kuyu bilgileri ilgililerden alınmıştır.

2.2.6 Edremit-Güre Jeotermal Alanı

Çanakkale-Edremit yolu ile Güre yol kavşağındadır. Sahada 2 adet kaynak belirlenmiştir (Tablo 2.21) [10].

Tablo 2.21: Güre Jeotermal Alanındaki kaynaklar.

Kaynak Adı	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)
Güre-1*	58,2	1,35**
Güre-2*	48,2	0,1

* Kaynaklar kurumuştur.

** Kaptajdan pompa ile alınan su ve serbest akan suyun debisi.

Sahada MTA Genel Müdürlüğü tarafından dört adet kuyu açılmıştır. Ayrıca özel sektörün açtığı birçok kuyu da bulunmaktadır (Tablo 2.22) [12].

Tablo 2.22: Edremit-Güre Jeotermal Alanında açılan kuyular.

Kuyu No	Tarih	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)	Koordinatlar			Açıklama
					X (yuk.)	Y (sağa)	Z (m)	
Demet-1*	1985	400	40	1,5	90224	82003	3	Vecdi Eröge
G-1	1994	196,2	55	6,5	90125	82300	10	Güre Bel.
G-2*	1994	153,7	33	7	90300	82850	15	Güre Bel.
G-3**	-	354	41	8	90053	82187	7	Güre Bel.
V-1**	-	62	60	5-6	90149	82290	7	Güre Bel.
V-2**	-	60	55	5-6	90199	82333	7	Güre Bel.
V-3**	-	60	53	3-4	90079	82237	7	Güre Bel.
V-4**	2004	82	53	2-3	90082	82275	7	Güre Bel.
GAT-1	-	426	37	-	82006	90027	4	Körfez tatil k.
GAT-2	-	680	-	-	82004	90059	4	Körfez tatil k.
TES-İŞ-1	-	-	-	-	81948	90395	4	Tes-iş sen.
TES-İŞ-2	-	-	-	-	81944	90431	4	Tes-iş sen.

* Kullanılmamaktadır.

** Kuyu bilgileri ilgililerden alınmıştır.

Sahada 2004-2011 yılları arasında yapılan sondaj çalışmaları ile 7 kuyu daha açılmıştır (Tablo 2.23).

Tablo 2.23: Edremit-Güre Jeotermal Alanında 2004-2011 yılları arasında açılan kuyular*.

Kuyu No	Tarih	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)
Güre-2	2004	63	63	10
Güre-3	2004	73	54	12
Güre-4	2004	55	39	-
İGJ-1	2011	167	64,2	32
İGJ-2	2011	250	56,2	41
İGJ-3	2011	208	67	50
İGJ-4	2011	250	68	50

* Kuyu bilgileri ilgililerden alınmıştır.

Sahadaki sıcak sulardan kaplıca amaçlı ve konut ısıtmada yararlanılmaktadır. Bölgede 2004 yılında Güre Belde Merkezinin ısıtılması amacıyla Güre JBIS faaliyete geçmiştir. Bölgede 651 yatak kapasiteli ve toplam 12.000 m² kapalı alana sahip 144 adet termal apart villa, 1.500 m² kapalı alana sahip termal tatil beldesi ile toplam 392 yatak kapasiteli 2 termal otel bulunmaktadır.

2.2.7 Susurluk-Kepekler Jeotermal Alanı

Ilıcaboğazı olarak anılan yerden çıkan çok sayıda kaynak bulunmaktadır (Tablo 2.24). Sahada 1985 yılında bir adet kuyu açılmıştır. Ayrıca özel sektöre ait bir kuyu bulunmaktadır (Tablo 2.25). Sıcak sulardan kaplıca amaçlı yararlanılmaktadır [12].

Tablo 2.24: Susurluk-Kepekler Jeotermal Alanındaki kaynaklar.

Kaynak Adı	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)	Pafta No (1/25000)	Koordinatlar		
				X (yuk.)	Y (sağa)	Z (m)
Kubbeli hamam	58	3	H20-d3	96628	38978	15
Çamur banyosu kaynağı	62	3	H20-d3	96626	38980	16
Ilıca kaynak	48	1	H20-d3	96634	38987	16
Kubbeli hamam yanı	58,5	3	H20-d3	96754	39066	15
Bataklık içi	31	-	H20-d3	-	-	-
Çamur banyosu yanı	60	1	H20-d3	96496	38832	16

Tablo 2.25: Susurluk-Kepekler Jeotermal Alanında açılan kuyular.

Kuyu No	Tarih	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)	Koordinatlar			Açıklama
					X (yuk.)	Y (sağa)	Z (m)	
BK-1*	1985	390	64	15	96614	38964	16	İl özel idare
ÖK-1	-	-	-	15	96948	39231	14	Özel şahıs

* Kullanılmamaktadır.

2.2.8 Gönen Jeotermal Alanı

Gönen'deki sıcak sular keson kuyulardan alınmaktadır (Tablo 2.26). Sahada yapılan jeolojik ve jeofizik etütler sonucu belirlenen lokasyonlarda Gönen Belediyesi adına sondajlı çalışmalar yapılmıştır (Tablo 2.27) [12].

Tablo 2.26: Gönen Jeotermal Alanındaki kaynaklar.

Kaynak Adı	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)	Pafta No (1/25000)	Koordinatlar		
				X (yuk.)	Y (sağa)	Z (m)
Gönen	76 - 78	15	H19-d3	-	-	-
Ekşidere (Batı)	38 - 42	6,75	H19-d3	-	-	-
Ekşidere (Doğu)	34 - 36	1,27	H19-d3	-	-	-

Bölgede 1987 yılında Gönen JBIS faaliyete geçmiş olup, elde edilen jeotermal enerji, konutlarda ısıtma ve sıcak su, termal tesislerde kaplıca ve ısıtma, tabakhane işletmelerinde ürün işleme ve ısıtma amaçlı olmak üzere üç farklı alanda kullanılmaktadır.

Tablo 2.27: Gönen Jeotermal Alanında açılan kuyular.

Kuyu No	Tarih	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)	Pafta No (1/25000)	Koordinatlar			İşletme Durumu (Aralık 2009)
						X (yuk.)	Y (sağa)	Z (m)	
G-1	1976	133	82	-	H19-d3	55556	40914	46	Reenjeksiyon
G-2	1976	534	78	14,7	H19-d3	55668	40950	30	Servis dışı
G-3	1985	308,25	78	15	H19-d3	55448	40818	34	Servis dışı
G-4	1990	316	Terk	12,3	H19-d3	55791	41042	31	Servis dışı
G-5	1991	332	-	-	H19-d3	55367	40735	35	Servis dışı
G-6	1997	385	60	5	H19-d3	55567	41320	32	Servis dışı
G-7	1997	380	53	20	H19-d3	55401	40956	29	Üretim
G-8	1998	280	59	15	H19-d3	55460	41027	27	Üretim
G-9	1999	560	94	15	H19-d3	55510	41153	27	Üretim
G-10	1999	265	67	-	H19-d3	55548	40988	29	Üretim
G-11	2002	800	-	-	H19-d3	55705	40961	30	Üretim
G-12	2002	250	-	-	H19-d3	-	-	-	Servis dışı
G-13	2002	350	68	20	H19-d3	55260	40518	32	Üretim
G-14	2002	250	-	-	H19-d3	55069	40683	33	Servis dışı
G-15	2003	188	-	-	H19-d3	55555	40904	46	Servis dışı
G-16	2003	216,3	77	25	H19-d3	55551	40964	30	Üretim
G-17	2003	230	62	20	H19-d3	55187	40434	32	Üretim

2.2.9 Susurluk-Yıldız Jeotermal Alanı

Bölgede toplam 6 adet sıcak su kaynağı ve kaynak grubu bulunmaktadır (Tablo 2.28). Sıcak sudan kaplıca, tesis ve az miktarda sera ısıtmada yararlanılmaktadır [12].

Tablo 2.28: Susurluk-Yıldız Jeotermal Alanındaki kaynaklar.

Kaynak Adı	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)	Pafta No (1/25000)	Koordinatlar		
				X (yuk.)	Y (sağa)	Z(m)
Yıldız (Yellice)	74,4	25*	İ20-a3	02234	10157	89

* Toplam debi.

2.2.10 Merkez-Kirazköy Jeotermal Alanı

Kiraz köyünün 300 m. kadar güneyinde Acısu Dere kuzey yamacındadır. Kaynak suyunun sıcaklığı 42°C, debisi ise 4 - 5 l/s'dir. MTA tarafından 2011 yılında yapılan sondaj çalışması neticesinde açılan kuyuya ait özellikler Tablo 2.29'da verilmiştir.

Tablo 2.29: Merkez-Kirazköy Jeotermal Alanı sondaj sonuçları.

Kuyu No	Tarih	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)	Pafta No (1/25000)
BMK-2010/21*	2011	750	33,5	55	J19-b1

* Kuyu bilgileri MTA Kuzeybatı Anadolu Bölge Müdürlüğü'nden alınmıştır.

2.2.11 Burhaniye-Pelitköy Jeotermal Alanı

Pelitköy yerleşim merkezinde sıcaklığı 25,9°C, debisi 1 l/sn olan bir kaynak belirlenmiştir. Bölgede Burhaniye Belediyesi adına 2008 yılında MTA tarafından 1 adet sondaj yapılmıştır (Tablo 6.25).

Tablo 2.30: Burhaniye-Pelitköy Jeotermal Alanı sondaj sonuçları*.

Kuyu No	Tarih	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)
B-B1	2008	750	35	5

* Kuyu bilgileri MTA Kuzeybatı Anadolu Bölge Müdürlüğü'nden alınmıştır.

2.2.12 Burhaniye-Karağaç-Uyuz Jeotermal Alanı

Uyuz ılıca kaynağına ait değerler Tablo 2.31'de verilmiştir [12]. Alanda 2011 yılında MTA tarafından 1 adet sondaj yapılmıştır (Tablo 2.32).

Tablo 2.31: Uyuz Jeotermal Alanındaki Kaynaklar.

Kaynak Adı	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)	Pafta No (1/25000)	Koordinatlar		
				X (yuk.)	Y (sağa)	Z (m)
Uyuz İlica Kaynağı	30	0,5	J17-b2	89225	63629	48

Tablo 2.32: Uyuz Jeotermal Alanı Sondaj sonuçları*

Kuyu No	Tarih	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)
BGK-2011/9	2011	750	33,3	30

* Kuyu bilgileri MTA Kuzeybatı Anadolu Bölge Müdürlüğü'nden alınmıştır.

2.2.13 Manyas-Kızıkköy Jeotermal Alanı

Bölgede özel sektör tarafından açılan 4 adet kuyu bulunmaktadır (Tablo 2.33). Sıcak sudan kaplıca, tesis ve konut ısıtmada yararlanılmaktadır [12].

Tablo 2.33: Kızık Jeotermal Alanında açılan kuyular.

Kuyu No	Tarih	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)	Koordinatlar		
					X (yuk.)	Y (sağa)	Z (m)
K-1	-	-	51,7	24	77680	35581	25
K-2*	-	-	-	-	77707	35591	26
K-3*	-	-	-	-	77632	35552	29
K-4*	-	-	-	-	77580	35523	24

* Kullanılmamaktadır.

2.3 Önceki Çalışmalar

Jeotermal kaynağın doğrudan kullanıldığı jeotermal ısıtma sistemlerinde, bir eşanjör vasıtasıyla jeotermal suyun ısı bina ısıtma tesisatı su devresine aktarılır. Bu tip bir uygulama için jeotermal suyun sıcaklığı 80°C civarında olmalıdır. Bu yüzden sıcaklığı 50°C'nin altındaki kaynaklar böyle bir uygulama için elverişli değildir. Fakat bu kaynaklardan ısı pompaları vasıtasıyla faydalanmak mümkündür. Dünyanın birçok bölgesinde düşük ve orta sıcaklıklı jeotermal kaynaklara rastlanmaktadır. Jeotermal ısı pompaları konvansiyonel ısı pompalarına göre yüksek enerji verimleri sayesinde konutların ve binaların ısıtılması ve iklimlendirilmesinde cazip bir seçenek olarak görülmektedir.

Kara [13], düşük sıcaklıklı jeotermal kaynakların bina ısıtmasında değerlendirilmesi için su-su tipi bir prototip jeotermal ısı pompası sistemi tasarlamış ve sistemin bilgisayar modelini geliştirmiştir. Sistemde, 35°C sıcaklıkta jeotermal kaynak kullanılarak döşemden ısıtma amacıyla 45°C sıcaklıkta su üretilmiştir. Çalışma sonucunda, R-22 soğutucu akışkan ile çalışan jeotermal ısı pompası sisteminin toplam performans katsayısı 2,8 olarak tespit edilmiş ve geliştirilen bilgisayar programından elde edilen sonuçların deneysel sonuçlar ile uyumlu olduğu görülmüştür. Bilgisayar programı yardımıyla sistemde bulunan R-22'ye alternatif olarak R-500 ve R-502 gazlarının kullanımı incelenmiş ve en yüksek performansın R-500 ile elde edildiği görülmüştür.

Kulcar ve diğ. [14], düşük sıcaklıklı jeotermal kaynaklardan ısı pompası ile yüksek sıcaklıklı su elde edilmesi ve bunun bina ısıtmada kullanılmasının ekonomik analizini yapmıştır. Bunun için iki kademeli ısı eşanjörlü bir ısı pompası tasarlanmıştır. Tasarlanan ısı pompasının birinci kademesinde soğutucu akışkan

olarak R407c, ikinci kademesinde ise R600a kullanılmıştır. Isı pompasında ısı kaynağı olarak 42°C sıcaklığındaki jeotermal su kullanılmış ve bu suyun 10°C'ye soğutulmasıyla binalarda kullanılmak üzere 77°C'de sıcak su elde edilmesi hedeflenmiştir. Isı pompası yatırımının karlılık analizi için net şimdiki değer analizi kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, 10°C jeotermal su çıkışı için ısı pompasının etkinlik katsayısının 3,5-4,4 arasında değiştiği, yatırımın geri ödeme süresinin ise sadece birkaç yıl olduğu hesaplanmıştır.

Xueling ve Jialing [15], soğutucu akışkan olarak R-22'nin kullanıldığı sudan suya ısı geçişli bir ısı pompasıyla düşük sıcaklıklı jeotermal kaynaklardan ısı çekerek 6000 m² kapalı alana sahip bir otelin ısıtma ve soğutma ihtiyacının karşılanmasının ekonomik yönünü incelemiştir. Çalışmada ele alınan ısı pompası, 13-18°C sıcaklık aralığındaki jeotermal kaynaktan ısı çekerek kışın 40-45°C, yazın ise 7-10°C sıcaklıklarında su elde etmek üzere tasarlanmıştır. Söz konusu otelde ısıtmanın ısı pompası, doğalgaz ve fuel-oil yakan kazanlarla sağlanması durumları ekonomik bakımdan karşılaştırılmıştır. Buna göre, otelin ısı pompası ile ısıtılmasının maliyetinin doğalgazla ısıtmaya göre %26, fuel-oil ile ısıtmaya göre %34 daha düşük olduğu ve daha yüksek ilk yatırım maliyetine rağmen, ısı pompası yatırımının geri ödeme süresinin çok kısa olduğu tespit edilmiştir.

Gavrilescu ve diğ. [16], Romanya'da bulunan Oradea Üniversitesindeki 85°C sıcaklık ve 30 l/s debiye sahip bir jeotermal kaynaktan daha verimli bir şekilde yararlanabilmek için kampüse uygun kademeli kullanım modeli önermiştir. Söz konusu modelde, jeotermal kaynak sıcaklığının mümkün olan en düşük sıcaklığa düşürülmesi ve bu kaynağın kampüsteki binaların tümünde verimli bir şekilde kullanılması hedeflenmiştir. Buna göre, önerilen modelde, 85°C sıcaklığındaki jeotermal kaynak doğrudan ısıtma ile ilk önce kampüsteki yüksek sıcaklık gereksinimli döküm radyatörlerle ısıtılan binaları ısıtacak (3685 kW_t) ve 750kW_t kullanım sıcak suyu sağlayacak; sıcaklığı 50°C'ye düşen jeotermal su ile daha sonra 1300 kW_t gücünde yerden ısıtma yapılacak; sıcaklığı 35°C'ye düşen jeotermal suyun enerjisi ısı pompası ile çekilerek 1400 kW_t'lık yerden ısıtma yapılacak ve son olarak sıcaklığı 25°C'ye düşen jeotermal su yakında bulunan bir dereye atılmadan önce 2100 kW_t'lık kar eritme işleminde değerlendirilerek sıcaklığı 10°C'ye düşürülecektir.

Yıldırım ve diğ. [17], İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Kampüsü'ndeki düşük sıcaklıklı (33°C) bir jeotermal kaynağın, kampüste kurulacak bir bölgesel ısıtma sisteminde değerlendirilmesinin ne ölçüde uygun olduğunu bir araştırma ile ortaya

koymuştur. Çalışmada, biri ısı pompasının (jeotermal enerji kullanan), diğeri fuel-oil ile çalışan kazanın kullanıldığı iki farklı bölgesel ısıtma sistemi göz önüne alınmış ve her iki sistemin simülasyonu yapılmıştır. Binalara ait iç ortam sıcaklıkları, her iki ısıtma simülasyonu için ana kontrol parametresi olarak ele alınmıştır. Matlab ve EES programları kullanılarak sistemlerin matematik modelleri oluşturulmuştur. Isı pompalı bölgesel ısıtma modelinde, farklı kondenser sıcaklıkları ve jeotermal akışkan debileri ele alınarak sistem için farklı ısıtma alternatifleri araştırılmıştır. Buna göre, ısı pompalı bölgesel ısıtma sistemi için en iyi seçeneğin, sistemin 120 kg/s'lik jeotermal akışkan debisinde ve 35°C kondenser giriş ile 45°C kondenser çıkış sıcaklıklarında çalışacağı durum olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada, her iki sistem için iç verim oranı analizi kullanılarak yapılan karlılık değerlendirmesine göre, jeotermal ısı pompalı bölgesel ısıtma sisteminin fuel-oil kazanlı bölgesel ısıtma sistemine göre en az %3 oranında daha karlı bir yatırım olduğu görülmüştür.

Yıldırım ve diğ. [18], İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Kampüsü için önceki çalışmalarında tasarladıkları [17] ısı pompalı bölgesel ısıtma sistemi için boru şebekesi simülasyonu yapmıştır. Çalışmada, PipeLab yazılımı kullanılarak ısı merkezi lokasyonu, boru malzemesi ve yalıtım türü gibi genel şebeke dizayn parametrelerinin optimizasyonu yapılarak boru hatları için en düşük yatırım ve işletme maliyeti elde edilmeye çalışılmıştır. Buna göre, ısı merkezinin lokasyonu için üç farklı alternatif konum düşünülmüştür: Birinci ve üçüncü alternatifte ısı merkezinin ısıtma yapılan binalara yakın olması durumu, ikinci alternatifte ise ısı merkezinin üretim kuyusuna yakın olması durumu incelenmiştir. Alternatif durumlar için elde edilen boru hattı uzunlukları ile hat ve işletme maliyetleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, üçüncü alternatif için gerekli yatırım maliyeti, boru hattı uzunluğu hemen hemen aynı olmasına rağmen, birinci alternatife göre %34 daha küçük çıkmıştır. Diğer taraftan ikinci alternatif için hesaplanan boru hattı uzunluğu ile yatırım maliyetinin üçüncü alternatife göre sırasıyla, %29 ve %30 oranında daha büyük olduğu görülmüştür. Boru şebekesi için gerekli toplam yatırım ve işletme maliyetlerinin minimize edilebilmesi için ısı merkezinin, bina yoğunluğunun ve dolayısıyla ısıtma yükünün daha büyük olduğu binalara daha yakın bir yerde konumlandırılması gerektiği ortaya çıkmıştır.

Ekserji analizi, enerji sistemlerinin termodinamik analizlerinin simülasyonunda güçlü bir araç olarak karşımıza çıkmaktadır. Enerji sistemlerinin dizaynı, simülasyonu ve performans değerlendirmesinde yaygın bir şekilde kullanılan bu analiz metodu, göz önüne alınan proseslerin termodinamiksel

eksikliklerinin sebeplerini tespit etmek ve bu eksiklikleri niceliksel olarak değerlendirmek üzere uygulanır.

Dinçer [19], enerji ile ekserji, ekserji ile çevre, enerji ile sürdürülebilir kalkınma ve enerji politikaları ile ekserji arasında bağlantılar olduğunu belirtmiştir. Dinçer, ekserjinin önemini ve çeşitli şekillerdeki başlıca kullanım alanlarını ifade etmek için aşağıda belirtilen ana noktaları vurgulamıştır. Buna göre ekserji: a) Enerji kullanımının çevre üzerindeki etkilerini en iyi şekilde ortaya çıkaran birincil araçtır. b) Enerji sistemlerinin dizaynı ve analizi için kütle ve enerjinin korunumu kanunlarını termodinamiğin ikinci yasası ile birleştirerek kullanan etkili bir metottur. c) Enerji kaynaklarının daha verimli kullanımı ve enerji sistemlerinde meydana gelen kayıpların gerçek miktarı, yeri ve türünün doğru bir şekilde tespit edilebilmesi amacına ulaşmada kolaylık sağlar. d) Mevcut sistemlerdeki verimsizliklerin giderilmesi ile ne ölçüde daha verimli sistemlerin elde edileceğini ortaya çıkaran etkili bir tekniktir. e) Sürdürülebilir kalkınma hedefine ulaşmada anahtar rol oynar.

Hepbaşlı [20], yaptığı derleme çalışmasında, geniş çaptaki yenilenebilir enerji kaynağının ekserji analizi ve performans değerlendirmesine yönelik olarak yapılan birçok çalışmayı detaylı bir şekilde incelemiştir. Bu kapsamda öncelikli olarak analizlerde kullanılan bağıntılar (enerji, ekserji, entropi ve ekserji dengesi eşitlikleri ile birlikte ekserji verimi, ekserjetik iyileştirme potansiyeli ve yakıt tüketim oranı, bağıl tersinmezlik, verimlilik yoksunluğu ve ekserjetik faktör gibi termodinamik parametreler) sunulmuştur. Daha sonra (a) solar enerji sistemleri; (a1) su ısıtma gibi solar kolektör uygulamaları, solar hacim ısıtma ve soğutma, solar pişiriciler, solar tuzdan arındırma sistemleri ve solar güç santralleri, (a2) fotovoltaik (FV) ve (a3) hibrit (FV/termal) solar kolektörler, (b) rüzgar enerji sistemleri, (c) jeotermal enerji sistemleri, (c1) direkt kullanım (bölgesel ısıtma, jeotermal veya toprak kaynaklı ısı pompaları, seralar ve kurutma) ve (c2) endirekt kullanım (jeotermal güç santralleri), (d) biyokütle, (e) diğer yenilenebilir enerji sistemleri ve (f) kırsal yenilenebilir enerji kaynakları ekserjetik olarak analiz edilmiş ve değerlendirilmiştir. Çalışmadan elde edilen bazı bulgu ve sonuçlar şunlardır:

- a) Ekserji analizi, diğer bütün enerji sistemlerinin yanı sıra yenilenebilir enerji sistemlerinin performans değerlendirmelerinde de başarılı bir şekilde uygulanabilen yararlı bir araçtır.
- b) Yenilenebilir enerji sistemlerinin ekserji verimleri ile ilgili elde edilen sonuçlardan bazıları aşağıda verilmiştir:

- Bir solar parabolik pişiricinin ekserji verimi %0,4-1,25 arasında değişmektedir [21].
- Bir solar kolektör, FV ve hibrit solar kolektör ekserji verimleri, sırasıyla, %4,4, %11,2 ve %13,3 olarak bulunmuştur. Solar kolektör en düşük verime sahipken, hibrit solar kolektör enerji kalitesi bakımından oldukça verimli bir sistem olarak göze çarpmaktadır [22].
- Rüzgar enerji sistemlerinin ekserjetik değerlendirmesine dayalı olarak, enerji ve ekserji verimleri arasındaki ortalama fark, düşük rüzgar hızlarında yaklaşık %40 olarak elde edilirken bu farkın yüksek hızlarda %55'e kadar çıkabildiği tespit edilmiştir [23].
- Jeotermal kaynakları özgül ekserji indeklerine (SE_{xl}) göre sınıflandırmanın, sıcaklıklarına göre sınıflandırmaya göre daha anlamlı olacağı belirtilmiştir [24,25].
- Jeotermal kaynaklı ısı pompası ekserji verimlerinin farklı referans sıcaklıklarına bağlı olarak %67-92 arasında değiştiği tespit edilmiştir [13, 26-32].
- Dünya genelindeki bazı jeotermal güç santrallerinin ekserji verimleri birbirleriyle karşılaştırılmış ve bu değerlerin referans sıcaklıklarına ve kullanılan teknolojiye bağlı olarak %16,3-53,9 arasında değiştiği görülmüştür [33-39].
- Türkiye'deki yenilenebilir enerji kaynaklarının ekserji kullanım verimlerinin 2001 ve 2010 yılları itibarıyla, sırasıyla, %24,14 ve %44,30 olduğu belirtilmiştir [40].

Jeotermal sistemlerde ekserji analizi ilk kez 1972 yılında Bodvarsson ve Eggars [41] tarafından bir jeotermal güç santralinin performansının değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Çalışmada, 250°C sıcaklığındaki jeotermal suyu kullanan tek ve çift çevrimli bir güç santralinin ekserji verimleri, sırasıyla, %38,7 ve %49 bulunmuştur.

Son teknolojik gelişmeler sayesinde günümüzde artık düşük ve orta entalpili jeotermal kaynaklardan da elektrik üretilebilmektedir. Bu dönüştürme teknikleri konvansiyonel santrallerdeki gibi Rankine çevrimi kullanırlar ancak, aralarındaki temel farklılık sistemde su yerine iş akışkanının dolaşmasıdır. Tipik olarak 150°C ve altındaki düşük sıcaklıklı jeotermal kaynaklardan elektrik üretiminde genellikle çift akışkanlı (binary) tip enerji dönüşüm sistemlerinden yararlanır. Bu sistemler genellikle iki gruba ayrılır: Organik Rankine Binary çevrimi (ORC-Binary) ve Kalina

çevrimi. Kalina çevriminde iş akışkanı olarak amonyak-su karışımı kullanılır ve 140°C ve altındaki jeotermal kaynaklar için tercih sebebi olabilmektedir.

Arslan [42], düşük ve orta sıcaklıklı jeotermal sahalarda elektrik üretimine yönelik yaptığı çalışmada Simav jeotermal sahasında Kalina çevrimi (KCS-34) ile elektrik üretimini incelemiştir. KCS-34 santrali için optimum çalışma koşulları, ekserji ve yaşam döngüsü maliyeti analizlerine dayandırılarak tespit edilmiştir. Buna göre en iyi dizayn şartlarında santralin, %14,9 enerji ve %36,2 ekserji verimleriyle 41,2 MW güce sahip olabileceği ve yılda 346,1 GWh elektrik üretiminin gerçekleştirilebileceği ortaya çıkarılmıştır. Bununla birlikte, günümüz faiz oranları ve enflasyon koşulları altında, güç santralının 6'dan büyük şimdiki değer faktörü değerleri için ekonomik olarak uygulanabilir olduğu görülmüştür.

DiPippo [34], yaptığı literatür araştırması neticesinde düşük sıcaklıklı jeotermal kaynaklardan elektrik üretiminde Kalina çevriminin Organik Rankine çevrimine (ORC) göre etkileyici biçimde verim üstünlüğü olduğunu görmüş ve bunu gerçek bir sistem üzerinde kanıtlamaya çalışmıştır. Bu doğrultuda ekserji analizini kullanarak Kalina ve ORC çevrimine göre çalışan mevcut sistemlerin performanslarını karşılaştırmıştır. Çalışmada ayrıca, belirli bir dereceye kadar farklı akışkan giriş ve çevre sıcaklık koşullarında çalışan güç santrallerinin verimlerinin karşılaştırılabilmesine yönelik bir metodoloji sunulmuştur. Sonuç olarak çevrimde yer alan iş akışkanının düşük sıcaklık ve düşük ekserji değerlerine rağmen, binary santrallerin oldukça yüksek ekserji verim değerlerinde çalışabileceği görülmüştür. Bununla birlikte, aynı ısı girdisi altında Kalina çevriminde ORC çevrimine göre %15-50 arasında daha fazla güç elde edildiği işletmede olan güç santralleri için ispatlanamamıştır.

Hepbaşlı ve Akdemir [27], yapmış oldukları çalışmada, enerji ve ekserji analizini kullanarak Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde bulunan 65 m²'lik bir hacim için tasarlanan jeotermal ısı pompasının performansını incelemiştir. Söz konusu hacmin ısıtma ve soğutma yükleri dizayn şartları için, sırasıyla, 3,8 ve 4,2 kW olarak hesaplanmıştır. Sistemin ekserji diyagramı (Grassmann diyagramı) oluşturularak çeşitli sistem bileşenlerinde kaybolan ekserji miktarı sisteme olan ekserji girdisi cinsinden elde edilmiştir.

Hepbaşlı ve Balta [43], düşük sıcaklıklı jeotermal kaynakların ısı pompası yardımıyla binalarda kullanımına yönelik uygulamalı bir çalışma yapmıştır. Çalışmada, tasarlanan böyle bir sistemin 2005 yılından beri Niğde Üniversitesinde

başarılı bir şekilde kullanımda olduğu ifade edilmiştir. Sisteme ait deneysel veriler kullanılarak enerji ve ekserji analizi yardımıyla sistemin performans değerlendirmesi yapılmış ve her bir bileşene ait ekserji kayıpları hesaplanmıştır. Buna göre 0-25 °C arasında değişen referans sıcaklıkları için ısı pompasının enerji ve ekserji verimlerinin, sırasıyla, %73,9-73,3 ile %63,3-51,7 arasında değiştiği gözlenmiştir.

Jeotermal kaynakların termodinamiksel, kimyasal, fiziksel, çevresel ve ekonomik özelliklerinin farklı olması, her bir kaynaktan yüksek verimde yararlanmayı sağlamak için kaynağa özel yararlanma modelinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Jeotermal enerjiden en verimli şekilde yararlanabilmek için sahip olduğu enerji mümkün olduğu kadar faydalı enerjiye dönüştürülmelidir. Bu nedenle en faydalı yararlanma, kademeli yani, jeotermal akışkanın çeşitli sayıdaki yararlanma sistemlerinden geçirilmesi suretiyle olan, yararlanma biçimidir [44]. Bu doğrultuda özellikle yüksek entalpili jeotermal akışkanların kullanıldığı jeotermal güç santrallerindeki atık enerjinin ısıtma, soğutma ve endüstriyel proses ısı alanlarında kullanılması jeotermal güç santrallerinin verimini olumlu yönde etkileyecektir.

Yukarıda belirtilen bilgiler ışığında Dağdaş [44], yapmış olduğu çalışma ile tek flaşlı bir jeotermal güç santralının performansını arttırmaya yönelik çalışmaların ardından kombine tek flaş-binary jeotermal güç santralının performans analizini yapmıştır. Geliştirilen yararlanma modeline göre, kombine santralden yüksek sıcaklıkta ayrılan jeotermal akışkan ile bölgesel ısıtma da yapılabilmektedir. Bu şekilde hazırlanan üç kademeli sistemin performans analizleri sonucunda optimal kullanım modeli belirlenmiştir. Performans analizlerini yapmak için tüm sistemin temel noktalarının enerji ve ekserjileri hesaplanmış ve optimal modelin I. ve II. Kanuna göre yararlanma oranları belirlenmiştir. Geliştirilen modelin uygulanabilir olduğunu göstermek için Denizli-Kızıldere jeotermal sahasına ait ölçüm verileri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, yüksek entalpili bir jeotermal rezervuardan sadece tek flaşlı çevrimle güç üretimi yerine, kombine tek flaş-binary güç çevrimi ve jeotermal bölgesel ısıtma sisteminin birleştirildiği üç kademeli sistem kullanıldığında, kaynaktan yaklaşık 2,4 kat daha fazla yararlanmanın mümkün olduğunu göstermiştir.

Kanoğlu ve Çengel [45], jeotermal kaynaklardan güç üretimi, ısıtma ve soğutma uygulamalarının ekonomik yönünü incelemiştir. Buna göre sadece elektrik üretimi yapılan bir jeotermal kaynak ile aynı zamanda ısıtma yapıldığında sistemin 3,1, absorpsiyonlu soğutma yapıldığında ise 2,9 kat daha ekonomik olacağı

belirlenmiştir. Sonuç olarak jeotermal enerjiden kademeli olarak yararlanmanın çok daha kazançlı olacağı hesaplamalarla ortaya koyulmuştur.

Kanoğlu ve Çengel [46], yapmış oldukları diğer bir çalışmada ABD-Nevada'da bulunan 1,2 MW'lık binary jeotermal güç santralinden daha etkin bir şekilde yararlanabilmek için mevcut sistemin kojenerasyon ile desteklenmesini önermiş ve santralin yakınındaki bir plastik üretim tesisine proses ısısı sağlamanın ekonomik yönünü incelemiştir. Bu amaçla güç sistemine ait reenjeksiyon suyunun ıslısının sisteme dahil edilecek bir ön ısıtma sistemi ile plastik üretim tesisindeki buhar ihtiyacının karşılanmasına yönelik olarak kullanılabilceği ve bunun da santrale yılda 18.000 ABD \$ kazanç sağlayacağı belirtilmiştir. Ayrıca, güç santralindeki atık ısının tamamının benzer bir kojenerasyon sisteminde değerlendirilmesinin santrale yıllık 4,75 milyon \$ kazanç sağlayacağı ifade edilmiştir.

Kanoğlu ve diğ. [47], ABD'nin Nevada Eyaletindeki Reno şehrindeki 47 MW'lık bir jeotermal güç santralinin ekserji analizini yaparak sistemdeki en büyük ekserji kaybının reenjeksiyon ile meydana geldiğini belirlemiştir. Buradaki ekserji kaybının sisteme olan toplam ekserji girdisinin %48'ini oluşturduğu hesaplanarak, bu kayıp ekserjiden yararlanmak adına sisteme ısıtma ve soğutma uygulamalarının dahil edilmesinin getireceği yararlar belirlenmeye çalışılmıştır.

Arslan ve Köse [48], Kütahya-Simav bölgesindeki jeotermal kaynakların entegre kullanım olanakları konusunda bir araştırma yapmıştır. Simav'da jeotermal hacim ısıtma ve balneolojik kullanımın dahil edildiği küçük ölçekli bir entegre jeotermal güç santralinin kurulmasına yönelik bir çoklu fizibilite çalışması yapmıştır. Bu amaçla öncelikli olarak sahanın ORC-binary çevrim ile elektrik üretim potansiyeli araştırılmış ve elektrik üretiminden sonra geriye kalan jeotermal potansiyelin bölgesel ısıtma, sera ısıtma ve termal tedavi alanlarında kullanımına yönelik planlamalar yapılmıştır. Daha sonra enerji, ekserji ve yaşam döngüsü maliyeti analizleri kullanılarak tasarlanan entegre sistemin optimizasyonu yapılmıştır. Sonuç olarak Simav jeotermal sahasının çoklu kullanıma yönelik yatırım yapmak için oldukça çekici bir saha olduğu ortaya koyulmuştur.

Karytsas ve diğ. [49], Yunanistan'ın Aristino-Traianoupolis jeotermal sahasının bölgesel ısıtma ve sera ısıtması alanında değerlendirilmesine yönelik bir fizibilite çalışması yapmıştır. Çalışmada üç farklı senaryo ele alınmış; jeotermal enerjinin %100'ünün bölgesel ısıtma, %50 bölgesel ısıtma - %50 seracılık ve %100 seracılık alanında kullanılması durumları için yatırım maliyetleri, enerji maliyetleri,

CO₂ emisyonundaki azalma ve yatırımların geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Buna göre sahadan elde edilen enerjinin tamamının bir JBIS'de değerlendirilmesi halinde, sistemin 1049 konut ısıtılacağı ve yıllık 1847 TEP enerji tasarrufu ile birlikte CO₂ emisyonunda 5910 tonluk azalma sağlanabileceği hesaplanmıştır. Ayrıca ısıtma sisteminin amortisman süresi; yatırıma sağlanması muhtemel bir devlet desteği ile 2-3 yıl, devlet desteği olmaması halinde 12-13 yıl olarak hesaplanmıştır. Jeotermal enerjinin tamamının sera ısıtmasında kullanılması halinde ise 2325 TEP enerji tasarrufu ile birlikte CO₂ emisyonunda 7440 tonluk azalma sağlanabileceği belirtilmiş ve amortisman süresi 2-3 yıl olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak jeotermal sahadan elde edilen enerjinin her iki kullanım alanı için de ekonomik olarak çekici bir yatırım olacağı vurgulanmıştır.

Literatürde JBIS'lerle ilgili oldukça fazla çalışma vardır. Bu çalışmalar incelendiğinde bunlardan bir bölümünün, JBIS'lerde jeotermal enerji kullanımının avantajlarını, ekonomik yönünü ve çevresel etkilerini inceleyen çalışmalarla, sistem bütününe ele almadan ısı eşanjörü, boru hatları gibi sistem bileşenlerine özel iyileştirme çalışmalarından meydana geldiği görülmektedir. Çalışmaların başta ülkemizdeki JBIS'leri konu alan büyük bir bölümünde ise JBIS'lerin bütününe ait enerji, ekserji ve termoekonomik analize dayalı performans değerlendirmeleri yer almaktadır.

Hepbaşlı ve Çanakçı [50], ülkemizdeki JBIS'lerin kapasite, kurulu güç, sıcaklık, boru dağıtım hattı türü gibi genel özelliklerini karşılaştırarak bir durum değerlendirmesinde bulunmuştur. Çalışmada, ülkemizde bulunan mevcut jeotermal kuyuların sıcaklık dağılımları bölgelere göre sıralanarak, JBIS'lerin geleceğine yönelik projeksiyonlarda bulunulmuştur. Daha sonra ülkemizde ilk jeotermal ısıtma uygulamasının yapıldığı Balçova JBIS tanıtılarak, sistemin kullanıcılarına ve çevreye olan faydaları yapılan hesaplarla ortaya koyulmuştur. Konut ısıtmada kullanılan diğer enerji ve yakıt türlerinin, ısı değerleri, birim fiyatları, ortalama verimleri, birim enerji başına maliyetleri, yıllık yakıt maliyetleri ile aylık ortalama yakıt maliyetleri 2001 yılı fiyatları ve ülkemiz şartları dikkate alınarak Balçova JBIS jeotermal enerji maliyetleri ile karşılaştırılmıştır. Buna göre, jeotermal enerjinin yıllık 176,04 ABD \$'lık ısınma maliyeti ile Balçova JBIS kullanıcıları için konut ısıtmada en ucuz seçenek olduğu görülmüştür. Jeotermal enerjiyi yıllık 177,45 ABD \$ ile jeotermal kaynaklı ısı pompası, 183,30 ABD \$ ile linyit kömürü, 210,24 ABD \$ ile doğalgaz, 224,49 ABD \$ ile hava kaynaklı ısı pompası ve 254,09 ABD \$ ile odun izlemektedir. Kullanıcılar açısından en pahalı ısınma maliyetinin ise yıllık 680,85 ABD \$ ile elektrikli ısıtıcı

kullanımı sonucu ortaya çıktığı görülmüştür. Bununla birlikte, Balçova JBIS'de konutların kömür yerine jeotermal enerji ile ısıtılması sonucunda yıllık SO₂ ve CO₂ emisyonlarındaki azalma miktarı, sırasıyla, 140,51 ve 20613,11 ton olarak hesaplanmıştır.

Zhu ve Zhang [51], plakalı ısı eşanjörleri için malzeme, konum, büyüklük ve akışkan debisi gibi parametreleri kullanarak bir optimizasyon çalışması yapmıştır. Çalışmada, Çin'in kuzeyinde yer alan Tianjin JBIS'de kullanılan plakalı ısı eşanjörlerinin optimizasyonu sonucunda elde edilen yeni eşanjör boyutlarının, mevcut eşanjör boyutlarına oranla %12 daha küçük ısı transfer alanına sahip olması gerektiği ortaya çıkarılmıştır. Böylece, eşanjörlerin ilk yatırım maliyetlerinde %15'den daha büyük oranda azalma olacağı hesaplanmıştır. JBIS'lerde, genellikle titanyum plakalı ısı eşanjörlerinin kullanılıyor olması ve bu bileşenlerin ilk yatırım maliyetlerinin yaklaşık %25-30'unu oluşturduğu dikkate alındığında, eşanjör optimizasyonu ile ilk yatırım maliyetlerinde önemli kazanımlar sağlanabileceği ifade edilmiştir.

Erdoğan ve diğ. [52], Türkiye'nin ısıtma kapasitesi bakımından en büyük JBIS'si olan Balçova-Narlıdere JBIS üzerinde bir ekonomik fizibilite çalışması yapmıştır. İç verim oranı analizinin kullanıldığı çalışmada 780 farklı senaryo geliştirilerek yatırımın karlılık analizi yapılmıştır. Isıtma sisteminin kalan çalışma ömrü içerisindeki potansiyel nakit akışlarının tahmin edilebilmesi için 2002 yılındaki işletme maliyetleri %5 ile %30 arasında değişen oranlarda %5'lik değişim aralıkları ile artırılıp azaltılmıştır. Elde edilen farklı senaryolara göre aylık enerji kullanım bedelinin 17-72 ABD \$ arasında değiştiği, 2002 yılı işletme maliyetini karşılayan ve kar elde etmeyen en uygun ısıtma bedelinin 100 m²'lik bir konut için aylık 55 ABD \$ olduğu görülmüştür.

Dağdaş [53], JBIS'lerde yaygın olarak kullanılan sistem bileşenlerinden ısı eşanjörlerinin maliyetlerinde önemli yere sahip olan ısı transferi yüzey alanlarının kolay ve hızlı bir şekilde optimizasyonuna yönelik bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmada, sıcaklık ve debi giriş değerleri bilinen, zıt akışlı bir jeotermal ısı eşanjörü ele alınmış ve eşanjörün optimum ısı transfer yüzey alanını bulmak için matematiksel bir model sunulmuştur. Oluşturulan model 90°C jeotermal akışkan sıcaklığına sahip tipik düşük sıcaklıklı bir jeotermal sahaya uygulanmıştır. Analiz sonuçlarına göre, 76 °C sıcaklık ve 222 kg/s debide jeotermal akışkan üreten bir jeotermal kaynak için ısı eşanjörünün optimum ısı transfer yüzey alanının 1612 m²

olduğu ve bu boyuttaki ısı eşanjörü kullanımı sonucunda jeotermal ısıtma uygulamasından maksimum yıllık gelir elde edileceği belirtilmiştir.

Kalıncı ve diğ. [54], Dikili JBIS dağıtım hattı için ekonomi ve enerji-ekserji analizlerini kullanarak optimum boru çapı hesaplaması yapmıştır. Analiz sonucunda, dağıtım hattı için optimum boru çapı 0,298 m (DN300) olarak hesaplanmış ve bu çapta dağıtım hattı maliyetinin minimum olacağı belirlenmiştir. Çalışmada, Dikili JBIS'nin performans analizi ve iyileştirilme potansiyelinin belirlenebilmesi için sistemin enerji ve ekserji verimleri hesaplanmış ve sırasıyla, %40,21 ve %50,12 bulunmuştur. Sistemdeki en büyük ekserji kaybının sisteme giren toplam ekserjinin %38,77'i oranında, reenjeksiyon esnasında meydana geldiği görülmüştür. Çalışmada ayrıca, özgül ekserji indeksi hesabına dayanan saha sınıflandırmasına göre [24] jeotermal sahanın orta kaliteli kaynak sınıfına girdiği tespit edilmiştir.

Yetemen ve Yalçın [55], yaptıkları bir çalışmada, Afyon JBIS (AFJET)'de üretilen jeotermal suyun belirli bir bölümünün sistemin reenjeksiyon kapasitesindeki sınırlamalardan dolayı Akarçay Nehri'ne atıldığını, bunun da çevre üzerinde olumsuz etkiler doğurduğunu belirtmiştir. Bunun üzerine çalışmada, sistemin farklı dış hava sıcaklıklarına karşılık gelen optimum ısıtma yükü belirlenerek, sistemin ihtiyaç duyduğu optimum jeotermal akışkan debisi hesaplanmıştır. Sistemde optimum jeotermal akışkan debisi kullanılması halinde, sistemin işletme maliyeti ile çevre üzerindeki olumsuz etkilerinin azalacağı ve sistemdeki ekipmanların ömrünün artacağı belirtilmiştir.

Thorsteinsson ve Tester [56], ABD'de mevcut jeotermal enerji potansiyelinden konut ısıtmada yeterince yararlanılmadığını göz önüne alarak, 2006 yılı itibariyle ülkede bulunan ve toplam kapasitesi 100 MW'ı aşmayan 21 JBIS'yi incelemiş ve ülkedeki JBIS'lerin geliştirilmesine yönelik bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu kapsamda yapılan analizlerde, JBIS'lerin işletmecileri ile yapılan görüşmeler sonucunda elde edilen sistem verileri kullanılmıştır. Çalışmada JBIS'lerle ilgili ABD'deki mevcut mevzuat ve pazar durumu, jeotermal enerjinin bölgesel ısıtma sistemlerinde yaygın bir şekilde kullanıldığı İzlanda örneği ile karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Çalışmada ayrıca, jeotermal enerjinin ABD'de konut ve kullanım suyu ısıtma alanlarında daha yaygın kullanımında karşılaşılabilecek zorluklar ve fırsatlar analiz edilerek, gelişimin teknik, ekonomik, sosyal ve politik fizibilitesi yapılmıştır. Buna göre; ABD'deki mevcut jeotermal enerji potansiyeli, ABD JBIS kurulu gücünü 10.000 MW'e çıkarabilecek düzeydedir. Ancak bu kapasiteye ulaşmak için gerekli olan yatırım maliyetleri yerel liderler tarafından karşılaşılabilecek en büyük ekonomik

engel olarak görülmektedir. Bununla birlikte ABD’de son zamanlarda yaşanan mali deneyimler, JBIS’lerin ekonomik olarak gelişebilen ve kullanıcılarına büyük tasarruflar sunan sistemler olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca ABD şartlarında 10.000 MW_t’lık bir JBIS kapasitesine ulaşabilmek için sadece 5 milyar ABD \$’lık bir yatırım gerekmektedir.

Özgener [57], Salihli JBIS üzerinde enerji analizi yapmış ve sistem tarafından kullanılan yararlı ısı gücün (kullanıcılar tarafından tüketilen ısı enerjinin) sistemin kuyu pompaları, sirkülasyon pompaları, basınçlı su tankı pompası gibi elemanları tarafından tüketilen toplam iş gücüne oranı olarak tanımlanan sistem performans katsayısının (COP) aylara göre değişimini incelemiştir. Buna göre, Salihli JBIS COP değerlerinin 47,1-124,4 arasında değiştiği, 2006-2007 ısıtma sezonu için en yüksek COP değerlerinin Ocak ve Şubat aylarında, 2007-2008 ısıtma sezonu için ise Aralık ayında elde edildiği görülmüştür. Bununla birlikte ısıtma sezonları boyunca ortalama COP değerleri 108,3 ve 99,2 olarak hesaplanmıştır.

Literatürde JBIS’lerin performans değerlendirmelerine yönelik olarak birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar üç temel grupta sınıflandırılabilir: (a) JBIS’lerin enerji ve ekserji analizleri, (b) JBIS’lerin termoekonomik analizleri ve (c) Son zamanlarda görülen ileri ekserji analizi ve yapay sinir ağı modellemesine dayalı değerlendirme çalışmaları.

Özgener ve diğ. [58], JBIS’lerin sistem analizi, performans değerlendirmesi ve optimizasyonuna yönelik olarak yapmış oldukları çalışmada, İzmir’de bulunan Balçova JBIS’yi örnek çalışma sahası olarak ele almış ve bu sahada daha önce gerçekleştirmiş oldukları ön çalışmayı [59] genişleterek sistem için kapsamlı bir enerji ve ekserji analizi yapmıştır. Analiz yardımıyla, Balçova JBIS’nin performans değerlendirmesi yapılarak, enerji ve ekserji verimleri ile sistemde meydana gelen enerji ve ekserji kayıplarının sistemin hangi bileşeninde ne büyüklükte meydana geldiği hesaplanmış ve akış diyagramlarında gösterilmiştir. Buna göre, 10,4°C referans sıcaklığı için sisteme giren toplam ekserji miktarının %46’sının kullanılabilirdiği ve %54’ünün kaybolduğu görülmüştür. Sistemde meydana gelen en büyük ekserji kaybının, sisteme giren toplam ekserjinin %28,96’ını oluşturan doğal deşarj neticesinde gerçekleştiği ve bunu %14,84 ile termal reenjeksiyon sonucunda, %8,57 ile ısı eşanjörlerinde ve %1,64 ile pompalarda meydana gelen ekserji kayıplarının izlediği görülmüştür. Çalışmada ayrıca, Balçova JBIS’nin farklı çalışma koşullarındaki performansının incelenbilmesine yönelik olarak, ısıtma yükünün en yüksek olduğu kritik aylar için (Aralık, Ocak ve Şubat) 3 farklı referans sıcaklığı

(13,1, 12 ve 6,5°C) daha seçilmiş ve sistem enerji ve ekserji verimlerinin farklı çalışma koşulları ve dış hava şartlarında nasıl değiştiği belirlenmiştir. Buna göre sistemin genel enerji veriminin %35-42, ekserji veriminin ise %42-46 arasında değiştiği görülmüştür.

Özgener ve diğ. [60], Salihli JBIS'nin enerji ve ekserji analizini yapmıştır. Çalışmada, güncel sistem verileri kullanılarak sistemin performansı, enerji ve ekserji verimleri, özgül ekserji indeksi, ekserjetik iyileştirme potansiyeli belirlenmiş, ekserji kayıpları hesaplanarak akış diyagramında gösterilmiştir. Sistemde meydana gelen en büyük ekserji kaybının, sisteme giren toplam ekserjinin %20,44'ünü oluşturan doğal deşarj neticesinde gerçekleştiği ve bunu %17,9 ile ısı eşanjörlerinde ve %2,22 ile pompalarda meydana gelen ekserji kayıplarının izlediği görülmüştür. Bununla birlikte sistemin genel enerji ve ekserji verimleri ise sırasıyla, %55,5 ve %59,4 olarak hesaplanmıştır.

Özgener ve Özgener [61], Salihli JBIS'de reenjeksiyon uygulaması başladıktan sonra, sistemde reenjeksiyon uygulamasının bulunmadığı 2004 yılında yaptıkları çalışmayı [60] geliştirerek, yeni bir enerji ve ekserji değerlendirmesi yapmıştır. Buna göre, Salihli JBIS'ye 6 reenjeksiyon kuyusunun dahil edilmesi ile sistemin ortalama enerji ve ekserji verimleri, sırasıyla, %59,4 ve %60,3 olarak bulunmuştur. Bu değerlerin reenjeksiyon uygulamasının yapılmadığı eski sistem değerlerine göre daha büyük olduğu ve yeni sistemin termal su mevcudiyeti nedeniyle daha başarılı olduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte yeni sistem performansının daha gerçekçi bir şekilde değerlendirilebilmesi için sistemin daha uzun süre gözlenmesi gerektiği belirtilmiştir.

Özgener ve diğ. [62], Balçova JBIS üzerinde yapmış oldukları diğer bir çalışmada, sistemin enerji ve ekserji veriminin 0-25 °C arasındaki farklı referans sıcaklıklarında nasıl değiştiğini belirlemek üzere bir parametrik çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmada, her iki verim değerinin dış hava sıcaklığına bağlı olarak tahmin edilebilmesine yönelik olarak 0,99 korelasyon katsayısına sahip iki korelasyon elde edilmiştir. Sistem genelinde meydana gelen ekserji kayıpları 11,4 °C referans sıcaklığı için karşılaştırma amacıyla hesaplanmış ve ekserji akış diyagramında gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre Balçova JBIS'deki ekserji kayıplarının büyük bölümünün pompalarda, ısı eşanjörlerinde, boru hatlarında ve reenjeksiyon esnasında meydana geldiği görülmüştür. Sistemin genel enerji ve ekserji verimleri ise, sırasıyla, %42,36 ve %46,55 olarak hesaplanmıştır.

Özgener ve diğ. [63], Balçova ve Salihli JBIS'lerin enerji modellemesini yapmış ve sistemlerin enerji performanslarını karşılaştırmıştır. Çalışmada 2003-2004 ısıtma sezonuna ait güncel sistem verileri kullanılarak sistemlere giren ve çıkan enerji miktarları ile sistemlerden çevreye olan enerji kayıpları enerji akış diyagramları yardımıyla gösterilmiştir. Her iki sistemin enerji verimleri hesaplanarak, sonuçlar karşılaştırılmıştır. Buna göre, Balçova JBIS'de sisteme olan enerji girdisinin önemli bir bölümü, %32,28'i, boru hatlarındaki kaçaıklardan dolayı dağıtım hatlarında kayıp olmaktadır. Bu kayıp, Balçova JBIS enerji veriminin %39,36 gibi küçük bir değere sahip olmasının en önemli sebebi olarak gösterilmiştir. Bununla birlikte Salihli JBIS enerji verimi %59,31 olarak hesaplanmıştır.

Özgener ve diğ. [64], JBIS'lerin enerji ve ekserji analizi ile performanslarının iyileştirilmesine yönelik olarak yapmış oldukları çalışmada Balçova, Salihli ve Gönen JBIS'leri ele almış ve her üç sistemin 4 °C referans sıcaklığındaki enerji ve ekserji modellerini oluşturmuştur. Yapılan parametrik çalışma ile sistemlerin enerji ve ekserji verimlerini dış hava sıcaklığına bağlı olarak veren yüksek korelasyon katsayılı ifadeler elde edilmiştir. Sistemlere ait ısı eşanjörleri, kuyu ve sirkülasyon pompaları gibi bileşenlerin yakıt tüketim oranı, bağıl tersinmezlik, verimlilik yoksunluğu, ekserjetik faktör gibi termodinamiksel performans parametreleri hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda, Balçova, Salihli ve Gönen JBIS'lerin enerji ve ekserji verimleri, sırasıyla, %39,6-%45,7, %55,6-%59,8, %44,5-%63 olarak hesaplanmış ve en yüksek enerji veriminin Salihli JBIS'de, en yüksek ekserji veriminin ise Gönen JBIS'de olduğu görülmüştür. Gönen JBIS ekserji veriminin diğer sistemlere göre yüksek olması, Gönen JBIS boru hatlarında görülen ekserji kayıplarının nispeten daha küçük olmasıyla açıklanmıştır. Çalışmada ayrıca, Balçova ve Salihli JBIS'lerdeki reenjeksiyon kuyularının daha verimli kullanılması, JBIS'lerde sistem bileşenleri ve proseslerin otomatik kontrolü, kötü projelendirilmiş ve bakımsız boru hatları ile yetersiz ısı eşanjörleri ve doğru yapılmayan pompa seçimleri gibi noksanlıkların giderilmesi ile ısıtma sistemlerinin veriminin önemli ölçüde arttırılabileceği vurgulanmıştır.

Özgener ve diğ. [65], Balçova ve Salihli JBIS'ler için ekserji analizi yaparak sistemlerin ekserji performanslarını karşılaştırmıştır. Sistemlerden alınan güncel veriler yardımıyla 1 °C referans sıcaklığı için sistemlerin enerji ve ekserji verimleri ile özgül ekserji indeksleri hesaplanarak performans değerlendirmesi yapılmıştır. Buna göre sistemlerde meydana gelen ekserji kayıplarının büyük bölümünün pompalarda, ısı eşanjörlerinde ve boru hatlarında meydana geldiği, Balçova ve Salihli JBIS

ekserji verimlerinin ise sırasıyla, %42,89 ve %59,58 olduğu görülmüştür. Ayrıca özgül ekserji indeksi hesaplamaları sonucunda Balçova ve Salihli jeotermal sahaları, sırasıyla, orta ve düşük kaliteli kaynaklar olarak derecelendirilmiştir.

Özgener ve diğ. [66], Salihli JBIS için EXCEM (ekserji, maliyet, enerji ve kütle) yöntemini kullanarak ekserjiye dayalı maliyet analizi (eksergoekonomik analiz) yapmıştır. Çalışmada, Salihli JBIS'nin, 1 Şubat 2004 tarihindeki çalışma koşulları dikkate alınarak 2,9°C referans sıcaklığına göre, ekserji analizi yapılmış ve sistem bileşenlerinde meydana gelen ekserji kayıpları hesaplanmıştır. Meydana gelen bu kayıpların bileşenlerin sermaye maliyetlerine oranları hesaplanmış ve buna göre sistemde öncelikli olarak iyileştirilme yapılması gereken ekipmanlar; ısı merkezinde bulunan ısı eşanjörleri, ısı iletim hatları ve pompalar olarak belirlenmiştir.

Arslan ve Özgür [67], Simav JBIS'nin işletme koşullarının optimizasyonuna yönelik olarak yapmış oldukları çalışmada, sistemin ana karakteristiklerini ortaya koymuş ve ısıtma devresine ait parametrelerin sistem üzerindeki etkilerini enerji, ekserji ve yaşam çevrim maliyeti analizleri bakımından incelemiştir. Çalışmada Simav JBIS ısıtma devresi için en uygun çalışma şartının 60/49 °C olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışma koşullarında sistemdeki entropi üretiminin minimum olacağı ve elektrik tüketiminin azalacağı belirtilmiştir.

Özgener ve Özgener [68], yaptıkları çalışmada Afyon ve Salihli JBIS'lerin teknik ve gerçek hazır bulunma durumları ile kapasite faktörlerini tespit etmiş, sistemlerin geneline yönelik güncel enerji ve ekserji verim değerlendirmesi yapmış ve farklı dış hava sıcaklıklarına göre enerji ve ekserji verimlerini tahmin edebilen pratik korelasyonlar geliştirmiştir. Buna göre, JBIS'lerin bir yıl içindeki teknik hazır bulunurluklarının sitemlerde meydana gelen su kaçaklarından dolayı %90-100 arasında sabit olduğu görülmüştür. Sistemlerde yer alan pompaların optimum çalışma noktalarının dış hava ve rezervuar sıcaklıklarıyla termal su kullanımına göre tespit edilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Hepbaşlı [4], yaptığı çalışmada, JBIS'lerin enerji, ekserji ve eksergoekonomik analizlerine ilişkin yapılan önceki çalışmaları kapsamlı bir şekilde analiz etmiştir. Çalışmada öncelikle JBIS'lerin tarihsel geçmişi hakkında bilgi verilerek bir JBIS'nin en genel çalışma şekli ana hatları ile tanıtılmıştır. Daha sonra analizlerde kullanılan genel enerji ve ekserji bağıntıları ile eksergoekonomik bağıntı ve yöntemler açıklanarak bu bağıntıların JBIS'lere nasıl uygulandığı ifade edilmiştir. Çalışmanın devamında Türkiye'deki JBIS'lerden Balçova, Salihli, Gönen, Dikili, Bigadiç, Edremit,

Afyon JBIS'ler üzerinde enerji, ekserji ve eksergoekonomik analiz yöntemleri kullanılarak yapılan önceki çalışmalarda elde edilen sonuçların karşılaştırıldığı genel bir değerlendirmesi yapılmıştır (Tablo 2.34). Çalışma sonunda, ekserji analizinin enerji ile ilişkili sistemlerin yanında JBIS'lerin performans değerlendirmesinde yararlı bir araç olduğu; eksergoekonomik değerlendirmenin JBIS'lerin daha iyi tasarlanması, analiz edilmesi ve iyileştirme potansiyellerinin belirlenmesi konusunda bu alanda çalışanlara anahtar bilgiler sunduğu; Türkiye'deki JBIS'lerin ekserji verimlerinin 0-25°C arasında değişen referans sıcaklıkları için %42,94 ile %80 arasında değiştiği; jeotermal kaynakların özgül ekserji indeksine dayalı olarak sınıflandırılmasının, kaynak sıcaklıklarına göre sınıflandırmaya göre daha anlamlı olduğu vurgulanmıştır.

Tablo 2.34: Bazı JBIS'ler için yapılan ekserji analizi sonuçlarının karşılaştırılması.

JBIS adı	Yer	Ölü hal sıcaklığı (°C)	Verilerin alındığı tarih	Toplam ekserji girdisi (kW)	Ekserji kayıpları/yıkımları (Sisteme giren toplam ekserjinin %'si oranında)				Ekserji verimi (%)	Referans
					Pompalar	Isı eşanjörleri	Termal reenjeksiyon	Doğal deşarj		
Balçova JBIS	İzmir	13,1	1 Ocak 2003	9164,29	3,22	7,24	22,66	24,1	42,94	[59]
Gönen JBIS	Balıkesir	6	1 Şubat 2004	2657,5	14,81	7,11	12,96	1,06	64,06	[69]
Salihli JBIS	Manisa	2,9	1 Şubat 2004	2564	2,22	17,90	-	20,44	59,44	[60]
Balçova JBIS	İzmir	13,1	2 Ocak 2004	14808,15	1,64	8,57	14,84	28,96	46,00	[70]
Gönen JBIS	Balıkesir	10	1 Şubat 2004	2333,33	17,45	8,19	7,37	0,86	66,13	[71]
Salihli JBIS	Manisa	25	1 Şubat 2004	1524	4,27	31,17	-	8,98	55,58	[58]
Balçova JBIS	İzmir	11,4	2 Ocak 2004	14390	1,74	8,83	14,18	28,7	46,55	[72]
Bigadiç JBIS	Balıkesir	11	Aralık 2006	2889	1,7	26,3	-	34	49,00	[73]
Salihli JBIS	Manisa	3,1	2006/2007 ısıtma sezonu	2600-5403	1,05-2,19	14,82-17,65	18,14-20,06	1,70-2,23	60,3-62,9	[61]
Afyon JBIS	Afyon	0-20	2006/2007 ısıtma sezonu	2391,51	23,45	76,55	Veri yok	Veri yok	53,14-55,28	[74]
Salihli JBIS	Manisa	0-20	2007/2008 ısıtma sezonu	1025,97	7,90	43,31	Veri yok	Veri yok	61,1	[74]
Gönen JBIS	Balıkesir	4	13 Ocak 2007	3203	0,90	8,24	32,49	1,13	50,0	[75]
Edremit JBIS	Balıkesir	13,4	20 Ocak 2007	1927	1,66	6,07	29,94	8,04	54,26	[76]
Dikili JBIS	İzmir	1,9	Proje verisi	10332,82	0,76	10,34	38,77	-	50,12	[77]

Keçebaş [78], Afyon JBIS'nin enerji, ekserji ve eksergoekonomik analizini yapmıştır. Analizde, bölgesel ısıtma sisteminin performansı, enerji ve ekserji verimleri, ekserji kayıpları ve kayıp maliyet oranlarının değerlendirilmesinde güncel sistem verileri kullanılmıştır. Sistemde meydana gelen enerji ve ekserji kayıpları akış diyagramında gösterilmiştir. Sistemin genel enerji ve ekserji verimleri, sırasıyla, %37,59 ve %47,54 olarak bulunmuştur. En büyük ekserji kaybının sisteme olan ekserji girdisinin %14,59'u oranında ısı eşanjörlerinde meydana geldiği ve bunu %14,09 ile reenjeksiyon kuyularında meydana gelen kayıpların izlediği görülmüştür. Termoeekonomik değerlendirme sonuçlarının bir tablo halinde sunulduğu çalışmada, enerji ve ekserji kayıp oranları, sırasıyla, 5,36 kW/\$ ve 0,2 kW/\$ olarak hesaplanmıştır.

Keçebaş [79], Afyon JBIS ve sistem bileşenlerini eksergoekonomik açıdan değerlendirmiş, ekserji maliyet akışlarının dış hava sıcaklığı ile nasıl değiştiği göstermiştir. Analizde, sistemin %100 kapasitede çalıştığı farklı iki durum için 20 Ocak (Durum-1) ve 23 Şubat (Durum-2) tarihlerindeki basınç, sıcaklık ve debi gibi güncel sistem verileri kullanılmıştır. Afyon JBIS'deki her bir bileşenin mekanik ve termal ekserji oranları, entropi üretim oranları ve ekserji maliyet akış oranları her iki durum için elde edilen veriler kullanılarak hesaplanmıştır. Çalışma sonunda, ekserji maliyetlerinin bileşenler arasında nasıl dağıldığı ortaya çıkarılmış ve sistemin her iki durumdaki ekserji verimleri, sırasıyla, %25,34 ve %22,78 olarak bulunmuştur. Afyon JBIS'ye olan girdi maliyetlerinin, Durum-1 ve Durum-2 için sırasıyla, %52,49 ve %64,91'inin ısı eşanjörlerinde, %16,26 ve %18,64'ünün boru hatlarında ve %7,22 ve %16,45'inin pompalarda kaybolduğu görülmüştür. Bununla birlikte, dış hava sıcaklığının JBIS'lerle ilgili ekserji ve maliyet hesapları üzerinde önemli etkilere sahip olduğu ve JBIS'lerin tasarımı ve işletilmesi esnasında alınacak kararlar ile ilgili önemli bilgiler sunduğu ifade edilmiştir.

Alkan ve diğ. [80], özgül ekserji maliyeti yöntemine dayalı olarak geliştirdikleri termoeekonomik analiz prosedürünü Afyon JBIS'ye uygulamış ve bu yöntemle sistem hakkında, sistem bileşenlerindeki muhtemel iyileştirme önerilerini ortaya koyan maliyete dayalı önemli bilgiler elde etmiştir. Yapılan maliyet analizi sonuçları, Afyon JBIS'nin %100 yük altında çalışması durumunda, sistemdeki jeotermal kaynaklardan ısınmanın birim maliyetinin ortalama 5624 ABD \$/saat olduğunu göstermiştir. Sistemin çalışma yükünün %25'ten %100'e yükseltilmesi ile ısı eşanjörleri tarafından üretilen ısının birim maliyetinin yaklaşık %19,75 oranında düştüğü görülmüştür. Bununla birlikte, sistem bileşenleri arasında, en hızlı iyileştirmenin yüksek işletme maliyeti nedeniyle 3 numaralı ısı eşanjöründe yapılması gerektiği, en yüksek eksergoekonomik faktöre sahip bileşenlerin ise, gerek ilk yatırım gerekse işletme maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle, 1 numaralı ısı eşanjörü ile 5

numaralı pompa olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, kuyu başı sıcaklıkları ve dış ortam sıcaklıklarındaki artışın, sistemde bulunan tüm ısı eşanjörlerinin birim ekserji başına ısı üretim maliyetlerini, yüksek ekserji kayıp maliyetleri nedeniyle, düşürdüğü görülmüştür.

Keçebaş ve diğ. [81], ileri eksergoekonomik analiz yöntemini kullanarak aynı referans durum koşulu altındaki iki JBIS'nin ekonomik değerlendirmesini yapmıştır. Çalışmada, Afyon ve Sarayköy JBIS'lerin her bir sistem bileşeninde meydana gelen ekserji kayıpları engellenebilen veya engellenemeyen iç ve dış kaynaklı bileşenlere ayrılmış ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Buna göre, geleneksel ve ileri eksergoekonomik analiz yöntemlerine göre toplam işletme maliyetleri Afyon JBIS için, sırasıyla, 1087 \$/saat ve 213 \$/saat, Sarayköy JBIS için ise, sırasıyla, 899 \$/saat ve 126 \$/saat olarak hesaplanmıştır. Sarayköy JBIS'deki sistem bileşenlerinin büyük bölümünün Afyon JBIS sistem bileşenlerine göre daha ekonomik çalıştığı, ancak, sistem bileşenlerindeki tersinmezliklerin, teknik ve ekonomik kısıtlamaların ve yetersiz üretim metotlarının giderilmesi halinde Afyon JBIS'nin Sarayköy JBIS'ne göre daha ekonomik işletme koşullarına sahip hale getirilebileceği görülmüştür. Böylece, geleneksel eksergoekonomik analizin, sistemlerin ana bileşenleri için daha yüksek mali verimsizlik ortaya koyduğu, ancak, sistem bileşenleri arasındaki etkileşimler ile her bir bileşen için gerçek iyileştirme potansiyeli sunmadığı sonucuna varılmıştır. Çalışma sonuçları, ileri ekserji analiz yöntemi sayesinde termal sistemler hakkında daha doğru, kullanışlı ve geleneksel ekserji analizi ile elde edilemeyecek ilave bilgiler elde edildiğini göstermiştir.

Tan ve Keçebaş [82], bir JBIS'yi termodinamik ve ekonomik bakımdan karşılaştırmalı olarak değerlendirmiş ve ileri ekserji analizine dayalı metotları kullanarak sistemin iyileştirme potansiyelini, bileşenleri arasındaki etkileşimleri ve potansiyel enerji tasarruf miktarını belirlemiştir. Çalışmada örnek uygulama olarak Sarayköy JBIS ele alınmış ve ileri ekserji ve eksergoekonomi analizinde her bir sistem bileşeni için toplam işletme maliyetleri ve ekserji yıkımları engellenebilen/ engellenemeyen ve iç / dış kaynaklı bileşenlere ayrılmıştır. İleri ekserji analizinin geleneksel ekserji analizine olan üstünlükleri ortaya koyulmuştur. Çalışmada ileri ekserji analiz yönteminin, sistemlerin performans değerlendirmesi için daha anlamlı ve etkili sonuçlar doğurduğu ifade edilmiştir. Buna göre, Sarayköy JBIS için ekserji verimi ve eksergoekonomik faktör geleneksel analiz yöntemiyle, sırasıyla, %43,72 ve %5,25; ileri analiz yöntemiyle %45,06 ve %12,98 olarak bulunmuştur. Sistem genelinin iyileştirme potansiyeli ve toplam maliyet tasarruf potansiyeli ise, sırasıyla, %2,98 ve %14,05 olarak elde edilmiştir. Ayrıca sistemin kurulum aşamasında pompa güçlerinin olması gerekenden daha büyük seçilmesi nedeniyle, sistemdeki pompaların en yüksek iyileştirme potansiyeline sahip olduğu ortaya çıkarılmıştır.

Keçebaş ve diğ. [83], örnek çalışma sahası olarak Afyon JBIS'yi seçerek JBIS'lerin sistem analizi, performans değerlendirmesi ve optimizasyonuna yönelik bir çalışma yapmıştır. Çalışmada, güncel sistem verileri kullanılarak Afyon JBIS'nin performansı, enerji ve ekserji verimleri ile sistemde meydana gelen ekserji kayıpları değerlendirilmiştir. Çalışmada ayrıca, enerji ve ekserji verimlerinin referans sıcaklığına göre nasıl değiştiği ve sistemde meydana gelen ekserji kayıplarının sistemin dağıtım hattı gidiş sıcaklığı ile jeotermal kaynak sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkından nasıl etkileneceği ortaya çıkarılmıştır. Bununla birlikte çalışmada, Afyon JBIS'de deşarj edilen termal suyun çevre üzerindeki olumsuz etkileri sunulmuştur. Çalışma sonuçlarına göre, Afyon JBIS'yi besleyen Omer-Gecek Jeotermal Sahası'nın özgül ekserji indeksi değerlendirmesine göre düşük kaliteli bir kaynak olduğu tespit edilmiştir. Sistemin enerji ve ekserji verimleri, sırasıyla, %37,59 ve %47,54 olarak bulunmuştur.

Keçebaş ve diğ. [84], JBIS'lerin farklı çalışma koşulları altındaki ekserji verimlerini tahmin edebilmek üzere bir yapay sinir ağı modellemesi gerçekleştirmiştir. Çalışmada, örnek ısıtma sistemi olarak Afyon JBIS seçilmiş ve ekserji analizinde 2009-2010 ısıtma sezonuna ait günlük ortalama güncel sistem verileri kullanılmıştır. Bu kapsamda öncelikle, çevre sıcaklığı, akış debisi ve kuyu başı sıcaklığı gibi sistem parametrelerine göre Afyon JBIS'nin ekserji verimini tahmin edebilecek geri yayımlı öğrenme algoritmasına dayalı bir yapay sinir ağı modeli geliştirilmiştir. Daha sonra farklı günlerde Afyon JBIS'den elde edilen ve hesaplanan veriler ağın eğitimi için kullanılmıştır. Sonuçlar, yapay sinir ağı modellemesinin JBIS'lerin ekserji performanslarının tahmininde yüksek doğruluk ve güvenilirlik sağlayarak başarılı bir şekilde kullanılabilmesini göstermiştir.

Keçebaş ve Yabanova [85], bir JBIS'nin termal optimizasyonu için enerji ve ekserji verimleri ile ekserji kayıplarını yapay sinir ağı modelleme yöntemini kullanarak tespit etmeye yönelik bir çalışma gerçekleştirmiştir. Modelleme ve optimizasyon çalışmasında, Afyon JBIS örnek uygulama sahası olarak seçilmiş ve sistemin 2006-2010 yılları arasındaki ortalama haftalık verileri kullanılmıştır. Söz konusu ölçüm verileri ile birlikte hesaplanan değerler, MATLAB programının çok katmanlı algılayıcı tasarımında kullanılmış ve sonuçlar grafiksel olarak açıklanmıştır. Çalışma sonuçları, geliştirilen modelin, Afyon JBIS'nin termal performansı ve ekserji kayıplarını hızlı ve doğru bir şekilde tahmin edebildiğini göstermiştir.

Hepbaşlı ve Keçebaş [86], bir JBIS'nin iyileştirme potansiyelinin ve sistem bileşenlerinin etkileşimlerini tespit etmek üzere, sistemde meydana gelen ekserji kayıplarını, geleneksel ve ileri ekserji analizi yöntemlerini kullanarak hesaplamıştır. Afyon JBIS'nin örnek uygulama sahası olarak ele alındığı çalışmada, ileri ekserji yöntemi ilk kez, her bir sistem bileşeninde engellenebilen veya engellenemeyen iç ve dış kaynaklı bileşenlere ayrılan

ekserji kayıplarının görüldüğü bir JBIS'ye uygulanmıştır. Sonuçlar, sistem bileşenleri arasındaki bağlantıların çok güçlü olmadığını ve bu nedenle sistem bileşenlerindeki iç yetersizliklerin (yıkımların) azaltılmasının büyük önem taşıdığını göstermiştir. Çalışmada, ileri ekserji analizi sonuçlarına göre, PM-IX reenjeksiyon pompasının, geleneksel ekserji analizi sonuçlarına göre ise HEX-III ısı eşanjörünün iyileştirmede yüksek önceliğe sahip olduğu görülmüştür.

Yabanova ve Keçebaş [87], JBIS'ler için yapay sinir ağı modellemesi ve ekserji veriminin maksimizasyonu için yeni ve optimal bir kontrol stratejisi geliştirmiştir. Örnek uygulama sahası olarak Afyon JBIS seçilmiş ve çalışmada, sistemin 2006-2010 yılları arasındaki ısıtma sezonlarına ait haftalık ortalama termal verileri kullanılmıştır. Afyon JBIS'nin akış debisinin kontrolü ile sistemin maksimum ekserji verimini sağlayan PID kontrolörüne dayalı yeni bir kontrol stratejisi tasarlanmış ve bu stratejinin etkinliği geliştirilen yapay sinir ağı modelinde sistemin farklı çalışma koşulları için test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, ağın çok iyi bir istatistiksel performans sergilediğini ve önerilen PID kontrolörünün Afyon JBIS'de bulunması halinde manuel kontrole göre daha iyi bir kontrol performansı sergileyeceğini göstermiştir. Söz konusu kontrol stratejisi ile sistemin enerji veriminde %13 oranında artış sağlanabileceği tespit edilmiştir.

Keçebaş ve Yabanova [88], JBIS'lerin ekserji veriminin maksimizasyonu için geliştirdikleri ekserji verimine dayalı bir kontrol stratejisini ekonomik olarak incelemiştir. Örnek uygulama sahası olarak Afyon JBIS seçilmiş ve yapay sinir ağı modellemesi için sistemin 2006-2010 yılları arasındaki ısıtma sezonlarına ait haftalık ortalama termal verileri kullanılmıştır. Sistemin yapay sinir ağı modeli, ekserji verimi temeline dayalı kontrol stratejisinin farklı çalışma koşullarındaki etkinliğini ve ekonomikliğini test etmede kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, Afyon JBIS'de ekserji verimine dayalı olarak geliştirilen kontrol stratejisi ile sistemdeki ısı üretiminin mevcut kontrolsüz duruma göre %13 oranında arttırılabileceğini, bu stratejinin bütün kabul edilebilir belirsizlikler ve dış hava sıcaklık değişimleri için sistem kararlılığını koruyabileceğini ve bu kontrol sistemi için gerekli yatırımın kendisini, %30 ekserji veriminde 3,8 yılda amorti edeceğini göstermiştir.

Keçebaş ve diğ. [89], yaptığı çalışmada, bir JBIS'nin enerji girdisi, çıktısı, kayıpları, verimi ve ekonomik optimizasyonunun değerlendirilmesi için yeni bir yaklaşım olarak bir yapay sinir ağı modeli önermiştir. Çalışmada, yapay sinir ağı modellemesi kullanılarak Afyon JBIS'nin enerji analizi yapılmış ve ekonomik analizle ilgili umut verici sonuçlara ulaşılmıştır. Analiz, mevcut sistemin optimum düzeyde çalışıp çalışmadığı konusunda bilgi vermiş, ayrıca sistemin optimum tasarım ve karlı çalışma koşullarında çalışması konusunda bilgi vermiştir. Çalışmanın sonuçları, Afyon JBIS'nin enerji performansını tahmin etmek üzere oluşturulan

yapay sinir ağı modelinin iyi bir istatistiksel performans ortaya koyduğunu göstermiş ve şimdiki değer faktörünün 7,9'dan büyük olması halinde sistem için yapılan yatırımın karlı olacağını göstermiştir. Bununla birlikte sistemin şimdiki değer faktörü 1,43 gibi küçük bir değer olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, bir JBIS'nin kurulumunda, şimdiki değer faktörü, dış hava sıcaklığı, akışkan debisi gibi faktörlerin sistemin toplam maliyeti üzerindeki etkisinin oldukça önemli olduğu vurgulanmıştır.

Keçebaş [90], yaptığı diğer bir çalışmada Afyon JBIS'nin enerji ve ekserji analizinin yanında ekonomik ve çevresel değerlendirmesini yapmıştır. Çalışmada, Afyon JBIS'ye ait güncel sistem verileri kullanılarak, bölgesel ısıtma sistemi performansı, enerji ve ekserji verimleri, özgül ekserji indeksi, ekserjetik iyileştirme potansiyeli ve ekserji kayıpları hesaplanmıştır. Sistemin performans analizi ve iyileştirmesine yönelik olarak hesaplanan enerji ve ekserji verimleri, sırasıyla, %34,86 ve %48,78 olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar, Türkiye'de jeotermal enerjinin fosil yakıtlar gibi diğer enerji türlerine oranla oldukça ucuz olduğunu ve hava kirletici emisyonların azaltılmasına büyük katkı sağladığını göstermiştir. Afyon JBIS'nin 1996 yılında işletmeye alınmasıyla, yıllık ve ısıtma sezonlarında meydana gelen dış ortam SO₂ konsantrasyonlarının, ısıtma sistemi kurulmadan önceki yıllardaki konsantrasyonlara göre, sırasıyla, %23 ve %34 oranlarında azalmıştır. Benzer şekilde, partikül madde konsantrasyonlarının, sistemin işletmede olmadığı ısıtma sezonlarındaki ortalama konsantrasyonlara göre, 1999-2000 yılı ısıtma sezonunda %19,3, 2004-2005'te %8,6 ve 2009-2010'da %14,3 oranında azaldığını görülmüştür.

Literatürde Balıkesir ilinde bulunan JBIS'lerle ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Özgener ve diğ. [91], Gönen JBIS için enerji ve ekserji analizine dayalı bir performans değerlendirmesi yapmıştır. Çalışmada, 6°C referans sıcaklığı için sistem genelinde meydana gelen ekserji kayıplarının konumu ve büyüklükleri tespit edilerek enerji ve ekserji akış diyagramları yardımıyla sunulmuştur. Buna göre sistemde meydana gelen ekserji yıkımlarının öncelikli olarak, toplam ekserji girdisinin %14,81'i oranında pompalarda, %12,96 oranında reenjeksiyon esnasında, %7,11 oranında ısı eşanjörlerinde ve %1,06 oranında boru hatlarında meydana geldiği görülmüştür. Çalışmada, sistemin performans analizi ve iyileştirilmesine yönelik olarak hesaplanan enerji ve ekserji verimleri ise, sırasıyla, %45,91 ve %64,06 olarak bulunmuştur. Gönen JBIS için hesaplanan ekserji veriminin, çevre illerdeki Balçova ve Salihli JBIS'lerin ekserji verimlerine göre daha yüksek olduğu, bunun da Gönen JBIS boru hatlarında meydana gelen ekserji kayıplarının nispeten daha küçük olmasından kaynaklandığı belirtilmiştir.

Oktay ve Aslan [69], jeotermal bölgesel ısıtma sistemlerinin ülkemizdeki mevcut durumu ve gelecekteki görünümü ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Çalışmada, ülkemizde jeotermal bölgesel ısıtma alanındaki gerçekleştirilen ilk proje olan Gönen JBIS tanıtılarak, sistemin saha jeolojisi ve sahada yer alan jeotermal kaynaklar, projenin gelişim aşamaları, karşılaşılan problemler ile ısıtma sisteminin ekonomik ve çevresel katkılarının değerlendirildiği bir inceleme yapılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar, gerek Gönen JBIS'de gerekse ülkemizdeki diğer JBIS'lerde gerçekleştirilen büyük ölçekli konut ısıtmacılığının çevre kirliliğinin azaltılması yönünde büyük katkılar sağlayacağını, bu sistemlerin fosil yakıtlar ve diğer yenilenebilir enerji kaynakları kullanılan sistemlere göre daha ucuz bir seçenek olduğunu göstermiştir.

Oktay ve diğ. [76], Bigadiç JBIS'ler için enerji ve ekserji verimine dayalı termodinamiksel performans değerlendirmesi yapmıştır. Bu kapsamda sistemi oluşturan bileşenlerde meydana gelen ekserji kayıpları ile sistemin enerji ve ekserji verimleri 15,6 ve 11°C referans sıcaklıkları için tespit edilmiştir. Buna göre, sistemin 15,6°C referans sıcaklığına göre enerji ve ekserji verimleri, sırasıyla %30 ve %36; 11°C referans sıcaklığına göre enerji ve ekserji verimleri ise %40 ve %49 olarak bulunmuştur. Yapılan parametrik çalışma ile sistemin enerji ve ekserji veriminin dış hava sıcaklığı ile nasıl değiştiği tespit edilmiştir.

Oktay ve Dinçer [92], Gönen JBIS'nin sistem geneli ve bileşenleri için ekserji ve maliyet analizlerine dayalı eksergoekonomik modelini oluşturmuştur. Çalışmada Gönen JBIS'de meydana gelen ekserji yıkımları 4°C referans sıcaklığı için hesaplanarak tanımlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre ekserji kayıplarının öncelikli olarak soğutulan jeotermal suyun rezervuara gönderilmesi sonucunda, pompa ve ısı eşanjörlerinde ve boru hatlarında meydana geldiği tespit edilmiştir. Sistemin performans değerlendirmesi açısından hesaplanan enerji ve ekserji verimleri ise sırasıyla %42 ve %50 olarak bulunmuştur.

Aslan ve diğ. [93], Gönen JBIS'de yer alan binaların enerji performanslarını inceleyen bir çalışma yapmıştır. Bu doğrultuda, binaların yapı bileşenleri için optimum yalıtım kalınlıkları, elde edilecek enerji tasarruf miktarları ve yalıtım yatırımının geri ödeme süreleri binalarda yaygın olarak kullanılan dört farklı yalıtım malzemesi dikkate alınarak hesaplanmıştır. Yalıtım optimizasyonunda yaşam çevrim maliyeti analizi kullanılmış ve hesaplamalarda konut ısıtmada yaygın kullanılmaları nedeniyle kömür ve doğalgazın optimizasyon üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışma sonucunda, farklı yakıt ve yalıtım malzemelerine bağlı olarak dış duvar, tavan ve döşeme bileşenleri için optimum yalıtım kalınlıklarının, sırasıyla, 2,2-12,2, 5,5-13,3 ve 3,6-7,6cm arasında değiştiği görülmüştür. Gönen JBIS'de bulunan tüm binaların dış duvar, tavan ve taban alanlarının optimum

kalınlıkta yalıtılmasıyla yıllık ısınma maliyetlerinde en fazla, sırasıyla, 1.926.454, 1.455.785 ve ABD \$'lık tasarruf sağlanacağı hesaplanmıştır. Yakıt türü ve yalıtım malzemesine bağlı olarak dış duvar, tavan ve taban yalıtım maliyetleri için en kısa geri ödeme süreleri ise, sırasıyla, 1,83,1,23 ve 1,44 yıl olarak bulunmuştur. Çalışmada ayrıca, Gönen JBIS'de bulunan tüm binaların dış duvar ve tabanlarının optimum kalınlıkta EPS ile, tavan alanlarının ise optimum kalınlıktaki cam yünü veya taş yünü ile yalıtılması durumunda, ısıtma sistemi tarafından ilave 2210 konutun daha ısıtılabilceği tespit edilmiştir.

Yüksel ve diğ. [94], Gönen JBIS'nin enerji ve ekserji performanslarının, sistemin enerji ihtiyacı ve çalışma koşullarındaki mevsimsel değişimleri dikkate alarak, nasıl değiştiğini ortaya koymuştur. Bu kapsamda Gönen JBIS ısı merkezindeki kritik noktalara ait basınç, sıcaklık ve debi değerleri bir yıllık süre boyunca sürekli olarak izlenmiş ve hesaplamalarda kullanılacak veriler elde edilmiştir. Sistemin yaz, kış ve geçiş mevsimlerindeki farklı kullanım durumları için enerji ve ekserji analizi yapılmış ve sistemde meydana gelen kayıplar hesaplanmıştır. Buna göre en yüksek enerji ve ekserji verimleri, sırasıyla, %45,78 ve %50,45 olarak geçiş mevsimlerinde; en düşük enerji ve ekserji verimleri ise, sırasıyla, %31,72 ve %39,34 olarak kış mevsiminde görülmüştür. Sistemin sadece kullanım suyu ve termal tedavi amacıyla faal durumda olduğu ve ısıtmanın yapılmadığı yaz dönemindeki çalışma süresinin 124 gün olduğu ve bu süreçte sistemin %30 kapasite ile çalıştığı gözlenmiştir. Yaz dönemi için enerji ve ekserji verimleri, sırasıyla, %45,63 ve %47,75 olarak bulunmuştur. Bununla birlikte, Gönen JBIS'nin bir yıllık çalışma süresi içerisinde hangi mevsimde kaç gün çalıştığı dikkate alınarak yıllık ortalama enerji ve ekserji verimleri, sırasıyla, %41,07 ve %45,86 olarak bulunmuştur. Sonuç olarak, elde edilen yıllık ortalama verim değerlerinin, sistemin maksimum yükte, kış mevsiminde, çalışması sırasında elde edilen değerlerden farklı olduğu ve yıl boyunca çalışan JBIS'lerin yıllık performansını değerlendirmede daha gerçekçi ve doğru sonuçlar vereceği ifade edilmiştir.

Aslan ve diğ. [95], Gönen JBIS'nin bir yıllık çalışma süresi boyunca karşılaştığı tüm işletme koşullarını dikkate alarak, sistemin enerji ve ekserji performansını incelemiştir. Bu kapsamda, sıcaklık, basınç ve debi gibi sistem parametreleri bir yıl boyunca ölçüm cihazları ile sürekli olarak izlenmiş ve sistemin çalışma koşullarındaki başlıca değişimler ortaya çıkarılmıştır. Isıtma sistemini besleyen jeotermal kuyuların sayısı farklı işletme koşullarının belirlenmesinde ayırt edici bir rol oynamıştır. Buna göre, Gönen JBIS'nin bir yıllık süreç içerisinde dış hava sıcaklığına bağlı olarak altı farklı işletme koşulunda çalıştığı görülmüştür. Her bir işletme koşulunu temsil eden ortalama dış ortam sıcaklıkları (referans sıcaklıklar) tespit edilerek (3,86, 7,1, 8,88, 11,83, 15,26 ve 20,4 °C), bu sıcaklık değerlerindeki güncel sistem verileri yardımıyla sistemin enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda, en

yüksek ve en düşük enerji (%57,32, %35,64) ve ekserji (%55,76, %41,42) verimlerinin, sırasıyla, 15,26 °C ve 3,86 °C referans sıcaklıklarında elde edildiği görülmüştür. Bununla birlikte, altı farklı işletme koşulu için yapılan enerji ve ekserji analizlerini göz önüne alarak, Gönen JBIS'nin yıllık ortalama enerji ve ekserji verimleri, sırasıyla, %45,24 ve %47,33 olarak hesaplanmıştır.

3. JEOTERMAL BÖLGESEL ISITMA SİSTEMLERİ

Bölge ısıtması kavramı, bir merkezde üretilen ısının aracı akışkan ve boru şebekesi ile çok geniş bir alan içerisindeki kullanım yerlerine ulaştırılması olarak tanımlanmaktadır. Bu kavram, sadece konut ısıtmasının sağlandığı bir sistem değil aynı zamanda konutlarda sıcak su, soğutma ve bölgedeki endüstriyel sistemler için gerekli ısıyı karşılayan bir sistemler topluluğu da olabilmektedir. Bölge ısıtmasının kullanım alanı bir site olabileceği gibi mahalle veya bir şehrin tamamı da olabilir. JBIS'lerde bulunan jeotermal kuyular birincil ısı kaynağı olup, bununla birlikte sıcaklığa bağlı olarak, bölgesel ısıtma sistemleri pik yükler için fosil yakıt ve/veya ısı pompası destekli bir hibrit sistem de olabilir.

Jeotermal enerji ile hacim ısıtma günümüzde oldukça başarılı bir şekilde gerçekleştirilen bir ısıtma uygulamasıdır. Bir sıcak su kaynağının ısıtma alanında ekonomik olarak kullanımı öncelikli olarak kaynak sıcaklığına ve kaynak miktarına bağlıdır. 30 ile 125 °C arasındaki sıcak su kaynakları hacim ısıtma uygulamalarında kullanılmakta olup radyatör girişlerindeki su sıcaklıkları ise genellikle 50 ile 80 °C değerleriyle sınırlandırılmaktadır [96]. İzlanda gibi bazı bölgelerde jeotermal su yeterli saflığa sahip olduğundan direkt olarak kullanıcılara gönderilerek radyatörlerden geçirilebilmektedir. Bununla birlikte birçok bölgede jeotermal suyun kimyasal kompozisyonu böyle bir kullanıma izin vermeyecek niteliktedir. Bu gibi durumlarda ısıtma sistemlerinde, radyatör ve jeotermal suyu birbirine karıştırmadan termal bağlantıyı sağlayan ısı eşanjörleri kullanılır.

Radyant ısıtma gibi alternatif metotların uygulanması ile 35 – 50 °C sıcaklık aralığındaki jeotermal kaynaklardan da hacim ısıtma alanında yararlanılabilmektedir. Bununla birlikte daha gelişmiş yöntemler kullanılarak 20 - 30 °C sıcaklık aralığındaki jeotermal kaynaklardan da yararlanmak mümkündür. Su-hava geçişli jeotermal ısı eşanjörlerinin kullanıldığı hava ısıtma sistemleri, bu sıcaklık aralığı için oldukça elverişlidir. Bu tür uygulamalar, jeotermal su sıcaklıklarının, örneğin bir ısı pompası yardımıyla, artırılmasıyla çalıştırılır. Isı pompası sistemlerinin ilgi çeken bir özelliği de ısıtma sisteminin, sıcak havalarda soğutma sistemine dönüştürülebildiği iki yönlü bir sistem olmasıdır. Bununla birlikte yukarıda belirtilen ısıtma yöntemlerinin kaskad (kademeli) kullanımı ile bir kısmının veya tamamının birleştirilmesi de mümkündür [96].

JBIS'lerde ısı tüketimi dış hava sıcaklığına bağlı olarak değiştiğinden kullanıcılara arz edilen enerji miktarı da değişken olmalıdır. Bu değişkenlik iki yöntemle sağlanabilir. Birinci yöntem kullanıcılara gönderilen ısıtma suyunun sıcaklığını değiştirmektir. Ancak bu

yöntemde bir JBIS'nin toplam maliyetinin %70'ini oluşturabilen boru hatları olumsuz yönde etkilenecektir. Dahası, bu uygulamalar düşük işletme verimlerine ve yüksek işletme giderlerine neden olup kullanıcıların farklı ısı taleplerinin karşılanması uzun zaman alacaktır. İkinci yöntem, kullanıcılara değişken sıcaklık yerine değişken debi sağlanması yöntemidir. Bu durumda kullanıcılara gönderilen ve kullanıcılardan gelen su sıcaklıkları sabit tutulur. Bu sayede sıcaklık farkının boru hatlarında meydana getireceği zarar önlenmiş, işletme maliyetleri düşürülmüş ve farklı ısı taleplerinin tamamının hızlı bir şekilde karşılanması sağlanmış olur [97].

JBIS'ler İzlanda, Fransa, Polonya, Macaristan, Türkiye, Japonya, Çin, Romanya ve ABD'deki büyük tesisler dahil olmak üzere 20'den fazla ülkede faaliyet göstermektedir. ABD'nin Idaho eyaletindeki Boise şehrinde 1892 yılında işletmeye alınan 400 konut ısıtım Warm Springs Avenue projesi dünyadaki ilk resmi JBIS olarak anılmaktadır. İzlanda'da bulunan Reykjavik JBIS yaklaşık 190.000 kişinin ısı ihtiyacını karşılaması ile dünya genelindeki en ünlü JBIS'dir. Kurulu gücü 830 MWt olan bu sistem -10°C'ye kadar olan ısı yükünü karşılamak üzere tasarlanmış olup, daha soğuk günlerde artan yük ihtiyacı fosil yakıtlı ısıtma sistemi ile karşılanmaktadır [98].

3.1 Kaynak Değerlendirme

Kaynak geliştirme: El değmemiş bir jeotermal kaynağın geliştirilerek sıcak su üretecek hale gelmesi için ilk araştırma aşamasından itibaren 7-10 yıllık süreye ihtiyaç duyulmaktadır. Son on yılda kaynakların keşfi ve değerlendirilmesine yönelik olarak önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Bu sayede kaynak geliştirme için geçen süre saha özelliklerine bağlı olarak 4-10 yıl arasına düşürülmüştür. Jeotermal projeler en başından başlamak üzere tüm karar aşamaları için açık tanımlanan iyi bir planlamaya ihtiyaç duyar. Planlama esnasında zaman kazanmak adına tek bir aşamanın bile görmezden gelinmesi önemli riskleri beraberinde getirecektir. Jeotermal projelerin ilk aşamaları araştırma stratejilerine dayanırken, sonraki aşamalar yapım planlamasını kapsar [96].

Akışkan sıcaklığı: Akışkan sıcaklığı arttıkça jeotermal kaynağın değeri artmaktadır. Sıcaklığı 100-150°C arasında olan düşük entalpili jeotermal kaynaklardan ikili çevrimli santraller aracılığı ile elektrik üretmek, özellikle ısıtma uygulamalarıyla birleştirildiğinde, oldukça avantajlıdır. Genellikle 55°C değerindeki bir sistem sıcaklığı doğrudan jeotermal ısıtma uygulamaları için en düşük uygulanabilir sıcaklık olarak kabul edilir. Bu sıcaklığın

altındaki değerlerde, fosil yakıtlı, doğalgazlı veya elektrikli kazan sistemleriyle, atık ısı veya ısı pompası kullanılarak sıcaklığın yükseltilmesi gerekmektedir [96].

Elde edilebilir debi: Jeotermal akışkan sıcaklığı ile birlikte jeotermal akışkan debisi, bölgesel ısıtma uygulaması için bir kaynağın enerji potansiyelini belirler. Sıcak su, bir jeotermal bölgesel ısıtma sistemi kullanıcılarına genellikle 60-90 °C sıcaklık aralığında gönderilir ve 35-50 °C aralığında geri döner. Bu dönüş suyu sıcaklık aralığı tipik konvansiyonel fosil yakıtlı bölgesel ısıtma sistemlerindeki gibi yaklaşık olarak 30°C daha düşüktür. Isıtma sisteminin verimi, son kullanıcıda gerçekleştirilen sıcaklık düşüşüne bağlıdır. Jeotermal akışkandan elde edilebilen termal güce bir örnek vermek gerekirse, 360 l/dak debideki sıcak jeotermal akışkan 40 °C soğutulduğunda (örneğin 80°C'den 40°C'ye) 1 MWt'lik güç elde edilmiş olur [96].

Akışkanların kimyası: Jeotermal akışkanlar soğuk yeraltı sularına göre mineral bakımından daha zengin olup sıcaklığın artmasıyla birlikte mineral içeriği artmaktadır. Mineral içeriğinin sıcaklıkla olan bu ilişkisi, yer bilimcilere jeotermal alanları haritalandırma ve yeraltı sularını modelleme imkanı sunar. Bununla birlikte enerji dönüşüm sistemleri için uygun malzeme seçimi (hafif çelik, paslanmaz çelik, cam elyaf, titanyum) ve saha özelliklerine göre en uygun ısıtma türünün belirlenebilmesi için jeotermal akışkanın kimyasal içeriği bilinmelidir. Bu belirlemede etkili olan başlıca kimyasal bileşenler, silis, oksijen, klorür, kalsiyum, magnezyum, hidrojen sülfür ve akışkan pH'sidir [96].

Nispeten saf, sıcak jeotermal akışkan doğrudan radyatörlerde kullanılabileceği gibi kullanım suyu olarak da değerlendirilebilir. Bu tür uygulamalarda kullanılan jeotermal akışkanın 50 mg/kg'den az klorür, 150 mg/kg'den az silis ve 5 µg/kg'den az oksijen ihtiva etmesi gerekir. Diğer taraftan jeotermal akışkanın mineral bakımından zengin olması veya ısıtma sistemine ve/veya kullanıcılara zarar verecek bileşenler içermesi durumunda, ısı eşanjörlerinin ve çift borulu dağıtım sisteminin kullanımına ihtiyaç duyulmaktadır. Isı değiştiricilerin kullanıldığı kapalı devre (çift borulu) sistem, jeotermal akışkanın içilebilir kalitede olduğu İzlanda dışındaki birçok jeotermal bölgesel ısıtma sisteminde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [96].

Potansiyel pazardan uzaklık: Jeotermal kaynağın potansiyel ısıtma pazarından uzaklığı, ısıtma sisteminin teknik ve ekonomik uygunluğu bakımından oldukça önemlidir. Isıtma sisteminde kısa iletim hatları çok daha yaygın ve arzu edilir olmasına rağmen iletim boru hatlarında 60 km uzunluk, meydana gelen ısı kayıpları göz önüne alındığında, kabul edilebilir değerde sayılmaktadır.

Jeotermal saha ile ısıtma pazarı arasındaki maksimum ekonomik uzaklık, başlıca iki grup parametreden etkilenmektedir. Bunlardan birincisi, ısıtma pazarının büyüklüğü ve yoğunluğu, boru çapı, boru kalınlığı ve malzemesi, ısı yalıtımı, termal kompenzator, boru ankrajı, toprak üstü ya da gömülü olması, destek pompaları, sıcaklık artırma ekipmanı, depolama tankı ve pik yük santrali gibi ana boru hattı ve ekipmanının yatırım maliyetini etkileyen parametrelerdir. Diğer grup parametreler ise işletme maliyetleri ile ilgili olup bu alandaki en önemli maliyeti boru hattında meydana gelen ısı kayıpları, pompalama, oksijen giderici, inhibitör kullanımı, pik yük üretim gücünün miktarı ve türü gibi bileşenler oluşturmaktadır.

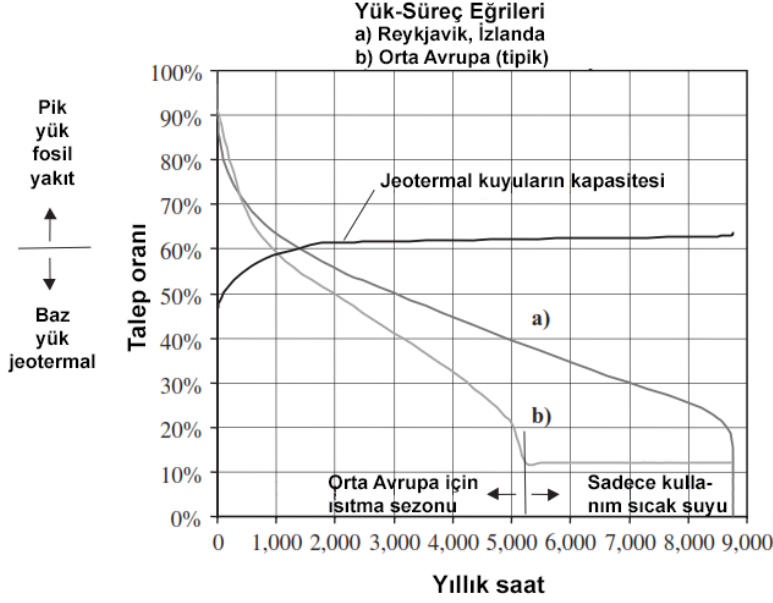
Yukarıda belirtilen maliyet kalemlerinin birbirleriyle bağlantılı olduğu ve bu durumun ısıtma sisteminin gelecekteki mali durumunu daha karmaşık hale getireceği açıktır. Kuyularında pompa kullanılan büyük ölçekli doğrudan kullanımlı bir jeotermal ısıtma sistemi (kurulu kapasitesi 200 MWt'ın üzerinde) için ekonomik iletim uzunluğu 30 km kadar olabilirken, bu değer, benzer ancak daha küçük kapasiteli bir sistem (yaklaşık 10 MWt kapasiteli) için 7-8 km kadar olabilmektedir [96].

3.2 Hacim Isıtma (veya Soğutma) Enerjisi İhtiyacı

JBIS'ler tasarlanmadan önce, ısıtılacak sahanın ısıtma enerjisi ihtiyacının çok iyi hesaplanması ve mevcut jeotermal kaynakların bu ihtiyacı ne ölçüde karşılayabileceğinin belirlenmesi gerekir. Bir JBIS'de ısı yükleri etkileyen faktörler aşağıda belirtilmiştir:

İklim: Bir sistemin ısıtma (veya soğutma) yükünün tespit edilebilmesi için hava istatistiklerinin analiz edilmesi gerekir. Dış hava sıcaklıkları gün boyunca, gündün güne ve mevsimden mevsime önemli ölçüde farklılık gösterebilmektedir. Hacim ısıtma enerjisi ve gücü, oda tasarım sıcaklığı (T_i) ile dış hava sıcaklığı arasındaki fark ile orantılıdır. Bu nedenle, maksimum yük talebi, oda tasarım sıcaklığı ile ısıtma sisteminin tasarım sıcaklığı olan minimum dış hava sıcaklığının (T_{min}) farkı ile orantılıdır.

Bir sistemin enerji gereksinimini (yük talebini) belirlemede kullanılan yararlı bir araç, günlük ortalama sıcaklık için "yük-süreç eğrisi" dir (Şekil 3.1). Bu eğri, bir yıllık süre içerisinde, verilen bir sıcaklık değerinden daha düşük günlük ortalama sıcaklık değerine sahip gün sayısını gösterir [96].



Şekil 3.1: Tipik bir yük-süreç eğrisi [96].

Eğri altında kalan alan ısıtma gereksiniminin derece-gün sayısı olup enerji (yük) gereksiniminin bir ölçüsüdür (Şekil 3.1). Bir yılda belirli bir sıcaklığın altındaki derece-gün sayısı, yıldaki toplam gün sayısı için verilen bir sıcaklık değerinin altındaki birikmiş dereceler (ortalama sıcaklık) olarak tanımlanır.

Yıllık ortalama ısı yükünün yıl içerisindeki maksimum talebe veya pik yüke oranı “yük faktörü” olarak adlandırılır ve Eşitlik (3.1)’e göre hesaplanır. Burada YF yük faktörünü, $T_{a,ort}$ aylık ortalama sıcaklığı ($^{\circ}C$), $T_{tasarım}$ ise dış ortam tasarım sıcaklığını ifade eder ve Bigadiç için $-6^{\circ}C$ alınmaktadır.

$$YF = \left(\frac{20 - T_{a,ort}}{20 - T_{tasarım}} \right) \quad (3.1)$$

Yük faktörü, kullanıcılara ulaştırılan enerjinin birim maliyetini etkiler. Bir bölgesel ısıtma sisteminin ilk yatırım maliyeti, sistem kapasitesi (maksimum güç talebi) ile doğrudan ilişkili olup yıllık işletme maliyetleri ise büyük ölçüde sabittir. Bu durum, yıllık yük faktörünün büyümesi oranında birim jeotermal enerji maliyetinin küçüleceği anlamına gelir.

Bir bölgesel ısıtma sisteminin ihtiyaç duyduğu gücün (kapasitenin) belirlenebilmesi için ilgili lokasyondaki en şiddetli soğuk hava kayıtlarına ihtiyaç duyulur. Yılın en soğuk gününe göre kapasitelendirilen bir jeotermal bölgesel ısıtma sistemi, yılın büyük bir

bölümünde kısmi yükte ve dolayısıyla çok düşük kapasite faktöründe çalışır. Diğer taraftan, yıllık minimum sıcaklık değerinin önemli ölçüde üzerindeki bir dış hava sıcaklığına göre ön görülen maksimum yükü karşılamak üzere tasarlanan bir sistem çok daha yüksek yük faktöründe çalışacaktır. Bununla birlikte, böyle bir sistem bir yıl boyunca ihtiyaç duyduğu enerjinin büyük bir bölümünü karşılayabilir ve yüksek yük faktörü nedeniyle de çok daha fazla ekonomik olabilir.

Maksimum ekonomi için, dış hava sıcaklığının tasarım değeri, şiddetli soğuk dönemlerde oda sıcaklıklarının tasarım sıcaklığının ne kadar altına düştüğünü değerlendiren bir kriter ile belirlenebilir. Dış hava tasarım sıcaklık değeri güvenilir bir şekilde, yıllık en düşük sıcaklık değerinden 5-10°C daha yüksek seçilebilir [96].

Nüfus ve Nüfus Yoğunluğu: Bölgesel ısıtma sisteminin planlandığı her bir özel alanda, nüfus büyüklüğü ve nüfus yoğunluğu mutlaka belirlenmelidir. Böyle bir sistem uzun yıllar çalışacağından, ayrıca, gelecek yıllara ait nüfus eğilimi (örneğin 20-30 yıllık eğilim) önceden tahmin edilmelidir. Böylece bölgesel ısıtma sistemlerinin tasarımı, planlanan nüfus eğilimi ve nüfus yoğunluğu dikkate alınarak mevcut nüfus değerine dayandırılabilir [96].

Bina Türleri: Özgül ısı enerjisi ihtiyacının güvenilir bir şekilde belirlenebilmesi için kişi/aile başına işgal edilen ortalama alan ile birlikte sahada bulunan binaların ısı kaybı karakteristiğinin de göz önüne alınması gerekir.

Şiddetli soğuk günlerde iç sıcaklık düşüşünün değerlendirilebilmesi için o bölgeye ait bina türlerinin ısıl depolama karakteriyle ilgili yeterli bilgiye sahip olunması gerekir. Bu bağlamda, yapı malzemeleri etkili bir rol oynar. Beton, briket ve tuğla gibi ağır malzemeler, kereste ve diğer lifli malzemeler gibi hafif malzemelere göre daha yüksek ısı kapasitesine sahiptir. Bunun yanında, ısı yalıtım tabakası duvarlarının dış yüzeylerinde bulunan binalar, iç yüzeylerinde bulunan binalara göre önemli ölçüde daha yüksek ısıl kapasiteye sahip olduğundan, bina duvarlarındaki ısı yalıtımının yerleşimi de önemli bir parametredir. Bununla birlikte tüm koşullarda kararlı bir iç sıcaklık dengesinin korunmasında en önemli parametre, bina sızdırmazlığı ve yalıtım kalınlığına bağlı olan, enfiltrasyondur.

Belirli bir bölge için ihtiyaç duyulan sıcak su miktarının azaltılabilmesi aşağıda belirtilen maddeler dikkate alınarak gerçekleştirilebilir [96]:

- mevcut inşaat kanunlarının gerektirdiği bina malzemeleri ve yalıtım özelliklerinin kullanımı

- bina duvar ve pencerelerinden olan hava kaçakları gibi bina özelliklerini etkileyecek olan işçilik kalitesi.

Tekno-ekonomik Görünümler: Jeotermal bölgesel ısıtma sistemleri planlanırken aşağıdaki tekno-ekonomik görünümler göz önünde bulundurulmalıdır [96]:

- Fiziksel görünümler: ısıtma yapılacak alanın tespiti, sahadaki bina yoğunluğu, ısı kaybı ve ısı tüketimlerinin değerlendirilmesi.
- Teknik görünümler: tüketici tarafındaki sıcaklık, iletim ve dağıtım sistemi, ısı kaynağına ait özellikler (jeotermal akışkan kimyası, sıcaklık ve basıncı) gibi gereksinimler.
- Ekonomik görünümler: jeotermal kuyu, toplama, iletim ve dağıtım sistemi yatırımları ile sistemin yıllık işletme giderleri.

3.3 Sıcak Su Toplama ve İletme Sistemi

3.3.1 Jeotermal Bölgesel Isıtma Sistemlerinin Türleri

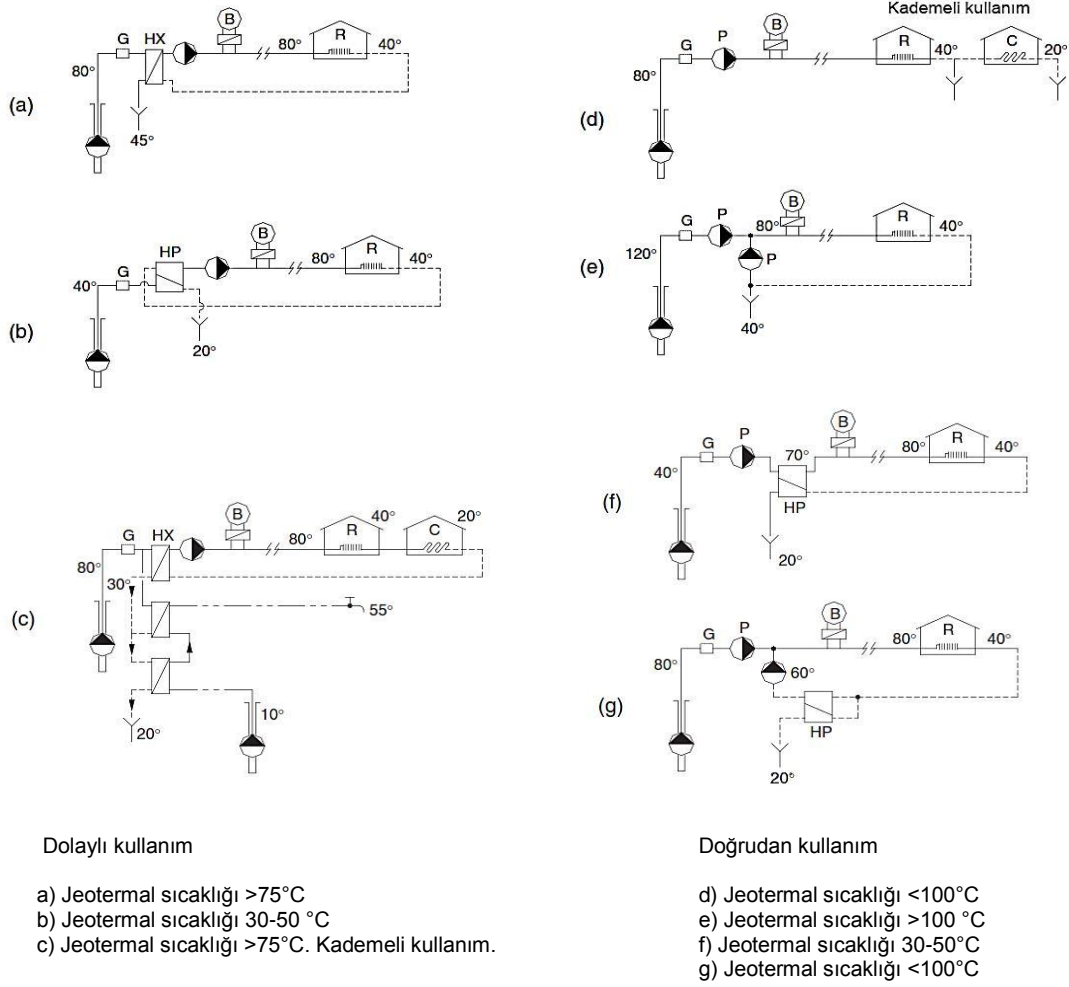
Jeotermal bölgesel ısıtma sistemleri, jeotermal akışkanın bina ısıtma sisteminde doğrudan (sekonder devre); veya jeotermal ısının ısı eşanjörleri vasıtasıyla bina ısıtma sistemine transfer edilmesi ile dolaylı olarak kullanımına göre başlıca iki ana grupta incelenebilir. Dolaylı kullanımda jeotermal akışkanın dolaşımı primer devre ile sınırlandırılmıştır.

Günümüzde kullanılmakta olan belli başlı JBIS türleri şematik olarak Şekil 3.2'de verilmiştir. Şekildeki sıcaklık değerleri tasarım şartları altındaki (örneğin dış hava sıcaklığının $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğu) tipik değerlerdir. Radyatör dönüş suyu sıcaklıkları gibi bazı değerler ısıtma yüküne bağlı olarak değişiklik gösterecektir. Isıtma yükü azaldığında (dış hava sıcaklığı $> -15\text{ }^{\circ}\text{C}$) radyatörlerden geçen su debisi azaltılacak ve bu da radyatörlerde dolaşan suyun daha fazla soğuması ile sonuçlanacaktır. Böylece radyatör dönüş suyu sıcaklıkları tasarım sıcaklığı olan $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin altına düşecek ve bu fark dış hava sıcaklığının artması ile daha da artacaktır [96].

Dolaylı tip jeotermal ısıtma sistemi: Bu tür ısıtma sistemlerinde jeotermal su ısı eşanjörleri yardımıyla binalarda dolaşan sudan ayrılır. Bu uygulama şekli, kullanılan jeotermal akışkanın kimyasal karakteristiği veya yüksek sıcak ve basıncı gibi nedenlerden

dolayı gerekli olabilmektedir. Böyle bir düzenleme ayrıca, jeotermal kaynakların geçici olarak hizmet dışı kaldığı durumlarda ısıtma sistemi için daha fazla esneklik anlamına gelir.

Bu tür sistemlerde kullanılan ısı eşanjörlerinin amacı, ısıyı jeotermal akışkandan alarak ısıtma sistemi suyuna transfer etmek ve bunu yaparken de akışkanların birbirlerine karışmamasını sağlamaktır.



G: Gaz separatörü, P: Pompa, B: Kazan, R: Radyatör ısıtma, C: Fancoil ısıtma, HP: Isı pompası, HX: Isı eşanjörü

Şekil 3.2: Başlıca JBIS türleri [96].

Doğrudan tip jeotermal ısıtma sistemi: İzlanda'nın başkenti Reykjavik gibi bazı bölgelerde elde edilen jeotermal akışkan, ısı eşanjörlerinden geçirilmeden doğrudan bina ısıtma sistemlerinde kullanıma uygun kalitededir. Böyle durumlarda aşağıda belirtilen teknik çözümler kullanılır [96]:

- **Tek borulu sistem:** Bu sistemde 100°C 'den düşük sıcaklıklardaki jeotermal akışkan doğrudan bina ısıtma sistemi radyatörlerine gönderilir. Radyatörlerden dönen jeotermal akışkan atık olarak deşarj edilir (Şekil 3.2.d).
- **Çift borulu sistem:** Bu sistemde ise dış hava koşullarına bakılmaksızın radyatör dönüş hattından gelen suyun bir kısmı toplanarak 100-130 °C sıcaklığındaki radyatör gidiş hattı suyu ile karıştırılır ve daimi bir gidiş sıcaklığı (örneğin 80°C) elde edilir. Arta kalan dönüş suyu ise ya atık olarak deşarj edilir ya da reenjekte edilir.

Pik yük santrali: JBIS'lerde, genellikle çok kısa dönemlerde ihtiyaç duyulan pik ısı ihtiyacını karşılamak için jeotermal enerji kapasitesini bu ihtiyacı karşılayacak düzeye getirmek yerine fosil yakıtlı kazanların kullanılması genellikle daha ekonomik bir yaklaşım olmaktadır. Bir kazan sistemi nispeten daha düşük bir ilk yatırım maliyeti, ancak daha büyük bir işletme maliyeti gerektirir. Bu nedenle aralıklı olarak görülen pik yük ihtiyaçlarının kazan sistemleri ile karşılanması, JBIS'ye eklenmesi muhtemel ilave jeotermal kuyularla karşılanmasından genellikle daha ekonomiktir.

Bir jeotermal kuyunun sisteme dahil edilmesinin maliyeti aynı kapasitedeki bir kazan sisteminden genellikle daha büyüktür. Bununla birlikte, baz termal yükü desteklemek amacıyla ısı pompalarının JBIS'lere dahil edilmesi diğer bir alternatif olarak göze çarpmaktadır.

3.3.2 Boru Sistemleri

Bölgesel ısıtmada kullanılan jeotermal akışkan kaynakları genellikle ısıtma sisteminden uzakta bulunmaktadır. Bu nedenle akışkanın jeotermal sahadan nihai kullanıcılara ulaştırılabilmesi için bir iletim hattına ihtiyaç duyulur. Jeotermal saha içerisinde veya yakınında, jeotermal kuyuları birleştirmek, her bir kuyudaki jeotermal akışkanı toplamak ve bunu ısı veya dağıtım merkezine iletmek için toplama hattına ihtiyaç duyulur. Jeotermal akışkanın jeotermal saha ile tüketici tarafındaki dağıtım ağını bağlayan ana iletim hattına aktarımı, ısı merkezinde gerçekleşir.

Toplama ve Ana İletim Boru Hattı: İletim boru hattı çapı, boru hattının döşendiği arazinin eğimi, mevcut pompalama gücü gibi lokal şartlara göre belirlenir. Boru çapı, yaklaşık olarak, maksimum debide borunun düz bir bölümünde km'de 0,05-0,10 MPa basınç kaybı olacak şekilde hesaplanır. Doğrudan kullanım uygulamalarında iletim hatlarıyla dağıtım şebekelerinin maliyeti önemli bir yer tutar. Bu durum, özellikle jeotermal kaynağın ana yük

merkezinden oldukça uzakta bulunduğu sistemlerde daha geçerli olmakla birlikte, sıcak su için 60 km'ye kadar olan iletim hatlarının ekonomik olduğu ispatlanmıştır [99].

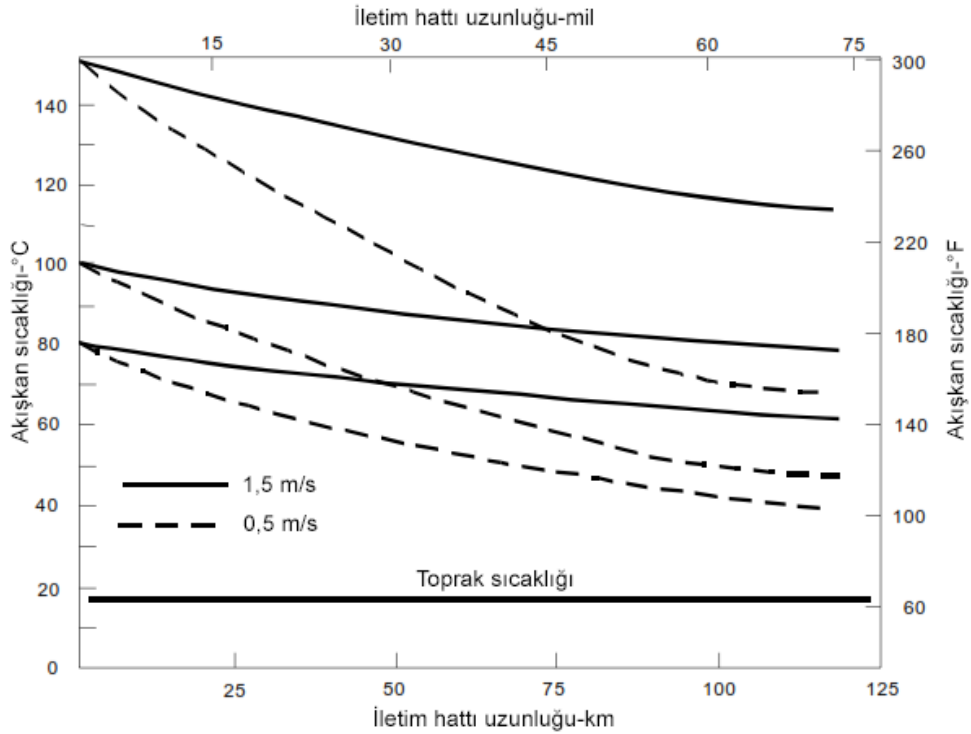
İletim boru hatları çeşitli yapı ve türlerde olabilmektedir. Bu çeşitlilik genellikle maliyet ve dayanımda önemli farklılıklara sebep olur. En yaygın kullanılan boru malzemesi karbon çeliği olup, küçük ölçekli boru hatlarında çeşitli plastik esaslı malzemeler de (polipropilen, polietilen ve polibütlen) kullanılmaktadır. Plastik boru kullanımı durumunda, atmosferdeki oksijenin boru cidarlarından suya difüzyonu sonucu aşağı yöndeki metalik bileşenlerde korozif etkiler görülebilmektedir. Bununla birlikte, ön görülen sıcaklık ve basınç koşullarına karşılık gelecek doğru basınç sınıfının seçilebilmesi için özel önlem alınmalıdır.

Jeotermal iletim hatları ve dağıtım şebekeleri için, akışkan sıcaklıklarının özellikle 100°C'nin üzerinde olduğu yerlerde en yaygın kullanılan boru malzemesi karbon çeliğidir. Yaygın diğer boru malzemeleri arasında cam elyaf takviyeli plastik (FRP) ve asbestli çimento (AC) sayılabilir. Asbestli çimento borular, sıcak suyun bol ve pompalama maliyetinin düşük olduğu uzun boru hatlarında kullanılmaktadır. Bu tür borular ilk yatırım maliyetlerinin düşük olması nedeniyle cazip görünse de, boruların kesimi, birleştirilmesi ve sökülmesi esnasında insan sağlığına zarar verdiği için geçmişte yaygın olarak kullanılan bu borular günümüzde rağbet görmemektedir. Polivinil klorür (PVC) borular, sıcaklıkların 100°C'den oldukça küçük olduğu dağıtım şebekeleriyle, yalıtımsız atık tahliye hatları için sıklıkla kullanılmaktadır. Çapraz bağlı polietilen borular (PEX), 100°C'ye kadar sıcaklık ve 550 kPA'ya kadar basınç dayanımlarıyla son yıllarda popüler hale gelmiştir. Geleneksel çelik borularda genleşmeye karşı önlem alınmalıdır. Sıcak metal borular toprağa gömüldüğünde, yeraltı sularından dolayı harici korozyona ve elektrolize maruz kalırlar. Bu nedenle gömülü boruların yüzey kaplama ve sarma yoluyla korunması gerekir. Birçok JBIS'de çelik boruların korunması amacıyla beton galeri veya kanallar kullanılır. Pahalı olmalarına rağmen (genellikle 300 ABD\$/m), galeri ve kanalların, bakım onarım esnasında borulara erişebilme kolaylığı sağlaması ve kullanım sıcak suyu, atık su, elektrik kabloları, telefon hatları vb. hizmetlere geçit oluşturması gibi avantajları vardır [98].

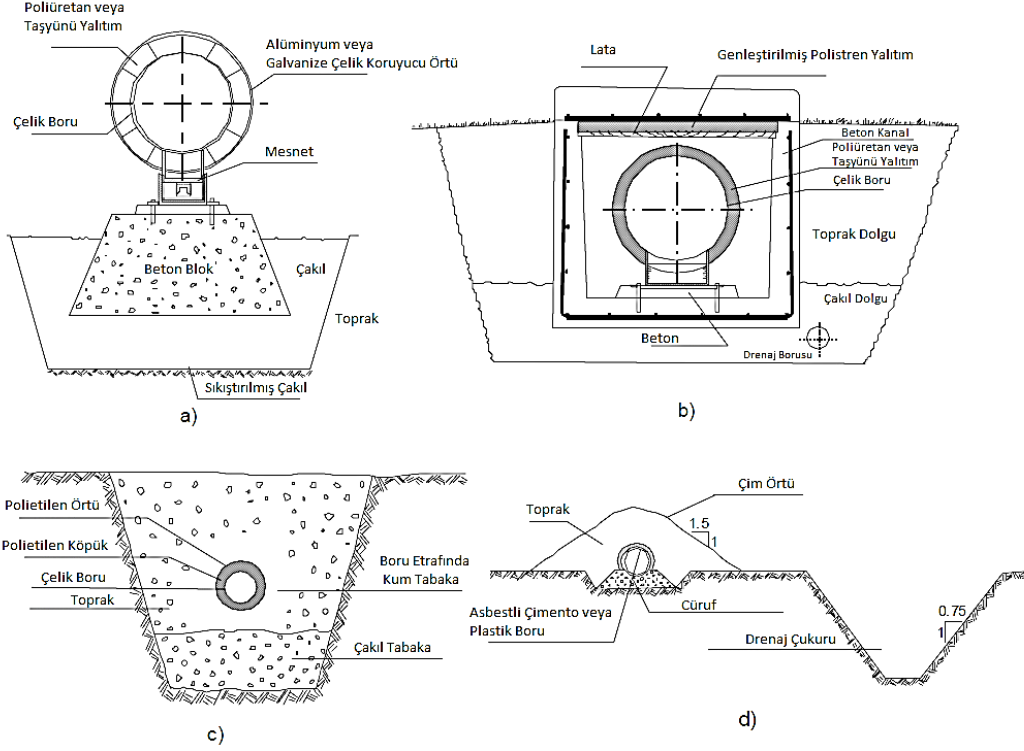
İletim hatları ve dağıtım şebekelerinin ısı yalıtım miktarı birçok faktöre bağlıdır. Bunun yanında akışkandan olan ısı kaybının en aza indirgenebilmesi için kullanılan ısı yalıtımının su geçirmez ve sızdırmaz olması gerekir. Nem, ısı yalıtım özelliğine önemli ölçüde zarar verecek etmenlerden biridir. Toprak üstü ve yukarıdan geçen boru tesisatları özel durumlarda göz önüne alınmalıdır. Sıcak su borularının toprağa gömülmesi ile önemli ölçüde ısı yalıtımı sağlanmış olur. Örneğin toprak üstünde durgun bir havayla temas eden yalıtımsız bir çelik borunun toprağa gömülmesiyle ısı kayıpları üçte bir oranında azalacaktır. Eğer gömülü boruların etrafındaki toprak kuru tutulabilirse yalıtım değeri korunacaktır. Çelik boruların

izolasyonu genellikle poliüretan köpük, taş yünü veya cam elyafı ile sağlanır. Yalıtılmış borular toprak altında kullanılacaksa PVC, toprak üstünde kullanılacaksa alüminyum ceket ile korunmalıdır. Yalıtım malzemesi kalınlığının 2,5-10 cm arasında olması genellikle yeterli olmaktadır. İki borulu sistemlerde genellikle hem gidiş hem de dönüş boruları yalıtılırken; tek borulu sistemlerde sadece gidiş hattı yalıtılır [98].

Akış şartlarında, boru hatlarında meydana gelen sıcaklık düşüşleri yalıtımlı borularda 0,1-1,0 °C/km aralığında değişirken; bu düşüş yalıtımsız borularda 2-5°C/km olmaktadır (yaklaşık olarak 5-15 l/s debi ve 15 cm boru çapı için) [100]. Yalıtımsız boru maliyetleri yalıtımlı boru maliyetlerine göre yaklaşık %50 oranında daha düşüktür. Bu nedenle ciddi sıcaklık düşüşlerinin yaşanmadığı yerlerde yalıtımsız borular kullanılabilir. Boru hatlarında meydana gelen ısı kayıplarına boru malzemesinin önemli bir etkisi olmamasına rağmen, akışkan debisinin büyüklüğü ısı kayıplarında önemli rol oynar. Düşük akış debilerinde meydana gelen ısı kayıpları yüksek debi değerlerindekiyle göre daha büyüktür. Şekil 3.3'te 45 cm çaplı ve 5 cm poliüretan köpük yalıtımlı bir boru hattında akışkan sıcaklığının mesafe ile değişimi verilmiştir. Toprak üstü ve toprak altı boru detaylarına ait bazı örnekler ise Şekil 3.4'de verilmiştir [98].



Şekil 3.3: Sıcak su iletim hattında sıcaklık düşümü [98].



Şekil 3.4: Toprak üstü ve toprak altı boru hatları için detay örnekleri: a) Sac örtülü toprak üstü boru hattı, b) beton kanal içerisinde çelik boru, c) poliüretan yalıtımlı ve polietilen örtülü çelik boru, d) toprak ve çim örtülü asbestli çimento boru [98].

Düşük sıcaklık uygulamalarında daha yaygın olarak kullanılan çelik borular yerine FRP ve PVC borular da kullanılabilir. Toprak üstü boru hatları, lav kayası hafriyatının zor ve yüksek maliyetli olduğu İzlanda'da yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Dağıtım Şebekesi: Dağıtım şebekesi bölgesel ısıtma sistemlerinin en önemli bölümlerinden biridir. Isıtma sisteminin başarılı bir şekilde çalışması ve doğru bir şekilde işlevini yerine getirebilmesi için dağıtım şebekesinin planlama ve tasarımının dikkatli bir şekilde yapılması büyük önem arz eder. Dağıtım sistemleri genel olarak iki gruba ayrılır, birincisi tek borulu sistem; ikincisi ise gidiş ve dönüş olmak üzere iki boru hattından meydana gelen kapalı devre sistemdir. Tek borulu sistem genellikle jeotermal enerjinin bol, jeotermal akışkan kimyasının korozyon ve su kalitesi bakımından doğrudan kullanıma izin verdiği yerlerde tercih edilir. Tek borulu sistem, akışkanın kullanıldıktan sonra elden çıkarıldığı tek geçişli bir sistemdir. Bu sistemde jeotermal akışkan, kullanım sonunda ya atık olarak deşarj edilir ya da rezerve geri basılır (reenjeksiyon). Çift borulu sistem ise jeotermal akışkanın kimyasal kompozisyonun, kalitesinin ve/veya sıcaklığının doğrudan kullanıma izin vermediği yerlerde kullanılmak zorundadır [96].

Kapalı devre sistemlerin avantajları şunlardır;

- Herhangi bir arızanın giderilmesi esnasında kapatılmak zorunda olan bir bölgenin tüm bölümlerinde daha az tehlike,
- Pompalama istasyonuna en uzak noktada bulunan tüketicilerde düşük su basıncı ihtimalinin daha az olması.

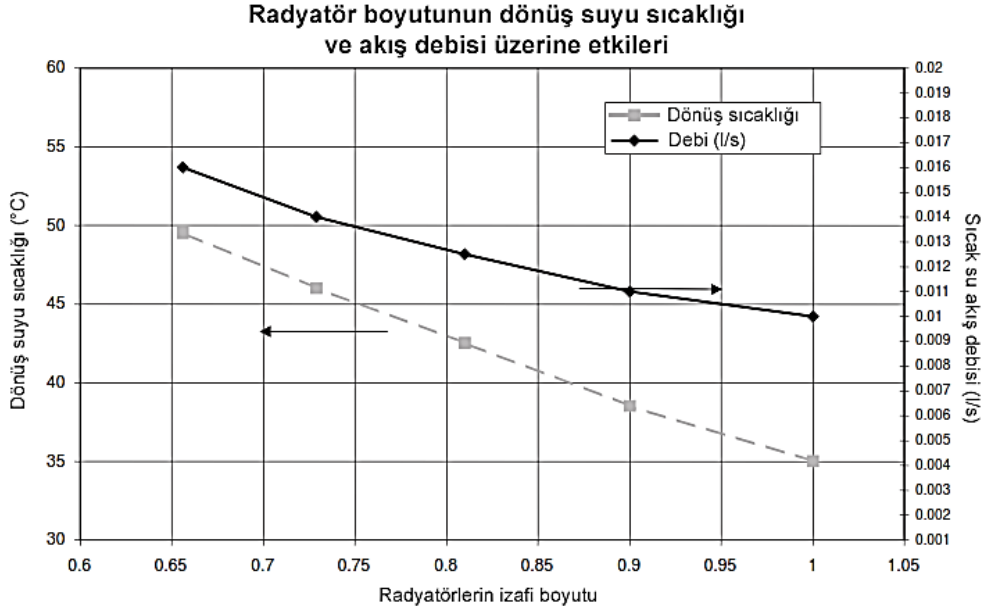
Dağıtım sistemlerine ait borular 10-25 bar'lık iç basınca (1-2,5 MPa) dayanabilecek şekilde tasarlanırlar. Dağıtım sistemleri, maksimum yükte bina girişlerindeki en düşük basınç 0,15-0,2 MPa'nın altında olmayacak şekilde projelendirilir. Ayrıca binalardaki radyatör sistemleri 7-8 bar'ın (0,7-0,8 MPa) üzerindeki basınçlara dayanamayabilir. Bu nedenle en yüksek ve en düşük seviyelerdeki binalar arasında büyük kot farkı olan bölgesel ısıtma sistemlerinde, dağıtım sistemi her biri verilen kot aralığındaki binalara hizmet eden birden fazla müstakil bölümlere ayrılmalıdır. Jeotermal dönüş suyunun doğrudan tahliye edildiği açık sistemlerde, bina sistemlerindeki basınç değerleri daha düşüktür [96].

Geniş bir alana yayılan ve bu nedenle büyük basınç kayıpları yaşanan bölgesel ısıtma sistemlerinde, maksimum basınç değerlerini yukarıda bahsedilen kabul edilebilir basınç değerlerinde tutmak için birden fazla pompalama istasyonuna ihtiyaç duyulur. Yapım esnasında, dağıtım hattı genellikle 12 bar (1,2 MPa) basınçta test edilir [96].

Konut Hatları ve Konut Isıtma Sistemleri: Dağıtım sistemiyle tüketiciyi birleştiren dağıtım sistemi bölümlerine "konut hattı" adı verilir. Konut hatlarının boyutu, bina büyüklükleri ve ısıtma yüküne bağlı olarak farklılık gösterir. En yaygın kullanılan borular, 20 - 25 mm nominal çapa sahip, genellikle poliüretan köpük yalıtımlı ve polietilen boru koruyuculu karbon çelik borulardır. Daha büyük binalar için 32'den 100 mm'ye kadar nominal çapta daha büyük borular kullanılır.

Konut ısıtma sistemleri, jeotermal enerjiden maksimum yararlanmayı sağlayacak şekilde tasarlanır. Isıtma enerjisi, büyük ölçüde ısıtma suyunun sistemde sirküle edilerek gidiş-dönüş su sıcaklıkları arasındaki farkın düşük tutulduğu kazan sistemleriyle sağlanan tipik konut ısıtma sistemlerine ait düzenlemeler, jeotermal ısıtma sistemleri için ekonomik olarak uygulanabilir değildir.

Jeotermal enerjiden maksimum düzeyde yararlanabilmek için, konutları terk eden ısıtma suyu sıcaklığı (dönüş suyu sıcaklığı) mümkün olduğunca düşük tutulmalıdır. Bunun ön koşulu, ısıtma ekipmanının, yaygın olarak radyatörlerin, elde edilebilir maksimum sıcaklık düşüşünü sağlayacak yeterli ısıtma yüzeyine sahip olmasıdır (Şekil 3.5). Alternatif olarak, ısıtma suyu bir çeşit kademeli kullanım ile sırayla radyatörlerden ve ısıtma panellerinden (döşeme ya da tavan) geçirilebilir (Şekil 3.2.c ve 3.2.d) [96].



Şekil 3.5: Radyatör boyutunun etkileri [96].

3.4 Ekipman Seçimi

Birçok doğrudan kullanım projesinde, jeotermal akışkanın doğasına uygun standart ekipman kullanılır. Sıcaklık ve akışkan kalitesi ekipman seçiminde göz önüne alınması gereken önemli parametrelerdendir. Jeotermal akışkanın kimyasal karakteri nedeniyle meydana gelen korozyon ve kabuklaşma, bazı durumlarda akışkana maruz kalan sistem bileşenlerinde işletme sorunlarına sebep olabilmektedir. Bununla birlikte birçok durumda, akışkan problemleri sistem dışında gelişir. Buna bir örnek olarak çok düşük sıcaklıklardaki jeotermal akışkanlar hariç, birçok jeotermal akışkanda bulunmayan suda çözülmüş oksijenle ilgili sorunlar verilebilir. Atmosferde bulunan oksijenin, depolama tanklarının uygun bir şekilde tasarlanması ile bölgesel ısıtma sistemi akışkanlarına karışımının engellenmesine dikkat edilmelidir. Isıtma sistemine ısı eşanjörlerinin yerleştirilmesi ile jeotermal akışkanın izole edilmesi, su kalitesinden kaynaklanan bu ve benzeri problemlerin çözümünde etkili bir yöntemdir.

Birçok düşük sıcaklıklı doğrudan kullanım sisteminin başlıca bileşenleri arasında kuyu ve sirkülasyon pompaları, iletim ve dağıtım boru hatları, pik yük veya destek üniteleri ile çeşitli tiplerdeki ısı değiştiriciler yer almaktadır. Atık su, yüzeyden veya yer altından (enjeksiyon) tahliye edilir. Sistemin maksimum yükünü karşılamak için pik yük ünitesi kullanımı yararlı olabilir. Pik yük sistemi, su sıcaklığının artırılması veya depolama tankı (İzlanda'daki birçok JBIS'de yapıldığı gibi) desteği şeklinde uygulanmaktadır. Her iki seçenek

de sistemde daha az kuyuya ihtiyaç duyulması anlamına gelir. Jeotermal akışkan sıcaklığının nispeten düşük olduğu (50°C'nin altında) durumlarda genellikle ısı pompaları kullanılır [98].

Ekipman seçiminde jeotermal ortamın bazı özellikleri mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Bu özelliklerden en önemlileri [96]:

1. Yüksek kabuklaşma ve korozyon potansiyeli vardır.
2. Doğrudan jeotermal uygulamaları genellikle yüksek ilk yatırım maliyeti gerektiren uygulamalar olup geri ödeme süreleri uzundur.
3. Primer akışkan tarafı genellikle yüksek teknoloji elektronik kontrol bileşenleri ile uyumludur.
4. Jeotermal kaynak esas itibarıyla yenilenebilir değildir ve genellikle baz yük ihtiyaçları için iyi sonuçlar vermektedir.
5. Çevresel kaygılar, üzerinde düşünülmesi gereken konulardır.

Doğrudan jeotermal uygulamalarında kullanılan ana ekipman aşağıdaki bölümlerde açıklanmıştır.

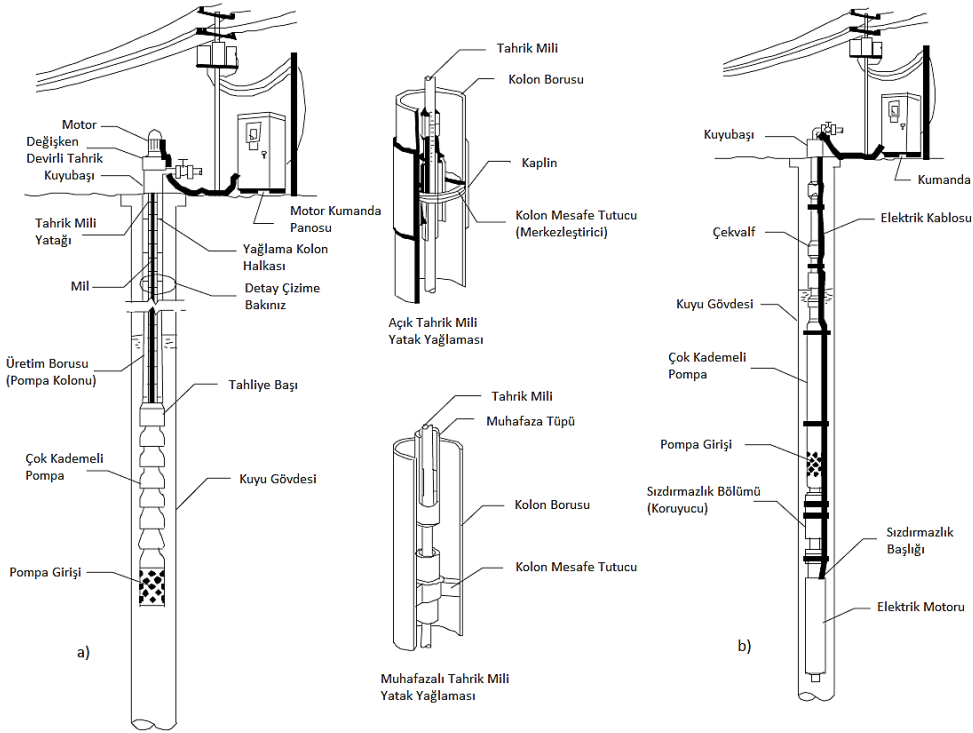
3.4.1 Kuyu Pompaları

Başta düşük sıcaklıklı kaynaklar olmak üzere, birçok jeotermal ısıtma sisteminde kullanılan kuyular artezyen (kendiliğinden akışlı) olmadığından kuyu pompalarına ihtiyacı duyulur. Bu pompalar, yalnızca jeotermal akışkanı yüzeye çıkarmakla kalmayıp aynı zamanda atmosfere gaz salınımını ve kabuklaşma oluşumunu engellemek üzere yerleştirilirler. Jeotermal pompalama ünitesinin seçiminde normal pompalama uygulamalarına ilaveten jeotermal kullanımına özgü aşağıda belirtilen hususlar göz önünde bulundurulmalıdır [96]:

- Su sıcaklıkları 35-150 °C arasında değişim gösterebilir.
- Su kimyası genellikle pompa ve ilgili ekipmanında kabuklaşma ve korozyona sebep olabilecek niteliktedir.
- Pompa seviyesi ve kurulum derinlikleri genellikle büyük olup 50-300 m arasında değişir.
- Jeotermal kuyularda kumlanma problemi nispeten daha yaygın görülür.

JBIS'lerde kullanılan en yaygın pompa türleri aksenal (lineshaft) ve dalgıç (submersible) pompa sistemleridir. Aksenal pompa sistemleri (Şekil 3.6.a) çok kademeli bir

kuyu içi santrifüj pompa, yüzeye monte edilen bir motor ile motordan pompa çanağına kadar devam eden uzun bir tahrik mili bağlantısından oluşur. Bu tür pompaların birçoğunda döner mil, kolon borusu içine merkezlenen yağlama kolonu içinde muhafaza edilir. Bu montaj şekli, sıcak su ile yeterince yağlamanın sağlanmadığı durumlarda, yatakların yağ ile yağlanmasına imkân verir. Yüzeyde, motorun hemen altında yer alan değişken devirli tahrik düzeni, pompayı sadece açıp kapamak yerine debiyi ayarlamak için kullanılır. Tahrik milli derin kuyu pompaları akışkan sıcaklıklarına dalgıç pompalara nazaran daha az hassasiyet gösterir. Bu nedenle su sıcaklıklarının 80°C'yi aştığı ve kurulum derinliğinin yaklaşık olarak 200 m'den az olduğu yerlerde genellikle bu pompalar seçilir [96, 98].



Şekil 3.6: a) Eksenel ve b) Dalgıç Pompalar [98].

Dalgıç pompa sistemleri (Şekil 3.6.b) çok kademeli bir kuyu içi santrifüj pompa, kuyu içi motor, pompa ve motor arasında yer alan ve koruyucu olarak da adlandırılan sızdırmazlık bölümü ile motordan yüzeydeki elektrik şebekesine kadar uzanan bir elektrik kablosundan oluşur. Su sıcaklıklarının 80°C'den düşük olduğu yerlerde dalgıç pompalar daha avantajlıdır. Bununla birlikte son yıllarda dalgıç pompalarda kaydedilen teknik gelişmeler sayesinde sıcaklık tolerans seviyeleri yaklaşık 120°C'ye kadar çıkmıştır. Bu pompalar pahalı olup, 200 m'den daha büyük kurulum derinlikleri için en avantajlı pompa türüdür [96, 98].

Gerek eksenel gerekse dalgıç pompalar uzun zamandır soğuk su pompalama işlemlerinde kullanılmakta olup son zamanlarda jeotermal kuyularda da yer almaktadır

(Oregon Teknoloji Enstitüsünde 89°C sıcaklığındaki su için 55 yıldır aksenel pompalar kullanılmaktadır). Aksenel pompa tercih edilmesi durumunda, çeşitli pompa bileşenlerindeki termal genleşmeler ve yatakların yağlanması için özel önlemler alınmalıdır. Jeotermal uygulamalarda aksenel pompaların dalgıç pompalara göre daha fazla tercih edilmesinin nedenlerinden biri maliyetinin daha düşük olmasıdır [98].

3.4.2 Gaz Giderme Tankları

Birçok jeoakışkan miktar ve kompozisyon bakımından, sıcaklık, jeolojik ortam ve akışkan menşesine bağlı olarak yoğunlaştırılmayan gazlar içerir. Jeoakışkanın ihtiva ettiği gazlardan yüzeyde bulunan ekipmanla akışkan kimyasını fazla değiştirmeden etkili bir şekilde arındırılması oldukça önemlidir.

Özellikle jeotermal endüstrisinde kullanılan gaz gidericiler, temelde karbon çeliğinden üretilen ve gaz ve sıvıyı uygun bir şekilde ayıran düşey ya da yatay silindirik tanklardan meydana gelir. Akışkan, gazlardan arındırılmak için basıncında küçük bir düşüş ile tanka alınır. Gaz giderici, uygun bir gaz tahliye vanası ile donatılmıştır ve atmosferik oksijen girişini engellemek için genellikle atmosfer basıncından biraz daha yüksek bir basınçta tutulur.

3.4.3 Isı Eşanjörleri

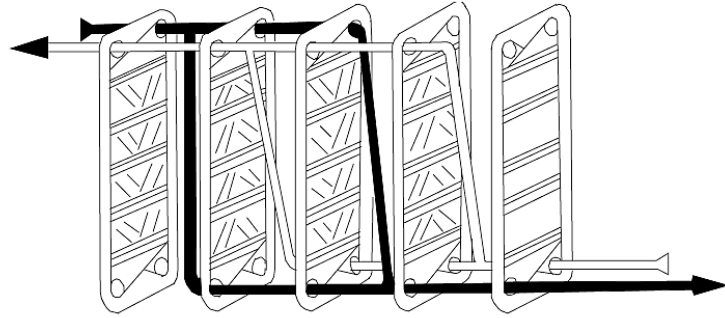
Jeotermal uygulamalarda ana eleman ısı eşanjörleridir. Jeotermal akışkanların genellikle düşük sıcaklıklı olması, akışkan enerjisinden azami ölçüde yararlanmayı zorunlu kılar. Bu, ancak, etkili bir ısı değişim prosesi ile sağlanabilir. Bununla birlikte doğrudan jeotermal uygulamalarında yatırım maliyetlerinin önemli bir bölümünü ısı eşanjörleri oluşturur. Diğer yandan, jeotermal akışkanda bulunan çözünmüş kimyasal maddeler, korozyon bileşenler ve gazlar, ekipman ömrünü azaltıcı faktörlerdir. Isıtma uygulamalarında kullanılan ekipmanın uzun ömürlü olması, ısıtma ekonomisini doğrudan etkiler [44].

Jeotermal endüstrisinde çoğunlukla, kimya endüstrisinde de sıklıkla kullanılan ve ticari olarak kolayca bulunan plakalı ve/veya gövde-boru tip standart ısı eşanjörleri kullanılır. Bu kurala bir istisna olarak, akışkan kimyasının oldukça problemlili olduğu ve akifer özelliklerinin kullanımına izin verdiği yerlerde kuyu içi ısı eşanjörleri de kullanılabilir.

Yüksek kabuklaşma oranlarına sahip jeotermal akışkan kullanımı durumunda, ısı eşanjörlerinin, plakalı ya da akışkan yataklı türde olduğu gibi kendini temizleyen tipte kolay

temizlenme özelliğine sahip olması gerekir. Benzer sebeplerden dolayı, gövde-boru tipi ısı eşanjörü kullanıldığında ise akışkan genellikle gövde yerine borudan geçecek şekilde yönlendirilir. Yüksek korozyon potansiyeline sahip jeoakışkan kullanıldığında ise eşanjör malzemesi seçimine önemli ölçüde dikkat edilmesi gerekir. Isı eşanjörlerinin boru ve plaka malzemesi olarak özel paslanmaz çelik ve titanyum seçimi oldukça yaygın bir durumdur [96].

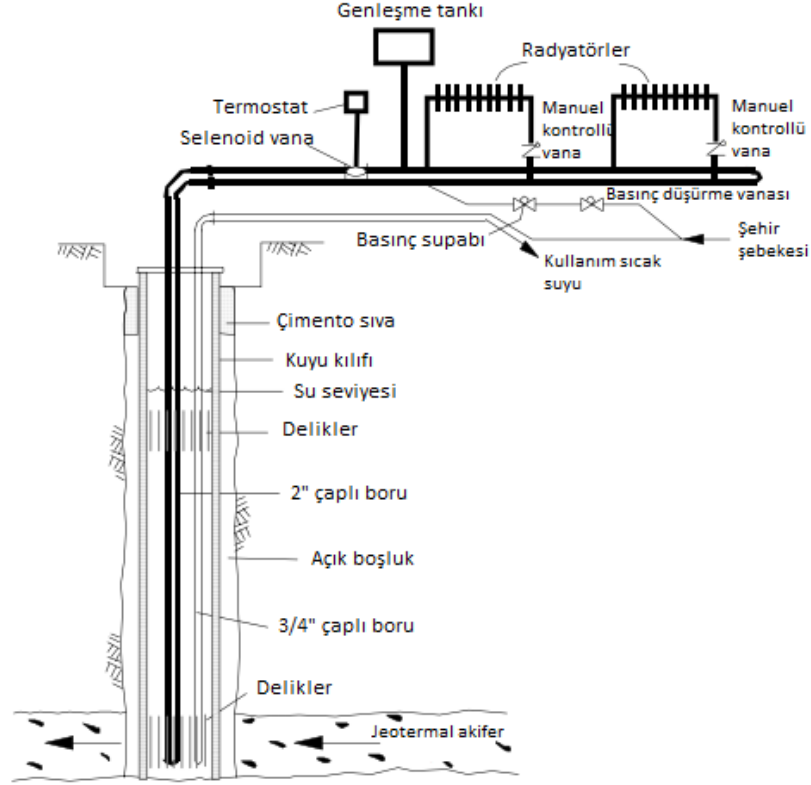
Düşük sıcaklıklı jeotermal uygulamaların varlığı, daha büyük ısı transfer alanı ihtiyacını beraberinde getirir. Bu durum maliyet, kullanım esnekliği ve alan gereksinimleri gibi nedenlerden dolayı plakalı ısı eşanjörlerinden daha uygun bir seçeneğin olmaması anlamına gelir. Plakalı ısı eşanjörleri kenetleme çubuklarıyla bir çerçevede tutulan bir dizi contalı plakadan oluşur (Şekil 3.7). Bu tür eşanjörlerde meydana gelen ters akım ve türbülans sayesinde daha küçük hacimde verimli bir ısı değişimi sağlanır. Gövde-boru tip ısı eşanjörleriyle karşılaştırıldığında plakalı eşanjörler, daha az yer işgal etme, ilave yük gereksiniminde kolay bir şekilde genişletilebilme ve %40 oranında daha düşük maliyet gibi avantajlara sahiptir. Plakalar genellikle paslanmaz çelikten imal edilmekte olup, özellikle korozyif akışkanlarla temas söz konusu olduğunda plaka malzemesi olarak titanyum seçilir. Plakalı ısı eşanjörleri jeotermal ısı merkezlerinde dünyanın her yerinde yaygın bir kullanıma sahiptir [96, 98].



Şekil 3.7: Plakalı Isı Eşanjörü [98].

Gövde-boru tip eşanjörler kirlenme, büyük sıcaklık yaklaşımı ve büyük boyut ihtiyacı gibi nedenlerden dolayı jeotermal uygulamalarda nadiren kullanılırlar. Kuyu içi ısı eşanjörlerinde ısı, sadece kuyularda elde edildiğinden jeotermal akışkanın deşarj edilmesi problemi ortadan kalkmaktadır. Bununla birlikte, bu eşanjörlerin kullanımı bireysel konutların, küçük bir apartman veya işyerinin ısıtıldığı küçük yük ihtiyaçlarıyla sınırlıdır. Bu eşanjörler, doğal konveksiyon tarafından sirkülasyon sağlamak üzere sekonder akışkanın pompalandığı veya alındığı kuyu içlerinde asılı bulunan boru sistemleri veya tüplerden oluşur (Şekil 3.8). Bu

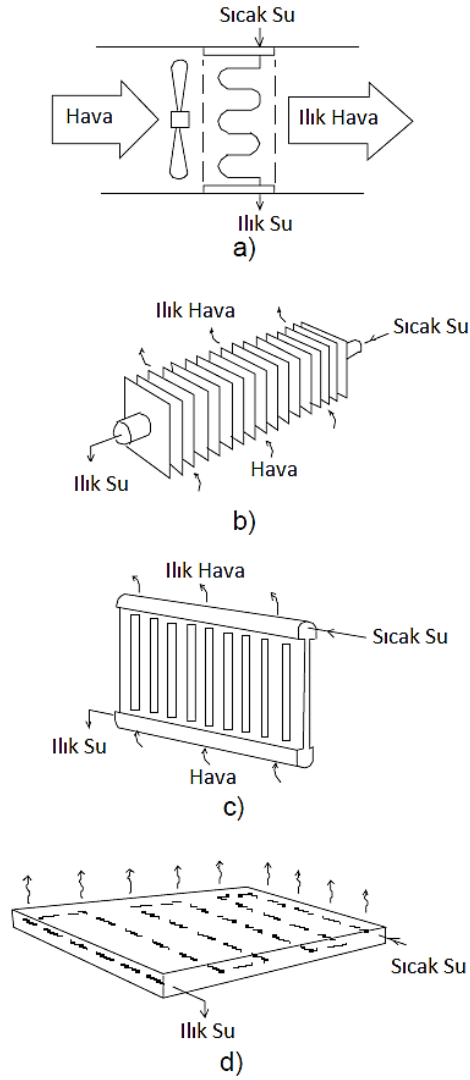
kuyularda maksimum çıkış gücü elde edebilmek için kuyu, kuyu deliği ile kuyu gövdesi arasında açık bir halkaya ve aynı zamanda ısı eşanjör yüzeyinin alt ve üst kısımlarında delikler olacak şekilde dizayn edilmelidir [98].



Şekil 3.8: Kuyu içi ısı eşanjörü [98].

3.4.4 Isıtıcılar

Bireysel konut ve binaların ısıtılması, jeotermal suyun (ya da sekonder akışkanın) her bir dairede yer alan ısıtıcılardan geçirilmesi ile sağlanır. Kullanılan yöntem, geleneksel hacim ısıtma sistemlerindeki ile benzerlik arz etmektedir. Hacim ısıtma uygulamalarında başlıca üç yayıcı kullanılır: 1) zorlanmış hava, 2) sıcak su veya kanatçıklı boru kullanılarak doğal hava akımı, 3) radyan panel (Şekil 3.9). Yukarıda belirtilen yayıcıların tümü jeotermal enerjiye doğrudan uyarlanabilir [98].



Şekil 3.9: Isıtıcılar: a) zorlanmış hava, b) kanatçıklı boru, c) doğal konveksiyon (radyatör), d) döşeme paneli [98].

Radyatörler bölgesel ısıtma sistemlerinin en ucunda bulunan ve kullanıcılardaki havayı ısıtmaya yarayan sudan havaya ısı eşanjörleridir. Isı, radyatörlerde konveksiyon ve radyasyon yoluyla transfer edilir. Nispeten düşük radyatör gidiş suyu sıcaklıklarında, jeotermal enerjiden verimli bir şekilde yararlanmanın ön koşulu olan radyatörlerdeki büyük sıcaklık düşüşü, büyük ısı transfer alanları ile sağlanabilir. Radyatör gidiş sıcaklıkları ne kadar düşük olursa, efektif radyatör alanı ihtiyacı da o ölçüde büyür [96].

Jeotermal enerjiden maksimum düzeyde yararlanabilmek için deşarj sıcaklığının olabildiğince düşük tutulması gerekir. Bu amaca ulaşabilmek için binalardaki radyatör dönüş suyu sıcaklıklarının, otomatik olarak çalışan debi, sıcaklık ve basınç farkı kontrol vanalarıyla denetlenmesi gerekir. Radyatör tahliye suyunun kontrolü, ısı merkezine dönen dönüş suyunun sıcaklık ve debisinin kontrolü anlamına gelir. Dönüş suyu sıcaklık değeri ne kadar

düşük olursa, jeotermal akışkandan çekilen ısı miktarı ve dolayısıyla değerlendirilen jeotermal akışkan miktarı o ölçüde artmış olur [97].

Radyatör seçiminde, yukarıda belirtilen performans kriterlerinin yanında estetik olma ve uzun ömür kriterleri de aranmaktadır. Bunlardan her ikisi için (özellikle ikincisi için) radyatör malzemesi önemli rol oynar ve genellikle akışkanın çözünmüş oksijen ($O_2 > 50 \mu g/kg$) içermesi ve özellikle klorid ($Cl^- > 100 mg/kg$) varlığından şüphe edilmesi durumlarında dökme demir radyatörler seçilir [96].

3.4.5 Kontrol Ekipmanı

Jeotermal bölgesel ısıtma sistemleri için seçilen kontrol ekipmanının türü ve tasnifi aşağıda belirtilen yerel koşullara bağlıdır [96]:

- Pazar boyutu ve kapsamı, ısıtma tarifesinin yapısı
- Kimyasal ve fiziksel jeoakışkan karakteristiği
- Jeotermal kaynak karakteristiği ve türü.
-

Minimum kontrol gereksinimleri ise aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Kuyularda sıcaklık, basınç ve debi kontrolü
- Dağıtım merkez(ler)i debi, sıcaklık ve basınç kontrolü
- Ayrı veya müşterek satış ölçümleri
- Bireysel radyatör ya da apartman sıcaklık kontrolü.

Kuyularda kontrol ekipmanları iki temel ihtiyaçtan dolayı kullanılır:

- Kaynağın kullanıma olan tepkisi ile kısa ve uzun vadeli davranışının izlenmesinin gerekliliği
- Boşa harcanan enerjinin en aza indirgenebilmesi için ısıtma ihtiyacına bağlı olarak su çıkışının ayarlanabilmesi.

Kuyulardaki en önemli denetim fonksiyonu pompa deşarjının kontrolüdür. Tristör veya hidrolik kavramalı hız kontrolü gibi elektrikli veya mekanik cihazların kullanılmasıyla kuyu pompalarında sürekli hız kontrolü, basınç ve debi kontrollerinde genellikle en çok tercih

edilen yöntemdir. Bunun dışında, gaz giderme tanklarının depolama fonksiyonuna ilave edilen ve kuyu pompalarını açıp kapamak suretiyle akışı kontrol altına almaya yarayan sıvı seviyesi kontrol anahtarları ile de kontrol sağlanması, kullanılan diğer metotlardır. Deşarj toplamı, düzenli su seviyesi ve sıcaklığı ölçümleri de rezervuar izlemesi açısından oldukça önemlidir.

Dağıtım merkezindeki basınç ve debi kontrolü, en az, ısıtma sisteminin maksimum 24 saatlik ihtiyaç dalgalanmalarını karşılayacak büyüklükteki depolama tanklarıyla gerçekleştirilir. Depolama tankları bazı durumlarda, aşırı soğuk dönemler için bir haftalık ihtiyacı sağlayacak büyüklükte boyutlandırılır. Bazı durumlarda, kullanıcılara gönderilen gidiş suyu sıcaklığının, sıcaklıkla çalışan ayar vanaları veya enjeksiyon pompaları yardımıyla dönüş suyunun karıştırılması ve/veya farklı sıcaklıklardaki jeotermal sahalardan seçici pompalama yoluyla kontrol edilmesi gerekebilir [96].

Artezyen kuyulara dayalı küçük bölgesel ısıtma sistemlerinde, satış ölçerlere alternatif olarak, her bir konut, apartman veya yüksek yapıya gönderilen debinin sınırlandırılması ve ısıtma bedellerinin bu sınırlandırmalara dayandırılması daha düşük maliyetli bir uygulama olabilir. Jeotermal rezervin pompa ile çıkarıldığı büyük bölgesel ısıtma sistemleri için ise enerji korunumunun yanında maliyet verimi ve ayarlama kolaylığı göz önüne alındığında hacimsel ölçüm veya enerji ölçümüne dayalı satış ölçerlerin kullanılması gerekir [96].

Kullanıcı tarafında arzu edilen minimum gereklilik, konutun sıcak su girişi ve çıkışı arasındaki termostatik düzenleme ile birlikte kombine edilen etkili basınç dengelemesidir. Her bir radyatör girişine veya çıkışına yerleştirilen termostatik vanalar ile bireysel radyatörlerde sıcaklık ayarlaması, modern bölgesel ısıtma sistemlerinde artık benimsenmiş bir durumdur.

3.4.6 Isı Pompaları

Isı pompaları bölgesel ısıtma sistemlerinde tek başına veya büyük bir planın parçası şeklinde sıklıkla kullanılır. Isı pompaları ısıtma ve soğutma amacıyla veya her iki uygulamanın kombinasyonu şeklinde, örneğin kışın ısıtma, yazın soğutma amacıyla kullanılabilir.

Isı pompası tekniği ile düşük sıcaklıklı bir ısı kaynağından ısı çekerek daha yüksek sıcaklıklı kullanılabilir termal enerji elde edilir. Isı kaynağı, dış hava, yeraltı suyu veya endüstriyel atık ısı gibi farklı şekillerde sağlanabilir. Isı pompası kullanımının ekonomik olmasının kaynak sıcaklığı ile çok yakından ilişkili olması nedeniyle, doğrudan hacim ısıtma

uygulaması için çok düşük sıcaklıklardaki (20 - 40 °C sıcaklık aralığındaki) jeotermal akışkanlar, bölgesel ısıtma sistemlerindeki ısı pompaları için ideal bir ısı kaynağıdır [96].

Isı pompaları, iş yapan akışkanı kapalı bir devrede çevrim gerçekleştiren, düşük sıcaklıklı ortamdan ısı çeken ve bu ısıyı çevresine aktaran bir soğutucu gibi çalışır. Isı pompalarında iş yapan akışkan, ısı kaynağından ısıyı buharlaşma yoluyla çeker ve bu ısıyı yoğunlaşma yoluyla bölgesel ısıtma sistemi akışkanına aktarır. Bu işi yaparken ihtiyaç duyduğu harici enerji genellikle elektrik motorlu bir kompresör veya bazı durumlarda kimyasal absorpsiyon, gaz sıkıştırma ve mevcut diğer metotlar tarafından sağlanır.

Bir ısı pompasında çıkış enerjisinin giriş enerjisine oranı o ısı pompasının verimliliğinin en temel göstergesidir ve bu değer büyük olması yukarıda da bahsedildiği gibi ısı pompasının ekonomik olarak çalışması için oldukça önemlidir. Bu oran performans katsayısı (COP) olarak adlandırılır. Sıcaklık aralığı 20 – 40 °C olan ısı kaynakları için COP değeri oldukça tatminkar değerlere ulaşır. Örneğin 30°C sıcaklığındaki bir jeotermal kaynağın hacim ısıtma alanında kullanılacak 55°C sıcaklığında sıcak su üretimi için 20 °C'ye soğutulması durumunda elde edilen muhtemel COP değeri 4'tür. Bu durum, elde edilen ısı çıktısının kompresör motoru için harcanması gereken enerjinin dört katı olması anlamına gelir [96].

3.5 Deşarj Sistemi

Yer altından çıkarılan ve ısı enerjisi çeşitli alanlarda kullanılan jeotermal akışkan atık olarak deşarj edilir. Deşarj için genellikle iki yöntem kullanılır [44]:

- Yüzey deşarjı
- Reenjeksiyon

Yüzey deşarjı, kullanılan jeotermal akışkanın dere, göl ya da soğutma havuzu gibi bir yüzeysel ortama bırakılmasıdır. Bu yöntem reenjeksiyon işlemine göre daha az maliyetli olmasına rağmen akışkan miktarının fazla olması durumunda çeşitli problemlere neden olur. ABD'nin önemli jeotermal uygulamaları arasında yer alan Boise-Idoha ve Klamath-Oregon bölgelerinde yoğun yüzey deşarjları neticesinde jeotermal su seviyeleri ölçülebilir oranda azalmıştır. Boise'de daha önceleri artezyen olan kuyular günümüzde akmamaktadır. Bu nedenle buradaki deşarj sistemi reenjeksiyona dönüştürülmüştür. Reenjeksiyon uygulaması günümüzde ABD'nin her yerinde zorunlu tutulmaktadır [44].

Yüzey deşarjı aynı zamanda bazı çevre sorunlarına sebep olabilmektedir. Jeotermal akışkanlar, yüzey sularına göre nispeten daha büyük oranlarda hidrojen, sülfid, bor, flor ve bazı yerlerde radyoaktif maddeler olmak üzere çeşitli kimyasallar içerir. Bu kimyasalların yüzey sularındaki oranı yerel ve uluslararası çevre kanunlarıyla sınırlandırılmıştır. Jeotermal akışkanda bulunan bazı kimyasal bileşenlerin izin verilen kirlilik sınırlarını aşmaları halinde izlenmeleri gerekir. Örneğin bitkilere oldukça zarar veren bordan, sulama sularında ne pahasına olursa olsun kaçınılmalıdır. Organizmalar için zehirleyici olan civa gibi eser metallerin tamamı dokularda birikerek zaman içerisinde zarar verdikleri ve besin zincirinde daha fazla yoğunlaştıklarından oldukça tehlikelidir. Başta bor olmak üzere zararlı maddelerin jeotermal akışkandan arındırılması oldukça zor olduğundan ilgili arıtma yöntemleri genellikle kullanılmamaktadır. Zararlı kimyasallardan kurtulmanın tek etkili yolu reenjeksiyon uygulamasıdır [44, 96].

Jeotermal akışkanlar, kimyasal kirliliğin yanında termal kirliliğe de sebep olabilmektedir. 35-40°C sıcaklığındaki atık jeotermal sular, bazı durumlarda dere, nehir veya göllere salınmak zorunda kalınabilir. Birçok organizma sıcaklık değişikliklerine karşı oldukça hassas olup, 1°C veya daha düşük daimi sıcaklık değişiklikleri mevcut ekosistem üzerinde zorlayıcı değişikliklere sebep olabilir. Bu durum, soğuk bölgelerde bazen avantaja dönüşse de jeotermal enerji üreticilerinden atık suların genellikle soğutma havuzlarında soğutarak, reenjekte edilerek ve bazı durumlarda denizlere kadar boru hatları inşa edilerek tahliye etmeleri istenir [96].

Reenjeksiyon kuyu maliyetleri genellikle aynı sistemdeki üretim kuyularından daha büyüktür. Bunun en önemli sebeplerinden biri açılacak olan reenjeksiyon kuyusu lokasyonunun belirlenmesinde hidrolojik ve jeolojik danışma hizmetlerine olan ihtiyaçların artmasıdır. Reenjeksiyon kuyusu yerinin doğru belirlenmesiyle enjeksiyon yapılan akışkanın “kısa devre” sonucu üretim kuyusuna karışması ve kaynak sıcaklığının düşmesi engellenir. Ayrıca reenjeksiyon kuyusu açma teknikleri, kuyu jeolojisini tam olarak tanıyacak ve ulaşılabilir potansiyel akifere zarar vermeyecek ölçüde kusursuz olmalıdır [44].

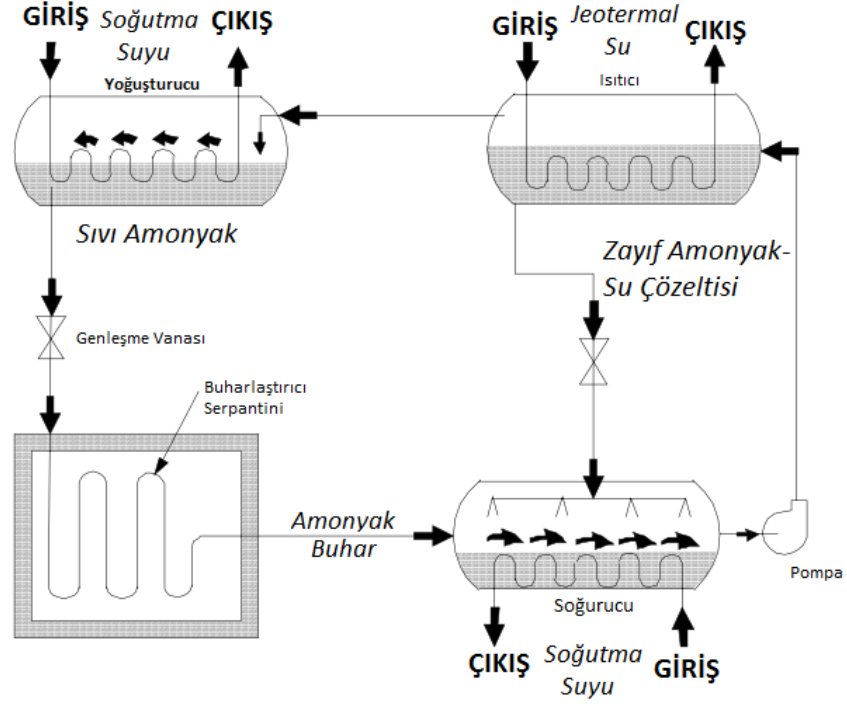
3.6 Soğutma

Jeotermal enerjiden soğutma alanında yararlanmada lityum bromür ve amonyak absorpsiyon soğutma sistemleri kullanılır. Suyun soğutucu akışkan olarak kullanıldığı lityum bromür sistemi en yaygın absorpsiyonlu soğutma sistemidir. Ancak bu sistemde soğutma, suyun donma noktasının üzerindeki sıcaklıklarla sınırlı olduğundan yaz iklimlendirmesi için

uygundur. Sistem, tek veya iki kademeli ünitelerden oluşabilir. İki kademeli sistemde daha yüksek sıcaklıklara (yaklaşık 160°C) ihtiyaç duyulmasına rağmen yüksek verim değerleri elde edilir. Tek kademeli sistemler en az 77°C sıcaklığa kadar sıcak su ile kullanılabilir. Daha düşük sıcaklıklı jeotermal su kullanılması, daha yüksek jeotermal akışkan debisi ihtiyacı ve daha düşük verim anlamına gelir. Suyun donma noktası altındaki jeotermal soğutma sistemleri için amonyak absorpsiyon sistemi göz önünde bulundurulmalıdır. Bu sistemde soğutucu akışkan olan amonyak (NH₃), su (H₂O) tarafından soğurulur. Ancak bu sistemler genellikle çok büyük kapasiteler için uygulanmakta olup nadiren kullanılır. Düşük sıcaklıklı soğutucu akışkan elde etmek için jeotermal akışkan sıcaklıklarının 120°C civarında olması gerekir [98].

Jeotermal absorpsiyon prosesinin nasıl işlediği Şekil 3.10'daki NH₃-H₂O sistemi üzerinde açıklanmıştır. Soğurma mekanizmasının içinde soğurucu, pompa, ısıtıcı, ısı değiştirici, genleşme vanası ve ayırıcı bulunmaktadır. Tüm bu mekanizmaların amacı NH₃'ün basıncını arttırmaktır. NH₃ basıncı soğurma mekanizması içinde yükseltildikten sonra yoğunlaştırıcıda soğutulmuş olarak yoğunlaştırılmakta, buharlaştırıcı basıncına kısılmakta ve buharlaştırıcıdan geçerken soğutulan ortamdaki ısı çekilmektedir. Soğurma mekanizmasında aşağıdaki işlemler gerçekleştirilmektedir:

Amonyak buharı, buharlaştırıcıdan çıktıktan sonra soğurucuya girer ve burada su içinde soğurularak NH₃-H₂O çözeltisini oluşturur. Çözelti oluşurken meydana gelen kimyasal reaksiyon ekzotermiktir. H₂O içerisinde soğurulan NH₃ miktarı, sıcaklıkla ters orantılı olduğundan, soğurucu sıcaklığının olabildiğince düşük tutulması ve böylece soğurulan NH₃ miktarının artırılması amacıyla soğurucudan ısı çekilir. Amonyakça zengin olan çözelti daha sonra ısıtıcıya pompalanır. Çözelti, burada dış kaynaktan (jeotermal enerji) sağlanan ısıyla buharlaşarak ayırıcıya girer. Burada su, amonyak bakımından zengin olan buhardan ayrılarak ısıtıcıya geri döner, saf amonyak buharı ise yoğunlaştırıcıya geçerek çevrimini sürdürür [101].



Şekil 3.10: Jeotermal absorpsiyon soğutma çevrimi [98].

3.7 Entegre Kullanım

Birçok durumda enerji, bir jeotermal kaynaktan sıcak su şeklinde alınır ve enerjisi alındıktan sonra atık olarak tahliye edilir. Burada ekonomik ve verimli enerji dönüşümü bakımından önemli olan nokta, atık içerisindeki termal enerjinin mümkün olduğunca düşük olmasıdır. Doğrudan kullanımın farklı uygulamaları, ekonomik olarak işletilebilmeleri için farklı sıcaklık aralıklarına gereksinim duyar. Ancak bu gereksinimler, söz konusu, seçilen belirli bir uygulama kombinasyonu olduğunda, yüksek enerji dönüşüm verimi düsturu ile uyumlu olmak zorunda değildir. Dönüşüm veriminin artırılması ve böylece belirli bir uygulama kombinasyonunun ekonomikliği için önemli bir kavram “entegre” veya “kademeli” kullanımdır. Bu uygulama, birkaç doğrudan kullanım uygulamasının bir sistem içinde, adım adım sıcaklık düşüşü sağlayacak ve böylece jeotermal atıktan alınabilecek en küçük enerjiyi uzaklaştıracak şekilde kademeli olarak birleştirilmesinden oluşur. Kojenerasyon sistemleriyle birleşik ısı ve güç sistemleri de bu uygulamanın farklı kullanım şekilleridir [96].

Kademeli kullanıma bir örnek vermek gerekirse, 150 °C sıcaklığındaki su uygun paralel ve kademeli eşanjör sistemleriyle kullanılırsa aşağıda belirtilen uygulamalar için primer enerji sağlayabilir [96]:

- Binary sistem yardımıyla elektrik üretimi: primer giriş sıcaklığı 150°C; çıkış sıcaklığı 80°C.
- Bölgesel ısıtma sistemi: gidiş sıcaklığı 80°C, dönüş sıcaklığı 40°C.
- Banyo ve yüzme havuzunu kapsayan balneolojik ünite: gidiş sıcaklığı 50°C, dönüş sıcaklığı 25°C.
- Otopark ve kaldırımlar için buz çözme: gidiş sıcaklığı 30°C, dönüş sıcaklığı 10°C.

Görüldüğü gibi primer akışkanda 125 – 130 °C kadar sıcaklık düşüşü elde edilmesi mümkün olabilmektedir.

Kademeli kullanımın yaygın bir türü aşağıda belirtildiği gibidir: Nispeten yüksek sıcaklıklı (70-80°C) su, radyatör ısıtma sistemi donanımlı binalardan geçirilir. Dönüş suyu (35-40°C'ye kadar soğutulan) daha sonra radyan panel ısıtma sistemiyle donatılan binalara sevk edilir. Bu kullanım şekli ile jeotermal enerji kullanım verimi oldukça artırılmış olur. Kademeli kullanıma oldukça uygun tipik doğrudan kullanım uygulamaları, hacim ısıtma, çeşitli balneolojik uygulamalar, sera ve toprak ısıtma, buz çözme, sıcak kullanım suyu eldesi, iklimlendirme, ısı pompası uygulamaları, birçok düşük sıcaklıklı yıkama uygulamaları, kurutma ve çiftlik balıkçılığıdır [96].

4. METERYAL VE YÖNTEM

4.1 Bigadiç İlçesinin Tanıtımı

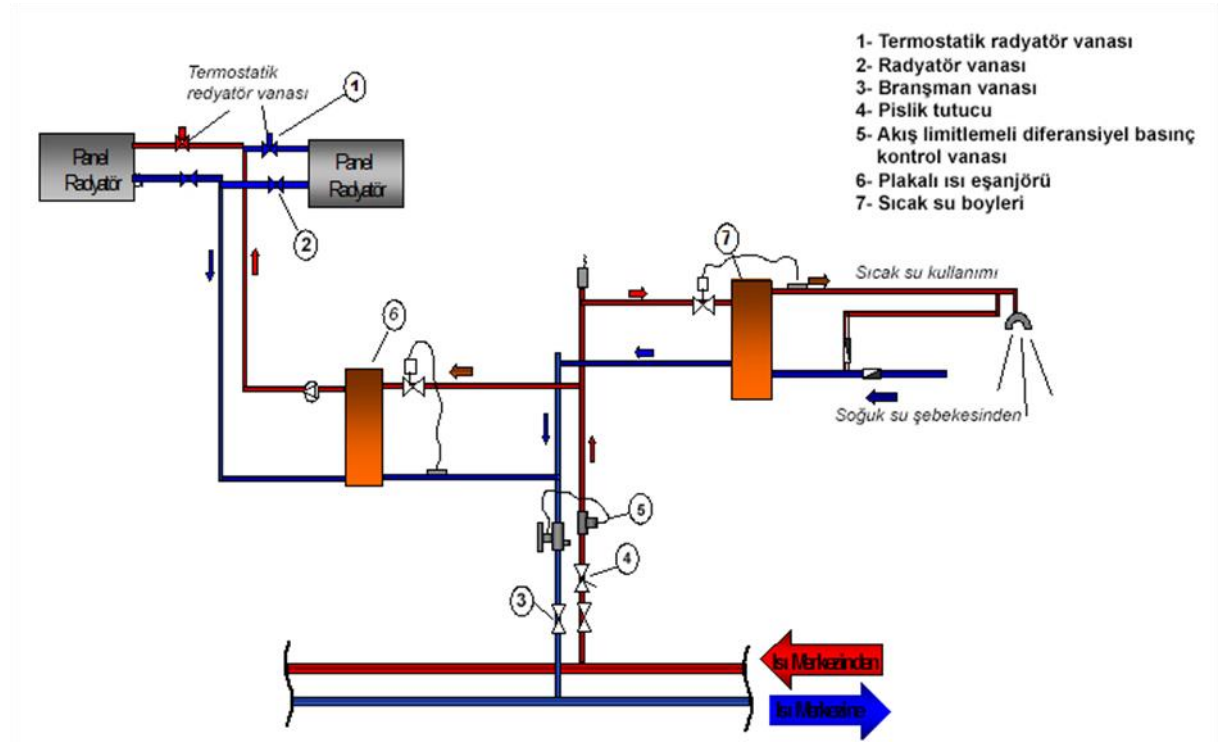
Bigadiç, Marmara Bölgesi, Güneydoğu Marmara alt bölgesi içinde Balıkesir'in bir ilçesidir. Şehir eski Balıkesir-İzmir yolu üzerinde Balıkesir'e 38 km mesafeye kurulmuştur. İlçe merkezi 39-21 kuzey enlemi ile 28-08 doğu boylamı arasında yer almaktadır. Denizden yüksekliği 180 m, yüzölçümü 1007 km²'dir. 2012 yılı adrese dayalı nüfus kayıt sistemi verilerine göre ilçe merkezinin nüfusu 17226'dır.

İlçe, Marmara ile Ege Bölgesi geçiş iklimi şartlarının etkisi altındadır. Genellikle yazları sıcak ve kurak, sonbahar mevsimi uzun ve ılık, kış ayları zaman zaman kar yağışlı, bazen kurak, ilkbahar kısa ve yağışlı geçmektedir. Bigadiç TS 825 "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları" standardına göre ikinci derece gün bölgesine girmektedir. TS 2164 "Kalorifer Tesisatı Projelendirme Kuralları" standardına göre ise ısı kaybı hesabında kullanılan dış sıcaklık değeri -6°C ve rüzgarlı bölge olarak verilmektedir.

4.2 Bigadiç Jeotermal Bölgesel Isıtma Sistemi

Bigadiç JBIS, 3000 konut ısıtacak şekilde projelendirilen, 2004-2005 ısıtma sezonunda 300 abone ile işletilmeye başlanan ve 2016 yılı itibariyle 1548 konut eşdeğerlik ısıtma gerçekleştirilen ülkemizdeki 20'yi aşkın JBIS'lerden biridir. Sistem üç bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm; enerji üretim hattı olup, üretim kuyularını, gaz ve çamur seperatörleri, kuyu pompa ve ekipmanlarını; ikinci bölüm enerji dağıtım olup ısı aktarımını sağlayan ısı değiştiricilerini (eşanjörler) ve sirkülasyon pompalarını; üçüncü bölüm ise enerji tüketim hattı olup bina ısıtma sistemlerini içermektedir. Jeotermal enerjinin üretiminin gerçekleştirildiği Bigadiç'e 23 km karayolu mesafesindeki Hisarköy kuyular bölgesi enerji üretim hattını; Bigadiç'e gelen jeotermal enerjinin plakalı ısı eşanjörleri yardımıyla ısısının alındığı ve bu ısının ısıtma zonlarına dağıtımının gerçekleştirildiği ısı merkezi enerji dağıtım hattını ve binalara ulaştırılan sıcak suyun tüketiminin gerçekleştirildiği bina altı eşanjör devreleri ise tüketim hattını oluşturmaktadır. Şekil 4.1'de Bigadiç JBIS'de yaygın olarak kullanılan bina ısıtma devresi tesisat şeması gösterilmektedir.

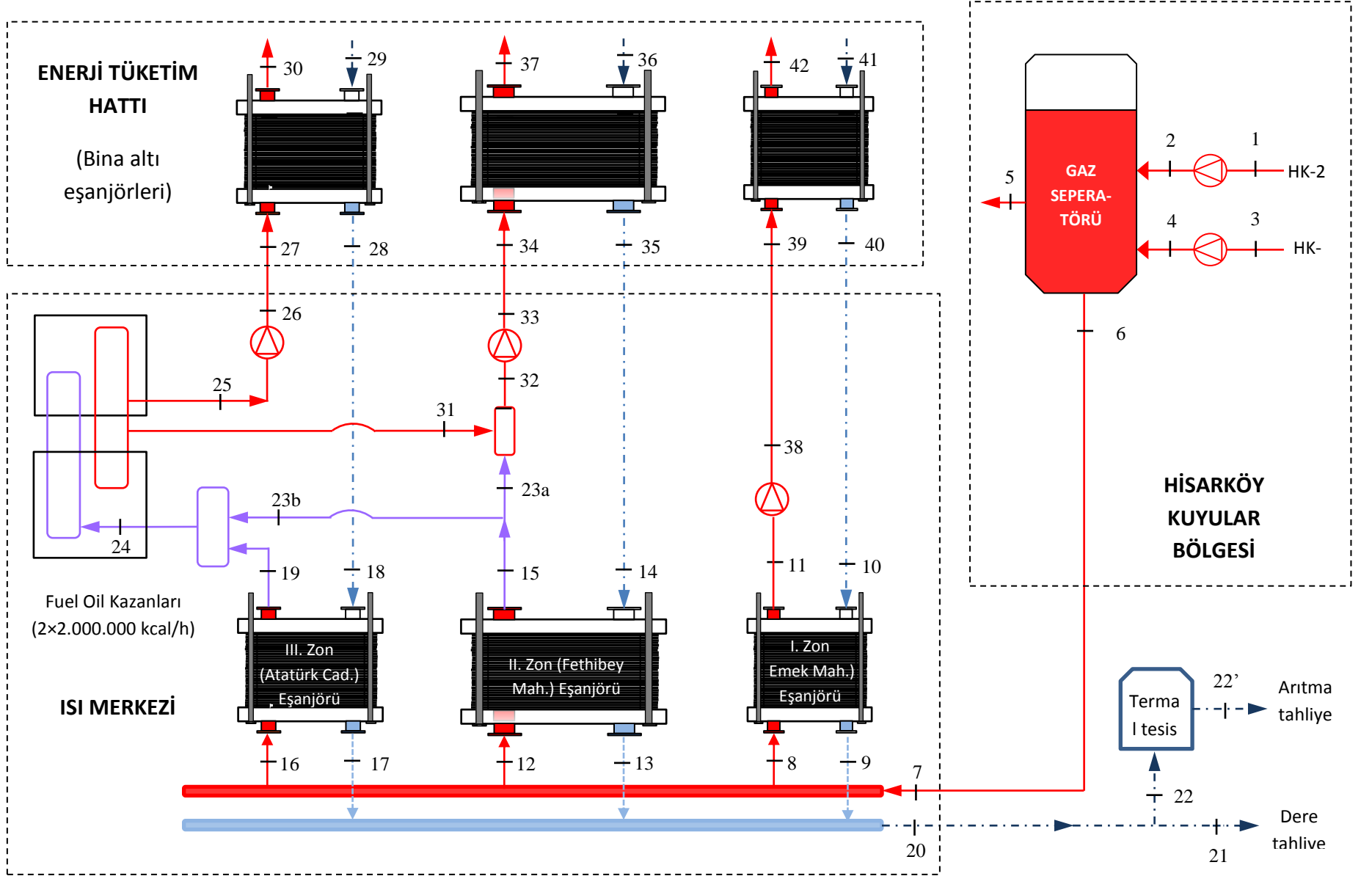
Bigadiç JBIS'nin kış ve geçiş dönemi şematik diyagramları Şekil 4.2 ve 4.3' de verilmiştir. Buna göre Hisarköy'deki 6 noktasında isale hattına giren jeotermal akışkan 18 km'lik hat sonunda 7 noktasında Bigadiç'te bulunan ısı merkezine girmektedir. Daha sonra burada bulunan üç ısıtma zonuna ait plakalı ısı eşanjöründe ısısını sekonder devre dolaşım suyuna aktaran jeotermal akışkan, 20 noktasından merkezini terk etmekte ve bir bölümü 21 noktasından dereye tahliye edilirken, diğer bölüm 22 noktasından termal tesislere gönderilmektedir. Isı merkezi eşanjörlerinden ısınarak çıkan tesisat suyu ihtiyaç durumunda kazana gönderilerek biraz daha ısıtıldıktan sonra bina altlarında bulunan eşanjör dairelerine gönderilmektedir. Bina altı ısıtma sistemlerinin yaklaşık %70'inde kullanım suyu için sıcak su boyleri de bulunmaktadır.



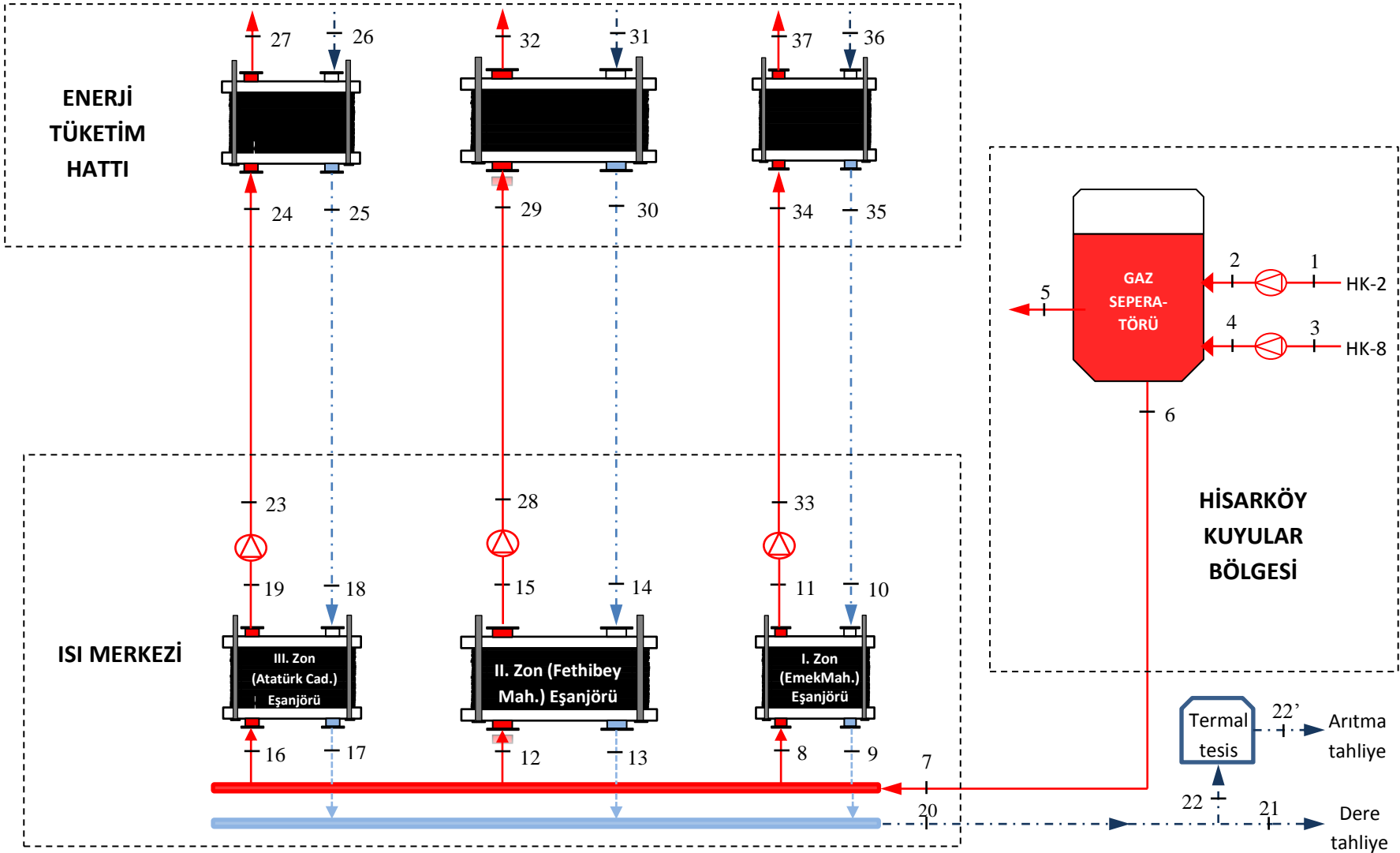
Şekil 4.1: Bigadiç JBIS'de yaygın olarak kullanılan bina ısıtma devresi şeması.

Isıtma yükünün büyük olduğu kış dönemlerinde jeotermal enerji sistemin ihtiyacını karşılamaya yetmemekte ve ilave ısı güç sağlanabilmesi için çeşitli dönemlerde farklı yakıtların kullanıldığı pik güç ünitelerinden yararlanılmaktadır. Şekil 4.2'de Mart-2012'ye kadar etkin bir şekilde kullanılan ve bu süreçte yakıt olarak LNG ve fuel oilin kullanıldığı 2x2.000.000 kcal/h kapasiteli sıvı yakıt kazanlarının sisteme bağlantı şekli görülmektedir. Isıtma sezonu boyunca sistemde bulunan kazanlardan genellikle birisi çalıştırılmakta, nadiren, kuyuların arıza nedeniyle çalışmadığı veya hava sıcaklıklarının çok düşük olduğu günlerde iki kazan birlikte çalıştırılmaktadır. 2011-2012 yılları arasında kalorifer yakıtının

kullanıldığı kazanlarla Atatürk Caddesi ve Fethibey Mahallesi ısıtma zonlarına ısı destek sağlanmıştır. Ancak burada her iki hat için de aynı oranda kazan desteği sağlanmayıp, Atatürk Caddesi ısıtma zonunda bulunan dolaşım suyunun tamamı kazana gönderilirken, Fethibey Mahallesi ısıtma zonuna ait dolaşım suyu belirli oranlarda kazana gönderilmiştir. Kot yüksekliğinin fazla olduğu Emek Mahallesi ısıtma zonunda meydana gelen statik basıncın, kazan çalışma basıncı için uygun olmaması nedeniyle, bu ısıtma zonuna kazan bağlantısı yapılamamaktadır. Günümüz itibariyle Şekil 1'deki sıvı yakıtlı kazanlarının yerini aynı bağlantı şekliyle 10-18 mm tane boyutlu linyit yakan 3.000.000 ve 4.000.000 kcal/h kapasiteli iki adet kazan almıştır. Kömür kazanının devreye girmesiyle Emek Mahallesi ısıtma zonu dışındaki her iki ısıtma zonu da kazanlar tarafından bütünüyle desteklenmektedir. Günlük ortalama sıcaklıkların 12-13°C'yi aştığı geçiş dönemlerinde pik güç üniteleri devre dışı bırakılarak sistemin ısı ihtiyacı yalnızca jeotermal enerji ile karşılanmaktadır (Şekil 4.3).



Şekil 4.2: Kış dönemi Bigadiç JBIS şematik diyagramı.



Şekil 4.3: Geçiş dönemi Bigadiç JBIS şematik diyagramı.

4.2.1 Hisarköy Jeotermal Sahası

Bigadiç-Hisarköy jeotermal sahası İç Batı Anadolu'da bulunur. Çalışma alanının temelini bölgede yüzlek vermeyen ofiyolit oluşturur (Şekil 3). Bu birim ise Tersiyer yaşlı riyodasit, dasit, tuf, aglomera ve karbonatlı seviyelerden oluşan Dedetepe Formasyonu'nca örtülür. Tüm bu birimler üzerinde Kuvaterner yaşlı alüvyon ve traverten bulunmaktadır. Yörede yüzeylenen akışkanların yükselimini sağlayan ana fay sistemi normal fay olup KB-GD ve K-G doğrultularında uzanmaktadır.



Şekil 4.4: Hisarköy Jeotermal Sahası.

Bölgeye düşen yağışlar ile yer altı suları ve akarsular, derinlere süzülerek mevcut jeotermal akışkanların beslenme suyunu oluştururlar. Tektonik yapılar lokal yeraltı suyunun çok daha derinlere inerek sirkülasyonuna ve ısınmasına olanak sağlamaktadır. Genellikle bölgede yeraltına süzülen bu tip sular jeotermal akışkanların beslenme suyunu oluşturmaktadır. Yöredeki ısı kaynağı ise olasılıkla kabuksal kökenli magmanın sığ kodlara kadar uzanmış cepleri olarak düşünülmektedir.

Bigadiç-Hisarköy jeotermal sahası sıcak suları renksiz, berrak ve gaz çıkışlıdır. Hisarköy jeotermal suları Uluslararası Hidrojeologlar Birliği sınıflamasına göre flüorür içeren, bikarbonatlı, sülfatlı sıcak su sınıfına girmektedir. Bölgede yer alan jeotermal akışkanlar

yağış, lokal yer altı suyu ve akarsulardan beslenmekte ve daha sonra yükselim sırasında lokal yer altı sularıyla karışarak fay ve kırıklar boyunca yükselmekte ve yeryüzüne ulaştığı varsayılmaktadır. İnceleme alanında yüzeyleyen jeotermal akışkanın yükselim sırasında çözdüğü minerallerden özellikle bikarbonata doymun oldukları gözlenmektedir. Sıcak suların kimyasal kapsamları aynı kaynaktan (rezervuardan) yükselen akışkanları göstermektedir. Aynı rezervuardan yükselen akışkanlar farklı yolları takip ederek yüzeylenmektedir. Sahada bulunan jeotermal akışkanların varsayılan hazne sıcaklıkları 105-110 °C arasındadır.

Jeotermal Kuyular

Hisarköy jeotermal sahasında, derinlikleri 307 ve 750 m arasında değişen toplam 8 jeotermal kuyu bulunmaktadır. Kuyu başı sıcaklıkları 52-98°C arasında, kuyu debileri ise 14-60 l/s arasında değişmektedir. Jeotermal sahada bulunan kuyuların açılış özellikleri Tablo 4.1'de verilmiştir. Aralık 2010'dan günümüze kadar geçen süreçte sistemdeki kuyulardan sadece ikisi (HK-2 ve HK-8) etkin bir çalışma performansı göstermiştir (Şekil 4.5). Sistemde bulunan diğer kuyuların debi değerleri, çeşitli sebeplerden dolayı azalmış ve birçoğu kullanılamaz hale gelmiştir.

Tablo 4.1: Hisarköy Jeotermal Sahasındaki kuyuların açılış özellikleri.

Kuyu adı	Açıldığı yıl	Açan kurum	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)	Seviye (m)	Güncel işletme durumu
HK-1	2000	MTA	701	94	14	-	Servis dışı
HK-2	2001	MTA	429	98	60	65	Üretim
HK-3	2001	MTA	307	98	40	-	Servis dışı
HK-4	2001	MTA	750	57	3	-	Servis dışı
HK-5	2002	MTA	590	52	2	-	Servis dışı
HK-6	2006	MTA	624	70	20	-	Servis dışı
HK-7	2007	MTA	397	-	-	-	Servis dışı
HK-8	2007	Özel firma	630	93	32	35	Üretim



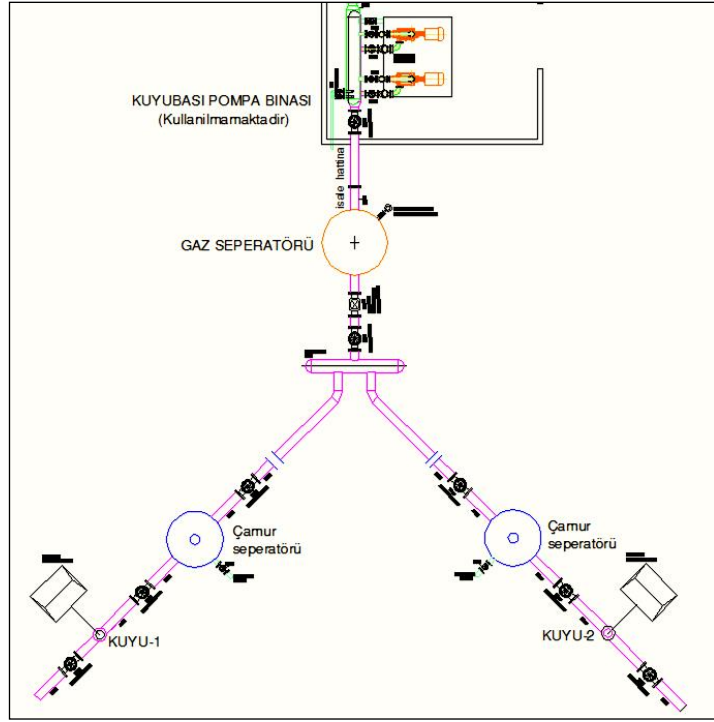
Şekil 4.5: Hisarköy'de bulunan HK-8 numaralı kuyu.

Bigadiç JBIS'de bulunan jeotermal kuyularda düşey eksenli frekans konvertörlü pompalar kullanılmaktadır. Tablo 4.2 aktif jeotermal kuyularda kullanılan pompaların teknik özelliklerini vermektedir.

Tablo 4.2: Jeotermal kuyularda kullanılan pompaların etiket değerleri.

Pompa No	Derinlik (m)	Debi (l/s)	Hm (mSS)	Güç (kW)	Devir (d/d)
HK-2	91,5	40	75	55	2940
HK-8	90	40	75	55	2900

Hisarköy'deki üretim kuyularından elde edilen jeotermal akışkan ilk önce çamur ve tortusunun çökeltilerek temizlenmesi amacıyla çamur ayırıcı seperatörlere (kuyu başı seperatörü) gönderilmektedir (Şekil 4.6). Buradan ayrılan jeotermal akışkan, içerisinde bulunan gazlardan arındırılmak ve kalan son çamur ve tortusunun çökeltilerek temizlenmesi amacıyla gaz ayırıcı seperatöre iletilmektedir (Şekil 4.7). Jeotermal akışkan daha sonra 18 km'lik isale hattını takip ederek, kuyular bölgesinden yaklaşık 200 m düşük kottaki Bigadiç İlçe merkezindeki ısı merkezine, pompalama gücüne gerek duymadan ulaşmaktadır.



Şekil 4.6: Hisarköy Jeotermal Sahasında kuyu iletim hatları.



Şekil 4.7: Hisarköy'de bulunan gaz seperatörü ve kuyu bağlantı boruları.

Üretim kuyularının ortalama sıcaklığı 94°C olmakla beraber bu değer, isale hattında meydana gelen ısı kayıpları nedeni ile ısı merkezi girişinde 83°C 'ye kadar düşebilmektedir. İsale hattı 18 km uzunluğunda DN250 ön izolasyonlu (3,54 cm kalınlığında poliüretan yalıtımlı) paket borulardan oluşmaktadır. İsale hattı boyunca meydana gelen sıcaklık düşüşü,

mevsimsel toprak sıcaklıklarına ve isale hattından geçen jeotermal akışkan debisine bağlıdır. Tek bir kuyunun çalıştığı düşük debili üretim durumlarında, isale hattında meydana gelen ısı kayıpları artmakta ve bu durum hat çıkışında sıcaklıkların daha çok düşmesine sebep olmaktadır (Şekil 4.8).



Şekil 4.8: Bigadiç JBIS isale hattı.

İsale hattında, toprak sıcaklığı ve jeotermal akışkan debisine bağlı olarak değişen sıcaklık düşümleri, hattın kendine özgü karakteristik bir özelliğidir. Bu özellikten yararlanılarak, bilinen toprak sıcaklıkları ve isale hattı sıcaklık düşümleri için, hattan geçen jeoakışkan debisinin tahmin edilmesine yönelik bir regresyon analizi yapılmıştır. Analizde aşağıda belirtilen yöntem ve model sistemleri kullanılmıştır.

Yanıt Yüzey Yöntemi - Yyy (Response Surface Methodology - Rsm)

Yanıt yüzey yöntemi, Taguchi metodu ve faktöriyel tasarım; yaygın kullanılan deney tasarımı teknikleridir. Bunlardan YYY ve faktöriyel tasarım regresyon tabanlı yöntemlerdir. YYY ikinci dereceden tam karesel regresyon denklemi adı verilen ve içerisinde lineer terimler, karesel terimler ve ikili etkileşimleri gösteren terimler bulunduran regresyon denklemleri kullanarak girdilerle çıktılar arasındaki ilişkiyi modeller. YYY'nin kullandığı tam karesel regresyon eşitliği aşağıda verilmiştir:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i X_i + \sum_{i=1}^n \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i<j}^n \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon \quad (4.1)$$

Burada Y çıktı değişkenini, X_i ve X_j girdi değişkenlerini (faktör), β_0 , β_i , β_{ii} ve β_{ij} regresyon katsayılarını ve ε ise artık terimi (hata terimi) göstermektedir. (4.1) eşitliği) matris notasyonunda yazılırsa (4.2) eşitliği elde edilir:

$$Y = \beta X + \varepsilon \quad (4.2)$$

Bu denklemden Y çıktı matrisini gösterirken, X ise girdi matrisini göstermektedir. Hata terimi ise ε ile gösterilmektedir. β matrisi β_0 , β_i , β_{ii} ve β_{ij} model katsayılarından oluşmakta olup bu katsayılar (4.3) eşitliğinde verilen formülden yararlanılarak hesaplanmaktadır:

$$\beta = (X^T X)^{-1} (X^T Y) \quad (4.3)$$

Bu modeller kullanılarak bilinen toprak sıcaklıkları ve isale hattı sıcaklık düşümleri için, hattın geçen jeoakışkan debisi tahmin edilmiştir.

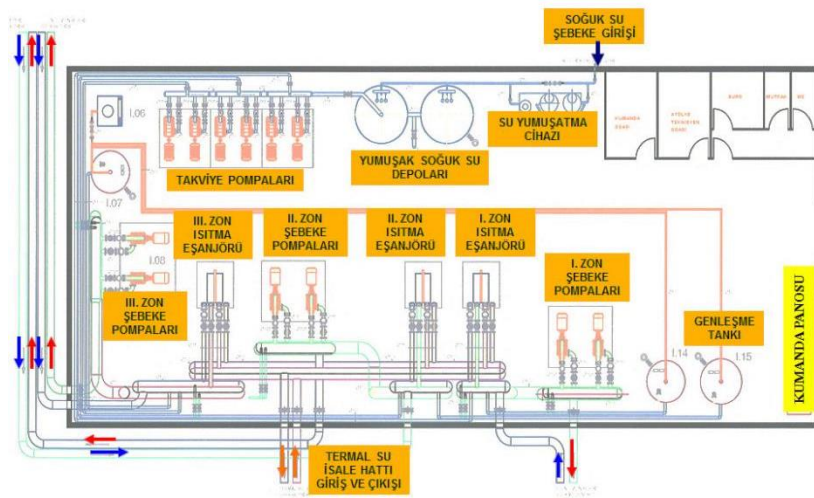
4.2.2 Isı Merkezi

Bigadiç JBIS, 3000 konut kapasiteye cevap verebilecek şekilde planlanmış olup tüm sistem toplam üç ısıtma zonundan oluşmaktadır. 2005 yılının son dönemlerinde Zon 2 ve Zon 3 tamamlanmış ve sisteme bağlı konutların ısıtma ve sıcak su ihtiyacı kış sezonunda karşılanmıştır. Bunun için Bigadiç-Hisarköy bölge ısıtma sisteminde 2 üretim kuyusu (HK2 ve HK3) kullanılmıştır. 2006 yılının ortasında sistemin geri kalan kısmı tamamlanmış (Zon1) ve sistemdeki konutların ısıtma ve sıcak su ihtiyacının karşılanması için diğer bir kuyu (HK6) sisteme eklenmiştir (Şekil 4.9).



Şekil 4.9: Isı merkezinin içeriden görünümü.

Isı merkezinde, ısıtma zonlarına ait plakalı ısı eşanjörleri ve sirkülasyon pompaları, pik güç üniteleri, genişleme depoları, ısıtma şebekesi suyu için takviye sistemleri ve bu sistemlerin kumanda panoları gibi temel sistem bileşenleri bulunmaktadır (Şekil 4.10). Jeotermal akışkanın ısı enerjisini şehir ısıtma şebeke suyuna transfer etmek amacıyla üç adet titanyum plakalı ısı eşanjörü kullanılmaktadır. Eşanjörlerin kapasite ve teknik özellikleri Tablo 4.3'te verilmiştir. Eşanjörlere giren jeotermal akışkan debileri, ısı merkezi çalışanları tarafından, her ısıtma zonuna eşit sıcaklıkta şehir ısıtma suyu sağlanacak şekilde manuel olarak ayarlanmaktadır. BJBIS'nin işletme sırasında elde edilen ortalama dönüştürme sıcaklıkları bölgesel ısıtma dağıtım ağı için 56/44°C ve bina devreleri için 52/48°C'dir. Üçüncü kapalı devre, bina altı eşanjör - radyatör devresidir.



Şekil 4.10: Isı merkezinin şematik diyagramı.

Tablo 4.3: Isı merkezi eşanjörlerinin teknik özellikleri.

Eşanjör No	Bulunduğu ısıtma zonu	Marka	Plaka sayısı	Boyut (en x boy)	Kapasite (kW)
1	1.Zon (Emek Mah.)	ARES	69	250-60cm	5232
2	2.Zon (Fethibey Mah.)	ARES	380	210-60cm	10465
3	3.Zon (Atatürk Caddesi)	APV	300	160-60cm	6395

Sistemde, 1'er tane Emek ve Fethibey mahalleleri ısıtma zonlarında ve 2'si Atatürk Caddesi ısıtma zonunda olmak üzere toplam 4 sirkülasyon pompası çalışmaktadır (Tablo 4.4). Ayrıca her hat için birer sirkülasyon pompası yedek olarak bulundurulmaktadır. Sirkülasyon pompalarının hepsi değişken debi sağlayabilmek üzere frekans kontrollü motorlara sahiptir. Bu sayede sistemin farklı yük koşullarına uyum sağlayabilmesi için hat debileri ayarlanabilmektedir.

Tablo 4.4: Isıtma zonlarına ait sirkülasyon pompalarının özellikleri.

Pompa No	Bulunduğu hat	Hm (mSS)	Güç (kW)	Devir (d/dak)
1	Emek Mah. hattı	85	45	2950
2	Fethibey Mah. hattı	45	45	2950
3	Atatürk Caddesi hattı	45	75	-

Bigadiç JBIS'de sisteme ilave ısı güç sağlamak amacıyla çeşitli dönemlerde farklı pik güç ünitelerinden yararlanılmıştır. Şekil 4.11'de Mart 2012'ye kadar etkin bir şekilde kullanılan karşı basınçlı sıcak su kazanları görülmektedir. 2006 yılına kadar LNG'nin yakıldığı kazanlarda 2006-2012 yılları arasında kalorifer yakıtı kullanılmıştır (Şekil 4.12).



Şekil 4.11: Mart 2012'ye kadar Bigadiç JBIS'ye ısıl destek sağlayan sıcak su kazanları.



Şekil 4.12: Bir dönem Bigadiç JBIS kazanlarını beslemede kullanılan LNG tankı.

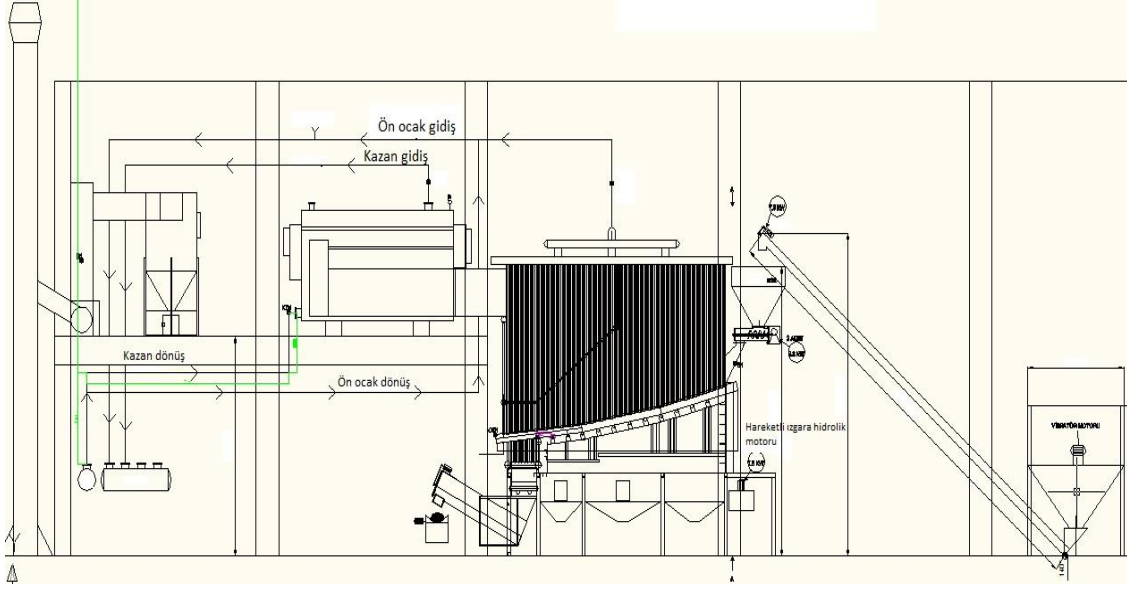
Kalorifer yakıtı maliyetinin yüksek olması nedeniyle Bigadiç JBIS'de ısı desteği Mart 2012'den beri Şekil 10'da gösterilen 3.000.000 ve 4.000.000 kcal/h kapasiteli iki adet kömür kazan ünitesi tarafından sağlanmaktadır (Şekil 4.13). Isıtma dönemlerinde ısıtma ünitelerinden genellikle küçük kapasiteli olanı çalıştırılmakta olup ünitelerde 10-18 mm tane boyutlu linyit yakılmaktadır (Şekil 4.14). Üniteler hareketli ızgaralı yakma sistemlerine sahip olup, ön ocak ve kazan bölümlerinden oluşmaktadır. Fethibey Mahallesi ve Atatürk Caddesi ısıtma zonlarından dönen tesisat suyunun bir bölümü ünitenin ön ocak bölümüne, bir bölümü ise kazan bölümüne girmekte ve her iki bölümden ayrı ayrı ısınarak üniteyi terk eden sular bir kollektörde birleştirilerek ısıtma zonlarına gönderilmektedir (Şekil 4.15).



Şekil 4.13: Bigadiç JBIS kömür kazanı ünitesi, ön ocak (sağda) ve kazan (solda) bölümleri.



Şekil 4.14: Kömür kazanlarında kullanılan linyit kömürü.



Şekil 4.15: Bigadiç JBIS kömür kazanı ünitesinin şematik diyagramı.

4.2.3 Boru Hatları

BJBIS’de bulunan boru hatları; kuyu birleştirme hatları, isale hattı, şehir içi ısıtma şebeke ve bransman (şehir dağıtım) hattı olmak üzere 3 kısımda incelenebilir. Şehir dağıtım hattı, 1., 2. ve 3. zon olmak üzere birbirinden bağımsız 3 farklı güzergahtır. Isıtma sistemindeki tüm hatlar, aynı özelliklere sahip farklı çaplardaki ön izolasyonlu paket boru sistemlerinden oluşmaktadır. Kullanılan paket boru sistemi, düz dikişli St37 çelik taşıyıcı iç boru, yoğunluğu 80 kg/m³ olan poliüretan izolasyon ve HDPE dış kılıftan oluşmaktadır.

Bigadiç JBIS şehir dağıtım boru hattı yaklaşık 69 km uzunluğundadır (Tablo 4.5). İşletme sırasında dağıtım hattındaki sızıntı ve kaçaıklardan dolayı günde ortalama 64 ton su takviyesi gerçekleştirilmektedir. Jeotermal suyun kimyasal özellikleri nedeniyle borularda kabuklaşma olmaması için kuyularda inhibitör sistemi bulunmaktadır. Sistemde bulunan isale hattında ise yaklaşık 20 km uzunluğunda DN 250 paket boru sistemi kullanılmıştır. Tüm boru hatları yaklaşık 1 m derinlikte toprağa gömülü olarak döşenmiştir.

Tablo 4.5: Bigadiç JBIS şehir dağıtım hatlarındaki boruların özellikleri.

Boru cinsi	Dağıtım hatlarındaki boru uzunlukları (m)		
	Emek Mah. hattı	Fethibey Mah. hattı	Atatürk Cad. hattı
Ø 25 mm Ön İzoleli Paket Boru	270	588	450
Ø 32 mm Ön İzoleli Paket Boru	6492	13044	6948
Ø 40 mm Ön İzoleli Paket Boru	600	4236	2778
Ø 50 mm Ön İzoleli Paket Boru	966	4842	1992
Ø 65 mm Ön İzoleli Paket Boru	2586	5076	3618
Ø 80 mm Ön İzoleli Paket Boru	822	2208	918
Ø 100 mm Ön İzoleli Paket Boru	612	1332	396
Ø 125 mm Ön İzoleli Paket Boru	504	1074	816
Ø 150 mm Ön İzoleli Paket Boru	468	132	804
Ø 200 mm Ön İzoleli Paket Boru	2520	810	1692
Ø 250 mm Ön İzoleli Paket Boru	-	2088	-

4.3 Bigadiç JBIS'nin İzlenmesi ve Sistemde Yapılan Ölçümler

Bir enerji sisteminin performansının değerlendirilmesinde, sistemin çalışması esnasındaki güncel verilerin sağlıklı bir şekilde temin edilmesi yapılacak analizlerin doğruluğu bakımından büyük önem arz etmektedir. Bununla birlikte birçok JBIS'de olduğu gibi Bigadiç JBIS de, dış ortam sıcaklıklarının değişmesiyle birlikte farklı yük ve işletme koşullarında yıl boyunca çalışmaktadır. Bu nedenle Bigadiç JBIS'nin performans değerlendirmesinde bütün bir yılı kapsayan güncel sistem verilerinin doğru bir şekilde ölçülmesi, sağlıklı bir enerji ekserji analizi için büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda, çalışmada, sistemde kurulan bir veri toplama sistemi ile kritik noktalara ait bazı veriler, 2011-2012 yılları ile 2016 yılının bir bölümünde 15'er dakikalık aralıklarla yapılan ölçümlerle izlenmiştir. Bu ölçümler çalışmanın önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Yaklaşık 26 ay süren bu izleme çalışması esnasında ısı merkezindeki ısı eşanjörlerinin sıcak ve soğuk akım giriş-çıkış sıcaklıkları, atık jeotermal akışkan sıcaklığı, kazan giriş-çıkış sıcaklıkları sürekli ölçülmüştür. Bununla birlikte Hisarköy jeotermal sahasına yerleştirilen veri toplama sistemi sayesinde kuyu başı sıcaklıkları ile isale

hattı giriş sıcaklığı (karışım sıcaklığı) izlenmiştir. Hisarköy'deki sıcaklık ölçümleri kuyu sıcaklıklarının yıl içerisinde çok fazla değişim göstermemesi nedeniyle daha geniş periyotlarda yapılmıştır. Bigadiç JBIS'de hangi parametrelerin hangi cihazlarla ölçüldüğü Tablo 4.6'da özetlenmiştir.

Tablo 4.6: Ölçümlerde kullanılan cihazlar ve bazı teknik özellikleri.

	Ölçüm cihazı	Teknik özellikler	Kullanım amacı
Sıcaklık	Termal direnç termometresi	Ölçüm aralığı Sensör Doğruluk	Kuyu başı sıcaklıklarıyla, eşanjör, pompa ve kazan giriş-çıkış sıcaklıkları gibi ısı merkezindeki kritik noktalardaki sıcaklık ölçümlerinde.
Hacimsel debi	Transit zamanlı portatif ultrasonik debimetre	Ölçüm işlevselliği Ölçüm aralığı Doğruluk Tekrarlanabilirlik Proses koşulları Boru çapları Proses sıcaklıkları	Standart fiili hacimsel debi ve toplam akış miktarı 0 ile 20 m/s Ölçüm değerinin $\leq \pm 1\%$, ($DN \geq 50$ mm için) $\leq \pm 0,2\%$ Katı partikül içeriği $< 5\%$ (hacimsel) Gaz içeriği $< 2\%$ (hacimsel) DN50 ile DN600 -40 ile 120°C
	Elektromanyetik debimetre	Doğruluk Kaplama Boru çapı Proses sıcaklıkları	$\leq \pm 0,3\%$ veya $0,2\%$ of MV Polipropilen DN150 -5 ile 90°C
U değeri	Isı akış plakası	Termokupl boyutu Kaplama Boyutlar Yaklaşık kalibrasyon değeri ($W/m^2=1mV$) Kalibrasyon değeri doğruluğu Sıcaklık kararlılığı	180×180 mm Epoksi reçine 250×250×1,5mm < 8 25 °C'de %5 80 °C
			Sistemde bulunan binaların dış duvarlarında toplam ısı geçiş katsayısı (U değeri) ölçümlerinde.

Elektrik gücü	3 fazlı güç analizörü	V-rms wye ölçümü Yapısal hata: İşletim (çalışma) hatası Çözünürlük	57 V/66 V/110 V/120 V/127 V/220 V/230 V/240 V/260 V/277 V/347 V/380 V/400 V/417 V/480 V ac \pm (ölçülen değer in %0,2'si + 5 dijit) \pm (ölçülen değer in %0,5'i + 10 dijit) 0,1V	Kuyu ve sirkülasyon pompalarının güç tüketim değerlerinin ölçümlerinde.
Baca emisyon	Baca gazı analiz cihazı			Pik güç ünitelerinin kazan ve yanma verimlerinin ölçümünde.

Sistemdeki debi ölçümleri, ısı merkezi ve kuyular bölgesinde yapılan jeotermal akışkan debi ölçümleriyle ısıtma zonlarında yapılan debi ölçüm çalışmalarından oluşmaktadır. Ölçümlerde elektromanyetik ve ultrasonik debimetreler kullanılmıştır. Hisarköy'deki kuyu debileri, sistemi besleyen tüm kuyular çalışırken, kuyu başları ile gaz seperatörü bağlantı noktalarında portatif bir ultrasonik debimetre yardımıyla ölçülmüştür (Şekil 4.16- 4.18).



Şekil 4.16: HK-8 kuyusu çamur separatörü çıkışında kuyu debisi ölçüm çalışması.



Şekil 4.17: Gaz separatörü kuyu bağlantı noktasında kuyu debisi ölçüm çalışması.



Şekil 4.18: HK-6 kuyusu kuyu başı debi ölçüm çalışması.

Ölçümlerde kullanılan DN150 çapındaki elektromanyetik debimetre, çeşitli dönemlerde isale hattı çıkışı ile ısı merkezi girişine monte edilerek Hisarköy'den çıkan ve ısı merkezine giren toplam jeotermal akışkan debileri farklı ısı yük durumları gözetilerek

ölçülmüştür. Hisarköy'de toplam kuyu debisinin belirlenebilmesi için DN250'lik isale hattına elektromanyetik debimetre ölçümüne uygun DN150'lik by-pass hattı kaynatılmış ve bu hat üzerinde toplam kuyu debisi (isale hattı giriş debisi) ölçülmüştür (Şekil 4.19). Elektromanyetik debimetre ısı merkezine giren toplam jeotermal akışkanın belirlenmesinde de etkin bir şekilde kullanılmış ve bu kapsamda ısı merkezi girişinde debimetreye uygun ölçülerde bir by-pass hattı oluşturulmuştur (Şekil 4.20).



Şekil 4.19: Hisarköy isale hattı başlangıç noktasında toplam kuyu debisi ölçüm çalışması.



Şekil 4.20: Isı merkezi girişinde jeotermal akışkan debisi ölçümü.

Isıtma zonlarına ait hat debilerinin ölçümünde ultrasonik debimetre kullanılmıştır. Buna göre, sistemde bulunan sirkülasyon pompaları farklı frekanslarda (debilerde) çalıştırılarak her bir frekans değerine karşılık gelen hat debileri ölçülerek kayıt altına alınmıştır (Şekil 4.21, 22). Böylece hat debilerinin, sistemin tüm çalışma koşullarında alabileceği değerler tek ölçümle elde edilmiştir. Dağıtım hatlarının debilerinin ölçülmesinde ölçüm noktası olarak genellikle kazan gidiş-dönüş boruları tercih edilmiştir. Bu sayede ultrasonik debimetre kullanımına uygun uzunluk ve yeterlilikte düz boru hatları elde edilmiştir. Hat debileri, kazanın çalıştırılmadığı dönemlerde ise eşanjör çıkışlarında ölçülmüştür.



Şekil 4.21: Fethibey Mahallesi ısıtma zonu eşanjör çıkışında hat debisi ölçüm çalışması.



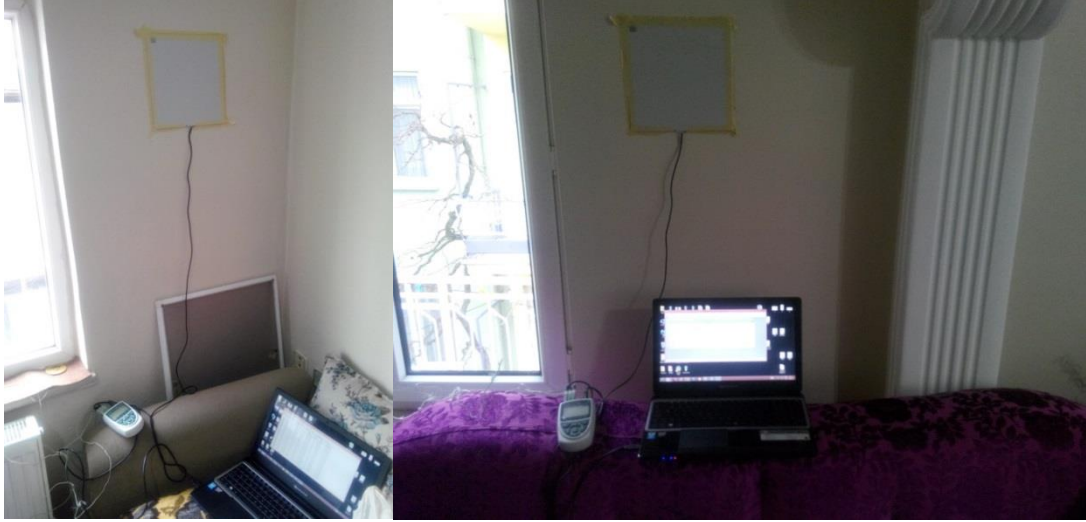
Şekil 4.22: Atatürk Caddesi ısıtma zonu eşanjör çıkışında hat debisi ölçüm çalışması.

Debi ve sıcaklık ölçümlerinin dışında sistemdeki kritik noktaların basınç değerleri, sistemdeki mevcut manometreler yardımıyla ölçülerek kaydedilmiştir. Isıtma zonları sirkülasyon pompalarıyla, kuyu pompalarının elektriksel yükleri 3-fazlı güç analizörü kullanılarak ölçülmüştür. Buna göre, sistemde bulunan frekans konvertörlü sirkülasyon ve kuyu pompaları farklı frekanslarda çalıştırılarak her bir frekans değeri için pompaların tükettikleri güç değerleri tespit edilmiştir (Şekil 4.23).

Sistemde ayrıca, işletme maliyetlerinin büyük bir bölümünü oluşturan pik güç ünitelerinde kazan ve yanma verimlerinin tespit edilebilmesi amacıyla, baca gazı analiz ölçümleriyle, binaların dış duvarlarında toplam ısı geçiş katsayısı (U değeri) ölçümleri yapılmıştır. Enerji etütleri esnasında örnek binaların dış duvarlarında yapılan toplam ısı geçiş katsayısı (U değeri) ölçümlerinde, özellikle inşaat sektörü uygulamalarında kullanılan bir ısı akış plakasından yararlanılmıştır. Isı akış plakası, ölçüm yapılacak dış duvarların iç yüzeyine yapıştırılmış, aynı anda ölçülen dış ve iç ortam sıcaklıklarının U değeri hesaplama yazılımı tarafından değerlendirilmesiyle, dış duvarların toplam ısı geçiş katsayıları W/m^2K cinsinden elde edilmiştir (Şekil 4.24).



Şekil 4.23: Sirkülasyon pompalarının güç tüketim değerlerinin ölçümü.



Şekil 4.24: Konutlarda ısı akış plakası ile U değeri ölçümleri.

4.4 Kütle, Enerji ve Ekserji Denge Eşitlikleri

Genel olarak kararlı bir akış prosesinde kütle, enerji, entropi ve ekserji olmak üzere dört denge eşitliği vardır. Bu çalışmada kütle, enerji ve ekserji denge eşitlikleri kullanılarak enerji ve ekserji akımlarıyla, enerji ve ekserji verimleri bulunmuştur. Jeotermal akışkan içerisinde bulunan tuz ve diğer parçacıkların etkisi ihmal edilerek akışkanın termodinamik özellikleri saf su gibi alınmıştır. Termodinamik özellikler Engineering Equation Solver (EES) programı yardımıyla elde edilmiştir.

Kütle denge eşitliği aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$\sum \dot{m}_{giren} = \sum \dot{m}_{çıkan} \quad (4.4)$$

Bigadiç JBIS için kütle dengesi ise aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$\sum_{i=1}^n \dot{m}_{jeo,i} - \dot{m}_{dışarı} = 0 \quad (4.5)$$

Genel enerji denge eşitliği,

$$\dot{E}_{giren} = \dot{E}_{çıkan} \quad (4.6)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Enerji denge eşitliği daha açık bir şekilde aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\dot{Q} + \sum \dot{m}_{giren} h_{giren} = \dot{W} + \sum \dot{m}_{çıkan} h_{çıkan} \quad (4.7)$$

Burada,

$$\dot{Q} = \dot{Q}_{net,giren} = \dot{Q}_{giren} - \dot{Q}_{çıkan} \text{ net ısı akısı;}$$

$\dot{W} = \dot{W}_{net,giren} = \dot{W}_{giren} - \dot{W}_{çıkan}$ birim zamanda net iş (güç) etkileşimi ve h birim kütlenin entalpisidir.

Kinetik, potansiyel ve küçük ısı ve iş transfer akımlarının ihmal edildiği kabul edilirse, (4.7) ile verilen enerji denge eşitliği aşağıdaki gibi basitleştirilebilir;

$$\sum \dot{m}_{giren} h_{giren} = \sum \dot{m}_{çıkan} h_{çıkan} \quad (4.8)$$

Jeotermal suyun enerji değeri, n sayıdaki kuyu için aşağıdaki eşitlikten bulunabilir.

$$\dot{E}_{jeo} = \sum_{i=1}^n \dot{m}_{jeo,i} (h_{jeo,i} - h_0) \quad (4.9)$$

Ekserji, enerjiden farklı olarak, (ideal, tersinir proseslerin dışında) dönüşüm yasasına uymaz. Daha doğru bir ifade ile ekserji; herhangi bir gerçek proste tüketilir veya tahrip olur. Ekserji tüketimi proses boyunca meydana gelen tersinmezlikler nedeniyle ortaya çıkan entropi ile orantılıdır. Genel olarak jeotermal bölgesel ısıtma sistemlerinde proseslerin ağırlığını fiziksel ekserji oluşturmaktadır.

Birim zaman başına genel ekserji denge eşitliği (ekserji akımları olarak),

$$\dot{E}x_{giren} - \dot{E}x_{çıkan} = \dot{E}x_{kayıp} \quad (4.10a)$$

veya

$$\dot{E}x_{ısı} - \dot{E}x_{iş} + \dot{E}x_{kütle,giren} - \dot{E}x_{kütle,çıkan} = \dot{E}x_{kayıp} \quad (4.10b)$$

şeklinde yazılabilir. Eşitlik (4.10b) kullanılarak genel ekserji dengesi,

$$\sum \left(1 - \frac{T_0}{T_k}\right) \dot{Q}_k - \dot{W} + \sum \dot{m}_g \psi_g - \sum \dot{m}_\psi \psi_\psi = \dot{E}x_{kayıp} \quad (4.11)$$

akışın özgül ekserjisi aşağıdaki gibi olmak üzere,

$$\psi = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (4.12)$$

şeklinde de yazılabilir. Burada \dot{Q}_k , k noktasından ve T_k sıcaklığında sistem sınırından olan ısı transfer akımını; \dot{W} , işi; ψ , akışın özgül ekserjisini; h , entalpiyi; s , entropiyi ve sıfır altı indisi de P_0 ve T_0 koşullarındaki referans çevre sıcaklığındaki özellikleri göstermektedir.

Eşitlik (4.12)'de verilen özgül ekserji ifadesinin kütleli debiyle çarpılmasıyla, ekserji akımı elde edilir:

$$\dot{E}x = \dot{m}[(h - h_0) - T_0(s - s_0)] \quad (4.13)$$

Jeotermal suyun ekserji değeri de aşağıdaki eşitlikten bulunabilir.

$$\dot{E}x_{jeo} = \sum_{i=1}^n \dot{m}_{jeo,i} [(h_{jeo,i} - h_0) - T_0(s_{jeo,i} - s_0)] \quad (4.14)$$

Ekserji Kayıpları

Sistemdeki eşanjör, pompa, boru gibi elemanlar ve tüm sistem için ekserji kayıpları aşağıdaki bağıntılardan bulunabilir:

$$\dot{E}x_{kayıp,E\mathcal{S}} = \dot{E}x_{giren} - \dot{E}x_{çıkan} \quad (4.15)$$

$$\dot{E}x_{kayıp,Pompa} = \dot{W}_{pompa} - (\dot{E}x_{çıkan} - \dot{E}x_{giren}) \quad (4.16)$$

$$\dot{E}x_{kayıp,Sis} = \sum \dot{E}x_{kayıp,E\mathcal{S}} + \sum \dot{E}x_{kayıp,Boru} + \sum \dot{E}x_{kayıp,Pompa} \quad (4.17)$$

Enerji ve Ekserji Verimleri

Sistemin enerji verimi aşağıdaki bağıntıdan bulunabilir:

$$\eta_{Sis} = \frac{\dot{E}_{yararlı}}{\dot{E}_{jeo}} \quad (4.18)$$

Eşanjörün ekserji verimi, soğuk akışkandaki ekserji değişiminin sıcak akışkandaki ekserji değişimine bölünmesiyle bulunur:

$$\varepsilon_{E\dot{S}} = \frac{\dot{m}_{soğuk}(\psi_{soğuk,çıkan} - \psi_{soğuk,giren})}{\dot{m}_{sıcak}(\psi_{sıcak,giren} - \psi_{sıcak,çıkan})} \quad (4.19)$$

Bunun yanında sistemin ekserji verimi ise şöyle bulunur:

$$\varepsilon_{Sis} = \frac{\dot{E}x_{kullanışlı,E\dot{S}}}{\dot{E}x_{jeo}} = 1 - \frac{\dot{E}x_{kayıp,Sis} + \dot{E}x_{reen} + \dot{E}x_{dışarı}}{\dot{E}x_{jeo}} \quad (4.20)$$

Kazanlar İçin Enerji ve Ekserji Analizi

Enerji analizi: Yakıt ve havanın kazana T_0 ve P_0 koşullarında girdiği kabul edilerek, enerji denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\dot{E}_Y = \Delta\dot{E}_S + \dot{E}_B + \dot{E}_K \quad (4.21)$$

Burada \dot{E}_Y yakıt enerjisi olup yakıtın alt ısı değeri ile hesaplanır.

$$\dot{E}_Y = \dot{m}_y H_u \quad (4.22)$$

Kazanda suya aktarılan enerji;

$$\Delta \dot{E}_S = \dot{m}_S (h_{s,\zeta} - h_{s,g}) \quad (4.23)$$

$$\Delta \dot{E}_S = \dot{m}_S C_p (T_{s,\zeta} - T_{s,g}) \quad (4.24)$$

Baca gazları ile dışarı atılan enerji;

$$\dot{E}_B = \sum_{i=1}^N n_i \bar{C}_{p,i} (T_b - T_0) \quad (4.25)$$

ifadeleri kullanılarak hesaplanır.

Ekserji analizi: Yakıt ve havanın kazana T_0 ve P_0 koşullarında girdiği kabul edilerek, ekserji denklemleri aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\dot{E}_{X,Y} = (\dot{E}_{XS,\zeta} - \dot{E}_{XS,g}) + \dot{E}_{X,K} + \dot{E}_{X,B} + \sum_i \dot{I}_i \quad (4.26)$$

Burada birinci terim yakıt ekserjisini, parantez içerisindeki terim suya aktarılan ekserjiyi, üçüncü terim kazan yüzeylerinden olan ekserji kayıplarını, dördüncü terim baca gazları ile dışarı atılan ekserjiyi ve beşinci terim ise kazanda oluşan toplam tersinmezlikleri ifade etmektedir.

Yakıt ekserjisi $\dot{E}_{X,Y}$:

$$\dot{E}_{X,Y} = \dot{m}_y \phi H_u \quad (4.27)$$

H_u yakıtın alt ısı değeri (kJ/kg), ϕ ise yakıt ekserjisinin alt ısı değere oranıdır. Bu değer yakıtın kimyasal bileşimlerinden hesaplanır ve fuel oil için 1,07, kömür için 1,17 alınabilir.

Kazan yüzeylerinden olan ekserji kayıpları $\dot{E}_{X,K}$:

Kazan yüzeylerinden olan ekserji kayıpları, sadece kazan yüzeylerinden kaybolan ısı ile meydana gelmektedir ve

$$\dot{E}_{X,K} = \dot{Q}_k \left(1 - \frac{T_0}{T_Y}\right) \quad (4.28)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Burada \dot{Q}_k , kazan yüzeylerinden çevreye olan ısı kayıplarını, T_Y ise kazan yüzey sıcaklığını göstermektedir.

Kazan suyunun ekserjisi:

Kazan suyunun ekserjisi, sıvıların ekserji değişimi bağıntısından hareketle

$$(\dot{E}_{XS,\zeta} - \dot{E}_{XS,g}) = \dot{m}_s [(h_{S\zeta} - h_{Sg}) - T_0(s_{S\zeta} - s_{Sg})] \quad (4.29)$$

bağıntısına göre hesaplanır.

Kazandaki tersinmezlikler:

Kazanlarda iki durumda tersinmezlik meydana gelmektedir. Bunların ilki yakıtın hava ile yanması sırasında meydana gelir. Yani kimyasal enerjisinin ısı enerjisine dönüşümü sırasında tersinmezlik oluşur. Bu tersinmezlik ekserji dengesinden hareketle hesaplanır. Yakıtın kimyasal enerjisi yanma sonucunda sıcak gazlara dönüşür. Bunun için yanma sırasındaki sıcaklığın hesaplanması gerekir. Kazanlarda meydana gelen tersinmezliğin ikincisi ise sıcak yanma gazlarının ısının suya aktarılması sırasında meydana gelir.

Kazanın enerji ve ekserji verimleri:

Kazanın enerji verimi;

$$\eta_1 = \frac{\dot{m}_s C_p (T_{S\zeta} - T_{Sg})}{\dot{m}_y H_u} \quad (4.30)$$

Ekserji verimi ise,

$$\eta_{11} = \psi = \frac{\dot{E}_{XS,\zeta} - \dot{E}_{XS,g}}{\dot{E}_{X,Y}} = 1 - \frac{\dot{I}_T}{\dot{E}_{X,Y}} \quad (4.31)$$

bağıntıları ile hesaplanır.

4.5 Proje Ekonomi Analizleri ve Net Bugünkü Değer Yöntemi

Bir yatırımın sağlayacağı faydaları ve yol açacağı maliyetleri karşılaştırarak yatırım teklifinin çekici, yani yapılabilir (fizibil) olup olmadığının ortaya çıkarılması ve çeşitli yatırım tekliflerinin fayda ve maliyetlerinin karşılaştırılarak bunlar arasında öncelik sırasının belirlenmesi ancak ekonomik değerlendirme yöntemleri kullanılarak elde edilebilir [102].

Projenin yatırım dönemi ve ekonomik ömrü süresince ortaya çıkan fayda ve maliyetlerin bir referans yılına (genellikle yatırımın başlangıç yılına) indirgenerek karşılaştırılması yaklaşımına fayda-maliyet analizi denir. Projelerin ticari, ekonomik ve sosyal açıdan analizi sırasında kullanılan ve indirgeme tekniğine dayanan analiz yöntemleri [102],

- Net Bugünkü Değer (net present value) (NBD)
- İç Kârlılık Oranı (internal rate of return) (İKO)
- Fayda/Maliyet Oranı (benefit/cost ratio) (F/M)
- Geri Ödeme Süresi (payback period)

şeklinde sıralanabilir.

NBD Analizi mühendislik proje ve yatırımlarının ekonomik değerlendirilmesinde sıkça kullanılan bir yöntemdir. Analiz, bir projenin ekonomik ömrü boyunca sağlayacağı net akit girişlerinin ve yatırım giderlerinin yıllara yayılışının piyasa için geçerli bir indirgeme oranıyla bugüne çekilmesi ve proje net nakit akımlarının bugünkü değerinin bulunması ilkesine dayanır. Bir projenin bu yöntemle göre kabul edilebilir bulunması için NBD'nin sıfıra eşit veya sıfırdan büyük olması gerekmektedir. Alternatif projelerin seçiminde ise NBD'si en büyük olan projeye (NBD>0 olmak kaydıyla) öncelik verilir. Bir projenin net bugünkü değeri aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanır [102]:

$$NBD = \frac{S}{(1+i)^{n+m}} + \sum_{t=m+1}^{m+n} \frac{NNG_t}{(1+i)^t} - \sum_{t=0}^m \frac{I_t}{(1+i)^t} \quad (4.32)$$

Burada NNG_t , t yılındaki net nakit girişini (artık değer hariç); I_t , t yılındaki yatırım tutarını; n , tesisin ekonomik ömrünü; m , projenin inşa süresini; i , indirgeme oranını ve S , tesisin ekonomik ömrü sonunda (varsa) artık değerini ifade etmektedir.

4.6 Bigadiç JBIS'nin Isıl Güç İhtiyacı

4.6.1 Isıtma Enerjisi İhtiyacı

Bigadiç JBIS'de yer alan binaların ısıtma enerjisi ihtiyaçlarının belirlenmesinde ayrıntıları Bölüm 5'te verilen aşağıdaki çalışmalar gerçekleştirilmiştir:

- Isıtma sisteminde yer alan abonelere ait istatistiki bilgilerin derlenmesi
- Sistemde bulunan binaları temsil edebilecek nitelikte örnek binaların seçilmesi ve bu binalarda enerji etütlerinin yapılması
- Şehir içi dağıtım planlarının incelenmesiyle her bir ısıtma zonundaki binaların doğrultu (kuzey-güney, güneybatı-kuzeydoğu, vs.), kat ve daire sayıları ile bitişik, ayırık veya sıralı nizam durumları gibi ısı ihtiyacını önemli ölçüde etkileyebilecek özelliklerinin tespit edilmesi, bu özelliklere göre konut sayılarının belirlenmesi
- Yukarıda belirtilen çalışmalar doğrultusunda model konutlar tasarlayarak bu modellerin TS-825 standardına göre özgül ısı kayıplarının hesaplanması
- Binaların nizam şekilleri, doğrultuları ve kat sayıları dikkate alınarak her bir ısıtma zonuna ait ortalama özgül ısı ihtiyaçlarının hesaplanması.

4.6.2 Konutlarda Sıcak Kullanım Suyu Enerjisi İhtiyacı

Bigadiç JBIS' de bulunan konutlardaki sıcak su ihtiyacının karşılanması için ihtiyaç duyulan ısı güç Eşitlik (4.33)'e göre hesaplanmıştır:

$$\dot{Q}_{sıcak\ su} = N_{kişi} \cdot C_p \cdot S \cdot \Delta T \quad (4.33)$$

Eşitlikte gösterilen N bir evdeki ortalama insan sayısı olup 4 alınmıştır. S kişi başına günlük ortalama sıcak su ihtiyacını belirtmektedir ve 50 l/(kişi-gün) kabul edilmiştir. ΔT ise sıcak su (60 °C) ile şebekeden gelen su (10 °C) arasındaki sıcaklık farkını ifade etmektedir.

4.6.3 Boru Hatlarında Isı Kaybı

Ön izolasyonlu paket boruların direkt olarak toprağa gömülmesi halinde sürekli rejimde birim uzunluk başına ısı kaybı,

$$\dot{Q} = \frac{2\pi(T_{iort} - T_{toprak})}{\frac{1}{k_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{k_2} \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{k_3} \ln \frac{d_4}{d_3} + \frac{1}{k_4} \ln \frac{4h}{d_4}} \quad (4.34)$$

ifadesi ile hesaplanabilir. Burada, T_{iort} boru hattı giriş ve çıkış su sıcaklık ortalamasını (K); T_{toprak} boruların gömüldüğü derinlikteki toprak sıcaklığı (K); k_1, k_2, k_3 boru sistemini oluşturan sırasıyla, servis borusu, ısı yalıtım malzemesi ve dış kılıf borusunun, k_4 toprağın ısı iletim katsayılarını (W/mK); $d_2/d_1, d_3/d_2, d_4/d_3$ sırasıyla servis borusu, yalıtım malzemesi ve kılıf borusunun dış ve iç çap oranlarını; h ise boruları döşeme derinliğini (m) göstermektedir.

5. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu çalışmada Bigadiç JBIS'nin enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Analizler, sistemin 2011, 2012 ve 2016 yıllarındaki izleme çalışmalarına dayanmaktadır. Elde edilen araştırma bulgularına ait alt başlıklar, içerdikleri konular itibariyle şu şekilde özetlenebilir: Birinci alt başlıkta Bigadiç JBIS'nin farklı koşullardaki ısı güç taleplerine ilişkin bulgular sunulmaktadır. Bu ihtiyaçlar, başta ısıtma gücü ihtiyacı olmak üzere, kullanım suyu ihtiyacı ve iletim ve dağıtım hatlarında meydana gelen ısı kayıplarından oluşmaktadır. Isıl güç talebi, her bir ısıtma zonu için ayrı ayrı hesaplanarak her bir zona ait ısı yük ortaya çıkarılmıştır. Böylece hatlar arasında adil ısı dağıtımının sağlanabilmesine yönelik veriler elde edilmiştir. Bölümde ayrıca, sistemde bulunan binalar için optimum ısı yalıtım kalınlıkları önerilmiş ve bu kalınlıklardaki ısı yalıtım uygulamasının sistem üzerindeki etkilerine yönelik bulgulara yer verilmiştir.

İkinci alt başlık, Bigadiç JBIS'nin izleme periyodu boyunca çalıştığı işletme koşullarını, jeotermal enerjinin sisteme giriş debisiyle giriş-çıkış sıcaklıklarını, atık enerji miktarlarını ve jeotermal enerji dışında tüketilen fosil yakıt miktarlarını içeren, aylık ve yıllık değerlendirmeleri kapsamaktadır. Bu bölüm, sistemin genel enerji bilançosunu ana hatlarıyla sunmakta ve sistemin işleyişi ile ilgili genel bir tablo ortaya koymaktadır.

Üçüncü alt başlıkta, sistemin bütünü ve bileşenlerinin performans değerlendirmesine yönelik olarak gerçekleştirilen enerji ve ekserji analizlerinin sonuçları sunulmaktadır. Bu analizler, ısıtma sürecindeki farklı yük dalgalanmalarını kapsayabilmesi ve sistemin genel performansı hakkında daha doğru bilgi verebilmesi için 2011 ve 2012 yıllarındaki altı farklı dış sıcaklık koşulunda; kullanımına Şubat 2015'te başlanan kalorimetre uygulamasının sistem üzerindeki etkilerini ortaya koyabilmesi için ise 2016 yılındaki üç farklı yük durumunda yapılmıştır. Böylece, sistemin sadece yılın soğuk günleri için değil, mevsimsel geçiş dönemleri için de değerlendirilebilmesi ve 2016 yılındaki güncel performansının ortaya koyulması amaçlanmıştır.

5.1 Bigadiç JBIS'nin Isıl Güç İhtiyacı

Isı kaybı hesaplamalarına yönelik olarak Bigadiç JBIS'de yer alan abone bilgileri Tablo 5.1 ve 5.2'de verilmiştir. Buna göre, 2011-2012 kış döneminde hesaplamalara dahil

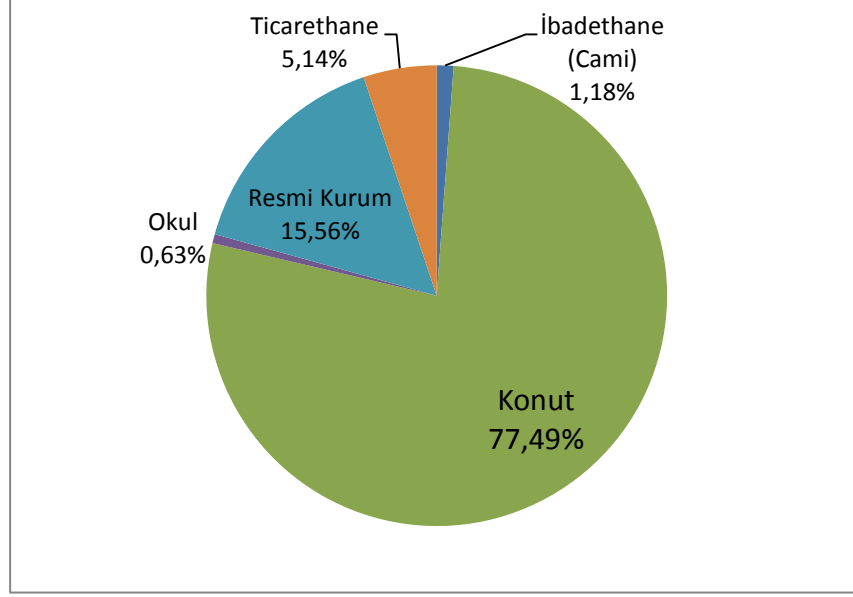
edilen 1064 aktif abonenin toplam ısıtma alanı 135244 m²'dir. Bu alanın 104802 m²'lik en büyük bölümünü (%77,49) konut ısıtması oluşturmaktadır (Şekil 5.1).

Tablo 5.1: Mahallelerine göre Bigadiç JBIS aboneleri ve abonelerin toplam ısıtma alanları. (Ocak-2011).

Mahalle adı	Abone sayısı	Isıtılan toplam alan (m²)
Abacı Mah.	363	36017
Cami Mah.	107	9009
Çavuş Mah.	141	31066
Emek Mah.	250	24172
Fethibey Mah.	369	51276
Kuyu Mah.	3	2840
Orta Mah.	11	893
Servi Mah.	41	8855
Toplam	1285	164128

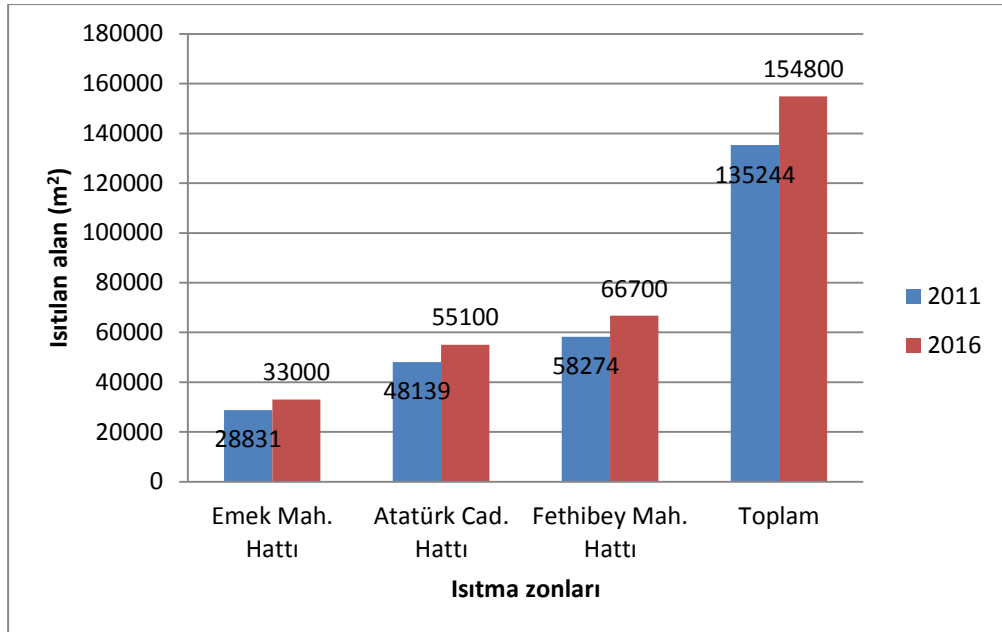
Tablo 5.2: Abone türlerine göre Bigadiç JBIS ısıtma alanları (Ocak-2011).

Abone türü	Abone sayısı	Isıtılan toplam alan (m²)
İbadethane (Cami)	9	1592
<i>Kesik Abone</i>	221	28884
Konut	957	104802
Okul	1	858
Resmi Kurum	21	21040
Ticarethane	76	6952
Toplam	1285	164128
<i>Kesik Aboneler Çıkarıldıktan Sonra</i> Toplam Aktif	1064	135244

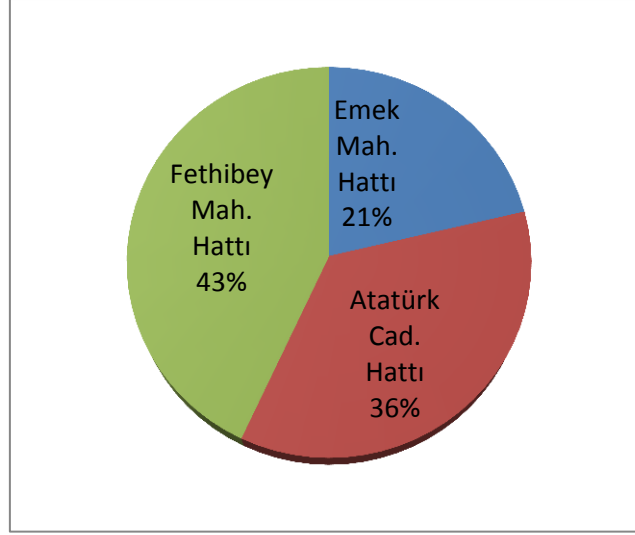


Şekil 5.1: Bigadiç JBIS’de ısıtılan alanların türlerine göre dağılımı.

2016 yılı itibariyle sistemde ısıtılan toplam alan 2011 yılına göre %14,4 artarak 135244 m²’den 154800 m²’ye ulaşmıştır (Şekil 5.2). Isıtılan alanların ısıtma zonlarına göre dağılımı incelendiğinde, toplam ısıtma alanının %43’ünün Fethibey Mahallesi hattında, %36’sının Atatürk Caddesi hattında ve %21’inin de Emek Mahallesi hattında yer aldığı görülmektedir (Şekil 5.3).



Şekil 5.2: Isıtma zonlarına göre ısıtılan toplam alanlar.



Şekil 5.3: Isıtılan alanların ısıtma zonlarına göre oransal dağılımı.

Bigadiç JBIS’de yer alan binaların yapı bileşenleri hakkında sağlıklı bilgiler elde edilebilmesi amacıyla sistemdeki bina karakteristiğini temsil edebilecek nitelikte 20 örnek bina seçilmiş ve bu binalarda enerji etütleri yapılmıştır. Etütler, anket çalışması, dış duvar toplam ısı geçiş katsayılarının ölçülmesi ve termal kamera çekimleri olmak üzere üç çalışmadan oluşmaktadır. Enerji etütlerine konu olan 20 örnek bina yaklaşık 100 konuttan oluşmaktadır. Bina sakinlerine yönelik düzenlenen birinci grup anket çalışması sonuçlarına göre, Bigadiç JBIS’de bulunan binaların %40’lık bölümü 1950-1980 yılları arasında yapılan ve dış duvarlarında genellikle dolu tuğla kullanılan yığma binalardır. Kalan %60’lık bölüm ise 1980 yılından sonra yapılan karkas binalardan oluşmaktadır (Tablo 5.3). Bina yapı bileşenlerinin tür ve özelliklerinin tespitine yönelik olarak düzenlenen ikinci grup anket çalışması sonuçlarına göre, örnek binaların %45’inin hiç bir yapı bileşeninde, %40’ının yalnızca çatısında ve %15’lik bölümünün ise yalnızca dış duvarlarında ısı yalıtımı olduğu ortaya çıkmıştır (Tablo 5.4).

Tablo 5.3: Örnek binalarda yapılan birinci grup anket çalışmasının sonuçları.

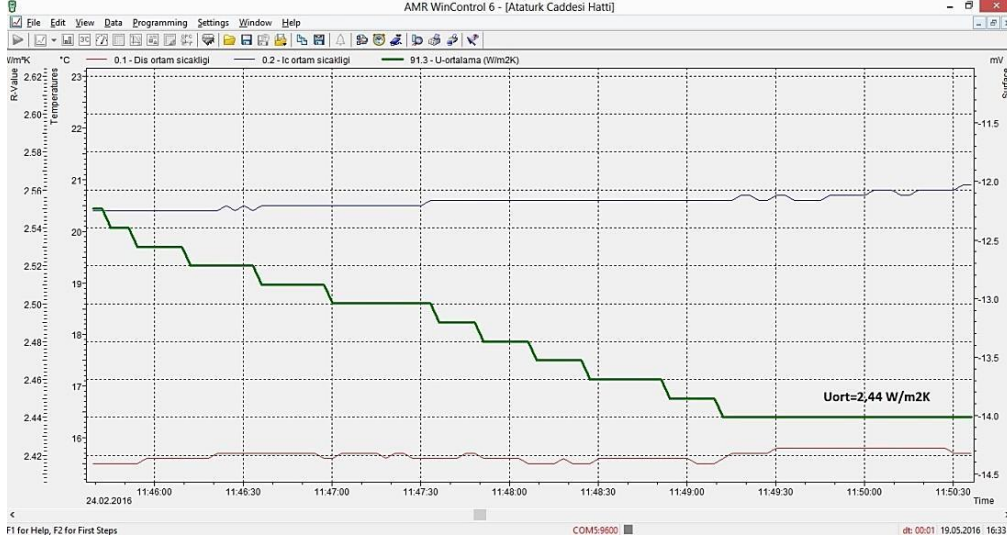
	Bina sayısı	%
1. Binanız kaç yılında yapılmıştır?		
2000 yılından sonra	4	20
1980-2000 yılları arası	8	40
1950-1980 yılları arası	8	40
2. Konutunuz kullanım alanı kaç metrekaredir?		
90 m ² ’den küçük	8	40

90-110 m ² arası	8	40
110 m ² 'den büyük	4	20
3. Binanız kaç katlıdır?		
2 kat	6	30
3 kat	6	30
4 kat	8	40
4. Bir kattaki daire sayısı nedir?		
1 daire	8	40
2 daire	12	60
3 daire	-	-
4 daire	-	-

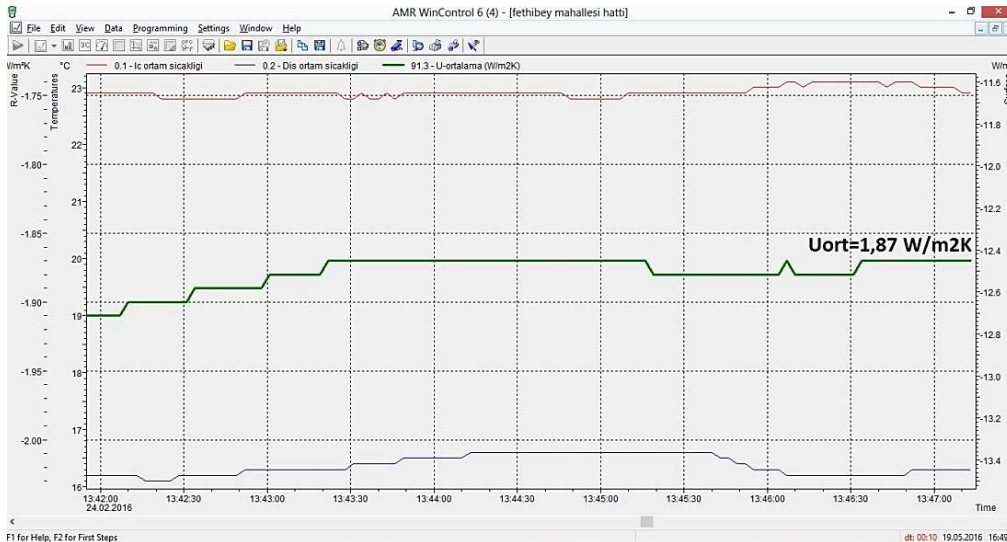
Tablo 5.4: Örnek binalarda yapılan ikinci grup anket çalışmasının sonuçları.

	Bina Sayısı	%
1. Dış duvar ana malzemesi nedir?		
Yatay delikli tuğla	11	55
Dolu tuğla	6	30
Gazbeton	3	15
2. Tavan tipi nedir?		
Çatılı	18	90
Çatısız	2	10
3. Binaya ait herhangi bir yapı bileşeninde ısı yalıtımı var mı?		
Dış duvar	3	15
Çatı	8	40
Döşeme	-	-
Mevcut değil	9	45
4. Dış duvarda ısı yalıtımı uygulamasının türü nedir?		
Mantolama	3	100
Sandviç	-	-
5. Pencerelerinizin türü nedir?		
Ahşap ve tek cam	-	-
PVC ve çift cam	20	100

Enerji etütleri esnasında örnek binaların dış duvarlarında toplam ısı geçiş katsayısı (U değeri) ölçümleri yapılmıştır. Şekil 5.4'de Atatürk Caddesi ısıtma zonunda bulunan ve 1960 yılında inşa edilen, duvarları dolu tuğla ile örülü yığma binaya ait U değeri ölçüm sonucunun program çıktısı verilmiştir. Şekil 5.5'de ise Fethibey Mahallesi ısıtma zonunda bulunan ve 1992 yılında inşa edilen, dış duvarlarında 13,5 cm yatay delikli tuğlanın kullanıldığı binaya ait U değeri ölçüm sonucu verilmiştir. Örnek binalarda yapılan U değeri ölçüm sonuçlarından bazıları ise bina özellikleri ile birlikte Tablo 5.5'de verilmiştir.



Şekil 5.4: Atatürk Caddesi ısıtma zonundaki bir binaya ait örnek U değeri sonucu.

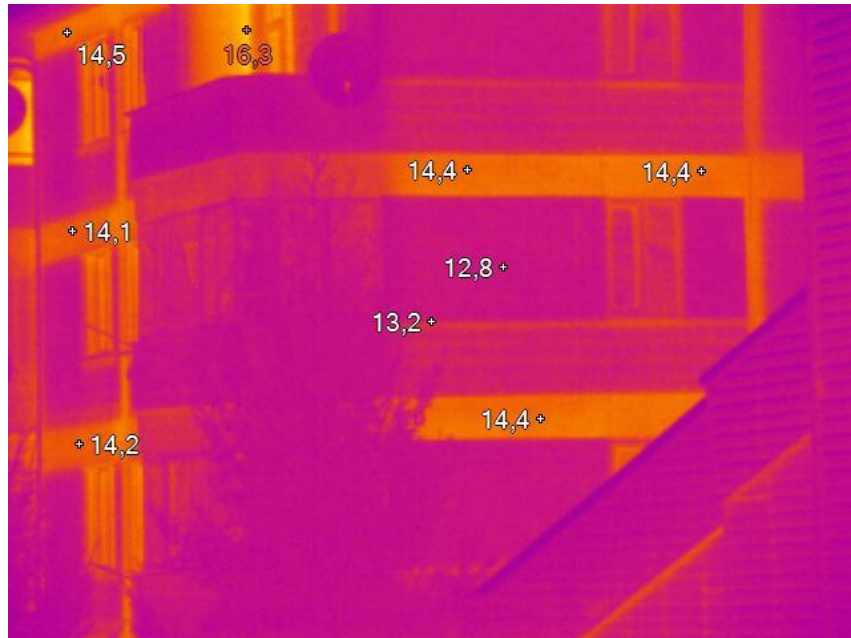


Şekil 5.5: Fethibey Mahallesi ısıtma zonundaki bir binaya ait örnek U değeri sonucu.

Tablo 5.5: Örnek binalarda elde edilen bazı U değeri ölçüm sonuçları.

İnşa yılı	Bina türü	Bulunduğu ısıtma zonu	Toplam daire sayısı	Dış duvar yapı bileşeni	Ölçülen U değeri (W/m ² K)
1953	Karkas	Emek Mah.	4	Yatay delikli tuğla	1,5
1960	Yığma	Atatürk Cad.	2	Dolu tuğla	2,44
1976	Yığma	Fethibey Mah.	6	Dolu tuğla	2,42
1982	Karkas	Fethibey Mah.	4	Yatay delikli tuğla	1,49
1987	Karkas	Emek Mah.	3	Yatay delikli tuğla	1,71
1992	Karkas	Fethibey Mah.	8	Yatay delikli tuğla	1,88
2012	Karkas	Fethibey Mah.	8	Gazbeton	0,59

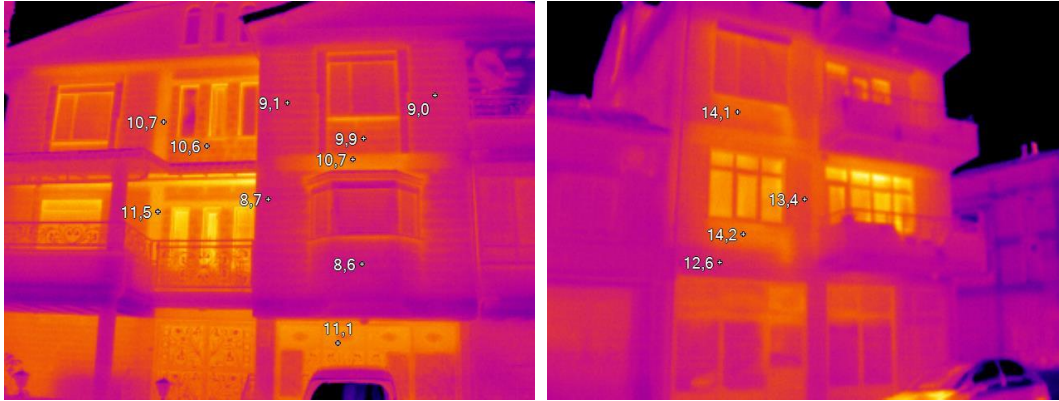
Elde edilen U değerlerinin tamamına yakınının TS-825 Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları Standardında dış duvarlar için tavsiye edilen U değerinin (0,6 W/m²K) oldukça üzerinde olduğu görülmüştür. Bigadiç JBIS'de yapılan termal kamera çekimlerinde ise bina yüzey sıcaklıklarında uniform bir dağılım göstermediği ve yetersiz ısı yalıtımı sonucu meydana gelen ısı köprülerinin belirgin bir şekilde ortaya çıktığı tespit edilmiştir (Şekil 5.6- 5.8).



Şekil 5.6: Bigadiç JBIS'de bulunan bir binada kızılötesi görüntüleme ile tespit edilen ısı köprüleri.



Şekil 5.7: Bigadiç JBIS’de bulunan ısı yalıtımlı ve ısı yalıtımsız bitişik iki bina.



Şekil 5.8: Bigadiç JBIS’de farklı ısıtma zonlarındaki iki binaya ait kızılötesi görüntüler.

Örnek binalarda yapılan enerji etütleri neticesinde elde edilen bulgular değerlendirilerek, Bigadiç JBIS’de bulunan binaların genelini temsil edebilecek dış duvar, tavan, taban ve pencere konstrüksiyonları belirlenmiştir (Tablo 5.6, 5.7). Buna göre, ısı kaybı hesaplamalarında kullanılmak üzere Bigadiç JBIS’de yer alan yalıtımsız karkas binaların dış duvarları için “Dış Duvar-1”, yalıtımsız yığma binalar için “Dış Duvar-2” ve az sayıdaki yalıtımlı karkas binalar için ise “Dış Duvar-3” konstrüksiyonları oluşturulmuştur. Tüm binaların tavan, taban ve pencere gibi yapı bileşenlerinde meydana gelen ısı kaybı hesaplamaları için Tablo 5.7’de belirtilen konstrüksiyonlara ait U değerleri kullanılmıştır.

Tablo 5.6: Bigadiç JBIS'deki farklı tür binalar için dış duvar konstrüksiyonları ve toplam ısı geçiş katsayıları.

Dış duvar konstrüksiyonları	Kalınlık (m)	Isı iletim katsayısı (W/mK)	Yaygınlık oranı (%)	
Dış duvar 1	Yalıtımsız karkas binalar için			55
	İç sıva	0,02	1	
	Yatay delikli tuğla	0,135	0,39	
	Dış sıva	0,03	1,4	
	$U_{hesap} = 1,793 \text{ W/m}^2 \text{ K}$			
Dış duvar 2	Yalıtımsız yığma binalar için			30
	İç sıva	0,02	1	
	Dolu tuğla	0,15	0,68	
	Dış sıva	0,03	1,4	
	$U_{hesap} = 2,315 \text{ W/m}^2 \text{ K}$			
Dış duvar 3	Yalıtımlı karkas binalar için			15
	İç sıva	0,02	1	
	Yatay delikli tuğla	0,135	0,39	
	Yalıtım (EPS)	0,04	0,04	
	Dış sıva	0,03	1,4	
	$U_{hesap} = 0,642 \text{ W/m}^2 \text{ K}$			
Beton duvar	Tüm binalardaki donatılı duvarlar için			
	İç sıva	0,02	1	
	Donatılı beton	0,2	2,5	
	Dış sıva	0,03	1,4	
	$U_{hesap} = 3,431 \text{ W/m}^2 \text{ K}$			

Tablo 5.7: Isı kaybı hesaplarında kullanılan tavan, taban ve pencere konstrüksiyonları.

Tavan, taban ve pencere konstrüksiyonları		Kalınlık (m)	Isı iletim katsayısı (W/mK)
Tavan (Kırma çatı, kullanılmayan çatı arası)	Yalıtım (Camyünü)	-	-
	Donatılı beton	0,12	2,5
	Tavan sıvası	0,02	1
	$U_{hes} = 3,597 \text{ W/m}^2 \text{ K}$		
Taban (Toprak temaslı)	Kaplama (Seramik)	0,01	0,85
	Şap	0,03	1,4
	Şap	0,06	1,4
	Donatılı beton	0,1	2,5
	Grobeton	0,1	1,1
	Blokaj	0,15	1,74
	$U_{hes} = 2,159 \text{ W/m}^2 \text{ K}$		
Pencere	Plastik doğrama (üç odacıklı) çift camlı pencere (12 mm boşluklu)	$U_{hes} = 2,8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$	

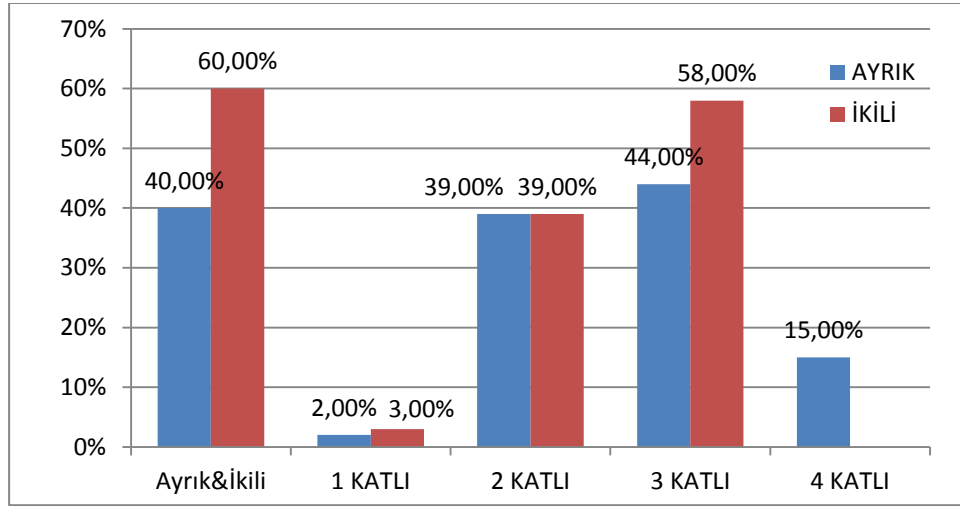
Ayrıık bir binadaki ısı kaybı, aynı büyüklük ve türde inşa edilen bitişik düzendeki başka bir binaya göre daha fazladır. Benzer şekilde aynı büyüklük ve inşa özelliklerine sahip konutlardan oluşan farklı kat sayılarına sahip iki bina göz önüne alındığında, kat sayısı az olan binada konut başına düşen ısı kaybı daha büyüktür. Bunun dışında farklı bina yönelimleri de binaların ısı kaybı/kazancı bakımından farklılık göstermesine sebep olmaktadır. Bu nedenle Bigadiç JBIS’de ısıtılan binaların ısı kayıplarının daha doğru bir şekilde hesaplanabilmesi için ısıtma zonlarına ait şehir içi dağıtım planları incelenerek her bir ısıtma zonunda bulunan binaların doğrultuları (kuzey-güney, güneydoğu-kuzeybatı, vs.), kat ve daire sayıları ile ayrıık, bitişik, sıralı nizam olma durumları tespit edilmiştir. Bu sayede, ayrıca, ısıtma zonlarında bulunan binalardaki nizam türü, kat sayısı gibi farklılıklar ortaya çıkarılarak her zona ait özgül ısı kayıplarının elde edilebilmesi amaçlanmıştır. Zonlar arasındaki ısı enerjisi ihtiyaçlarının net bir şekilde hesaplanması, Bigadiç JBIS ısı merkezinde zonlara göre sağlıklı bir ısı paylaşımının sağlanabilmesi için oldukça önemlidir.

Isıtma zonlarında bulunan binalara ait yönelimler incelendiğinde, Emek Mahallesi hattındaki binalarının büyük bölümünün güney-kuzey, Fethibey ve Atatürk Caddesi hattındaki binaların ise önemli bölümünün kuzeybatı-güneydoğu doğrultularında konumlandığı görülmektedir (Tablo 5.8).

Tablo 5.8: Isıtma zonlarına göre bina yönelimleri.

Isıtma zonu	Bina yönelimi		
	Güney-kuzey (% Oran)	Kuzeybatı-güneydoğu (% Oran)	Kuzeydoğu-güneybatı (% Oran)
Emek Mahallesi	66	-	34
Fethibey Mahallesi	32	68	
Atatürk Caddesi	20	80	-

Isıtma zonlarında bulunan binaların nizam türü ve kat sayılarına göre dağılımları incelendiğinde, Emek Mahallesi zonunda bulunan binaların %60'ının ikili binalardan, kalan %40'lık bölümün ise ayrı binalardan oluştuğu görülmektedir (Şekil 5.9). Buna göre hattaki toplam 28831 m²'lik ısıtma alanının 17299 m²'lik bölümü ikili binalardan oluşmaktadır. Hatta bulunan ikili binaların %58'lik en büyük bölümü ise 3 katlı binalardır (Tablo 5.9).

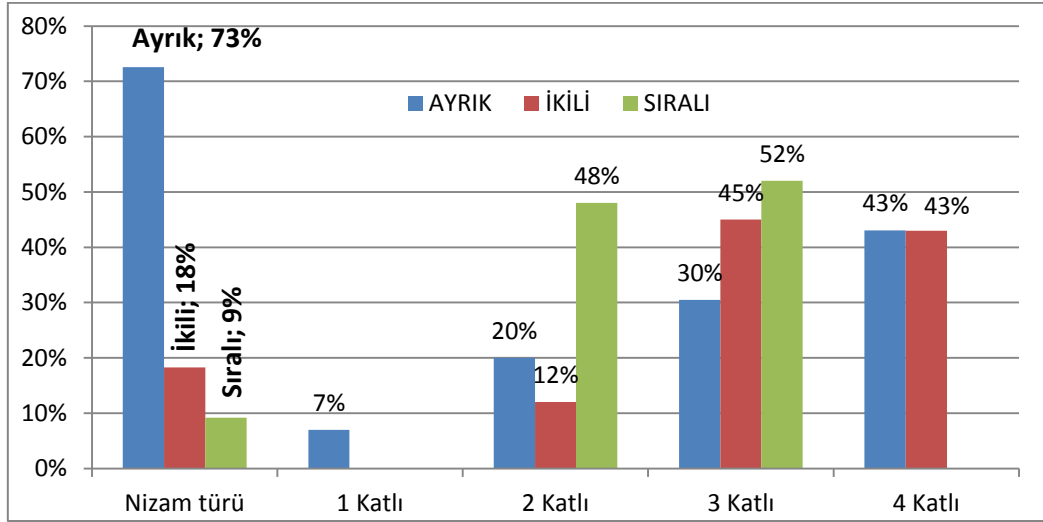


Şekil 5.9: Emek Mahallesi ısıtma zonunda bulunan binalarda nizam türü ve kat sayılarına göre ısıtılan alanların oransal dağılımı.

Tablo 5.9: Emek Mahallesi ısıtma zonunda bulunan binalarda nizam türü ve kat sayılarına göre ısıtılan alanlar.

Emek Mah. Hattı	Isıtılan alan (m ²)	1 Katlı (m ²)	2 Katlı (m ²)	3 Katlı (m ²)	4 Katlı (m ²)
Ayrık	11532 (%40)	231	4497	5074	1730
İkili	17299 (%60)	545	6747	10080	0
Toplam	28831	775	11244	15154	1730

Isıtma zonları arasında en büyük ısıtma alanında sahip olan Fethibey Mahallesi zonunda bulunan binaların %73'ünün ayrık binalardan, %18'inin ikili, kalan %9'luk bölümünün ise sıralı binalardan oluştuğu görülmektedir (Şekil 5.10). Buna göre hattaki toplam 58274 m²'lik ısıtma alanının 42284 m²'lik bölümü ayrık binalardan oluşmaktadır. Hatta bulunan ayrık binaların %43'lük en büyük bölümü ise 4 katlı binalardır (Tablo 5.10).

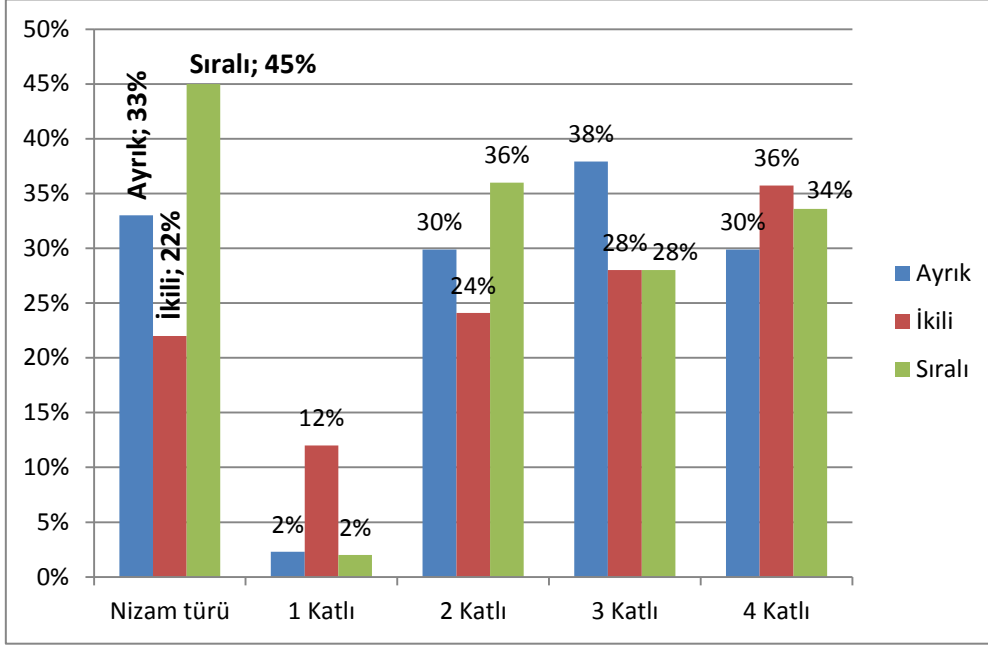


Şekil 5.10: Fethibey Mahallesi ısıtma zonunda bulunan binalarda nizam türü ve kat sayılarına göre ısıtılan alanların oransal dağılımı.

Tablo 5.10: Fethibey Mahallesi ısıtma zonunda bulunan binalarda nizam türü ve kat sayılarına göre ısıtılan alanlar.

Fethibey Mah. Hattı	Isıtılan alan (m ²)	1 Katlı (m ²)	2 Katlı (m ²)	3 Katlı (m ²)	4 Katlı (m ²)
Ayrık	42284	2718	8469	12894	18203
İkili	10638	0	1277	4787	4574
Sıralı	5352	0	2569	2783	0
Toplam	58274	2718	12315	20464	22777

En büyük ikinci ısıtma alanında sahip Atatürk Caddesi zonunda bulunan binaların ise %33'ünün ayrıık, %22'sinin ikili, kalan %45'lik bölümünün ise sıralı düzende olduğu görülmektedir (Şekil 5.11). Buna göre hattaki toplam 48139 m²'lik ısıtma alanınının 21663 m²'lik bölümü sıralı binalardan oluşmaktadır (Tablo 5.11). Hatta bulunan sıralı binaların %36'lık en büyük bölümü ise 2 katlı binalardır.



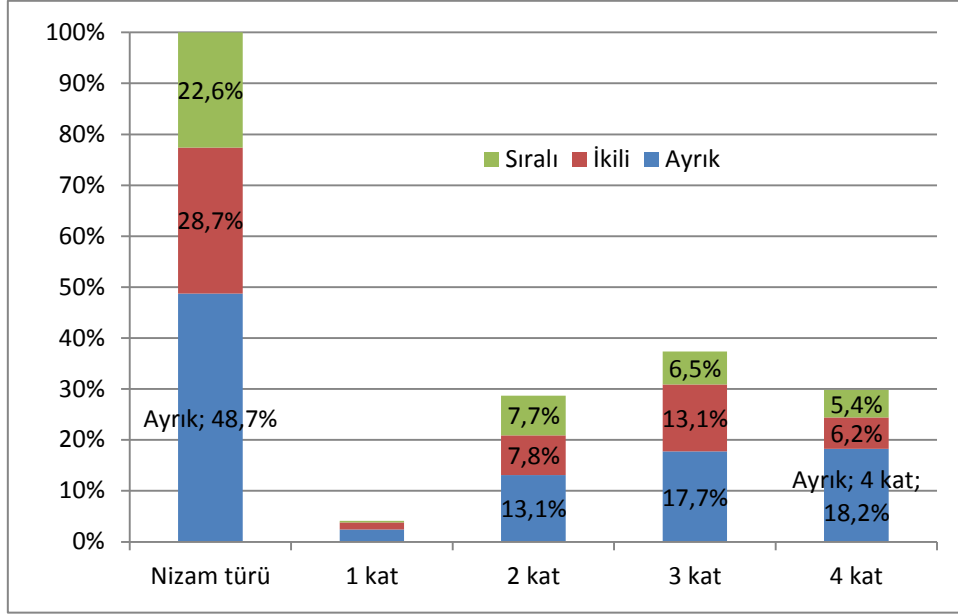
Şekil 5.11: Atatürk Caddesi ısıtma zonunda bulunan binalarda nizam türü ve kat sayılarına göre ısıtılan alanların oransal dağılımı.

Tablo 5.11: Atatürk Caddesi ısıtma zonunda bulunan binalarda nizam türü ve kat sayılarına göre ısıtılan alanlar.

Atatürk Cad. Hattı	Isıtılan alan (m ²)	1 Katlı (m ²)	2 Katlı (m ²)	3 Katlı (m ²)	4 Katlı (m ²)
Ayrıık	15886	365	4748	6026	4748
İkili	10591	1324	2553	2931	3783
Sıralı	21663	433	7907	6044	7279
Toplam	48139	2122	15208	15001	15809

Bigadiç JBIS'de bulunan binaların geneli, nizam türü ve kat sayısı bakımından değerlendirildiğinde, sistemde bulunan binaların %48,7'sinin ayrıık, %28,7'sinin ikili ve kalan %22,6'lık bölümünün ise sıralı binalardan meydana geldiği görülmektedir. Buna göre Bigadiç JBIS'de en yaygın görülen bina modeli ayrıık 4 katlı binalardır. Bu tür binalar Bigadiç JBIS'de

bulunan binaların %18,2'lik bölümünü oluşturmaktadır. Sistemde görülen en yaygın ikinci bina modeli %17,7 ile ayırık 3 katlı binalar, üçüncü bina modeli ise %13,1 ile ikili 3 katlı binalardır. Sistemde en az rastlanan bina modeli %0,3 ile sıralı tek katlı binalardır (Şekil 5.12).



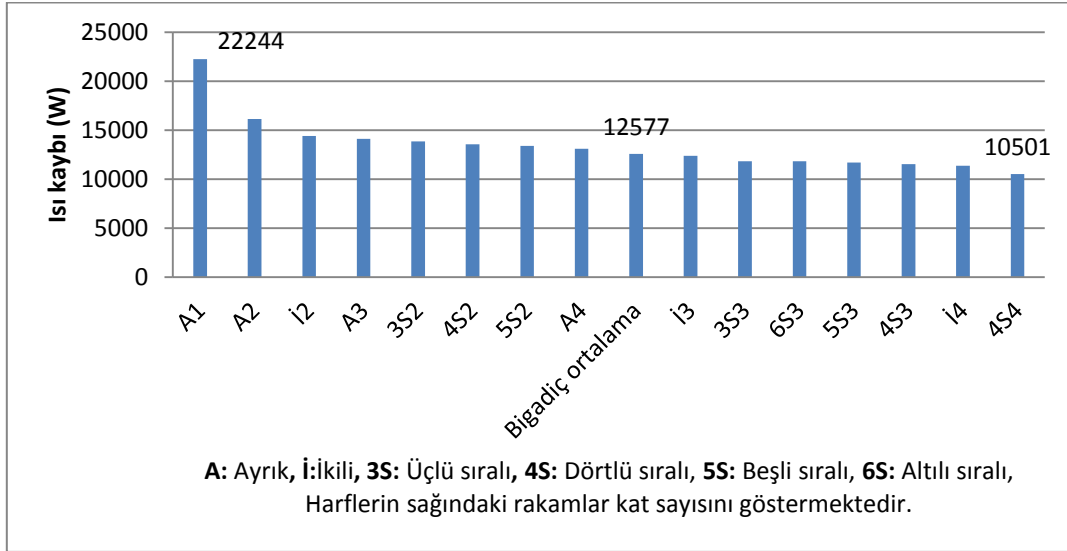
Şekil 5.12: Bigadiç JBIS'de bulunan binalarda nizam türü ve kat sayılarına göre ısıtılan alanların oransal dağılımı.

Bigadiç JBIS'de bulunan binaların ısı kayıplarının hesaplanmasında dördüncü aşamayı konutların modellenmesi oluşturmaktadır. Bu doğrultuda, ısıtma sisteminde bulunan binaların yaklaşık %70'ini oluşturan karkas binalar ve %30'unu oluşturan yığma binalar için olmak üzere iki ayrı konut modeli oluşturulmuştur. Buna göre her iki model daire de 118,63 m² brüt kullanım alanına sahip olacak şekilde 9,4×12,62 m ölçülerinde ve kat yüksekliği 3 m olarak ölçülendirilmiştir. Karkas binaları temsil eden modelde beton dış duvar ve pencere alanları, ısı kaybeden toplam dış yüzey alanının, sırasıyla, %25 ve %15'i olacak şekilde; yığma binaları temsil eden modelde ise, %9 ve %15'i olacak şekilde hesaplanmıştır. Tablo 5.12'de her iki modelin tek katlı türü için ısı kaybeden toplam dış duvar, beton duvar, pencere ve tuğla duvar alanları verilmektedir.

Tablo 5.12: Karkas ve yığma binalar için oluşturulan modellere ait örnek dış yüzey bileşen alanları.

Model adı	Kısa kenar (m)	Uzun kenar (m)	Isı kaybeden toplam dış duvar alanı (m ²)	Beton duvar alanı (m ²)	Pencere alanı (m ²)	Tuğla duvar alanı (m ²)
Karkas model (1 Katlı)	9,40	12,62	132,12	33,03	19,82	79,27
Yığma model (1 Katlı)	9,40	12,62	132,12	11,41	19,82	100,90

Bigadiç JBIS’de bulunan tüm binaların ısı kayıplarının tespit edilme çalışmasının son aşamasında öncelikle, her bir bina nizam türü-kat sayısı kombinasyonu için ayrı ayrı konut başına düşen ısı kayıpları hesaplanmıştır. Hesaplamalarda TS-825 hesap programından yararlanılmıştır. Buna göre, Bigadiç JBIS’de bulunan binalarda konut başına meydana gelen ısı kaybı 10501 ile 22244 W arasında değişmektedir. En büyük ısı kaybı Şekil 5.13’de A1 kısaltmasıyla gösterilen “ayrık-1 katlı” binalardaki konutlarda; en küçük ısı kaybı ise 4S4 kısaltmasıyla gösterilen “4’lü sıralı-4 katlı” binalardaki konutlarda meydana gelmektedir. Bigadiç JBIS’inin geneli için konut başına ortalama ısı kaybı ise 12577 W olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.13: Bigadiç JBIS’de bulunan farklı tür bina grupları için konut başına düşen ısı kayıpları.

Farklı bina kompozisyonlarında elde edilen konut başına ısı kayıpları kullanılarak, her bir ısıtma zonu için konut başına düşen ortalama özgül ısı kayıpları hesaplanmıştır. Bu

hesaplama her bir ısıtma zonuna özgül nizam türleri, kat sayıları ve yönelimleri dikkate alınmıştır. Çizelge 14’de sunulan bu hesaplamada, binaların sıfır ısı yalıtımlı olduğu kabul edilmiş, az sayıda bulunan yetersiz ısı yalıtımlı binanın etkisi dikkate alınmamıştır. Buna göre 4,5403 W/m²K olan en küçük özgül ısı kaybının, binaları %45 oranında sıralı düzende bulunan Atatürk Caddesi hattında olduğu ortaya çıkmıştır.

Tablo 5.13: Isı yalıtımlı binalar hesaba dahil edilmeden Bigadiç JBIS’deki konutların ısıtma zonlarına göre ortalama özgül ısı kayıpları.

Isıtma zonları	H (Özgül ısı kaybı) (W/m ² K)
Emek Mah. Hattı	4,8731
Fethibey Mah. Hattı	4,6994
Atatürk Cad. Hattı	4,5403

Bigadiç JBIS yetkililerinden alınan ısı yalıtımlı binaların ısıtma zonlarına göre dağılım oranlarının hesaba katılmasıyla, ısıtma zonlarına göre özgül ısı kayıpları yeniden hesaplanmış ve Tablo 5.14’de verilmiştir. Buna göre en düşük özgül ısı kaybının 4,10154 W/m²K ile ısı yalıtımlı bina oranı en fazla olan Fethibey Mahallesi hattında; en büyük özgül ısı kaybının ise 4,9542 W/m²K ile Emek Mahallesi hattında olduğu hesaplanmıştır. Bigadiç JBIS geneli için bir konutun ortalama özgül ısı kaybı ise 4,3974 W/m²K olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.14: Isı yalıtımlı binaların hesaba katılmasıyla Bigadiç JBIS’deki konutların ısıtma zonlarına göre ortalama özgül ısı kayıpları.

Isıtma zonları	H (Özgül ısı kaybı) (W/m ² K)	Isıtılan alan (m ²)
Emek Mah. Hattı	4,9542	28831
Fethibey Mah. Hattı	4,10154	58274
Atatürk Cad. Hattı	4,4223	48139
Bigadiç JBIS ortalama	4,3974	

Her bir ısıtma zonuna ait ısıtma yükleri Eşitlik (5.1)’e göre hesaplanmış ve 2011 ve 2012 yılları için Tablo 5.15, 2016 yılı için ise Tablo 5.16’da verilmiştir. Eşitlikte H , her bir ısıtma zonundaki konutlara ait özgül ısı kaybını, A , her bir ısıtma zonunda bulunan binalara ait toplam ısıtma alanını ve ΔT ise dış ortam (T_{hes}) ile iç ortam ($T_{iç}$) sıcaklıkları arasındaki farkı ifade etmektedir. T_{hes} , TS 2164 "Kalorifer Tesisatı Projelendirme Kuralları" standardına

göre Bigadiç için ısı kaybı hesabında kullanılan hesap değeri olan $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{iç}$ olarak ise $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ kabul edilmiştir.

$$\dot{Q} = H \times A \times \Delta T \quad (5.1)$$

2011-2012 yılları için toplam ısıtılan alan miktarı ve özgül ısı kayıpları dikkate alındığında, tasarım şartları altında Bigadiç JBIS'nin toplam ısıtma gücü ihtiyacı 15463 kW olarak hesaplanmıştır. Isıtma zonlarına göre adil bir ısı dağıtımının yapılabilmesi için bu gücün Bigadiç JBIS ısı merkezinde, %24 oranında Emek Mahallesi hattına, %40 oranında Fethibey Mahallesi hattına ve %36 oranında Atatürk Caddesi hattında gönderilmesi gerekmektedir (Tablo 5.15). 2016 yılı için tasarım şartları altında Bigadiç JBIS'nin toplam ısıtma gücü ihtiyacı ise 17699 kW olarak hesaplanmıştır (Tablo 5.16).

Tablo 5.15: 2011 ve 2012 yılları için Bigadiç JBIS ısıtma zonlarının tasarım şartlarında toplam ısı güç ihtiyacı.

Isıtma zonları	H (Özgül ısı kaybı) (W/m ² K)	A (Isıtılan alan) (m ²)	ΔT (Sıcaklık farkı) ($T_{tas}-T_i = -6-20=26\text{ }^{\circ}\text{C}$)	Isıtma zonu ısı kaybı (kW)	Zon ısı kaybının toplam kayba oranı (%)
Emek Mah.	4,9542	28831	26	3714	24
Fethibey Mah.	4,10154	58274	26	6214	40
Atatürk Cad.	4,4223	48139	26	5535	36
	Bigadiç JBIS Toplam	135244	Bigadiç JBIS Toplam	15463	

Tablo 5.16: 2016 yılı için Bigadiç JBIS ısıtma zonlarının tasarım şartlarında toplam ısı güç ihtiyacı.

Isıtma zonları	H (Özgül ısı kaybı) (W/m ² K)	A (Isıtılan alan) (m ²)	ΔT (Sıcaklık farkı) ($T_{tas}-T_i = -6-20=26\text{ }^{\circ}\text{C}$)	Isıtma zonu ısı kaybı (kW)	Zon ısı kaybının toplam kayba oranı (%)
Emek Mah.	4,9542	33000	26	4251	24
Fethibey Mah.	4,10154	66700	26	7113	40
Atatürk Cad.	4,4223	55100	26	6335	36

	Bigadiç JBIS Toplam	135244	Bigadiç JBIS Toplam	17699	

Binaların ısı yalıtımında uygulanacak yalıtım kalınlığı, hedeflenen enerji tasarrufu ile gerek duyulan yatırım maliyeti arasındaki optimizasyona göre belirlenebilir. En uygun yalıtım kalınlığı tespit edilirken, ısıtma yapılan gün sayısı, günlük ısıtma süresi, bu süre esnasında dış ortam hava sıcaklığı, yakıt birim fiyatı, yakıtın ısı değeri, sistem verimi, ısı yalıtım malzemesinin ısı yalıtım kabiliyeti, ısı yalıtım malzemesinin birim fiyatı, ısı yalıtım malzemesinin kullanım ömrü, enflasyon ve faiz oranları, binanın yapı bileşenlerinin ısı transfer özellikleri gibi kriterler göz önüne alınmalıdır [93].

Gönen JBIS’de bulunan binaların optimum yalıtım kalınlıklarının ömür maliyet analizi (LCCA) ile belirlenmesine yönelik olarak yapılan bir çalışmada, doğalgaz, jeotermal enerji ve kömür yakıtlarının kullanım durumlarına göre farklı dış duvar, tavan ve taban konstrüksiyonlarına göre optimum ısı yalıtım kalınlıkları hesaplanmıştır (Tablo 5.17) [93]. Gönen ilçesinin TS 2164 "Kalorifer Tesisatı Projelendirme Kuralları" standardına göre ısı kaybı hesabında kullanılan dış sıcaklık hesap değeri Bigadiç ile aynı olup -6 °C’dir. Diğer taraftan TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardına göre her iki ilçe de ikinci derece gün bölgesinde yer almaktadır. Bu nedenle Bigadiç JBIS’de bulunan binalar için Gönen ilçesinde yapılan çalışma verileri kullanılmış ve optimum ısı yalıtım kalınlığı uygulaması ile elde edilebilecek tasarruf miktarları hesaplanmıştır.

Tablo 5.17: Farklı yakıt kullanımına göre Bigadiç JBIS binaları için önerilen optimum ısı yalıtım kalınlıkları [93].

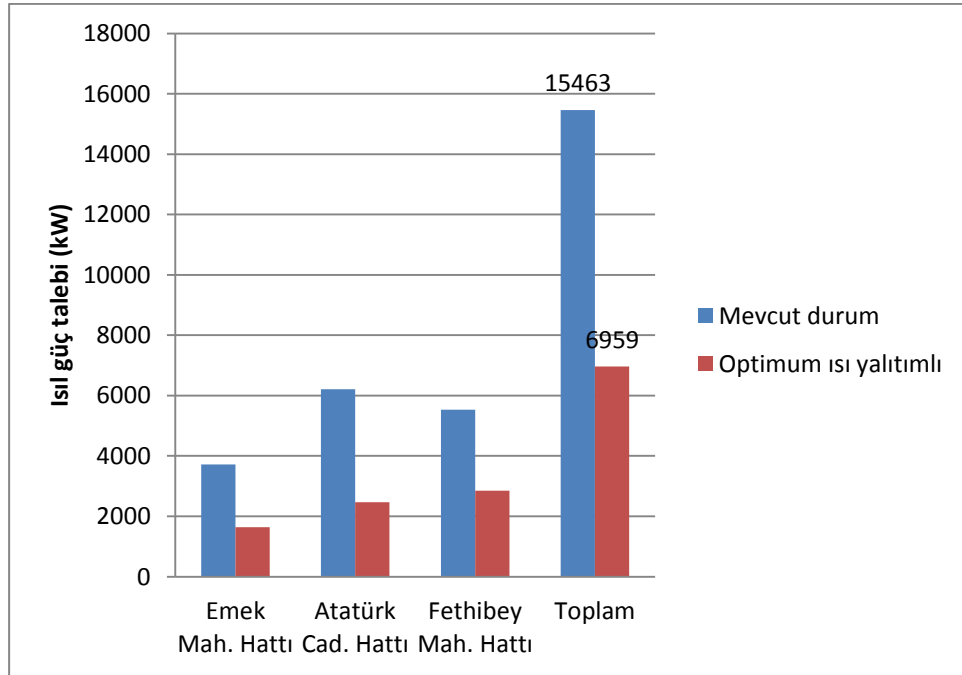
	Jeotermal enerji		Doğalgaz		İthal kömür	
	XPS	EPS	XPS	EPS	XPS	EPS
Dış duvar	0,039	0,060	0,035	0,055	0,048	0,073
	Camyünü	Taş yünü	Camyünü	Taş yünü	Camyünü	Taş yünü
Kırma çatı (Kullanılmayan çatı arası)	0,113	-	0,104	-	0,133	-

Bigadiç JBIS’de bulunan binaların optimum ısı yalıtım kalınlığındaki ısı güç taleplerinin belirlenmesinde, Tablo 5.17’deki jeotermal enerji kullanım değerleri dikkate alınmıştır. Buna göre optimum ısı yalıtım kalınlığı ve malzemesi olarak dış duvarlar için 0,060 m kalınlığında EPS (Genleştirilmiş polistiren köpük), kırma çatı için ise 0,113 m kalınlığında camyünü seçilmiştir. Bu değerlerin her bir ısıtma zonundaki konutlara uygulanmasıyla ısıtma

zonları için optimum ısı yalıtımlı yeni özgül ısı kaybı değerleri elde edilmiştir (Tablo 5.18). Buna göre Bigadiç JBIS'deki tüm binaların dış duvarlarınının 0,060 m EPS ve 0,113 m camyünü ile yalıtılmasıyla özgül ısı kayıpları ortalama %55 oranında azalacaktır. Böylece 2011 ve 2012 yıllarında 16058 kW olan için Bigadiç JBIS ısı güç talebi 6959 kW'ya, 2016 yılında 17699 kW olan talep ise 7965 kW'ya düşecektir. (Şekil 5.14 ve Tablo 5.19, 5.20).

Tablo 5.18: Bigadiç JBIS'deki konutların ısıtma zonlarına göre mevcut ve optimum ısı yalıtım kalınlığındaki ortalama özgül ısı kayıpları.

Isıtma zonları	Mevcut durum H (Özgül ısı kaybı) (W/m ² K)	Optimum ısı yalıtımlı H (Özgül ısı kaybı) (W/m ² K)	Tasarruf oranı (%)
Emek Mah. Hattı	4,9542	2,1885	55,82
Fethibey Mah. Hattı	4,10154	1,8827	54
Atatürk Cad. Hattı	4,4223	1,9704	55,46
Bigadiç JBIS ortalama	4,3974	1,9791	55



Şekil 5.14: Bigadiç JBIS'deki konutların 2011-2012 yılları için ısıtma zonlarına göre mevcut ve optimum ısı yalıtımlı ısı güç talepleri.

Tablo 5.19: Bigadiç JBIS'deki konutların 2011 ve 2012 yılları için ısıtma zonlarına göre mevcut ve optimum yalıtımlı ısı güç talepleri.

Isıtma zonları	Mevcut durum ısı güç talebi (kW)	Optimum ısı yalıtımlı ısı güç talebi (kW)
Emek Mah. Hattı	3714	1640
Fethibey Mah. Hattı	6214	2466
Atatürk Cad. Hattı	5535	2852
Bigadiç JBIS toplam	15463	6959

Tablo 5.20: Bigadiç JBIS'deki konutların 2016 yılı için ısıtma zonlarına göre mevcut ve optimum yalıtımlı ısı güç talepleri.

Isıtma zonları	Mevcut durum ısı güç talebi (kW)	Optimum ısı yalıtımlı ısı güç talebi (kW)
Emek Mah. Hattı	4251	1878
Fethibey Mah. Hattı	7113	3265
Atatürk Cad. Hattı	6335	2823
Bigadiç JBIS toplam	17699	7965

Bigadiç JBIS'de ısıtma zonlarına göre kullanım suyunu karşılamak üzere (4.32) eşitliğine göre hesaplanan ısı güç talebi Tablo 5.21'de verilmiştir.

Tablo 5.21: Isıtma zonlarına göre sıcak su ısı güç talebi.

Isıtma zonları	Sıcak su ısı güç talebi (kW)
Emek Mah. Hattı	127
Fethibey Mah. Hattı	256
Atatürk Cad. Hattı	212
Bigadiç JBIS toplam	595

Bigadiç JBIS’de boru hatlarında meydana gelen ısı kayıpları iletim ve dağıtım hatlarındaki kayıplar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Hisarköy jeotermal sahasında üretilen jeotermal akışkanı 18 km uzaklıktaki Bigadiç ilçesine ileten isale hattında meydana gelen ısı kayıpları, bu kayıpların en büyük bölümünü oluşturmaktadır. İsale hattı, DN-250 çapında çelik ön izolasyonlu paket borulardan oluşmaktadır. Hattı oluşturan boruların ısı izolasyon kalınlığı 3,54 cm olup bu değer, aynı çap için piyasada kullanılan ön izolasyonlu paket boru sistemlerinde bulunan izolasyon kalınlığının oldukça altındadır.

Hisarköy’de üretilen jeotermal akışkan, 196 m’lik kot farkı sayesinde pompalamaya ihtiyaç duymadan kendi cazibesıyla akmakta ve Bigadiç’e ulaşmaktadır. İsale hattında, ortalama 95°C sıcaklıktaki jeotermal akışkanın iletilmesi ve isale hattı ısı yalıtım kalınlığının yetersiz olması burada meydana gelen ısı kayıplarını önemli ölçüde arttırmaktadır.

İsale hattı için çeşitli işletme koşullarında meydana gelen fiili ısı kayıpları, hat için enerji dengesi denklemi uygulanarak hesaplanmış ve Tablo 5.22’de verilmiştir.

Tablo 5.22: Farklı koşullar altında isale hattında meydana gelen fiili ısı kayıpları.

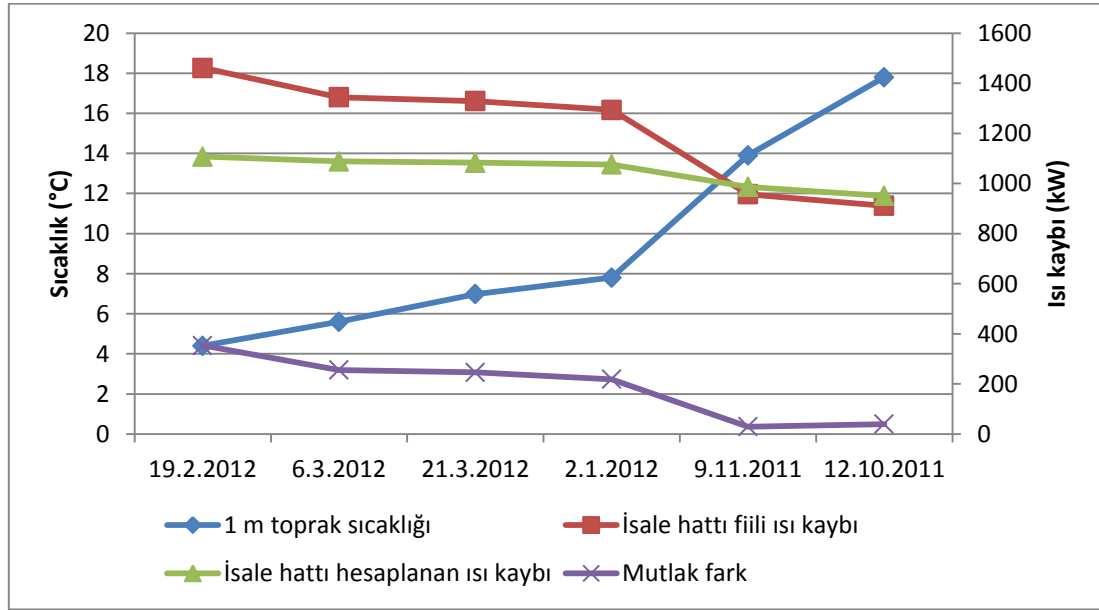
Tarih	1 m toprak sıcaklığı (°C)	Hat debisi (kg/s)	İsale hattı giriş sıcaklığı (°C)	İsale hattı çıkış sıcaklığı (°C)	Sıcaklık düşüşü (°C)	Fiili ısı kaybı (kW)
19.2.2012	4,40	24,00	94,88	80,38	14,50	1461
6.3.2012	5,60	22,44	94,50	80,25	14,25	1344
21.3.2012	6,98	23,73	95,46	82,13	13,33	1329
2.1.2012	7,80	25,74	95,68	83,73	11,95	1294
9.11.2011	13,90	22,89	94,50	84,55	9,95	957
12.10.2011	17,80	24,04	95,46	86,43	9,03	911

İsale hattında meydana gelen ısı kayıp miktarı, toprağa gömülü borularda ısı kaybını veren (4.33) eşitliği ile de hesaplanmış ve Tablo 5.23’de fiili ısı kayıplarıyla karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Buna göre, fiili ısı kayıplarıyla (4.33) eşitliğine göre hesaplanan ısı kayıpları arasında %3-24 oranlarında değişen oranlarda farklılıklar olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 5.23: İsale hattında meydana gelen fiili ısı kayıplarının hesap değerleriyle karşılaştırılması.

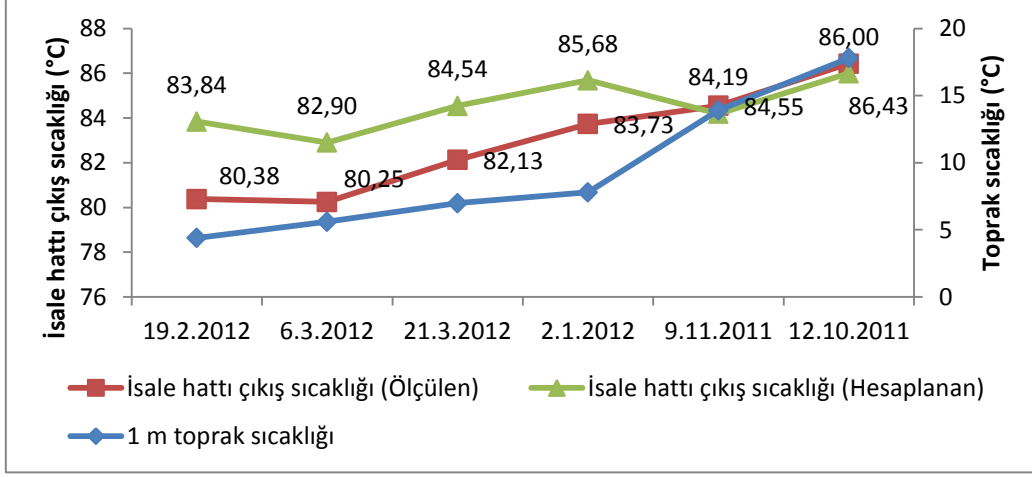
Tarih	1 m toprak sıcaklığı (°C)	İsale hattı fiili ısı kaybı (kW)	İsale hattı hesaplanan ısı kaybı (kW)	Fark ısı kaybı (mutlak) (kW)	% Fark
19.2.2012	4,40	1461	1107	353,52	24
6.3.2012	5,60	1344	1088	255,86	19
21.3.2012	6,98	1329	1083	246,00	19
2.1.2012	7,80	1294	1076	218,35	17
9.11.2011	13,90	957	987	29,54	3
12.10.2011	17,80	911	951	39,56	4

İsale hattındaki fiili ve hesap ısı kayıpları arasındaki mutlak fark, toprak sıcaklığının yükselmesiyle azalmaktadır (Şekil 5.15). Tablo 5.23'de toprak sıcaklıklarının 13,9 ve 17,8°C olduğu tarihlerde mutlak farkın en düşük seviyede olduğu görülmektedir.



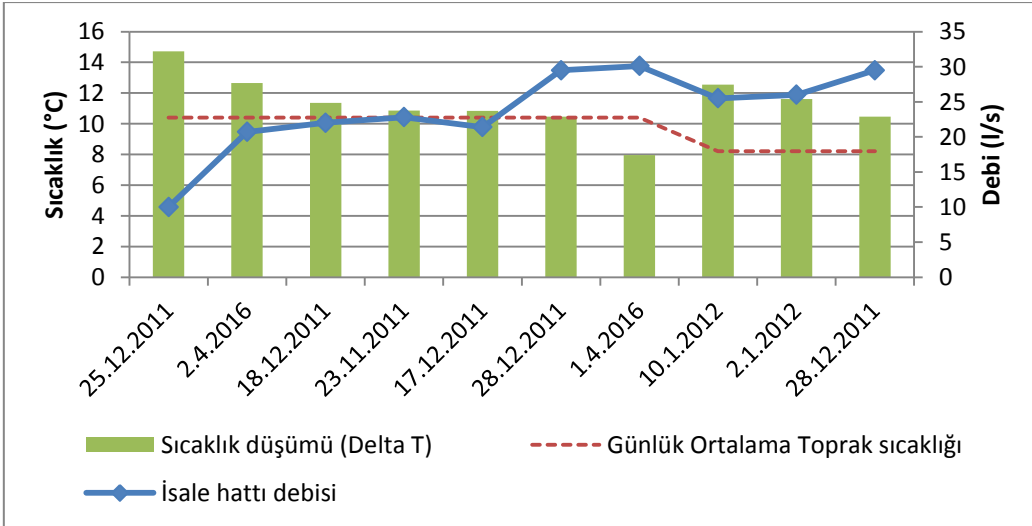
Şekil 5.15: İsale hattında meydana gelen fiili ve hesaplanan ısı kayıpları.

İsale hattında meydana gelen fiili ve hesaplanan ısı kayıpları arasındaki fark, isale hattı çıkış sıcaklıklarının gerçek ve hesap değerleri arasında farklılıklar yaşanmasına sebep olmaktadır (Şekil 5.16). Örneğin 19.02.2012 tarihinde yapılan ölçümlere göre isale hattı giriş sıcaklığı 94,88°C, çıkış sıcaklığı 80,38 °C olarak ölçülmüş ve sıcaklık düşümü ise 14,5 °C olarak kaydedilmiştir (Tablo 5.22). Ancak boru hatlarında ısı kaybı hesabı kullanılarak yapılan hesaplamalarda isale hattı çıkış sıcaklığı 83,84°C ve sıcaklık düşümü ise 11,04°C olarak bulunmuştur (Şekil 5.16).



Şekil 5.16: Ölçülen ve hesaplanan isale hattı çıkış sıcaklıkları.

İsale hattı debisinin düşük olduğu günlerde, hat boyunca birim debi başına meydana gelen ısı kayıpları, aynı jeoakışkan ve toprak sıcaklığındaki daha yüksek debili bir gündeki kayıplara nazaran daha büyük olmaktadır. Bu da düşük debili günlerde, isale hattı boyunca meydana gelen sıcaklık düşümünün daha fazla olması anlamına gelmektedir. Bu durum, günlük ortalama toprak sıcaklıklarının birbirine çok yakın olduğu günlerde yapılan debi ve sıcaklık ölçümleriyle ortaya koyulmuştur (Şekil 5.17). Aynı toprak sıcaklığı koşullarında, isale hattı debisinin 10 lt/s olduğu 25.12.2011 tarihinde hat boyunca ölçülen sıcaklık düşümü (Delta T) 14,72 °C; debinin 30,1 lt/s olduğu 01.04.2016 tarihindeki sıcaklık düşümü ise 7,95 °C olarak ölçülmüştür. Debinin üç kat artması sonucu, sıcaklık düşümü yaklaşık 7°C azalmıştır.



Şekil 5.17: İsale hattı debisine göre sıcaklık düşümlerinin değişimi.

İsale hattında, bilinen toprak sıcaklıkları ve isale hattı sıcaklık düşümleri için, hattan geçen jeotermal akışkan debisinin tahmin edilmesine yönelik olarak yapılan çalışmada, elde edilen matematiksel modelle Delta T ve toprak sıcaklığı (T_{toprak}) için (4.1), (4.2) ve (4.3) eşitlikleri kullanılarak debi tahmini yapılmıştır. Tablo 5.24 ve 5.25’de sırasıyla modelleme verileri ile doğrulama verileri verilmiştir. Tablo 5.24, toprak sıcaklığı için matematiksel modellemede kullanılan gözlem değerlerini göstermektedir.

Tablo 5.24: Modellemede kullanılan veriler.

	Günlük ortalama toprak sıcaklığı	Gözlenen	Regresyonla Tahmin Edilen	Tahmin hatası (%)
Delta T	T _{toprak}	Debi	Debi	
9,76	17,80	25,5	25,48724	0,05
9,93	13,90	23,5	23,26592	1,01
10,86	12,20	22,8	21,99784	3,65
11,36	10,00	22	23,22493	5,27
10,84	10,00	21,4	24,64399	13,16
14,72	10,00	10	9,807683	1,96
10,46	8,90	29,5	27,50347	7,26
12,54	7,80	25,5	23,64324	7,85
14,51	4,40	24,5	25,12569	2,49

Bu veri seti için matematiksel denklem:

$$Debi=47,28754+4,50467*DeltaT-5,07202*T2-0,32584*DeltaT*DeltaT+0,17534*T2*T2 \quad (5.2)$$

şeklinde hesaplanmış olup R² (belirleme katsayısı) değeri %91,02 olarak hesaplanmıştır. Bu değer Delta T ve T_{toprak} değişkenlerinin, Debi’deki değişimin % 91,02’sini açıkladığını, geriye kalan %8,98’lik değişimin modelde yer almayan başka değişkenlerden etkilendiğini göstermektedir. Modelin doğrulanmasında aşağıdaki veri seti kullanılmıştır:

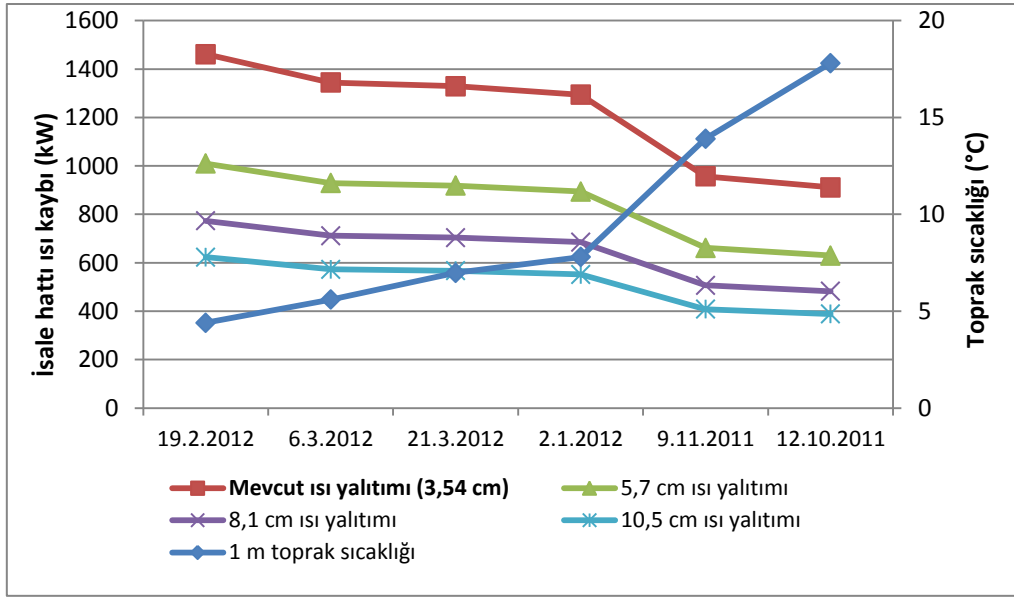
Tablo 5.25: Eşitlik (5.2) için doğrulama verileri.

	Günlük Ortalama Toprak sıcaklığı	Gözlenen	Regresyonla Tahmin Edilen	Tahmin hatası (%)
DeltaT	T1	Debi	Debi	e
9,87	14,40	23,9	23,32779	2,45
11,61	7,80	26,0	26,77209	2,88

Buna göre, modelleme aşamasında kullanılmayan veriler içinde %97'nin üzerinde bir doğrulukta debi tahmin edilmiştir.

Mevcut isale hattı boru sisteminin piyasada bulunan 5,7, 8,1 ve 10,5 cm ısı yalıtım kalınlığına sahip DN-250'lik boru sistemleriyle değiştirilmesiyle, ısı kayıplarında meydana gelecek azalma, elde edilecek tasarruf miktarı ile bu tasarrufun isale hattı çıkış sıcaklıklarıyla Bigadiç JBIS enerji verimi üzerine olan etkileri hesaplanmış ve aşağıda belirtilmiştir.

İsale hattı ısı kayıplarındaki azalma miktarları ve elde edilen tasarruf oranları Şekil 5.18 ve Tablo 5.26'da verilmiştir. Buna göre, 19.02.2012 tarihi için, ısı kaybındaki azalma miktarı ve azalma oranları izolasyon kalınlığının 5,7 cm olması durumunda 451 kW ve %31; 8,1 cm olması durumunda 688 kW ve %47; 10,5 cm olması durumunda ise 838 kW ve %57'dir. Toprak sıcaklığı arttıkça boru izolasyonunun iyileştirilmesiyle elde edilen tasarruf miktarı azalmaktadır.



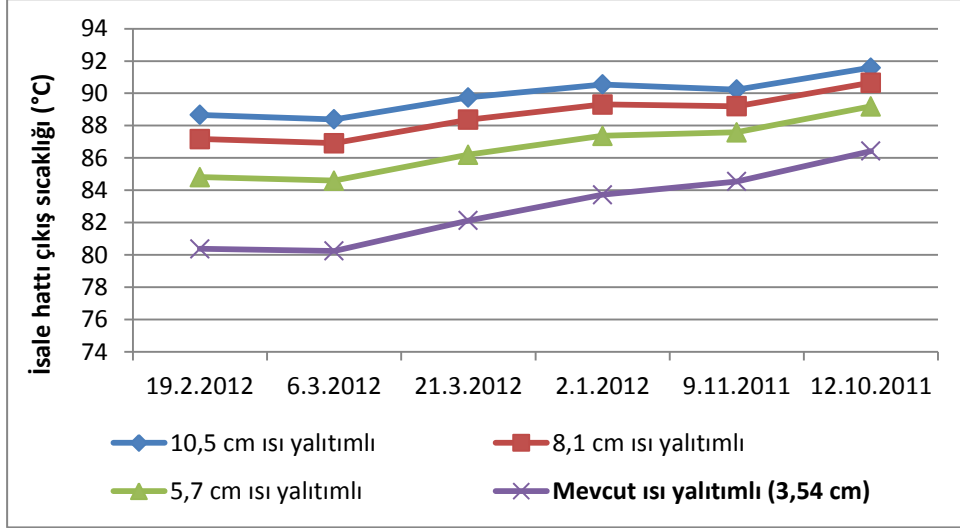
Şekil 5.18: Farklı ısı yalıtım kalınlıklarına göre isale hattında meydana gelen ısı kayıpları.

Tablo 5.26: Farklı ısı yalıtım kalınlıklarına göre isale hattında elde edilebilecek tasarruf miktarları.

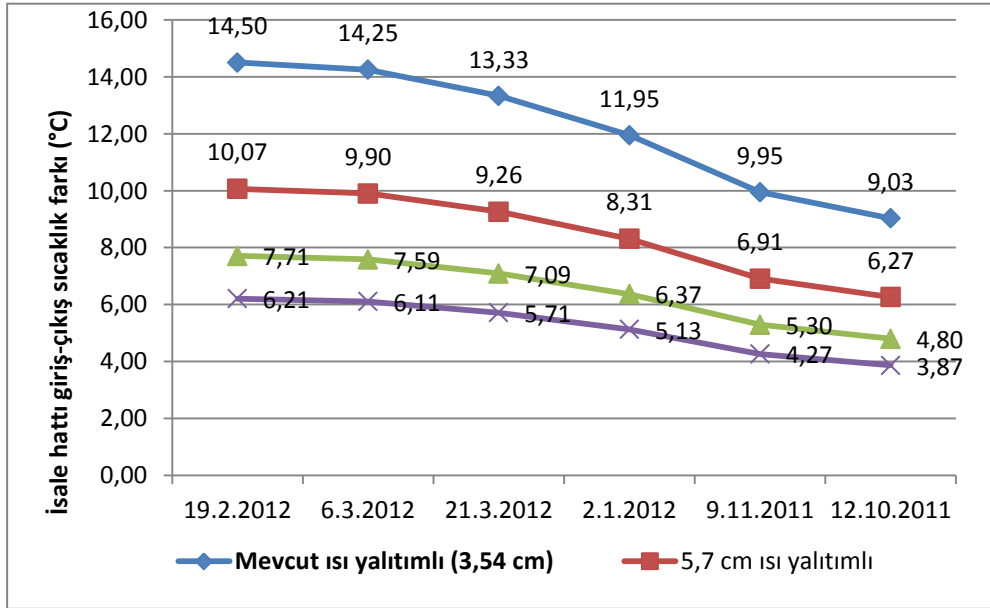
Tarih	İsale hattı ısı kayıpları (kW)						
	Mevcut yalıtım kalınlığındaki (3,54 cm) ısı kaybı (kW)	5,7 cm yalıtımla ısı kaybındaki azalma (kW)	% Tasarruf	8,1 cm yalıtımla ısı kaybındaki azalma (kW)	% Tasarruf	10,5 cm yalıtımla ısı kaybındaki azalma (kW)	% Tasarruf
19.2.2012	1461	451	31	688	47	838	57
6.3.2012	1344	415		632		771	
21.3.2012	1329	410		625		762	
2.1.2012	1294	400		609		742	
9.11.2011	957	296		450		549	
12.10.2011	911	281		429		522	

Isı yalıtım kalınlıklarının iyileştirilmesi sonucu elde edilen tasarruf miktarının isale hattı çıkış sıcaklıklarına etkisi Şekil 5.19'da verilmiştir. Buna göre 19.02.2012 tarihinde isale hattı mevcut çıkış sıcaklığı olan 80,38 °C; izolasyon kalınlığının 5,7, 8,1 ve 10,5 cm'ye çıkarılması durumlarında sırasıyla, 84,81, 87,17 ve 88,67°C sıcaklıklarına yükselecektir. Bunun sonucu olarak isale hattındaki sıcaklık düşümleri azalacaktır. Şekil 5.20'de farklı günlere göre bu azalma miktarları verilmektedir. Buna göre 19.02.2012 tarihinde mevcut durumda 14,5°C olarak gözlemlenen sıcaklık düşümü, ısı yalıtım kalınlığının 5,7, 8,1 ve 10,5 cm'ye çıkarılması durumunda sırasıyla, 10,07, 7,71 ve 6,21 °C'ye gerileyecektir. İzolasyon

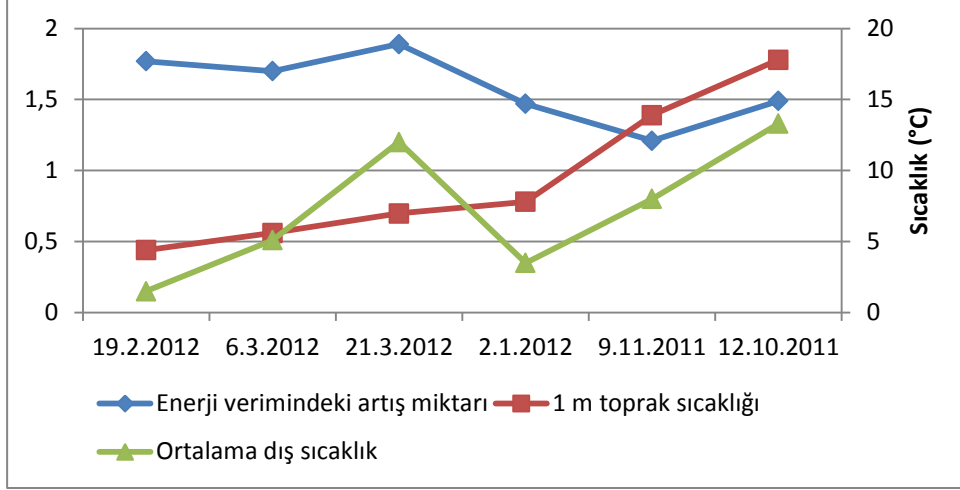
kalınlığının iyileştirilmesi ve hattaki ısı kayıplarının azaltılmasıyla Bigadiç JBIS enerji verimi hissedilir biçimde artacaktır. Yalıtım kalınlığının 5,7 cm'ye çıkarılması ile sistemin enerji veriminin ortalama %1,58 artacağı hesaplanmıştır (Şekil 5.21).



Şekil 5.19: Farklı ısı yalıtım kalınlıklarında isale hattı çıkış sıcaklıkları.



Şekil 5.20: Farklı ısı yalıtım kalınlıklarında isale hattındaki sıcaklık düşümleri.



Şekil 5.21: İsale hattı yalıtım kalınlığının 5,7 cm'ye çıkarılması durumunda sistem enerji verimindeki artış miktarları.

Bigadiç JBIS isale hattında yılda 5650 MWh ısı kaybı meydana gelmektedir (Şekil 5.42). Bu ısı kaybının 5,7, 8,1 ve 10,5 cm ısı izolasyon kalınlıklı muhtemel yeni bir isale hattı projesi ile azaltılabilmesi için gerekli yatırımların ekonomik olarak çekici ve uygulanabilir olup olmadığının tespit edilebilmesi için Net Bugünkü Değer analizi kullanılmıştır (Eşitlik 4.32). Buna göre her üç farklı proje için isale hattının ekonomik ömrü (n) 50 yıl, indirgeme oranı (i) ise (nominal faiz ya da reel [faiz + enflasyon oranı] dikkate alınarak) %10 olarak belirlenmiştir. İsale hattının artık değeri (S), gerek proje ekonomik ömrünün uzun olması, gerekse artık değerinin yatırım maliyetlerinin yanında oldukça küçük olması nedeniyle, ihmal edilmiştir. NBD analizinde ayrıca, isale hattı proje inşaatlarının, proje kararı alındıktan sonraki ilk yıl içerisinde tamamlanacağı ve yatırım bedelinin proje sahibinin öz kaynaklarından yine aynı yıl içerisinde sağlanacağı kabulü yapılmıştır.

Tablo 5.26'da belirtilen farklı ısı yalıtım kalınlıklarına göre isale hattında elde edilebilecek tasarruf oranları kullanılarak ısı kayıplarındaki yıllık enerji tasarruf miktarları sırasıyla, 1751, 2655 ve 3220 MWh olarak bulunmuştur. Bu tasarrufların yıllık parasal karşılığı ise sırasıyla, 177.106, 268.515 ve 325.646 TL olarak hesaplanmıştır. Burada, tasarruf edilen ısının linyit yakan bir kömür kazanı ile sağlanacağı kabul edilmiştir. Daha sonra, her bir proje için hesaplanan yıllık parasal tasarruf değerleri ekonomik ömür içerisinde her bir yıl enflasyon oranında artırılarak net nakit girişleri (NNG_t) elde edilmiştir. Analiz döneminin uzun olması sebebiyle siyasi ve ekonomik belirsizlik artacağından, gelecek 50 yılda enflasyonun tam olarak hangi oranda gerçekleşeceğini tespit etmek iktisadi anlamda imkânsızdır. Dolayısıyla NBD analizinde, TEFE ve ÜFE'deki ortalama yıllık gerçekleştirmeler dikkate alınarak, son 10 yıldaki ortalama enflasyon oranı olan %7,5 değeri baz alınmıştır. Bu

hesaplamalar ve ön kabullere göre; 5,7, 8,1 ve 10,5 cm ısı yalıtım kalınlıklarına sahip isale hattı projeleri için NBD analizine temel teşkil eden nakit akışlar Tablo 5.27-5.29'da verilmiştir.

Tablo 5.27: 5,7 cm ısı yalıtım kalınlığına sahip isale hattı projesi için nakit akışlar.

t (yıl)	Yatırım maliyeti	Net nakit girişi	$i=10\%$ $1/(1+i)^t$	Nakit girişlerin bugünkü değeri
0	3.914.515 ₺			
1		177.106 ₺	0,909	161.005,3 ₺
2		190.389 ₺	0,826	157.346,1 ₺
3		204.668 ₺	0,751	153.770,1 ₺
4		220.018 ₺	0,683	150.275,3 ₺
5		236.519 ₺	0,621	146.859,9 ₺
6		254.258 ₺	0,564	143.522,2 ₺
7		273.328 ₺	0,513	140.260,3 ₺
8		293.827 ₺	0,467	137.072,6 ₺
9		315.864 ₺	0,424	133.957,3 ₺
10		339.554 ₺	0,386	130.912,8 ₺
11		365.021 ₺	0,350	127.937,5 ₺
12		392.397 ₺	0,319	125.029,9 ₺
13		421.827 ₺	0,290	122.188,3 ₺
14		453.464 ₺	0,263	119.411,3 ₺
15		487.474 ₺	0,239	116.697,4 ₺
16		524.034 ₺	0,218	114.045,2 ₺
17		563.337 ₺	0,198	111.453,2 ₺
18		605.587 ₺	0,180	108.920,2 ₺
19		651.006 ₺	0,164	106.444,7 ₺
20		699.832 ₺	0,149	104.025,5 ₺
21		752.319 ₺	0,135	101.661,3 ₺
22		808.743 ₺	0,123	99.350,8 ₺
23		869.399 ₺	0,112	97.092,9 ₺
24		934.604 ₺	0,102	94.886,2 ₺
25		1.004.699 ₺	0,092	92.729,7 ₺
26		1.080.052 ₺	0,084	90.622,2 ₺
27		1.161.055 ₺	0,076	88.562,6 ₺
28		1.248.135 ₺	0,069	86.549,8 ₺
29		1.341.745 ₺	0,063	84.582,8 ₺
30		1.442.376 ₺	0,057	82.660,5 ₺
31		1.550.554 ₺	0,052	80.781,8 ₺
32		1.666.845 ₺	0,047	78.945,9 ₺
33		1.791.859 ₺	0,043	77.151,6 ₺
34		1.926.248 ₺	0,039	75.398,2 ₺
35		2.070.717 ₺	0,036	73.684,6 ₺
36		2.226.020 ₺	0,032	72.009,9 ₺
37		2.392.972 ₺	0,029	70.373,4 ₺

38		2.572.445 ₺	0,027	68.774,0 ₺
39		2.765.378 ₺	0,024	67.210,9 ₺
40		2.972.782 ₺	0,022	65.683,4 ₺
41		3.195.740 ₺	0,020	64.190,6 ₺
42		3.435.421 ₺	0,018	62.731,7 ₺
43		3.693.077 ₺	0,017	61.306,0 ₺
44		3.970.058 ₺	0,015	59.912,7 ₺
45		4.267.812 ₺	0,014	58.551,0 ₺
46		4.587.898 ₺	0,012	57.220,3 ₺
47		4.931.991 ₺	0,011	55.919,9 ₺
48		5.301.890 ₺	0,010	54.649,0 ₺
49		5.699.532 ₺	0,009	53.406,9 ₺
50		6.126.997 ₺	0,009	52.193,1 ₺
			Toplam	4.839.929,0 ₺
Projenin net bugünkü değeri = 4.839.929 - 3.914.515 = 925.414,0 ₺				
(Fayda / Maliyet) oranı = 4.839.929/3.914.515 = 1,236				

Tablo 5.28: 8,1 cm ısı yalıtım kalınlığına sahip isale hattı projesi için nakit akışlar.

t (yıl)	Yatırım maliyeti	Net nakit girişi	$i=10$ $1/(1+i)^t$	Nakit girişlerin bugünkü değeri
0	4.571.637 ₺			
1		268.515 ₺	0,909	244.104,8 ₺
2		288.654 ₺	0,826	238.557,0 ₺
3		310.303 ₺	0,751	233.135,2 ₺
4		333.576 ₺	0,683	227.836,7 ₺
5		358.594 ₺	0,621	222.658,6 ₺
6		385.488 ₺	0,564	217.598,2 ₺
7		414.400 ₺	0,513	212.652,8 ₺
8		445.480 ₺	0,467	207.819,8 ₺
9		478.891 ₺	0,424	203.096,6 ₺
10		514.808 ₺	0,386	198.480,7 ₺
11		553.419 ₺	0,350	193.969,8 ₺
12		594.925 ₺	0,319	189.561,4 ₺
13		639.544 ₺	0,290	185.253,2 ₺
14		687.510 ₺	0,263	181.042,9 ₺
15		739.073 ₺	0,239	176.928,3 ₺
16		794.504 ₺	0,218	172.907,2 ₺
17		854.092 ₺	0,198	168.977,5 ₺
18		918.149 ₺	0,180	165.137,1 ₺
19		987.010 ₺	0,164	161.384,0 ₺
20		1.061.035 ₺	0,149	157.716,2 ₺

21		1.140.613 ₺	0,135	154.131,7 ₺
22		1.226.159 ₺	0,123	150.628,7 ₺
23		1.318.121 ₺	0,112	147.205,3 ₺
24		1.416.980 ₺	0,102	143.859,7 ₺
25		1.523.254 ₺	0,092	140.590,2 ₺
26		1.637.498 ₺	0,084	137.395,0 ₺
27		1.760.310 ₺	0,076	134.272,4 ₺
28		1.892.333 ₺	0,069	131.220,7 ₺
29		2.034.258 ₺	0,063	128.238,4 ₺
30		2.186.827 ₺	0,057	125.323,9 ₺
31		2.350.840 ₺	0,052	122.475,6 ₺
32		2.527.152 ₺	0,047	119.692,1 ₺
33		2.716.689 ₺	0,043	116.971,8 ₺
34		2.920.441 ₺	0,039	114.313,4 ₺
35		3.139.474 ₺	0,036	111.715,4 ₺
36		3.374.934 ₺	0,032	109.176,4 ₺
37		3.628.054 ₺	0,029	106.695,1 ₺
38		3.900.158 ₺	0,027	104.270,2 ₺
39		4.192.670 ₺	0,024	101.900,4 ₺
40		4.507.120 ₺	0,022	99.584,5 ₺
41		4.845.154 ₺	0,020	97.321,2 ₺
42		5.208.541 ₺	0,018	95.109,4 ₺
43		5.599.182 ₺	0,017	92.947,8 ₺
44		6.019.120 ₺	0,015	90.835,3 ₺
45		6.470.554 ₺	0,014	88.770,9 ₺
46		6.955.846 ₺	0,012	86.753,4 ₺
47		7.477.534 ₺	0,011	84.781,7 ₺
48		8.038.349 ₺	0,010	82.854,9 ₺
49		8.641.226 ₺	0,009	80.971,8 ₺
50		9.289.317 ₺	0,009	79.131,5 ₺
			Toplam	7.337.956,8 ₺
Projenin net bugünkü değeri = 7.337.956,8 - 4.571.637 = 2.766.319,8 ₺				
(Fayda / Maliyet) oranı = 7.337.956,8 / 4.571.637 = 1,605				

Tablo 5.29: 10,5 cm ısı yalıtım kalınlığına sahip isale hattı projesi için nakit akışlar.

t (yıl)	Yatırım maliyeti	Net nakit girişi	$i=10\%$ $1/(1+i)^t$	Nakit girişlerin bugünkü değeri
0	5.802.455 ₺			
1		325.646 ₺	0,909	296.042,0 ₺
2		350.070 ₺	0,826	289.313,8 ₺
3		376.325 ₺	0,751	282.738,5 ₺
4		404.549 ₺	0,683	276.312,6 ₺
5		434.890 ₺	0,621	270.032,8 ₺
6		467.507 ₺	0,564	263.895,7 ₺
7		502.570 ₺	0,513	257.898,0 ₺
8		540.263 ₺	0,467	252.036,7 ₺
9		580.783 ₺	0,424	246.308,6 ₺
10		624.342 ₺	0,386	240.710,7 ₺
11		671.167 ₺	0,350	235.240,0 ₺
12		721.505 ₺	0,319	229.893,6 ₺
13		775.618 ₺	0,290	224.668,8 ₺
14		833.789 ₺	0,263	219.562,7 ₺
15		896.323 ₺	0,239	214.572,6 ₺
16		963.547 ₺	0,218	209.696,0 ₺
17		1.035.813 ₺	0,198	204.930,1 ₺
18		1.113.499 ₺	0,180	200.272,6 ₺
19		1.197.012 ₺	0,164	195.721,0 ₺
20		1.286.788 ₺	0,149	191.272,8 ₺
21		1.383.297 ₺	0,135	186.925,7 ₺
22		1.487.044 ₺	0,123	182.677,4 ₺
23		1.598.572 ₺	0,112	178.525,6 ₺
24		1.718.465 ₺	0,102	174.468,2 ₺
25		1.847.350 ₺	0,092	170.503,0 ₺
26		1.985.901 ₺	0,084	166.627,9 ₺
27		2.134.844 ₺	0,076	162.840,9 ₺
28		2.294.957 ₺	0,069	159.140,0 ₺
29		2.467.079 ₺	0,063	155.523,2 ₺
30		2.652.110 ₺	0,057	151.988,6 ₺
31		2.851.018 ₺	0,052	148.534,3 ₺
32		3.064.844 ₺	0,047	145.158,5 ₺
33		3.294.708 ₺	0,043	141.859,5 ₺
34		3.541.811 ₺	0,039	138.635,4 ₺
35		3.807.447 ₺	0,036	135.484,6 ₺
36		4.093.005 ₺	0,032	132.405,4 ₺
37		4.399.981 ₺	0,029	129.396,2 ₺
38		4.729.979 ₺	0,027	126.455,3 ₺
39		5.084.728 ₺	0,024	123.581,4 ₺

40		5.466.082 ₺	0,022	120.772,7 ₺
41		5.876.038 ₺	0,020	118.027,9 ₺
42		6.316.741 ₺	0,018	115.345,4 ₺
43		6.790.497 ₺	0,017	112.723,9 ₺
44		7.299.784 ₺	0,015	110.162,0 ₺
45		7.847.268 ₺	0,014	107.658,3 ₺
46		8.435.813 ₺	0,012	105.211,6 ₺
47		9.068.499 ₺	0,011	102.820,4 ₺
48		9.748.636 ₺	0,010	100.483,6 ₺
49		10.479.784 ₺	0,009	98.199,8 ₺
50		11.265.768 ₺	0,009	95.968,0 ₺
			Toplam	8.899.224,2 ₺
Projenin net bugünkü değeri = 8.899.224,2 - 5.802.455 = 3.096.769,2 ₺				
(Fayda / Maliyet) oranı = 8.899.224,2 / 5.802.455 = 1,534				

Farklı isale hattı projeleri için yapılan ekonomik analizlerin sonuçlarının karşılaştırılmasına ait özet bulgular Tablo 5.30'da verilmiştir. Buna göre net bugünkü değeri en büyük olan proje 3.096.769,2 TL ile 10,5 cm ısı yalıtım kalınlığına sahip isale hattı projesidir. Bu projeyi 2.766.319,8 TL'lik net bugünkü değere sahip 8,1 cm ısı yalıtımlı isale hattı projesi izlemektedir. Söz konusu iki projenin net bugünkü değerleri arasındaki fark, 330.449 TL gibi küçük bir değer iken yatırım maliyetleri arasındaki fark ise 1.230.818 TL gibi büyük bir değer almaktadır. Ayrıca fayda/maliyet oranı; 8,1 cm ısı yalıtımlı isale hattı projesi için 1,605, 10,5 cm ısı yalıtımlı isale hattı projesi için ise 1,534 olarak hesaplanmıştır. Görüldüğü üzere, üçüncü alternatifin net bugünkü değeri en yüksek olmasına karşın başlangıç yatırım maliyeti diğer alternatiflerden çok daha yüksektir. Sonuç olarak hem başlangıç yatırım maliyeti düşük olan hem de fayda/maliyet oranı en yüksek olan 8,1 cm ısı yalıtımlı isale hattı projesi, diğer alternatif isale hattı projeleri içinde en ekonomik yatırım olarak görünmektedir.

Tablo 5.30: Farklı ısı yalıtım kalınlığındaki isale hatlarının ekonomik analiz sonuçları.

	İsale hattı yalıtım kalınlığı		
	5,7 cm	8,1 cm	10,5 cm
Yatırım maliyeti	3.914.515 ₺	4.571.637 ₺	5.802.455 ₺
NBD	925.414,0 ₺	2.766.319,8 ₺	3.096.769,2 ₺
(Fayda/Maliyet) oranı	1,236	1,605	1,534

Bigadiç JBIS dağıtım hatlarındaki ısı kayıpları farklı çalışma koşulları dikkate alınarak hesaplanmıştır. Tablo 5.31'de kış dönemine ait bir günde (19.02.2012) dağıtım hatlarında meydana gelen ısı kayıp miktarları ısıtma zonlarına göre verilmiştir. Buna göre günlük ortalama toprak sıcaklığının 4,4 °C olduğu 19.02.2012 tarihinde, Bigadiç JBIS dağıtım

hatlarında meydana gelen toplam ısı kaybı 715 kW'dır. Bu kaybın 170 kW'sı Emek Mahallesi, 336 kW'sı Fethibey Mahallesi ve 209 kW'sı da Atatürk Caddesi hattında meydana gelmiştir.

Tablo 5.31: Bigadiç JBIS dağıtım hatları ısı kayıpları.

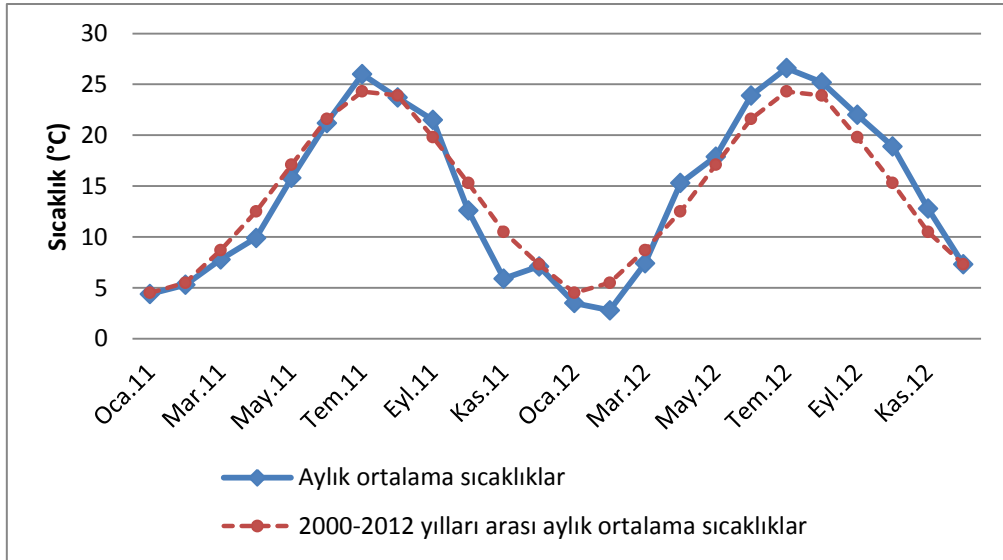
19.02.2012 (Toprak sıcaklığı 4,4 °C)	Dağıtım hatlarındaki boru uzunlukları (m)			Isı kayıpları (kW)		
	Boru cinsi	Emek Mah. hattı	Fethibey Mah. hattı	Atatürk Cad. hattı	Emek Mah. hattı	Fethibey Mah. hattı
Ø 25 mm Ön İzoleli Paket Boru	270	588	450	2	4	3
Ø 32 mm Ön İzoleli Paket Boru	6492	13044	6948	46	91	50
Ø 40 mm Ön İzoleli Paket Boru	600	4236	2778	5	34	23
Ø 50 mm Ön İzoleli Paket Boru	966	4842	1992	9	44	19
Ø 65 mm Ön İzoleli Paket Boru	2586	5076	3618	29	55	41
Ø 80 mm Ön İzoleli Paket Boru	822	2208	918	9	25	11
Ø 100 mm Ön İzoleli Paket Boru	612	1332	396	7	16	5
Ø 125 mm Ön İzoleli Paket Boru	504	1074	816	7	15	12
Ø 150 mm Ön İzoleli Paket Boru	468	132	804	8	2	14
Ø 200 mm Ön İzoleli Paket Boru	2520	810	1692	47	15	32
Ø 250 mm Ön İzoleli Paket Boru	-	2088	-	-	37	-
	Isıtma zonu toplamı			170	336	209
	Bigadiç JBIS toplamı			715		

5.2 Bigadiç JBIS'nin Genel Enerji Bilançosu ve İşletme Koşullarına Yönelik Bulgular

Bigadiç ilçesine ait 2011 ve 2012 yılları aylık ortalama dış sıcaklıkları, 2000-2012 yılları aylık dış sıcaklık ortalamaları ile karşılaştırmalı olarak Tablo 5.32 ve Şekil 5.22'de verilmiştir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) alınan Bigadiç ilçesi sıcaklık verileri kullanılarak Bigadiç için ısıtma derece-gün sayıları hesaplanmış ve Tablo 5.33'de verilmiştir. Derece-gün sayısı hesaplamalarında ortalama mahal sıcaklığı 20°C, denge noktası sıcaklığı ise 15°C alınmıştır. Buna göre 2011 yılı ısıtma derece-gün sayısı 2696 olup, bu değer karşılaştırma yapılan diğer yıllar içinde en büyük olanıdır. Bu nedenle en büyük ısı enerjisi ihtiyacı 2011 yılında gerçekleşmiştir.

Tablo 5.32: 2011 ve 2012 yılları Bigadiç aylık ortalama dış sıcaklık değerleri.

Aylar	Aylık ortalama sıcaklıklar (°C)	
	2011	2012
Ocak	4,4	3,50
Şubat	5,3	2,80
Mart	7,8	7,40
Nisan	9,9	15,30
Mayıs	15,8	17,90
Haziran	21,2	23,90
Temmuz	26,0	26,60
Ağustos	23,7	25,20
Eylül	21,5	22,00
Ekim	12,6	18,90
Kasım	5,9	12,80
Aralık	7,1	7,30



Şekil 5.22: 2011 ve 2012 yılları Bigadiç aylık ortalama dış sıcaklık değerleri.

Tablo 5.33: Bigadiç'in ısıtma derece-gün sayıları.

Yıllar	Isıtma derece-gün sayısı
2008	2258
2009	2056
2010	1853
2011	2696
2012	2101
2008-2012 yılları ortalaması	2193

MGM'den alınan saatlik ortalama sıcaklık verileri analiz edilerek 2011, 2012 ve 2008-2012 yılları ortalaması için Bigadiç JBIS'nin bir yılda hangi sıcaklık aralığında ne kadar süre çalıştığı ortaya çıkarılmıştır (Tablo 5.34-5.36). Buna göre Bigadiç JBIS, 2011 yılı içinde toplam 212 gün ısıtma enerjisine ihtiyaç duymuştur. Sistemin, bu süre içinde dış sıcaklık hesap değeri olan -6 °C'den daha düşük sıcaklıkta çalıştığı saat sayısı 0'dır. Sistem, ısıtma günlerinin %1'inde -6 ile -3 °C; %7,7'sinde -3 ile 0 °C; %13,7'sinde 0-3 °C; %19,7'sinde 3-6 °C; %22,6'sında 6-9 °C ve %35,3'lik en büyük diliminde ise 9-15 °C sıcaklık aralıklarında çalışmıştır. Isıtma enerjisine ihtiyaç duyulan gün sayısı 2012 yılında 175 gün iken bu değer 2008-2012 yılları ortalaması 185 gündür.

Tablo 5.34: 2011 yılı saatlik ortalama dış ortam sıcaklıklarına göre Bigadiç JBIS'nin çalışma süreleri.

2011	0°C'nin altında			0°C'nin üzerinde				>15°C
	SOS≤-6	-6<SOS≤-3	-3<SOS≤ 0	0<SOS≤ 3	3<SOS≤ 6	6<SOS≤ 9	9<SOS≤15	
Saat/yıl	0	49	394	698	1006	1152	1800	3657
Gün/yıl	0	2	16	29	42	48	75	152
Yılın %'si	0	0,6	4,5	8,0	11,5	13,2	20,5	41,7
Isıtma günlerinin %'si	0	1,0	7,7	13,7	19,7	22,6	35,3	
Isıtma süresi	18 Gün +			194 Gün = Toplam 212 Gün				

SOS: Saatlik ortalama sıcaklık (°C)

Tablo 5.35: 2012 yılı saatlik ortalama dış ortam sıcaklıklarına göre Bigadiç JBIS'nin çalışma süreleri.

2012	0°C'nin altında			0°C'nin üzerinde				>15°C
	SOS≤-6	-6<SOS≤-3	-3<SOS≤ 0	0<SOS≤ 3	3<SOS≤ 6	6<SOS≤ 9	9<SOS≤15	
Saat/yıl	4	124	401	592	751	665	1648	4597
Gün/yıl	0	5	17	25	31	28	69	192
Yılın %'si	0,0	1,4	4,6	6,8	8,6	7,6	18,8	52,5
Isıtma günlerinin %'si	0,1	3,0	9,6	14,1	17,9	15,9	39,4	
Isıtma süresi	22 Gün +			153 Gün = Toplam 175 Gün				

SOS: Saatlik ortalama sıcaklık (°C)

Tablo 5.36: 2008-2012 yılları saatlik ortalama dış ortam sıcaklıklarına göre Bigadiç JBIS'nin çalışma süreleri.

2008-2012 ortalaması	0°C'nin altında			0°C'nin üzerinde				>15°C
	SOS≤-6	-6<SOS≤-3	-3<SOS≤ 0	0<SOS≤ 3	3<SOS≤ 6	6<SOS≤ 9	9<SOS≤15	
Saat/yıl	14	81	285	538	744	876	1885	4344
Gün/yıl	1	3	12	22	31	37	79	181
Yılın %'si	0,2	0,9	3,3	6,1	8,5	10,0	21,5	49,5
Isıtma günlerinin %'si	0,3	1,8	6,5	12,2	16,8	19,8	42,6	
Isıtma süresi	16 Gün +			169 Gün = Toplam 185 Gün				

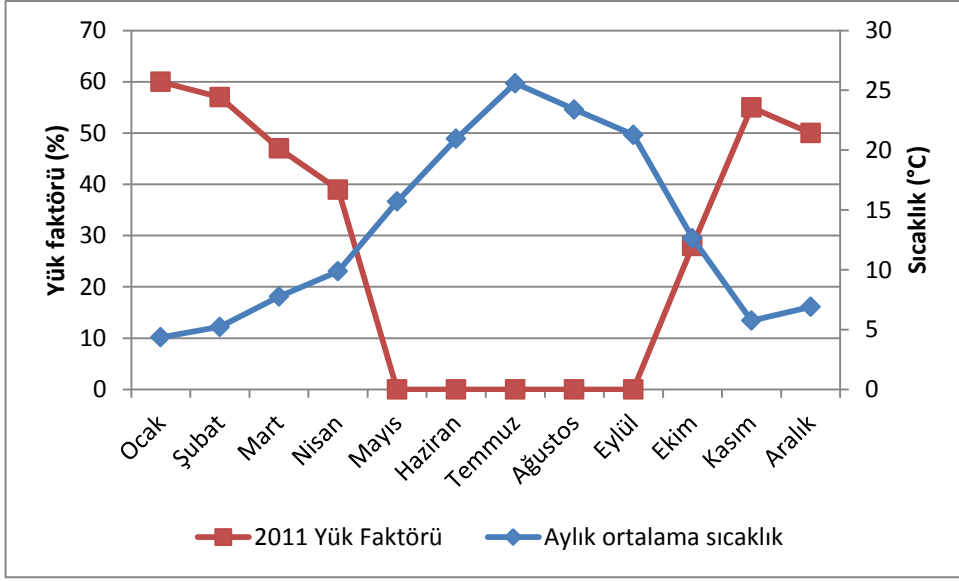
SOS: Saatlik ortalama sıcaklık (°C)

Bigadiç JBIS’de üretilen jeotermal enerjinin yıl içerisinde kaç gün hangi amaçla kullanıldığı Tablo 5.37’de verilmiştir. Buna göre Bigadiç JBIS, yılın 365 günü arızalar dışında günde 24 saat çalışmaktadır. Bu çalışma süresi içinde 146 gün boyunca kazan takviyeli ısıtma, jeotermal ve sıcak kullanım suyu üretimi; 67 gün boyunca kazan takviyesiz ısıtma, jeotermal ve sıcak kullanım suyu üretimi; 61 gün boyunca jeotermal ve sıcak kullanım suyu üretimi ve 91 gün boyunca ise yalnızca termal tesislerin jeotermal su ihtiyacı için çalışmaktadır.

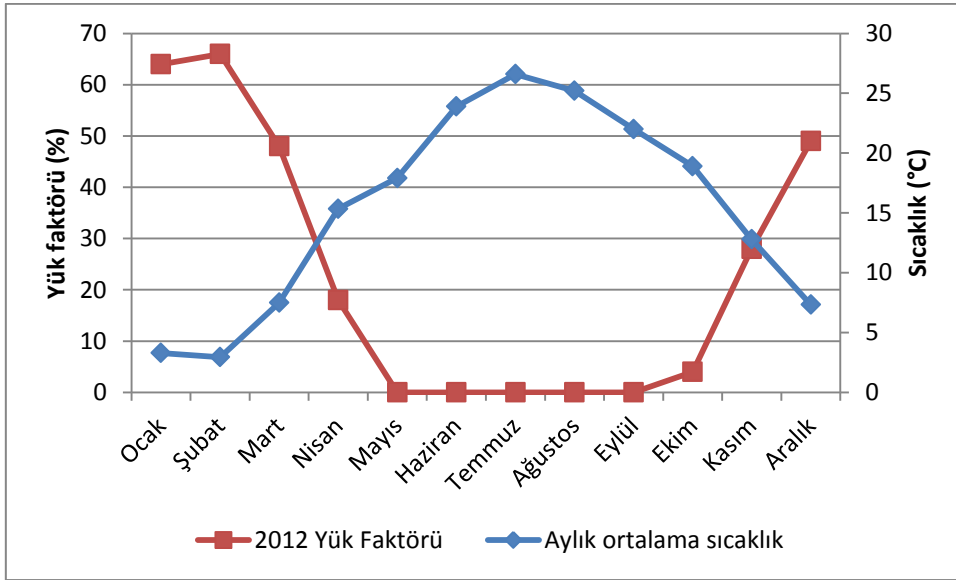
Tablo 5.37: Jeotermal enerjinin Bigadiç JBIS’deki kullanım alanları.

Kullanım amacı	Gün /yıl	Yıllık kullanım oranı (%)
Kazan takviyeli ısıtma, sıcak su (kullanım), jeotermal su (termal tesisler)	146	40,00
Kazan takviyesiz ısıtma, sıcak su (kullanım), jeotermal su (termal tesisler)	67	18,36
Sıcak su (kullanım), jeotermal su (termal tesisler)	61	16,71
Yalnız jeotermal su (termal tesis)	91	24,93

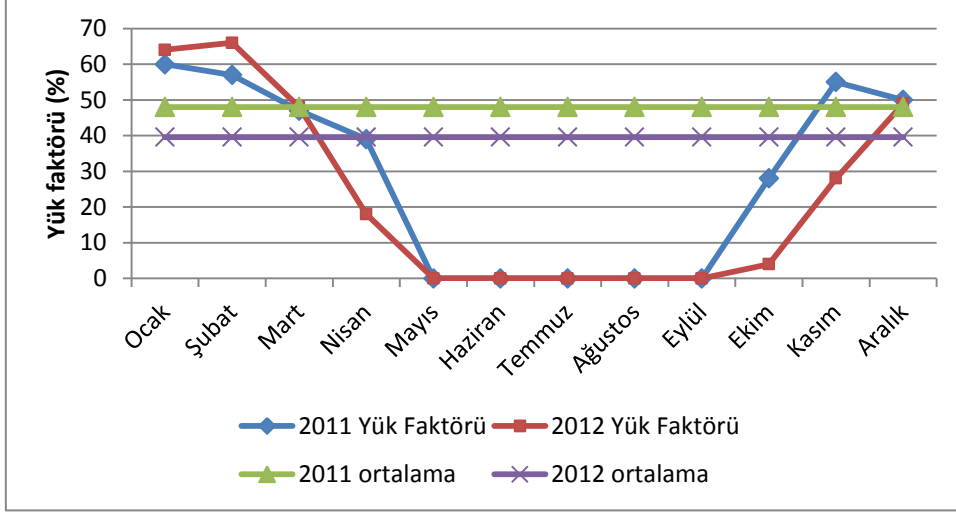
Bir bölgesel ısıtma sisteminin ilk yatırım maliyeti sistem kapasitesi (maksimum güç talebi) ile doğrudan ilişkili olup yıllık işletme maliyetleri ise büyük ölçüde sabittir. Bu durum, yıllık yük faktörünün büyümesi oranında birim jeotermal enerji maliyetinin küçüleceği anlamına gelir. Şekil 5.23 ve 5.24’de Bigadiç JBIS’nin 2011 ve 2012 yılları için (3.1) eşitliğine göre hesaplanan aylık yük faktörlerini, Şekil 5.25’de ise yıllık ortalama yük faktörlerini karşılaştırmalı olarak vermektedir. Buna göre, 2011 yılında görülen en büyük yük faktörü %60 ile Ocak ayında, 2012 yılındaki en büyük yük faktörü ise %66 ile Şubat ayında gerçekleşmiştir. Isıtma dönemlerini kapsayan dönemlerin yıllık ortalama yük faktörleri ise 2011 yılı için %48, 2012 yılı için ise %40’dır.



Şekil 5.23: Bigadiç JBIS için 2011 yılı yük faktörleri.

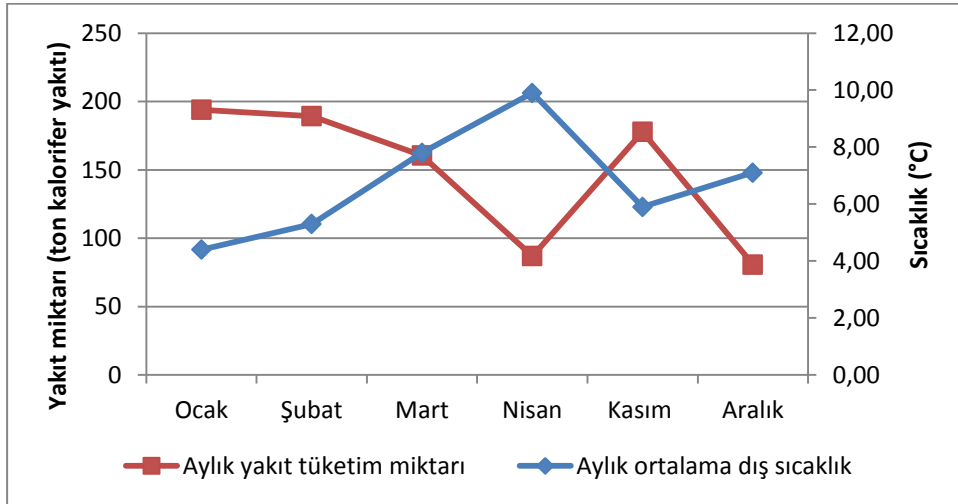


Şekil 5.24: Bigadiç JBIS için 2012 yılı yük faktörleri.



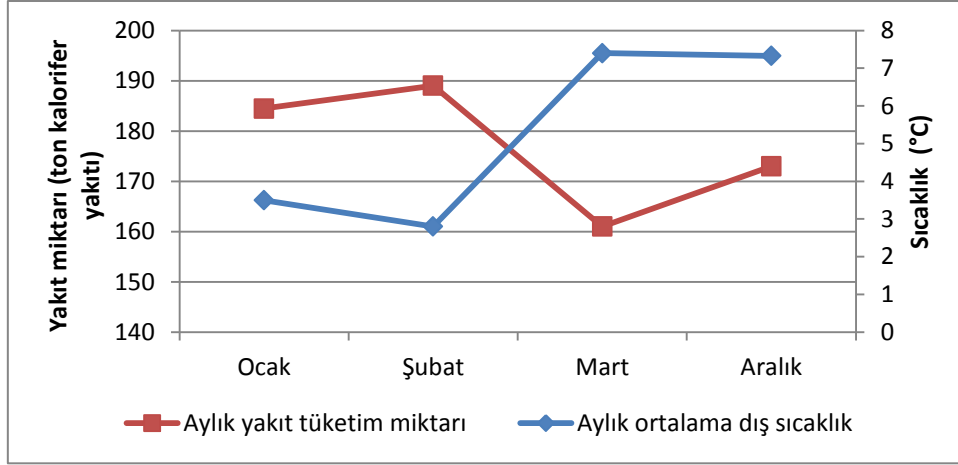
Şekil 5.25: Bigadiç JBIS için 2011 ve 2012 yılları ortalama yük faktörleri.

Bigadiç JBIS 2011 yılında 242 gün ısıtma ve sıcak su, 90 gün ise yalnızca sıcak su olmak üzere toplam 332 gün çalışmıştır. Sistem 2012 yılında ise 243 gün ısıtma ve sıcak su, 32 gün ise yalnızca sıcak su olmak üzere toplam 275 gün çalışmıştır. Yılın kalan bölümünde tek kuyudan çıkarılan jeotermal akışkan yalnızca balneoloji amaçlı ihtiyaçları karşılamak üzere termal tesislerin kullanımına sunulmuştur. Sistemde üretilen jeotermal enerjinin yetersiz olması nedeniyle 2011 yılında, parasal karşılığı 1.697.990 TL⁴ olan yaklaşık 889 ton kalorifer yakıtı, 2012 yılında ise toplam parasal karşılığı 978.644 TL olan yaklaşık 374 ton kalorifer yakıtı ile 653 ton linyit yakılmıştır (Şekil 5.26, 5.27).



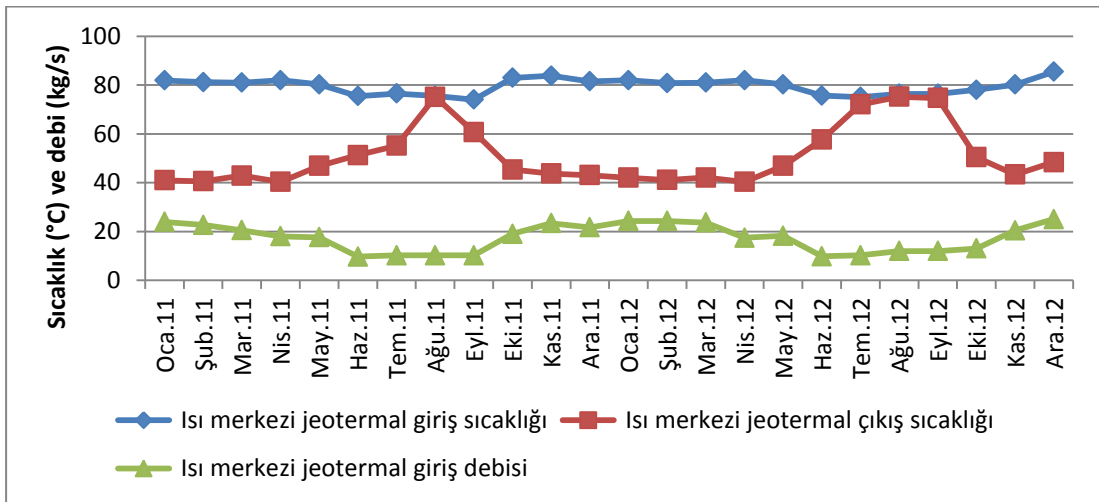
Şekil 5.26: Bigadiç JBIS'nin 2011 yılındaki yakıt tüketim miktarının aylara göre değişimi.

⁴ Fuel-Oil 4 (K. Yakıtı) birim fiyatı 1,91 TL alınmıştır (İGDAS Ocak 2016 fiyatı).



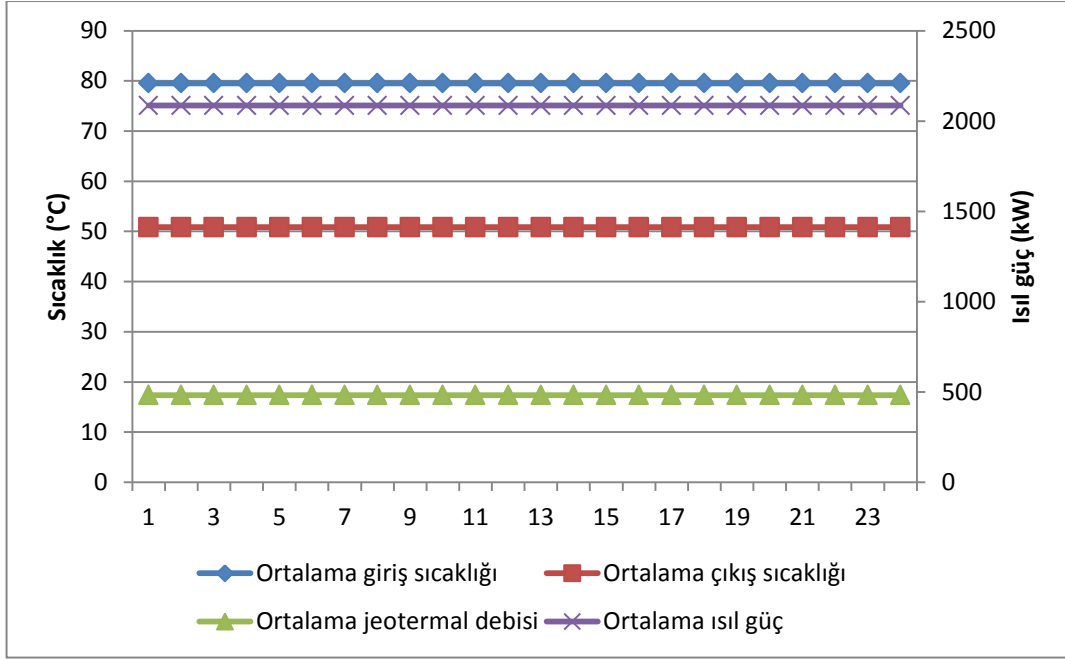
Şekil 5.27: Bigadiç JBIS'nin 2012 yılındaki yakıt tüketim miktarının aylara göre değişimi.

2011 ve 2012 yılları içerisinde Bigadiç JBIS ısı merkezine giren ve çıkan jeotermal akışkanın aylık ortalama sıcaklık değerleri ile debi değerleri Şekil 5.28'de verilmiştir. Buna göre, 2011, 2012 yılları içinde Bigadiç JBIS ısı merkezine giren ortalama jeotermal akışkan debisi kış ayları ile geçiş dönemlerinde 20 kg/s, yaz aylarında ise 10 kg/s civarında seyretmektedir. Giriş debisi arttıkça sisteme giren jeotermal akışkan sıcaklığı artmış, debi azaldıkça giriş sıcaklıkları düşmüştür. Kış aylarıyla geçiş dönemlerinde ortalama 80°C olan jeotermal akışkan giriş sıcaklıkları, yaz dönemlerinde debinin azalmasıyla ortalama 75°C seviyelerine düşmüştür. Sistemden atılan jeotermal akışkan sıcaklıkları incelendiğinde, bu sıcaklıkların ısıtma ve kullanım suyu üretiminin birlikte yapıldığı dönemlerde yaklaşık ortalama 40°C, yalnız kullanım suyu üretildiği dönemlerde 50°C ve yalnız termal tesislere su gönderildiği dönemlerde ise 75°C civarında seyrettiği görülmektedir.



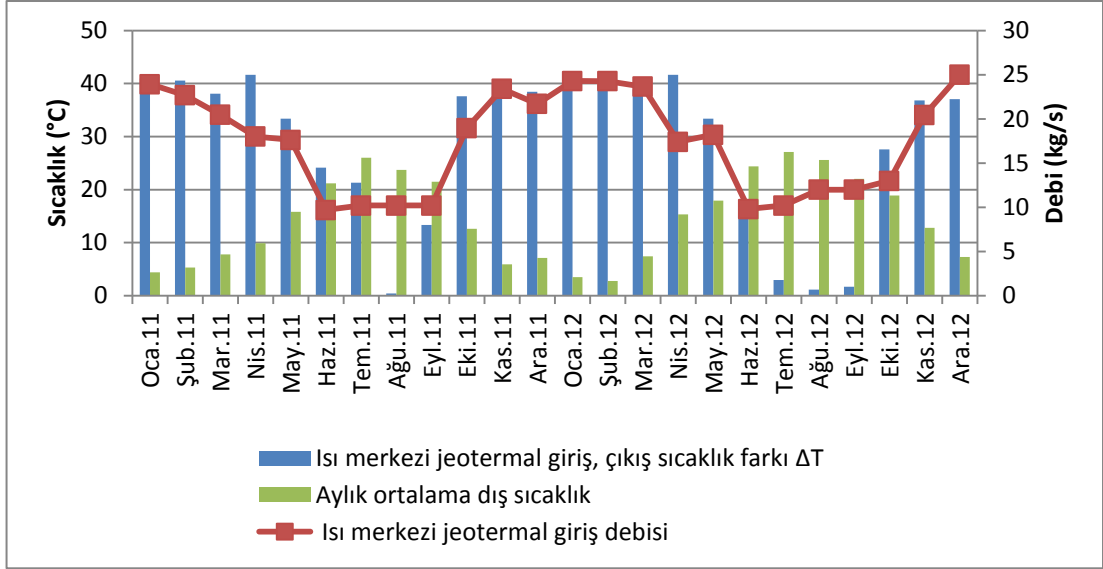
Şekil 5.28: Aylara göre Bigadiç JBIS ısı merkezine giren jeotermal akışkanın ortalama giriş-çıkış sıcaklıkları ile debi değerleri.

Aylık ortalama sıcaklık ve debi değerlerinin ortalaması alınarak yıllık ortalama değerler elde edilmiş ve Şekil 5.29'da sunulmuştur. Buna göre 2011 ve 2012 yıllarını kapsayan süreçte, Bigadiç JBIS ısı merkezine gönderilen jeotermal akışkanın yıllık ortalama sıcaklık ve debi değerleri sırasıyla, 79,52°C ve 17,39 kg/s'dir. Aynı süreçteki jeotermal akışkan sıcaklığı ve sisteme jeotermal enerji ile sağlanan ısı güç ise sırasıyla, yıllık ortalama 50,83°C ve 2085 kW'tır.



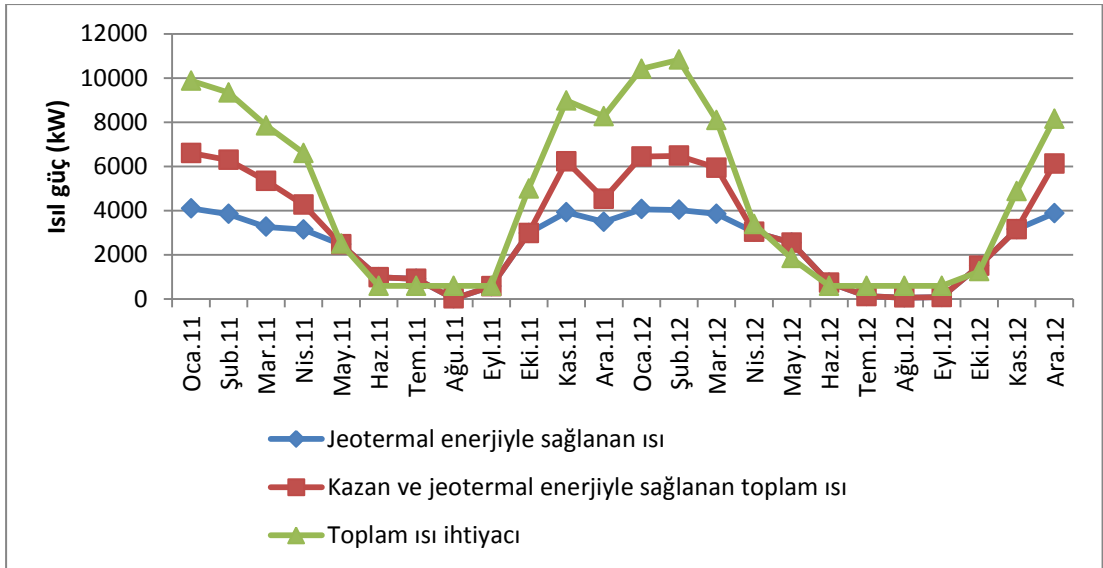
Şekil 5.29: Bigadiç JBIS ısı merkezine giren jeotermal akışkanın 2011 ve 2012 yılları ortalaması giriş-çıkış sıcaklıkları, debi değerleri ve ısı güç üretim miktarı.

Şekil 5.30'da Bigadiç JBIS ısı merkezine giren ve çıkan jeotermal akışkanın sıcaklık farkının (ΔT) aylara göre değişimi verilmiştir. Buna göre ΔT 'nin en büyük değeri 41,65°C ile Nisan aylarında gözlenmiştir. Bu değer Ocak ve Şubat aylarında ortalama 40°C civarında, sadece sıcak su kullanımının sağlandığı Haziran ve Temmuz aylarında ise 18-26°C arasında değişmektedir.



Şekil 5.30: Isı merkezi jeotermal akışkan giriş, çıkış sıcaklık farklarının aylara göre değişimi.

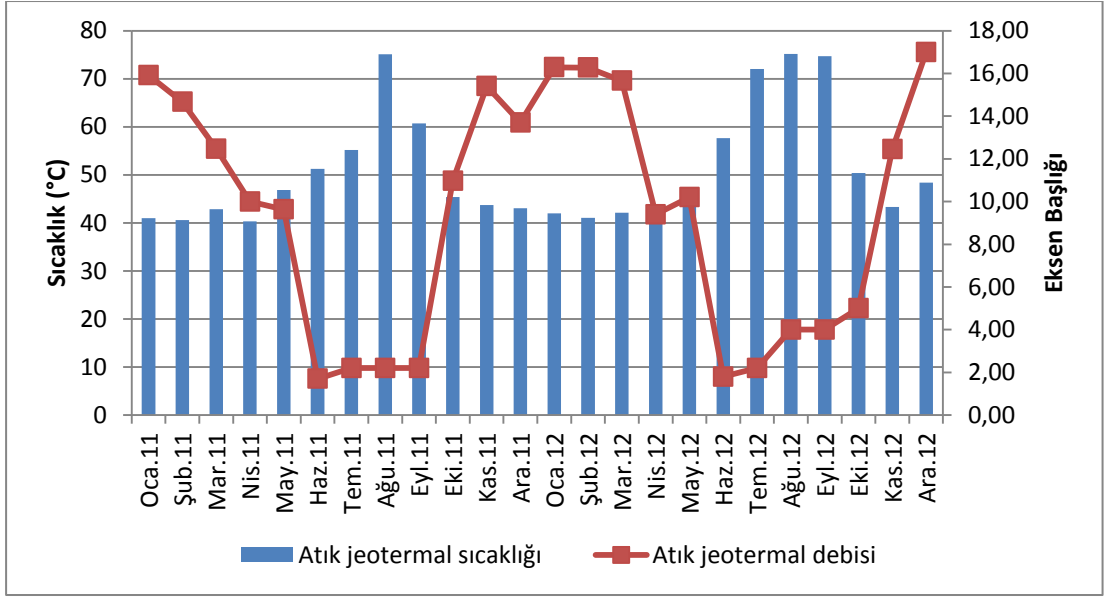
Bigadiç JBIS’de sisteme kazan ve jeotermal enerji ile sağlanan ısıl gücün, sistemin toplam ısıl güç talebinin ne kadarını karşıladığı Şekil 5.31’de verilmiştir. Buna göre kalorifer yakıtı yakan fuel oil kazanının kullanıldığı 2011 yılı ve 2012 Ocak, Şubat dönemlerinde ihtiyacın daha az bir bölümü sistem tarafından karşılanabilirken, Mart 2012’de devreye giren kömür kazanı ile birlikte ihtiyacın daha büyük bir bölümü karşılanmaya başlamıştır.



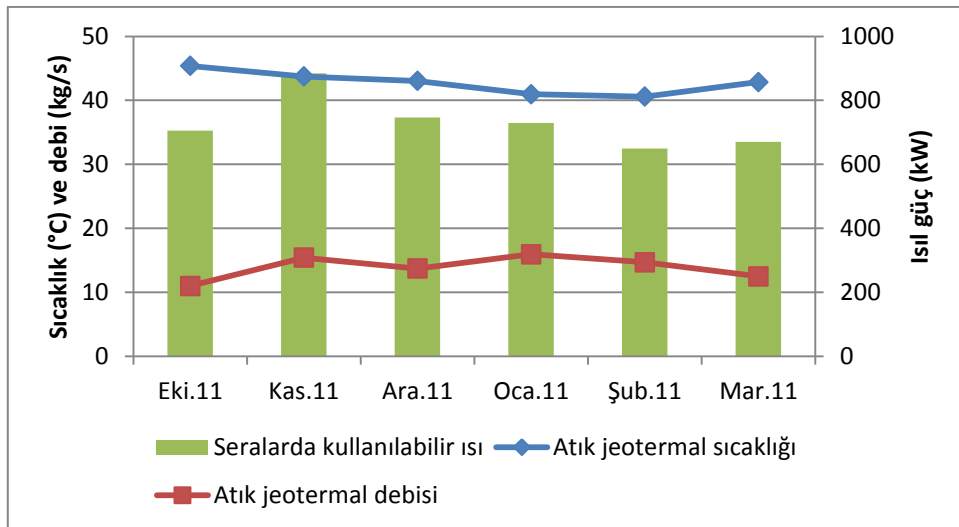
Şekil 5.31: Bigadiç JBIS’ye sağlanan ısıl gücün ihtiyacı karşılama oranları.

Bigadiç JBIS’de atık jeotermal suyun sıcaklık ve debisinin aylara göre değişimi Şekil 5.32’de verilmiştir. Atık ısının sera ısıtmasında kullanılması halinde değerlendirilebilecek ısı

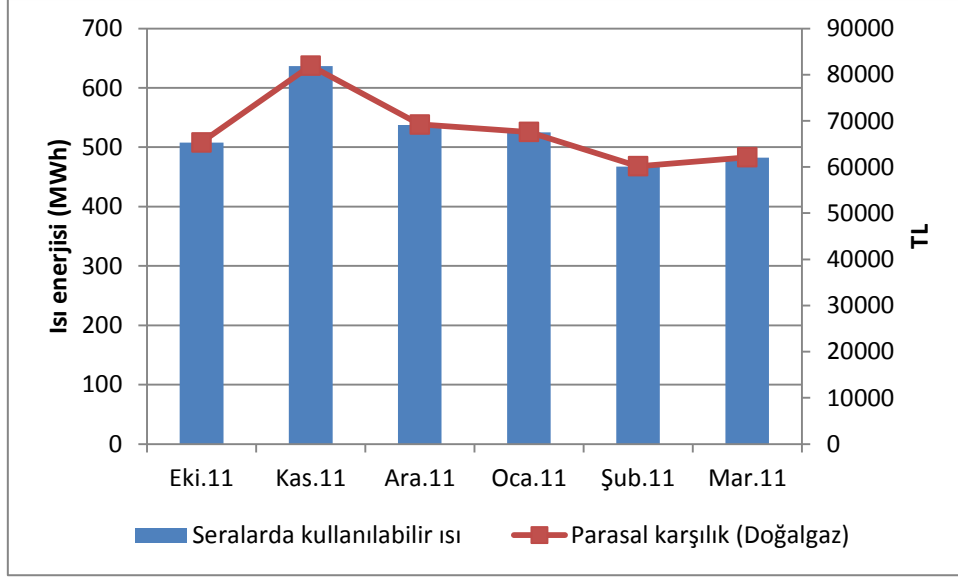
enerjisi ve bu enerjinin doğalgaz ile karşılanması durumunda harcanması gereken yakıt maliyeti Şekil 5.33 ve 5.34'de verilmiştir. Buna göre jeotermal akışkanın atık sıcaklığında seraya girmesi ve serayı 10°C sıcaklık düşümü ile terk etmesi halinde, yılın altı ayı boyunca (Ekim, Kasım, Aralık, Ocak, Şubat ve Mart) sera ısıtması yapıldığı düşünüldüğünde, yılda 3,157 GWh'lik enerji bu alanda değerlendirilebilir. Bu enerjinin doğalgaz parasal karşılığı ise yılda 406361 TL'dir.



Şekil 5.32: Atık jeotermal suyun sıcaklık ve debisinin aylara göre değişimi.



Şekil 5.33: Aylara göre sera ısıtmasında kullanılabilir ısı güç.



Şekil 5.34: Aylara göre sera ısıtmasında değerlendirilebilecek jeotermal enerji miktarları.

5.3 Bigadiç JBIS'nin Enerji ve Ekserji Analizi Bulguları

5.3.1 2011 ve 2012 Yılları Enerji ve Ekserji Analizi Sonuçları

Bu bölümde Bigadiç JBIS'de gerçekleştirilen enerji ve ekserji analizlerinin sonuçları sunulmaktadır. Enerji analizi tek başına, göz önüne alınan sistemin termodinamiksel eksikliklerinin sebeplerinin tespiti ve bu eksikliklerin niceliksel olarak değerlendirmede yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle enerji sistemlerinin dizaynı ve performans değerlendirmesinde kütle ve enerjinin korunumu kanunlarını termodinamiğin ikinci yasası ile birleştirmek, meydana gelen kayıpların gerçek boyutu, yeri ve türünün doğru bir şekilde tespit edilebilmesinde büyük kolaylık sağlar.

Bigadiç JBIS'de yapılan enerji ve ekserji analizleri, sistemin yıl içerisindeki farklı çalışma koşullarındaki performanslarının incelenmesi için 2011 ve 2012 yıllarında seçilen altı farklı dış sıcaklık koşulunda gerçekleştirilmiştir. Sisteme ısı güç desteği sağlamak amacıyla 2011 yılında etkili bir şekilde çalıştırılan fuel-oil kazanları, Mart 2012'den sonra yerini kömür kazanlarına bırakmıştır. Bununla birlikte Şubat 2015'te başlanan kalorimetre uygulamasıyla kullanıcılar artık tükettikleri kadar ısınma bedeli ödemeye başlamıştır. Bu durumun sistem üzerindeki etkilerinin değerlendirilebilmesi için enerji ve ekserji analizleri 2016 yılını kapsayacak şekilde genişletilmiş, 2016 yılı içerisindeki üç farklı yük durumu için de sistem performansı incelenmiştir. Analizlerin farklı yük koşullarını gözetmesi ve 2016 yılını

kapsaması, sistemin yalnız yılın soğuk günleri için değil mevsimsel geçiş dönemleri için de değerlendirilebilmesini ve 2016 yılındaki güncel performansının ortaya koyulmasını sağlamıştır.

2011 ve 2012 yıllarında gerçekleştirilen enerji ve ekserji analizlerinde, sistemin ısıtma periyodu içinde %26 ile %71 arasında değişen yük koşullarındaki 1,5°C ile 13,3°C arasında değişen günlük ortalama dış sıcaklıklarındaki performansları incelenmiştir. Seçilen bu sıcaklıklar Bigadiç JBIS'nin ısıtma periyodunun %92'sine karşılık gelmektedir. Sistem, yıllık çalışmasının 169 gününü seçilen bu referans sıcaklıklarına yakın değerlerde gerçekleştirmektedir. Sıcaklıkların seçildiği analiz günleri ise Ocak, Şubat, Mart, Kasım ve Aralık olmak üzere ısıtmanın yapıldığı tüm ayları kapsamaktadır (Tablo 5.38). Bigadiç JBIS'nin önemli termodinamik noktaları Şekil 4.2 ve 4.3'de gösterilmiş olup, bu noktalara ait sıcaklık, basınç, kütleli debi ile enerji ve ekserji akımları Tablo 5.39 ve 5.40'da verilmiştir.

Tablo 5.38: 2011 ve 2012 yıllarındaki analizler için seçilen günler ve bu günlerdeki bazı işletme parametreleri.

Analiz tarihi	Referans sıcaklığı (°C)	Yük faktörü (%)	Üretilen jeotermal enerji		Toplam enerji girdisi (kW)	Isı destek ünitesi kullanım durumu	Yıllık çalışma süresi (Gün)
			Sıcaklığı (°C)	Debisi (kg/s)			
19.02.2012	1,5	71	94,88	24,96	12466	Fuel oil kazanı	23
02.01.2012	3,5	63	95,68	26,71	13260	Fuel oil kazanı	31
06.03.2012	5,1	57	94,5	23,41	11554	Fuel oil kazanı	
09.11.2011	8	46	94,5	23,86	11932	Fuel oil kazanı	37
21.03.2012	12	31	95,46	24,67	10601	Kömür kazanı	78
12.10.2011	13,3	26	95,46	25,7	9235	Kullanılmıyor	

Tablo 5.39: 2011 ve 2012 yılları için Bigadiç JBIS'nin Şekil 4.2 ve 4.3'de belirtilen termodinamik noktalarına ait değer ve özellikler.

No		1,5°C 19.02.2012			3,5°C 02.01.2012			5,1°C 06.03.2012			8°C 09.11.2011			12°C 21.03.2012			13,3°C 12.10.2011		
		Sıcaklık <i>T</i> (°C)	Basınç <i>P</i> (kPa)	Debi <i>m</i> (kg/s)	Sıcaklık <i>T</i> (°C)	Basınç <i>P</i> (kPa)	Debi <i>m</i> (kg/s)	Sıcaklık <i>T</i> (°C)	Basınç <i>P</i> (kPa)	Debi <i>m</i> (kg/s)	Sıcaklık <i>T</i> (°C)	Basınç <i>P</i> (kPa)	Debi <i>m</i> (kg/s)	Sıcaklık <i>T</i> (°C)	Basınç <i>P</i> (kPa)	Debi <i>m</i> (kg/s)	Sıcaklık <i>T</i> (°C)	Basınç <i>P</i> (kPa)	Debi <i>m</i> (kg/s)
0	S	1,5	101,3	-	3,5	101,3	-	5,1	101,3	-	8	101,3	-	12,0	101,3	-	13,3	101,3	-
1	JS	94,5	101,3	10,5	94,5	101,3	12,25	94,52	101,3	9,7	94,56	101,3	10,5	94,57	101,3	10,5	94,57	101,3	10,3
2	JS	95	332	10,5	95	332	12,25	95,02	332	9,7	95,06	332	10,5	95,07	332	10,5	95,07	332	10,3
3	JS	100,24	303	14,46	100,24	303	14,46	99,23	101,3	13,71	99,36	303	13,36	99,61	303	14,17	99,61	303	15,4
4	JS	100,74	445	14,46	100,74	445	14,46	99,73	445	13,71	99,86	445	13,36	100,11	445	14,17	100,11	445	15,4
5	JS	94,88	101,3	0,97	95,68	101,3	0,97	94,5	101,3	0,97	94,5	101,3	0,97	95,46	101,3	0,94	95,46	101,3	0,96
6	JS	94,88	101,3	24	95,68	101,3	25,74	94,5	101,3	22,44	94,5	101,3	22,89	95,46	101,3	23,73	95,46	101,3	24,74
7	JS	80,38	101,3	24	83,73	101,3	25,74	80,25	101,3	22,44	84,55	101,3	22,89	82,13	101,3	23,73	86,43	101,3	24,74
8	JS	80,38	101,3	8,32	83,73	101,3	6,87	80,25	101,3	6,6	84,55	101,3	4,91	82,13	101,3	7,59	86,43	101,3	4,74
9	JS	42,49	101,3	8,32	43,95	101,3	6,87	43,86	101,3	6,6	41,65	101,3	4,91	47,68	101,3	7,59	50,29	101,3	4,74
10	S	37,8	940	28	40,87	940	26	39,58	940	23	39,78	940	23,58	44,58	940	27,43	47,76	940	20
11	S	49,1	800	28	51,44	800	26	50,06	800	23	48,76	800	23,58	54,17	800	27,43	56,38	800	20
12	JS	80,38	101,3	12,65	83,73	101,3	15,26	80,25	101,3	11,43	84,55	101,3	15,05	82,13	101,3	11,72	86,43	101,3	10
13	JS	38,57	101,3	12,65	40,85	101,3	15,26	39,14	101,3	11,43	43,25	101,3	15,05	41,94	101,3	11,72	48,91	101,3	10
14	S	36,42	650	51,5	39,96	650	55,32	37,98	650	53	42,28	650	55	41,68	650	51,7	47,3	650	43
15	S	46,74	450	51,5	51,84	450	55,32	46,9	450	53	53,63	450	55	50,73	450	51,7	56,09	450	43
16	JS	80,38	101,3	2,98	83,73	101,3	3,51	80,25	101,3	4,4	84,55	101,3	2,93	82,13	101,3	4,42	86,43	101,3	10
17	JS	39,53	101,3	2,98	40,92	101,3	3,51	41,12	101,3	4,4	43	101,3	2,93	43,12	101,3	4,42	49,03	101,3	10
18	S	38,65	550	48	40,96	550	47	39,96	550	49	41,82	550	50	42,21	550	48,12	48,81	550	31
19	S	41,18	480	48	44,17	480	47	43,48	480	49	44,28	480	50	45,81	480	48,12	60,9	480	31

20	JS	40,03	101,3	24	43,31	101,3	25,74	41	101,3	22,44	44,65	101,3	22,89	43,73	101,3	23,73	49,14	101,3	24,74
21	JS	40,03	101,3	14,1	43,31	101,3	15,84	41	101,3	12,54	44,65	101,3	12,99	43,73	101,3	13,83	49,14	101,3	14,84
22	JS	40,03	460	9,9	43,31	460	9,9	41	460	9,9	44,65	460	9,9	43,73	460	9,9	49,14	460	9,9
22'	JS	20,03	101,3	9,9	23,31	101,3	9,9	21	101,3	9,9	24,65	101,3	9,9	23,73	101,3	9,9	29,14	101,3	9,9
23	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	61,15	680	31
23a	S	46,74	450	15,14	-	-	-	46,9	450	11,64	53,63	450	50,24	-	-	-	-	-	-
23b	S	46,74	450	36,36	51,84	450	55,32	46,9	450	41,36	53,63	450	4,76	50,73	450	51,7	-	-	-
24	S	43,58	480	84,36	48,33	480	102,32	45,05	480	90,36	45,08	480	54,76	48,36	480	99,82	60,28	615	31
25	S	48,7	380	48	52,75	380	47	50,1	380	49	55,2	380	50	51,46	380	48,12	49,68	615	31
26	S	48,95	680	48	53	680	47	50,35	680	49	55,45	680	50	51,71	680	48,12	48,28	250	81,74
27	S	48,45	615	48	52,39	615	47	49,78	615	49	54,95	615	50	51,11	615	48,12	52,28	250	81,74
28	S	39,15	615	48	41,57	615	47	40,53	615	49	44,78	615	50	42,81	615	48,12	56,29	680	43
29	S	36,45	250	111,81	40,39	250	126,45	37,78	250	112,58	42,95	250	127,25	39,11	250	99,99	55,43	665	43
30	S	40,45	250	111,81	44,39	250	126,45	41,78	250	112,58	46,95	250	127,25	43,11	250	99,99	48,16	665	43
31	S	48,7	380	36,36	52,75	380	55,32	50,1	380	41,36	55,2	380	4,76	51,46	380	51,7	43,43	250	78,28
32	S	48,1	450	51,5	52,75	380	55,32	49,39	450	53	53,77	450	55	51,46	450	51,7	47,43	250	78,28
33	S	48,3	680	51,5	52,95	680	55,32	49,59	680	53	53,97	680	55	51,66	680	51,7	56,58	1200	20
34	S	47,55	665	51,5	52,07	665	55,32	48,72	665	53	53,22	665	55	50,74	665	51,7	55,61	1120	20
35	S	37,17	665	51,5	40,84	665	55,32	38,85	665	53	43,03	665	55	42,6	665	51,7	48,73	1120	20
36	S	35,55	250	133,53	40,07	250	155,36	36,72	250	130,75	41,22	250	140,3	38,74	250	104,63	43,61	250	34,37
37	S	39,55	250	133,53	44,07	250	155,36	40,72	250	130,75	45,22	250	140,3	42,74	250	104,63	47,61	250	34,37
38	S	49,3	1200	28	51,64	1200	26	50,26	1200	23	48,96	1200	23,58	54,37	1200	27,43	-	-	-
39	S	48,6	1120	28	50,82	1120	26	49,36	1120	23	48,28	1120	23,58	53,47	1120	27,43	-	-	-
40	S	38,5	1120	28	41,69	1120	26	40,48	1120	23	40,46	1120	23,58	45,48	1120	27,43	-	-	-
41	S	36,6	250	70,75	38,82	250	59,32	37,36	250	51,1	36,28	250	46,17	41,47	250	54,86	-	-	-
42	S	40,6	250	70,75	42,82	250	59,32	41,36	250	51,1	40,28	250	46,17	45,47	150	54,86	-	-	-

Tablo 5.40: 2011 ve 2012 yılları için Bigadiç JBIS'nin Şekil 4.2 ve 4.3'de belirtilen termodinamik noktalarına ait enerji ve ekserji akımları.

		1,5°C (19.02.2012)		3,5°C (02.01.2012)		5,1°C (06.03.2012)		8°C (09.11.2011)		12°C (21.03.2012)		13,3°C (12.10.2011)	
Akışkan		Ekserji oranı	Enerji oranı	Ekserji oranı	Enerji oranı	Ekserji oranı	Enerji oranı	Ekserji oranı	Enerji oranı	Ekserji oranı	Enerji oranı	Ekserji oranı	Enerji oranı
		\dot{E}_x	\dot{E}	\dot{E}_x	\dot{E}	\dot{E}_x	\dot{E}	\dot{E}_x	\dot{E}	\dot{E}_x	\dot{E}	\dot{E}_x	\dot{E}
No		(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)
0	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	JS	568,65	4089,80	663,43	4771,44	481,96	3632,26	487,85	3805,10	442,78	3630,27	420,41	3505,09
2	JS	575,50	4113,95	671,42	4799,61	490,77	3654,57	494,29	3829,25	448,96	3654,42	426,40	3528,78
3	JS	876,35	5983,62	876,35	5983,62	750,48	5405,30	690,44	5114,07	670,46	5202,37	706,69	5570,18
4	JS	884,33	6015,43	884,33	6015,43	760,49	5438,21	697,30	5143,47	677,39	5233,55	714,10	5604,06
5	JS	52,75	379,37	53,65	382,67	48,37	363,13	45,15	351,32	40,44	328,47	39,99	330,24
6	JS	1305,22	9386,52	1423,74	10154,56	1118,97	8400,64	1065,37	8290,53	1020,81	8292,21	1030,47	8510,56
7	JS	957,60	7924,92	1111,67	8859,84	811,30	7056,48	848,65	7333,73	740,76	6963,33	829,85	7572,91
8	JS	331,97	2747,31	296,71	2364,69	238,62	2075,44	182,04	1573,11	236,93	2227,21	158,99	1450,91
9	JS	96,92	1427,75	85,52	1220,83	68,11	1070,26	38,47	691,28	65,30	1132,73	43,67	733,28
10	S	281,45	4275,74	303,26	4305,73	210,10	3336,38	184,38	3152,41	222,05	3759,01	178,44	2898,00
11	S	452,10	5594,54	458,24	5449,73	333,32	4341,48	282,00	4034,30	343,49	4853,46	261,10	3616,00
12	JS	504,73	4177,09	659,06	5252,57	413,24	3594,28	557,98	4821,87	365,85	3439,12	335,43	3061,00

13	JS	121,60	1963,34	163,83	2513,40	92,50	1628,32	129,04	2219,72	71,88	1467,81	85,11	1489,00
14	S	468,93	7555,31	600,75	8934,46	427,26	7317,18	474,58	7913,95	340,59	6443,89	360,49	6136,10
15	S	744,22	9769,81	971,92	11672,80	650,44	9283,48	790,61	10515,45	541,25	8392,98	539,97	7709,90
16	JS	118,90	984,01	151,59	1208,16	159,08	1383,62	108,63	938,74	137,97	1297,00	335,43	3061,00
17	JS	30,01	474,43	37,87	579,17	39,69	663,34	24,62	428,92	29,10	575,22	85,81	1494,00
18	S	483,16	7483,44	530,12	7783,44	435,51	7166,74	417,19	7094,50	320,64	6098,73	277,16	4615,90
19	S	546,37	7992,24	611,31	8413,24	517,73	7887,04	468,91	7604,50	390,67	6820,53	474,26	6181,40
20	JS	248,58	3871,32	311,01	4504,63	201,17	3371,83	209,96	3508,81	163,14	3149,92	214,04	3708,53
21	JS	146,04	2274,40	191,39	2772,08	112,42	1884,26	119,15	1991,24	95,08	1835,79	128,39	2224,52
22	JS	105,78	1599,89	122,86	1735,52	92,27	1490,54	94,33	1520,54	71,60	1317,10	89,19	1486,98
22'	JS	24,86	768,78	34,25	904,61	18,31	659,04	19,97	689,93	9,56	485,79	18,02	656,37
23		-		-		-		-		-		484,82	6218,60
23a	S	218,79	2872,13	-		142,85	2038,86	722,19	9605,39	-		-	
23b	S	525,43	6897,67	971,92	11672,80	507,59	7244,62	68,42	910,06	541,25	8392,98	-	
24	S	1067,05	14889,96	1569,40	20085,93	1021,62	15131,69	538,08	8514,63	933,49	15216,56	466,02	6103,90
25	S	744,95	9494,64	848,61	10091,14	689,40	9239,44	761,18	9884,50	514,34	7951,35	292,40	4730,60
26	S	766,48	9557,04	869,70	10152,24	710,84	9303,14	784,01	9949,50	539,17	8018,72	685,67	11966,74
27	S	750,05	9456,24	848,18	10030,04	689,23	9180,64	762,57	9839,50	519,71	7893,60	848,37	13339,97
28	S	500,43	7589,04	547,76	7905,64	454,39	7289,24	487,54	7714,50	337,35	6223,84	553,41	7752,90
29	S	980,35	16380,72	1345,31	20599,34	853,92	15407,70	1094,14	18628,13	521,10	11352,86	532,87	7598,10
30	S	1198,53	18247,95	1629,00	22723,70	1069,36	17299,04	1337,38	20753,20	674,09	13022,70	377,34	6290,90
31	S	564,30	7192,19	998,84	11877,48	581,91	7798,84	72,46	941,00	552,61	8542,91	501,51	9878,94

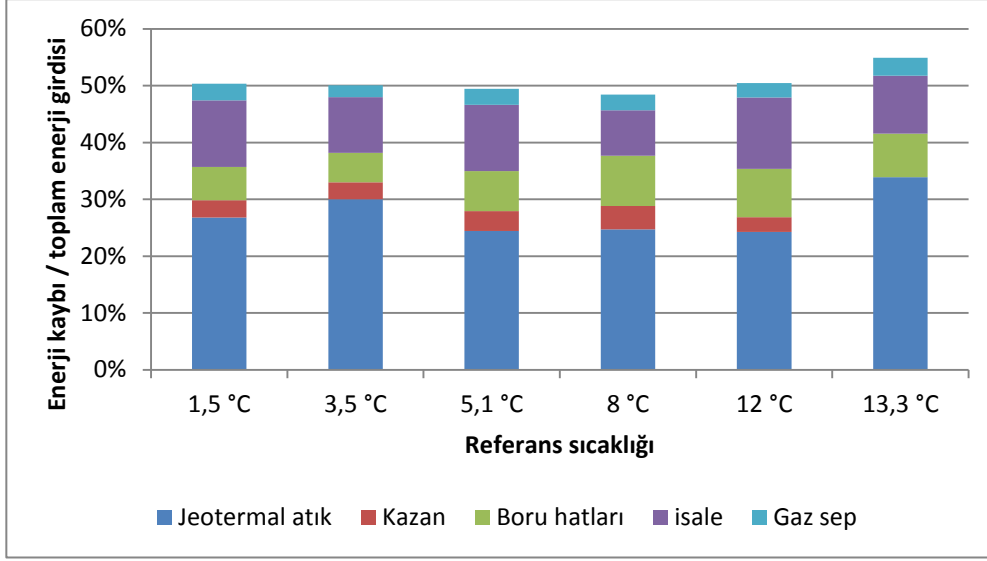
32	S	786,00	10063,36	998,84	11877,48	729,13	9839,98	793,58	10546,25	557,78	8548,08	631,56	11186,21
33	S	802,14	10114,86	1023,22	11938,33	745,26	9892,98	812,12	10603,45	574,09	8599,78	271,92	3640,00
34	S	775,95	9950,06	990,23	11733,65	715,80	9696,88	790,07	10432,95	551,59	8403,32	257,81	3556,00
35	S	490,87	7720,11	627,66	9139,14	452,30	7513,28	497,49	8089,95	362,37	6645,52	190,26	2982,00
36	S	1110,80	19055,40	1634,39	25106,95	933,06	17319,15	1089,41	19514,33	527,05	11712,28	220,63	4361,55
37	S	1364,02	21285,35	1963,15	27701,46	1166,55	19502,67	1345,76	21857,34	694,61	13470,07	277,73	4935,53
38	S	467,25	5628,14	473,02	5480,93	343,26	4366,78	294,38	4062,60	358,42	4886,38	-	
39		452,46	5544,14	457,00	5389,93	330,09	4279,38	284,34	3994,22	343,35	4782,15	-	
40	S	295,96	4362,54	319,73	4399,33	223,01	3426,08	195,45	3223,15	236,73	3865,98	-	
41	S	623,92	10407,68	581,73	9272,01	380,35	6906,68	266,72	5470,68	336,25	6771,92	-	
42	S	761,98	11589,20	704,00	10262,66	473,03	7760,05	340,70	6241,72	426,45	7688,08	-	

Bigadiç JBIS için seçilen referans sıcaklıklarına göre elde edilen enerji analizi sonuçlarına ait bazı bulgular Tablo 5.41’de özetlenmiştir. Tablo 5.41, farklı referans sıcaklıklarında Bigadiç JBIS’de sisteme giren toplam ısı gücü, bu gücün ne kadarının kullanıldığını ve sistemde meydana gelen enerji kayıplarının nerelerde ve hangi büyüklükte olduğunu göstermektedir. Buna göre sistemde meydana gelen enerji kayıplarının en büyük bölümü ısı alındıktan sonra atılan jeotermal suyun deşarjı esnasında meydana gelmektedir. Bu kayıpları sırasıyla, 18 km uzunluğundaki isale hattında meydana gelen ısı kayıpları, dağıtım hatlarındaki ısı kayıpları ile kazan ve gaz seperatöründe meydana gelen kayıplar izlemektedir.

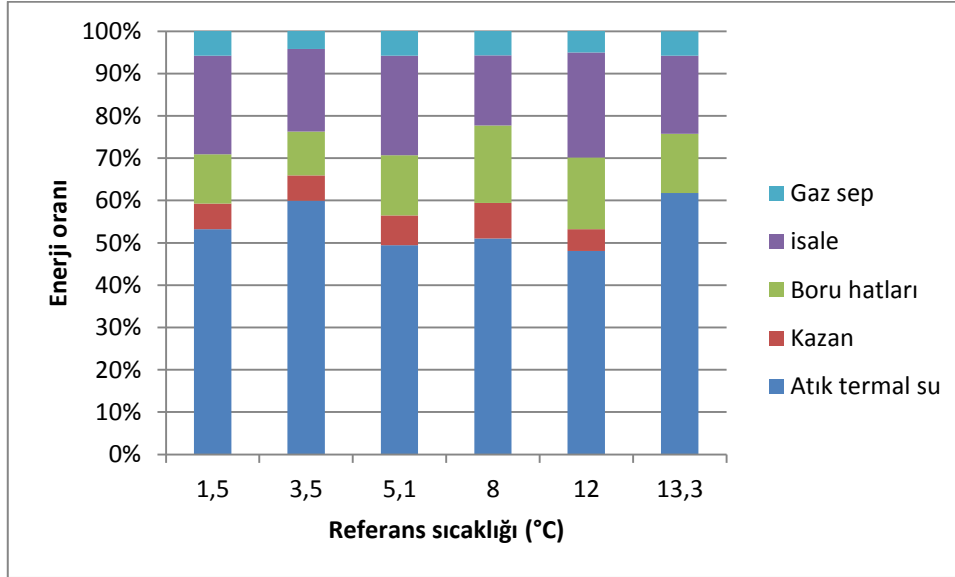
Tablo 5.41: Farklı referans sıcaklıkları için Bigadiç JBIS’nin enerji analizi sonuçları (2011, 2012).

Referans sıcaklığı (°C)	Toplam enerji girdisi (kW)	Kullanılan güç (kW)		Enerji kayıpları (kW)					Enerji verimi (%)
		Isıtma + sıcak su	Jeotermal su	Atık termal su	İsale hattı	Boru hatları	Kazan	Gaz seperatörü	
1,5	12466	5279	912	3341	1462	731	378	363	49,66
3,5	13260	5710	912	3978	1295	692	396	278	49,94
5,1	11554	4928	913	2825	1344	814	401	329	50,55
8	11932	5239	912	2951	957	1056	486	331	51,55
12	10601	4344	910	2571	1329	905	275	267	49,56
13,3	9235	3255	911	3131	938	710	-	292	45,10

Farklı referans sıcaklıklarına göre sistemdeki tüm enerji kayıplarının %49-61’ini oluşturan atık jeotermal su kayıpları, sisteme olan toplam enerji girdilerinin %24-33’lük bölümünü oluşturmaktadır. İkinci en büyük enerji kayıp noktası olan isale hattı kayıpları ise toplam kayıpların %18-24’ünü oluşturmakta ve sisteme olan toplam enerji girdilerinin %8-12’si bu hatta harcanmaktadır (Şekil 5.35, 5.36).



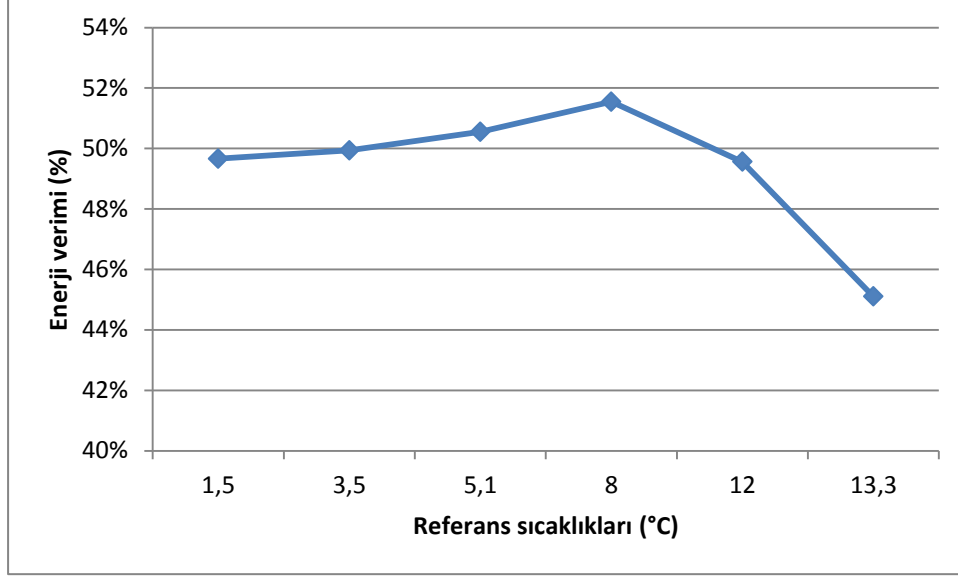
Şekil 5.35: Bigadiç JBIS’de meydana gelen enerji kayıplarının toplam enerji girdisine oranları.



Şekil 5.36: Bigadiç JBIS’de meydana gelen enerji kayıp bileşenlerinin toplam enerji kayıplarındaki payı.

Şekil 5.37’de Bigadiç JBIS enerji veriminin referans sıcaklıklarına göre değişimi verilmiştir. Buna göre ısıtma sezonu içerisindeki en yüksek enerji verimi 8°C referans sıcaklığında %51,55 olarak, en düşük enerji verimi ise 13,3°C referans sıcaklığında %45,10 olarak kaydedilmiştir. Sistemde kazan takviyesinin yapıldığı referans sıcaklıklarındaki enerji veriminde, %2’den daha büyük bir fark gözlenmemiştir. Başka bir ifadeyle üretilen enerjiden yararlanma oranı, dış ortam sıcaklığının artmasıyla azalma gösterecekken daha da artmıştır. Bu durum, kazan

takviyeli ısıtmanın yapıldığı nispeten daha soğuk ısıtma günlerinde, sisteme sağlanan ısı enerjisinin sistemin ihtiyaç duyduğu ısıtma enerjisinden önemli ölçüde küçük olduğu anlamına gelmektedir. Bu nedenle kazanla sağlanan ilave ısıtma gücünün sistem için yetersiz olduğu söylenebilir.



Şekil 5.37: Bigadiç JBIS enerji veriminin referans sıcaklığına göre değişimi.

Şekil 5.37’de verilen verim değerleri sistemin ısıtma dönemindeki enerji verimliliğini ifade etmektedir. Analizlerde kullanılan referans sıcaklıklarındaki çalışma süreleri dikkate alınarak, sistemin ısıtma sezonu içerisindeki ortalama enerji verimi %50 olarak hesaplanmıştır. Sistemin enerji verimi, yıl içerisinde ısıtmanın yapılmadığı, yalnız sıcak su ve jeotermal kullanım suyunun üretildiği ve yalnız jeotermal kullanım suyunun üretildiği çalışma dönemleri için de hesaplanmıştır. Buna göre, yalnız sıcak su ve jeotermal suyun üretildiği dönemde enerji verimi %52,4, yalnız jeotermal suyun üretildiği dönemdeki enerji verimi ise %24,8 olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte sistemin yıl içindeki tüm koşullardaki çalışma süreleri ve enerji verimleri dikkate alındığında, sistemin yıllık ortalama enerji verimi %47,83 olarak hesaplanmıştır.

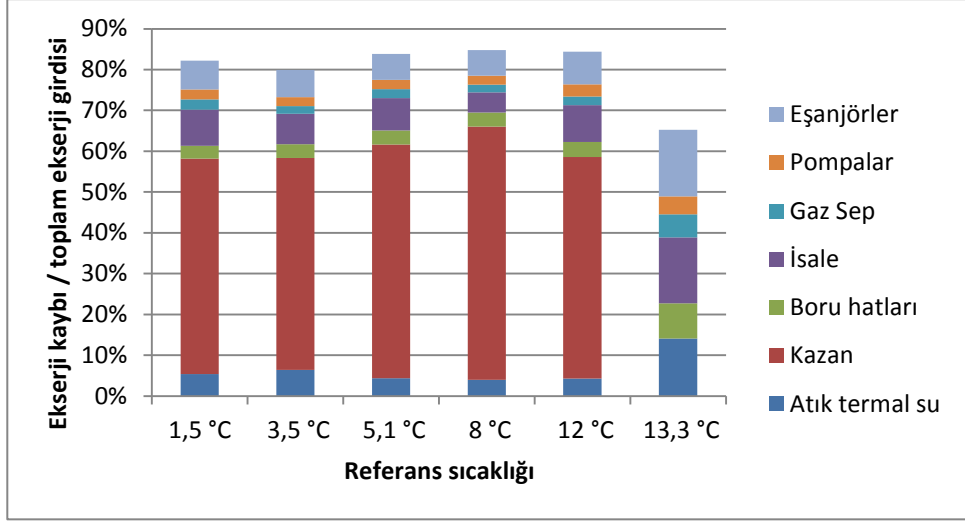
Bigadiç JBIS için seçilen referans sıcaklıklarına göre elde edilen ekserji analizi sonuçlarına ait bazı bulgular Tablo 5.42’de özetlenmiştir. Tablo 5.42, farklı referans sıcaklıklarında Bigadiç JBIS’de sisteme olan toplam ekserji girdisini, bu girdinin ne kadarının kullanıldığını ve sistemde meydana gelen ekserji kayıplarının

nerelerde ve hangi büyüklükte olduğunu göstermektedir. Buna göre sistemde meydana gelen ekserji kayıplarının en büyük bölümü kazanda meydana gelmektedir. Bu kayıpları sırasıyla, 18 km uzunluğundaki isale hattında, eşanjörlerde, atık jeotermal su ile birlikte, boru hatlarında, gaz separatöründe ve pompalarda meydana gelen ekserji kayıpları izlemektedir.

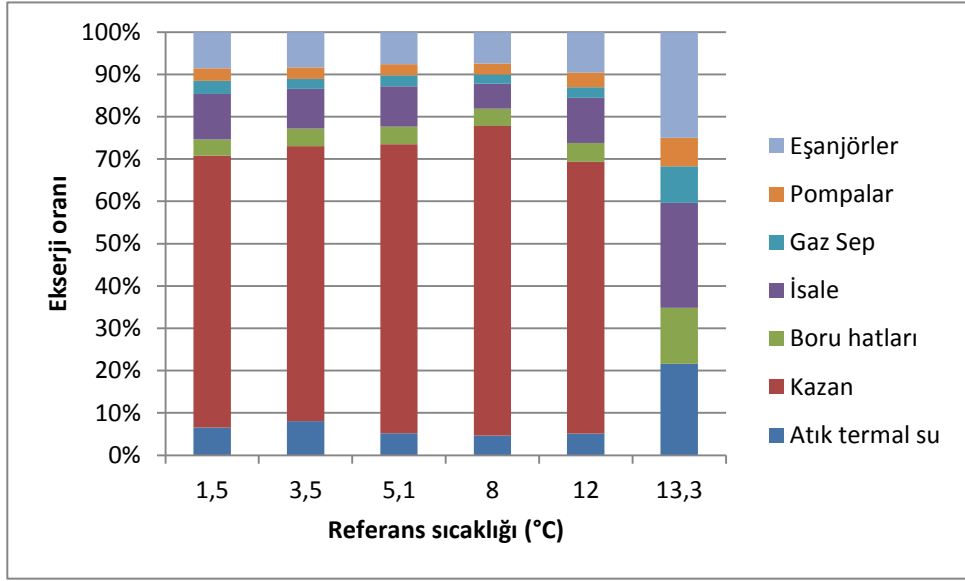
Tablo 5.42: Farklı referans sıcaklıkları için Bigadiç JBIS'nin ekserji analizi sonuçları (2011,2012).

Ref. Sıc. (°C)	Top. Ex. girdisi (kW)	Üretilen ekserji (kW)		Ekserji kayıpları (kW)							Ex. verimi (%)
		Isıtma + sıcak su	Jeotermal su	Kazan	İsale hattı	Eşanjörler	Atık termal su	Boru hat.	Gaz Sep.	Pompa	
1,5	3949	609	93	2085	348	280	212	127	102	95	17,79
3,5	4160	735	101	2160	312	278	267	139	78	90	20,08
5,1	3874	542	86	2219	308	246	168	135	84	88	16,19
8	4347	574	86	2697	217	274	173	150	81	96	15,17
12	3103	411	73	1683	280	250	134	116	65	91	15,60
13,3	1243	350	83	-	201	203	175	108	70	54	34,79

Farklı referans sıcaklıklarına göre sistemdeki tüm ekserji kayıplarının %64-73'ünü oluşturan kazan kayıpları, sisteme olan toplam ekserji girdilerinin %51-62'lik bölümünü oluşturan en önemli ekserji kayıp noktasıdır. İkinci en büyük ekserji kayıp noktası olan isale hattı kayıpları ise toplam kayıpların %5-16'sını oluşturmakta ve sisteme olan toplam ekserji girdilerinin %6-25'i bu hatta yok olmaktadır. Sistemde bulunan plakalı ısı eşanjörlerinde de önemli ekserji kayıpları söz konusudur. Bu bileşenlerde meydana gelen ekserji kayıplarının toplam ekserji kayıpları içindeki payı %7-25 arasında değişmekte olup, sisteme olan toplam ekserji girdilerinin %6-16'lık bölümü burada yok olmaktadır (Şekil 5.38, 5.39).



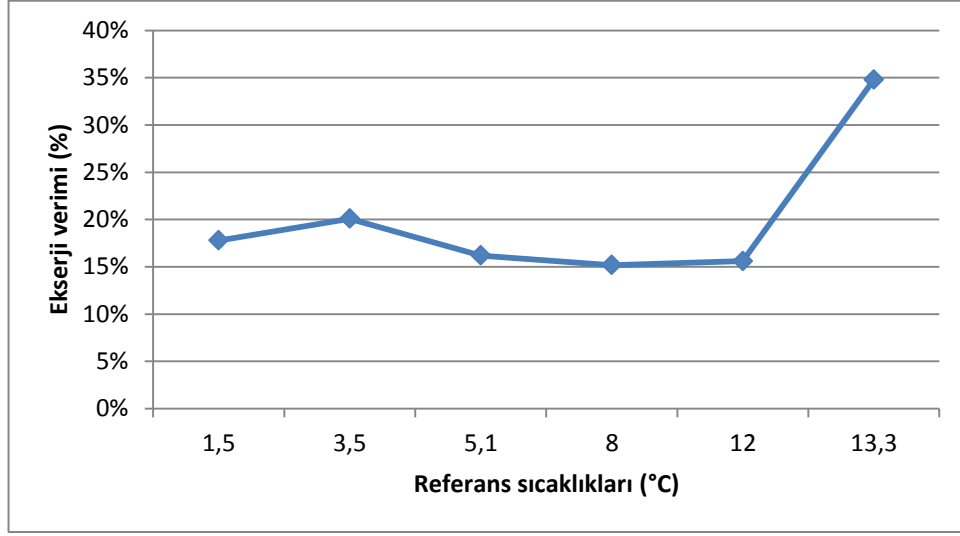
Şekil 5.38: Bigadiç JBIS’de meydana gelen ekserji kayıplarının toplam ekserji girdisine oranları.



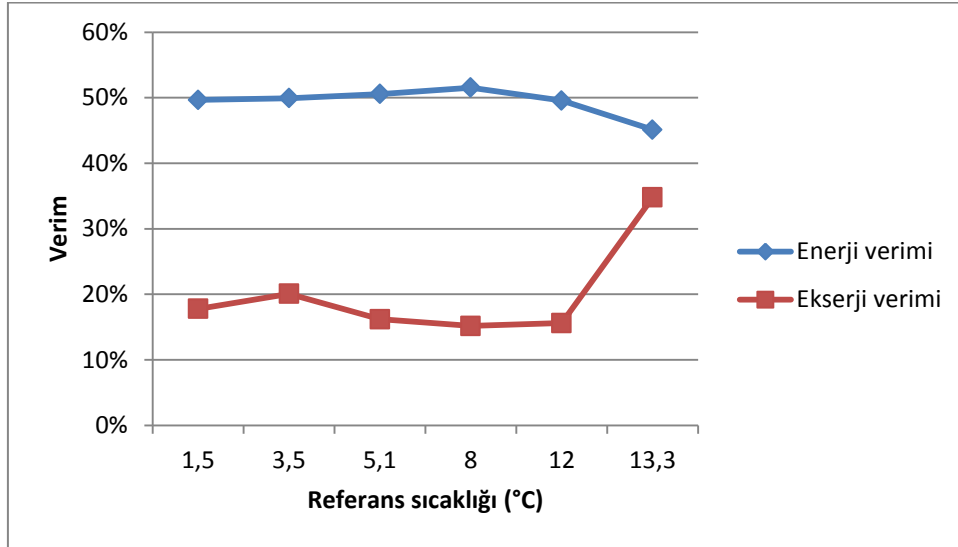
Şekil 5.39: Bigadiç JBIS’de meydana gelen ekserji kayıp bileşenlerinin toplam ekserji kayıplarındaki payı.

Şekil 5.40’da Bigadiç JBIS ekserji veriminin referans sıcaklıklarına göre değişimi, Şekil 5.41’de ise bu verimlerin enerji verimleriyle karşılaştırılması verilmiştir. Buna göre ısıtma sezonu içerisindeki en yüksek ekserji verimi kazan desteğinin sağlanmadığı 13,3°C referans sıcaklığında %34,79 olarak, en düşük ekserji verimi ise 8°C referans sıcaklığında %15,17 olarak kaydedilmiştir. Enerji veriminin en yüksek olduğu referans sıcaklığında (8°C) ekserji verimi en düşük

değeri almıştır. Kazanda meydana gelen ekserji kayıplarının büyük olması, kazan destekli ısıtma dönemlerindeki ekserji verimini düşürmektedir.



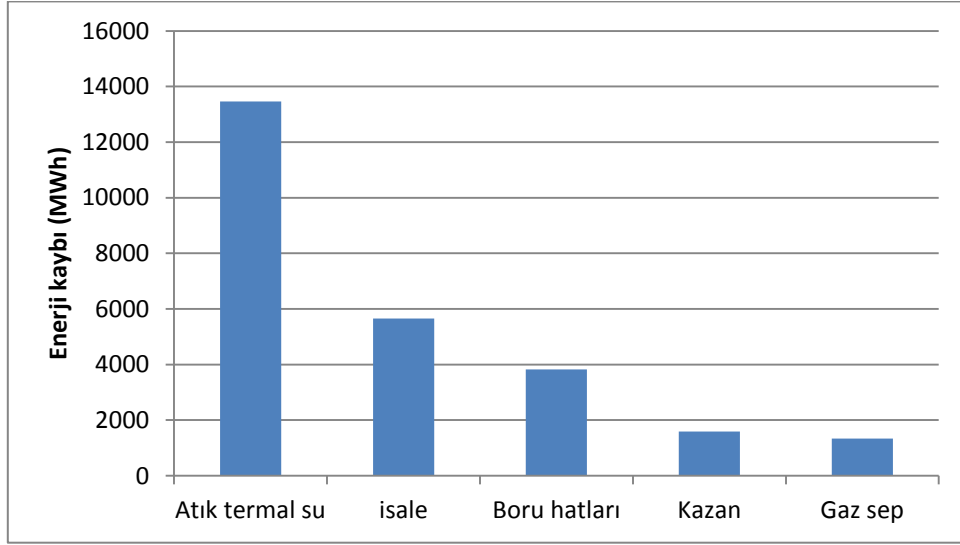
Şekil 5.40: Bigadiç JBIS ekserji veriminin referans sıcaklığına göre değişimi.



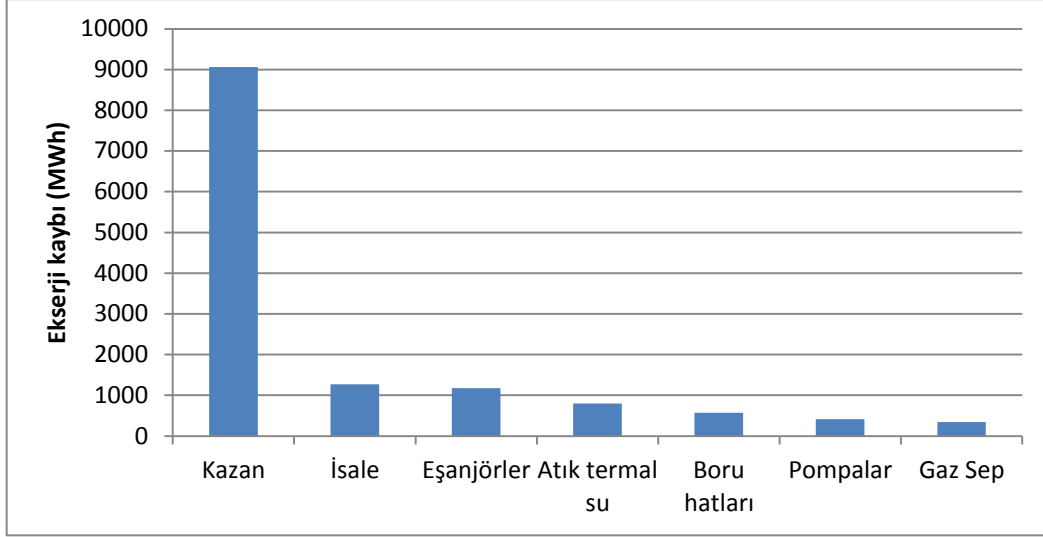
Şekil 5.41: Bigadiç JBIS'nin enerji ve ekserji verimleri.

Isıtma periyodu içerisindeki analizlerde kullanılan referans sıcaklıkları ve sistemin bu sıcaklıklara yakın değerlerdeki çalışma süreleri dikkate alınarak Bigadiç JBIS için bir ısıtma sezonu boyunca meydana gelen enerji ve ekserji kayıp miktarları hesaplanarak Şekil 5.43 ve 5.44'de verilmiştir. Buna göre, en büyük enerji kaybının 13464 MWh ile jeotermal suyun deşarjı esnasında meydana geldiği ve bunu 5650 MWh ile isale hattındaki, 3818 MWh ile dağıtım borularındaki, 1585 MWh ile kazandaki ve 1334 MWh ile gaz seperatöründeki kayıpların izlediği görülmüştür

(Şekil 5.42). Atık termal su kayıpları diğer enerji kayıplarına göre miktar bakımından en büyük değeri almış olsa da bu enerji kayıpları düşük kalitededir. Nitekim bu kayıpların ekserji değerinin 797 kW olduğu görülmektedir (Şekil 5.43). Bu nedenle kayıp miktarlarının kalitelerinin sunulduğu Tablo 5.42'deki ekserji miktarlarının azaltılabilmesi ile sistem için daha yararlı kazanımlar elde edilebilecektir. Bu kazanımları en büyük yapabilmek için başta ekserji kayıp miktarının en fazla olduğu kazan olmak üzere, sistemdeki isale hattı ve ısı eşanjörlerinde iyileştirme çalışmalarının gerçekleştirilmesi gerekmektedir.



Şekil 5.42: Bigadiç JBIS'de bir ısıtma periyodunda meydana gelen enerji kayıp miktarları.



Şekil 5.43: Bigadiç JBIS'de bir ısıtma periyodunda meydana gelen ekserji kayıp miktarları.

Bigadiç JBIS ısı merkezinde yer alan sistem bileşenlerine ait kurulu güç, kullanılan güç, ekserji kayıpları ve bileşenlerin ekserji verimleri 1,5°C referans sıcaklığındaki analizler için Tablo 5.43'da verilmiştir. Tablo 5.44'de ise bu bileşenlerin analizi yapılan tüm referans sıcaklıklarındaki ortalama ekserji verimleri verilmiştir. Buna göre sistemin önemli bileşenlerinden olan ısıtma zonlarına ait ısı eşanjörlerinin ekserji verimlerinin ortalama değerleri Emek Mahallesi hattı için %71,4, Fethibey Mahallesi hattı için %71,7 ve Atatürk Caddesi hattı için ise %69,4 bulunmuştur. Isı eşanjörleri için hesaplanan ekserji verimlerinin benzer çalışmalarda aynı bileşenler için bulunan ekserji verimlerinden %8-20 daha küçük olduğu görülmüştür [58, 68, 71, 73, 74, 83, 90, 94, 95].

Tablo 5.43: Önemli sistem bileşenlerinin bazı özellikleri.

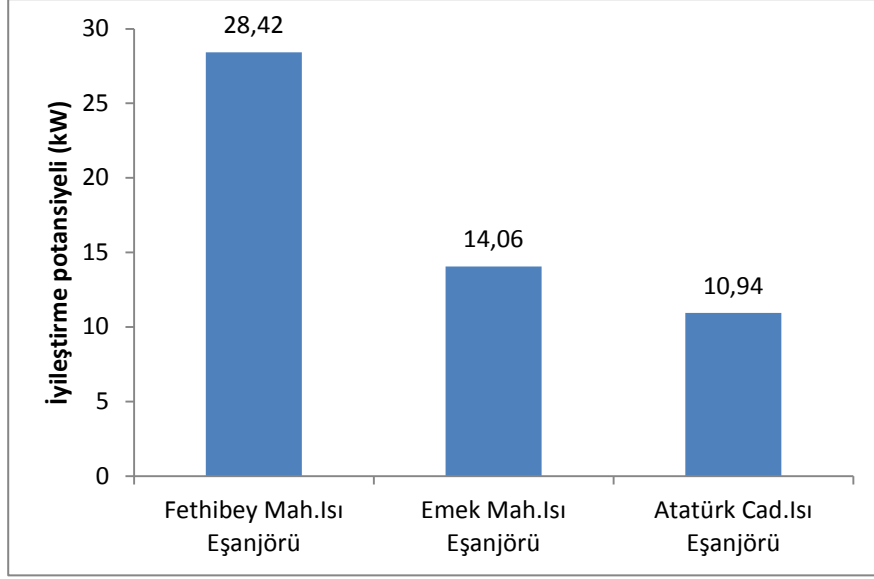
No	Ekipman	Ekserji kaybı akımı (kW)	Kullanılan güç (kW)	Kurulu güç (kW)	P (kW)	F (kW)	Ekserji verimi (%)
1	Emek Mah. Isı Eşanjörü	64,40	1319,55	5232,56	170,65	235,05	72,6
2	Fethibey Mah. Isı Eşanjörü	107,84	2213,75	10465,12	275,29	383,13	71,9
3	Atatürk Cad. Isı Eşanjörü	25,69	509,58	6395,35	63,21	88,89	71,1
4	Emek Mah. konut hattı ısı eşanjörleri	18,44	1181,53	-	138,05	156,50	88,2
5	Fethibey Mah. konut	31,86	2229,95	-	253,22	285,08	88,8

	hattı ısı eşanjörleri						
6	Atatürk Cad. konut hattı ısı eşanjörleri	31,45	1867,23	-	218,17	249,62	87,4
7	HK-2 Kuyu Pompası	9,25	16,1	55,00	6,85	16,1	42,5
8	HK-8 Kuyu Pompası	12,52	20,5	55,00	7,98	20,5	38,9
9	Emek Mah. Sirkülasyon Pompası	22,96	38,1	45,00	15,14	38,1	39,7
10	Fethibey Mah. Sirkülasyon Pompası	13,36	29,5	75,00	16,14	29,5	54,7
11	Atatürk Cad. Sirkülasyon Pompası	36,47	58	90,00	21,53	58	37,1%
12	Fuel oil Kazanı	2084,62	1796,87	2325,58	242,20	2326,82	10,4

Tablo 5.44: Önemli sistem bileşenlerinin ortalama ekserji verimleri.

Ekipman adı	Ekserji verimi (%)
Emek Mah. hattı ısı eşanjörü	71,4
Fethibey Mah. hattı ısı eşanjörü	71,7
Atatürk Cad. hattı ısı eşanjörü	69,4
Emek Mah. konut hattı ısı eşanjörleri	86,0
Fethibey Mah. konut hattı ısı eşanjörleri	88,0
Atatürk Cad. konut hattı ısı eşanjörleri	89,9
HK-2 Kuyu Pompası	43,7
HK-8 Kuyu Pompası	38,4
Emek Mah. hattı Sirkülasyon Pompası	43,2
Fethibey Mah. hattı Sirkülasyon Pompası	57,0
Atatürk Cad. hattı Sirkülasyon Pompası	38,8
Fuel oil Kazanı	10,5

Bigadiç JBIS ısıtma zonlarında bulunan ısı eşanjörleri için iyileştirme potansiyeli $IP = (1 - \varepsilon)(\dot{E}x_g - \dot{E}x_c)$ eşitliğine göre hesaplanarak Şekil 5.44'de verilmiştir. Buna göre en büyük potansiyel iyileştirme 28,42 kW ile Fethibey Mahallesi ısı eşanjöründe olup bunu 14,06 kW ile Emek Mahallesi, 10,94 kW ile de Atatürk Caddesi ısı eşanjörleri izlemektedir.



Şekil 5.44: Isı eşanjörlerinin ekserjetik iyileştirme potansiyelleri.

2011-2012 yılları ısıtma döneminde Bigadiç JBIS'de kullanılan fuel oil kazanının kazan verimi, (4.30) eşitliğine göre %82,63 olarak bulunmuştur. Bu değer benzer bir kazandan beklenen verimden yaklaşık %10 daha düşüktür. Isıtma sezonu sürecinde ortalama %10,5'lik ekserji verimiyle fuel oil kazanı, ekserji verimi en düşük olan sistem bileşenidir (Tablo 5.44). Kazana giren yakıtların toplam ekserjisi 2326,82 kW iken bunun yalnızca 242,20 kW'ı kazan suyuna aktarılabilmişken, 2084,62 kW'lık ekserji kaybı meydana gelmiştir (Tablo 5.43). Kazanda meydana gelen ekserji kayıpları, baca gazı ile dışarı atılan ekserji kaybı, kazan yüzeylerinden olan ekserji kaybı ve kazanda meydana gelen tersinmezliklerden oluşmaktadır.

Fuel oil kazanında kullanılan kalorifer yakıtına ait özellikler Tablo 5.45'de verilmiştir. Tablodaki değerler çeşitli kaynaklardan derlenmiştir. Kazanda yapılan baca gazı analiz sonuçları ise Tablo 5.46'da verilmiştir. Buna göre yüksek baca gazı sıcaklığı (328,9°C) ve yakma havasındaki hava fazlalığının (hava fazlalık katsayısının, $\Lambda=1,28$), büyük olması nedeniyle baca gazları ile önemli ölçüde duyulur ısı kaybı gerçekleşmektedir. Yani yanmaya katılmayan %28 oranındaki fazla hava, 21,5°C sıcaklığındaki kazan dairesi sıcaklığından alınarak 328,9°C sıcaklığa kadar ısıtılıp baca ile dışarı atılmaktadır. Fuel oil kazanları için Λ değerinin ideal değer aralığı 1,1-1,2 arasındadır.

Tablo 5.45: Kalorifer yakıtının kütleli analizi.

C	H	O	N	S	Hu	Ex
%	%	%	%	%	kJ/kg	kJ/kg
84	11	1,1	2,55	1,35	40585	43425

Tablo 5.46: Fuel oil kazanında yapılan baca gazı analiz sonuçları.

% O ₂	ppm CO	ppm NO	ppm NO ₂	ppm NO _x	ppm SO ₂	ppm HC	% Vrm Net	Lambda	°C To	°C Tb	% CO ₂
4,9	134	223	0,0	223,0	354	92	84,9	1,28	21,5	328,9	11,8

Kazanlarda duman boruları içine yerleştirilen türbülötör ve kazan çıkışına yerleştirilen ekonomizör veya hava ısıtıcısı sistemleriyle baca gazı sıcaklıklarının düşürülmesi ve böylece baca gazı kayıplarının azaltılması mümkündür. Kazanlarda düşük sıcaklık korozyonu oluşmaması için kazanı terk eden duman gazı sıcaklıklarının belirli bir değerin altına düşmemesi gerekir. Bu değerler yakıt türü ve yakıt bünyesindeki kükürt miktarına bağlı olarak asit çığ noktası (duman gazlarında yoğuşmanın başladığı nokta) ile sınırlıdır. Bigadiç JBIS fuel oil kazanında yakıt içerisindeki kükürt ve baca gazındaki O₂ oranına göre kazanı terk edebilecek minimum baca gazı sıcaklığı 150 °C olarak tespit edilmiştir. Daha sonra literatürdeki diyagramlar kullanılarak, yakıtın alt ısı değeri ve hava fazlalık katsayısına göre özgül duman gazı miktarı (Nm³/kg) ve duman gazı sıcaklığına göre baca gazlarının ortalama özgül ısı (C_{pm}) (kJ/Nm³) elde edilmiştir [103]. 328,9 °C olan mevcut baca gazı sıcaklığının, kullanılacak bir ekonomizör yardımıyla 150 °C'ye kadar düşürülmesiyle elde edilebilecek tasarruf miktarları ve yeni kazan verimi, kazanın yıllık çalışma süresi dikkate alınarak Tablo 5.47'de verilmiştir. Buna göre kazan veriminin %8,9 artmasıyla 2016 yılı parasal karşılığı 120826 TL olan yıllık 69,43 ton kalorifer yakıtı tasarruf edilmesi mümkün olabilecektir.

Tablo 5.47: Ekonomizör kullanımı sayesinde kazan veriminde elde edilebilecek artış ve yakıt tasarrufu miktarı.

Tasarruf edilecek ısı miktarı (kW)	Tasarruf edilecek kalorifer yakıtı (ton/yıl)	Yıllık parasal tasarruf (2016 kalorifer yakıtı birim fiyatına göre, TL)	Kazan verimindeki artış (%)
183	69,43	120826	8,9

5.3.2 2016 Yılı Enerji ve Ekserji Analizi Sonuçları

2011 ve 2012 yıllarına göre, 2016 yılında Bigadiç JBIS'nin işletme koşullarında meydana gelen en önemli değişiklikler:

- Konutlarda, ısı enerjisi kullanım miktarına göre ısınma bedeli ödenmesini sağlayan kalorimetre uygulamasına geçilmesi
- Artan abone sayısına paralel olarak toplam ısıtma alanının %14,4 artışla 135244 m²'den 154800 m²'ye yükselmesi ve
- 2011-2012 yıllarında etkin bir şekilde kullanılan fuel oil kazanının yerine kömür yakıtlı kazan kullanılması

olarak sıralanabilir.

Bigadiç JBIS'nin güncel performansının değerlendirilmesine yönelik olarak 2016 yılında gerçekleştirilen enerji ve ekserji analizleri, Mart ve Nisan ayları içerisindeki 5,3 °C, 8°C ve 11,8 °C referans sıcaklıklarında yapılan çalışmaları kapsamaktadır (Tablo 5.48).

Tablo 5.48: 2016 yılındaki analizler için seçilen günler ve bu günlerdeki bazı işletme parametreleri.

Analiz tarihi	Referans sıcaklığı (°C)	Yük faktörü (%)	Üretilen jeotermal enerji		Toplam enerji girdisi (kW)	Isı destek ünitesi kullanım durumu	Yıllık çalışma süresi (Gün)
			Sıcaklığı (°C)	Debisi (kg/s)			
27.03.2016	5,3	57	91,49	21,3	10087	Kömür kazanı	31
20.03.2016	8	46	92,95	22,13	9800	Kömür kazanı	37
03.04.2016	11,8	32	92,95	21,26	7565	Kazan kullanılmıyor	78

Bigadiç JBIS'nin 2016 yılı için önemli termodinamik noktaları Şekil 4.2 ve 4.3'de gösterilmiş olup, bu noktalara ait sıcaklık, basınç, kütleli debi ile enerji ve ekserji akımları Tablo 5.49 ve 5.50'de verilmiştir.

Tablo 5.49: 2016 yılı için Bigadiç JBIS'nin Şekil 4.2 ve 4.3'de belirtilen termodinamik noktalarına ait değer ve özellikler.

Akışkan	5,3°C			8°C			11,8°C			
	Sıcaklık	Basınç	Debi	Sıcaklık	Basınç	Debi	Sıcaklık	Basınç	Debi	
No	T	P	\dot{m}	T	P	\dot{m}	T	P	\dot{m}	
	(°C)	(kPa)	(kg/s)	(°C)	(kPa)	(kg/s)	(°C)	(kPa)	(kg/s)	
0	S	5,3	101,3	-	8	101,3	-	11,8	101,3	-
1	JS	91	101,3	9,6	91	101,3	10	91	101,3	9,8
2	JS	91,5	332	9,6	91,5	332	10	91,5	332	9,8
3	JS	98	303	11,7	98	303	12,13	98	303	11,46
4	JS	98,5	445	11,7	98,5	445	12,13	98,5	445	11,46
5	JS	91,49	101,3	0,97	92,95	101,3	0,97	92,95	101,3	0,96
6	JS	91,49	101,3	20,33	92,95	101,3	21,16	92,95	101,3	20,3
7	JS	79,52	101,3	20,33	81,06	101,3	21,16	80,39	101,3	20,3
8	JS	79,52	101,3	5,89	81,06	101,3	5,54	80,39	101,3	4,17
9	JS	44,5	101,3	5,89	47,52	101,3	5,54	51,12	101,3	4,17
10	S	43,66	940	29,51	45,05	940	26,1	50,01	940	27,9
11	S	50,67	800	29,51	52,2	800	26,1	54,43	800	27,9
12	JS	79,52	101,3	11,34	81,06	101,3	8,87	80,39	101,3	8,73
13	JS	43,75	101,3	11,34	45,13	101,3	8,87	46,84	101,3	8,73
14	S	42,49	650	58	44,11	650	53,8	45,59	650	49
15	S	49,52	450	58	50,1	450	53,8	51,6	450	49
16	JS	79,52	101,3	3,1	81,06	101,3	6,75	80,39	101,3	7,4
17	JS	45,77	101,3	3,1	45,8	101,3	6,75	46,62	101,3	7,4
18	S	44,24	550	54	45,43	550	50,84	45,16	550	41
19	S	46,18	480	54	50,13	480	50,84	51,67	480	41
20	JS	44,82	101,3	20,33	46,11	101,3	21,16	47,52	101,3	20,3
21	JS	44,82	101,3	10,43	46,11	101,3	11,26	47,52	101,3	10,4
22	JS	44,82	460	9,9	46,11	460	9,9	47,52	460	9,9
22'	JS	24,82	101,3	9,9	26,21	101,3	9,9	27,52	101,3	9,9
23	S	-	-	-	-	-	-	51,92	680	41
23b	S	49,52	450	58	50,1	450	53,8	-	-	-
24	S	48,19	480	112	50,14	480	104,64	51,32	615	41
25	S	51,5	380	54	53,05	380	50,84	45,76	615	41
26	S	51,75	680	54	53,3	680	50,84	39,32	250	57,2
27	S	51,27	615	54	52,78	615	50,84	43,32	250	57,2
28	S	44,72	615	54	45,95	615	50,84	51,8	680	49
29	S	39,27	250	88,6	40,78	250	87,07	50,98	665	49
30	S	43,27	250	88,6	44,78	250	87,07	46,41	665	49
31	S	51,5	380	58	53,05	380	53,8	38,98	250	56,04
32	S	51,5	450	58	53,05	450	53,8	42,98	250	56,04
33	S	51,7	680	58	53,25	680	53,8	54,63	1200	27,9
34	S	50,95	665	58	52,5	665	53,8	53,75	1120	27,9
35	S	43,24	665	58	44,86	665	53,8	50,89	1120	27,9
36	S	38,95	250	111,51	40,5	250	102,77	41,75	250	19,93
37	S	42,95	250	111,51	44,5	250	102,77	45,75	250	19,93
38	S	50,87	1200	29,51	52,4	1200	25,5	51,32	615	41
39	S	50,2	1120	29,51	51,73	1120	25,5	45,76	615	41

40	S	44,33	1120	29,51	45,72	1120	25,5	39,32	250	57,2
41	S	38,2	250	43,29	39,73	250	38,33	43,32	250	57,2
42	S	42,2	250	43,29	43,73	250	38,33	-	-	-

Tablo 5.50: 2016 yılı için Bigadiç JBIS'nin Şekil 4.2 ve 4.3'de belirtilen termodinamik noktalarına ait enerji ve ekserji akımları.

		5,3°C		27.03.2016		8°C		20.03.2016		11,8°C		03.04.2016	
Akışkan		Ekserji oranı		Enerji oranı		Ekserji oranı		Enerji oranı		Ekserji oranı		Enerji oranı	
		Ẃx		Ẃ		Ẃx		Ẃ		Ẃx		Ẃ	
No		(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)
0	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	JS	442,22	3444,67	430,89	3474,90	382,97	3249,48	447,30	3465,79	436,02	3496,90	387,78	3271,04
2	JS	624,65	4544,51	608,89	4574,10	525,82	4139,12	630,84	4570,25	615,11	4600,79	531,44	4164,33
3	JS	45,00	350,00	43,48	345,02	39,10	326,19	943,20	7335,47	948,44	7526,40	826,72	6897,53
4	JS	715,15	6314,90	717,37	6468,40	605,20	5825,69	207,19	1829,55	187,82	1693,52	124,32	1196,71
5	JS	64,17	967,84	58,73	915,71	43,40	685,88	322,86	4757,60	266,09	4063,51	299,22	4480,18
6	JS	432,69	5619,29	362,16	4841,29	357,43	4990,75	398,91	3522,43	300,71	2711,47	260,26	2505,34
7	JS	119,64	1828,23	83,39	1377,42	72,90	1279,64	587,46	9054,96	513,95	8155,54	405,77	6947,22
8	S	792,02	10748,56	663,84	9489,78	538,89	8172,22	109,05	962,92	228,84	2063,41	220,61	2123,65
9	JS	35,87	525,82	65,66	1067,11	61,25	1078,03	586,91	8819,28	511,50	7981,37	331,14	5739,18
10	S	640,88	9256,68	631,76	8977,84	452,70	6850,28	217,46	3360,96	208,94	3372,69	174,88	3032,41
11	JS	111,57	1724,29	111,19	1794,73	89,59	1553,55	110,13	1640,63	102,27	1581,92	88,82	1481,83
12	JS	27,24	809,03	23,36	754,28	17,62	651,22	792,02	10748,56	663,84	9489,78	465,68	6899,48
13	S	-	-	-	-	-	-	23b	S	792,02	10748,56	663,84	9489,78
14	S	1452,95	20139,84	1297,37	18478,38	453,14	6796,98	24	S	1452,95	20139,84	1297,37	18478,38
15	S	795,27	10450,08	709,49	9593,00	342,52	5841,68	25	S	795,27	10450,08	709,49	9593,00
16	S	818,86	10520,28	731,27	9659,09	309,07	6594,02	26	S	818,86	10520,28	731,27	9659,09
17	S	802,58	10412,28	713,76	9547,24	397,19	7549,26	27	S	802,58	10412,28	713,76	9547,24
18	S	605,58	8932,68	526,15	8093,22	554,38	8221,22	28	S	605,58	8932,68	526,15	8093,22
19	S	728,16	12609,55	661,34	11953,84	534,39	8054,62	29	S	728,16	12609,55	661,34	11953,84
20	S	895,30	14089,17	820,43	13407,91	427,87	7118,72	30	S	895,30	14089,17	820,43	13407,91
21	S	854,18	11224,16	750,79	10151,52	297,80	6381,84	31	S	854,18	11224,16	750,79	10151,52
22	S	854,18	11224,16	756,17	10156,90	382,54	7317,70	32	S	854,18	11224,16	756,17	10156,90
23	S	877,61	11287,96	772,16	10210,70	372,63	5024,23	33	S	877,61	11287,96	772,16	10210,70
24	S	854,46	11108,16	746,72	10038,54	358,44	4921,00	34	S	854,46	11108,16	746,72	10038,54
25	S	605,76	9234,76	530,99	8322,32	315,41	4586,20	35	S	605,76	9234,76	530,99	8322,32

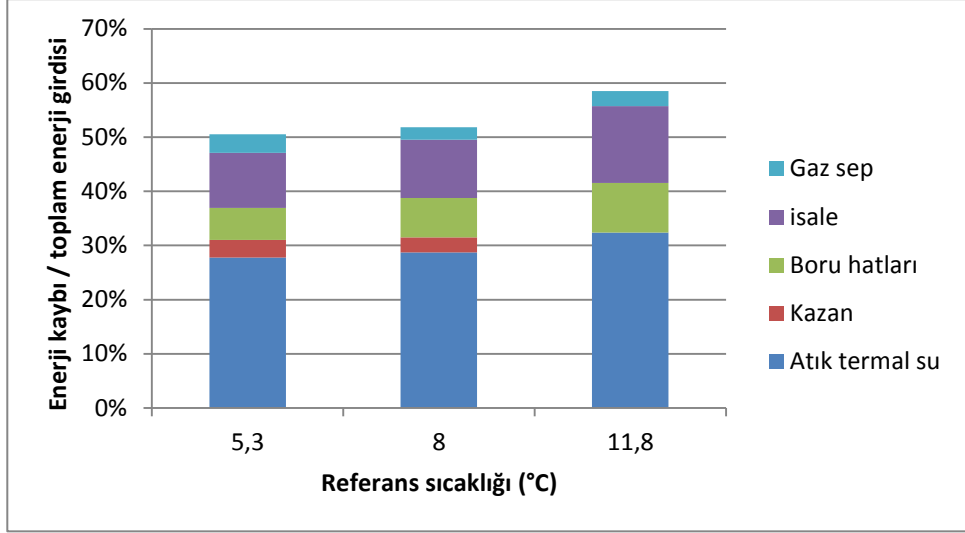
36	S	893,84	15713,99	764,17	13985,97	124,98	2498,82
37	S	1112,25	17587,36	951,95	15702,23	159,95	2833,65
38	S	448,38	5654,71	367,23	4760,60	-	-
39	S	433,47	5569,13	354,94	4686,65	-	-
40	S	339,90	4846,13	274,10	4046,60	-	-
41	S	333,35	5966,23	273,35	5093,67	-	-
42	S	412,60	6689,17	341,23	5733,78	-	-

Bigadiç JBIS için 2016 yılında seçilen referans sıcaklıklarına göre elde edilen enerji analizi sonuçlarına ait bazı bulgular Tablo 5.51 ve Şekil 5.45- 5.47'de özetlenmiştir. Tablo 5.51, farklı referans sıcaklıklarında Bigadiç JBIS'de sisteme giren toplam ısıl gücü, bu gücün ne kadarının kullanıldığını ve sistemde meydana gelen enerji kayıplarının nerelerde ve hangi büyüklükte olduğunu göstermektedir. Buna göre sistemde meydana gelen enerji kayıplarının en büyük bölümü ısı alındıktan sonra atılan jeotermal suyun deşarjı esnasında meydana gelmektedir. Bu kayıpları sırasıyla, isale hattında meydana gelen ısı kayıpları, dağıtım hatlarındaki ısı kayıpları ile gaz separatörü ve kazanda meydana gelen kayıplar izlemektedir.

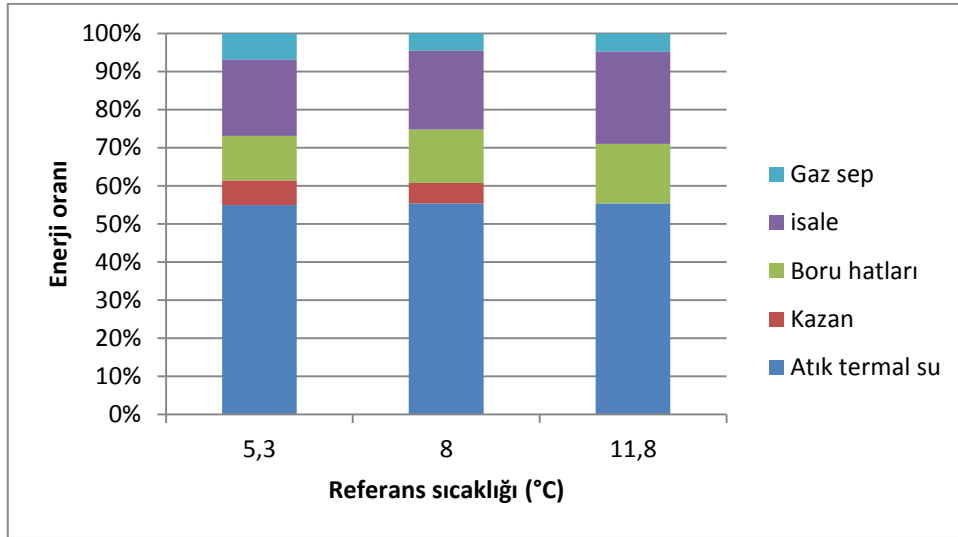
Tablo 5.51: Farklı referans sıcaklıkları için Bigadiç JBIS'nin enerji analizi sonuçları (2016).

Ref. sıcaklığı (°C)	Toplam Enerji Girdisi	Kullanılan güç (kW)		Enerji kayıpları (kW)					Enerji verimi (%)
		Isıtma + sıcak su	Jeotermal su	Atık termal su	İsale hattı	Boru hatları	Gaz seperatörü	Kazan	
5,3	10087	4076	913	2802	1021	595	351	330	49,45
8	9800	3810	909	2813	1058	712	226	272	48,15
11,8	7565	2226	911	2451	1072	694	212	-	41,47

Farklı referans sıcaklıklarına göre sistemdeki tüm enerji kayıplarının %55'ini oluşturan atık jeotermal su kayıpları, sisteme olan toplam enerji girdilerinin %27-32'lik bölümünü oluşturmaktadır. İkinci en büyük enerji kayıp noktası olan isale hattı kayıpları ise toplam kayıpların %20-24'ünü oluşturmakta ve sisteme olan toplam enerji girdilerinin %10-14'ü bu hatta harcanmaktadır.

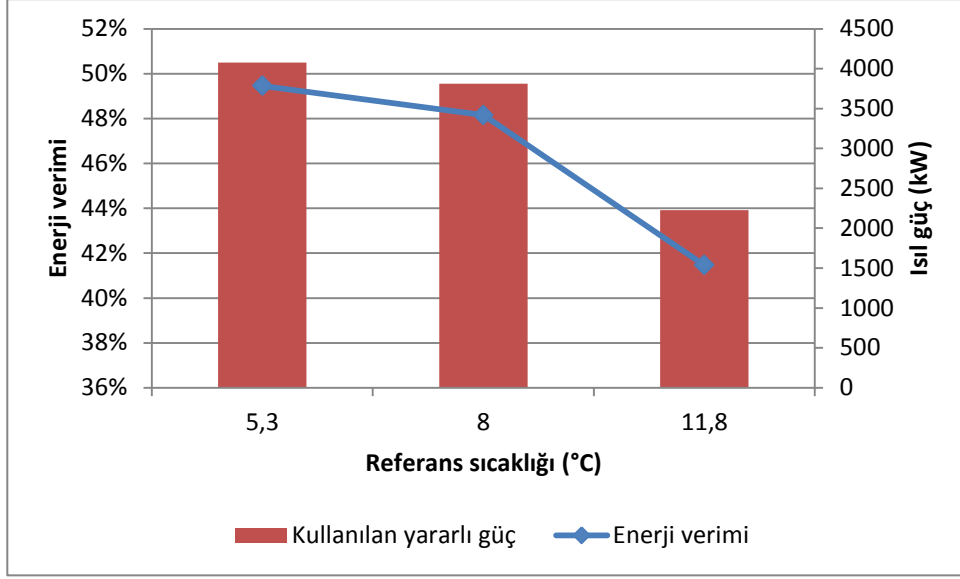


Şekil 5.45: Bigadiç JBIS’de meydana gelen enerji kayıplarının toplam enerji girdisine oranları (2016).



Şekil 5.46: Bigadiç JBIS’de meydana gelen enerji kayıp bileşenlerinin toplam enerji kayıplarındaki payı (2016).

Şekil 5.47’de Bigadiç JBIS’nin 2016 için enerji veriminin referans sıcaklıklarına göre değişimi verilmiştir. Buna göre ısıtma sezonu içerisindeki en yüksek enerji verimi 5,3°C referans sıcaklığında %49,45 olarak, en düşük enerji verimi ise 11,8°C referans sıcaklığında %41,47 olarak kaydedilmiştir. Referans sıcaklıklarının artmasıyla sistemdeki enerji kayıp oranları hemen hemen aynı kalmakta ancak konutların ısıtılmasında kullanılan yararlı güçte belirgin bir azalma görülmektedir.



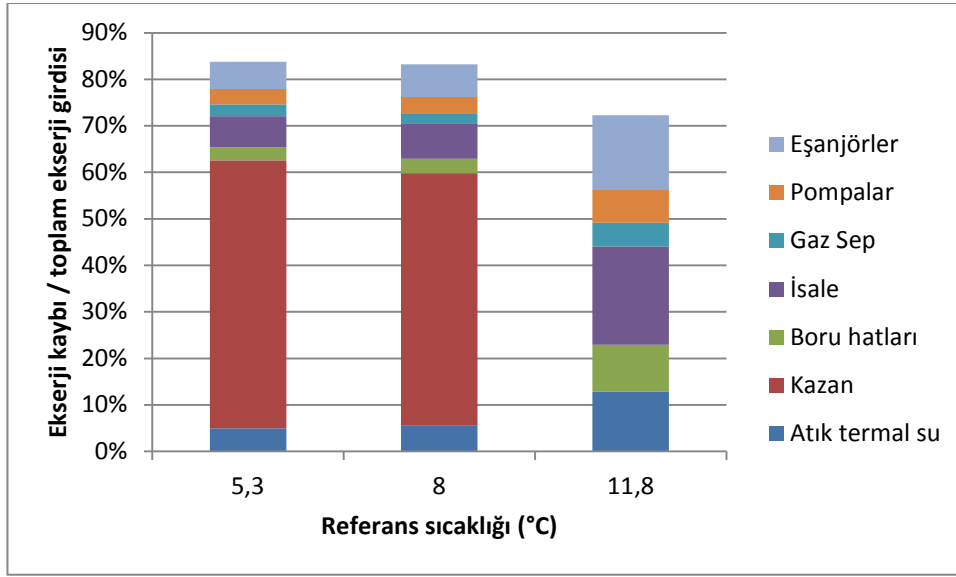
Şekil 5.47: Bigadiç JBIS enerji veriminin referans sıcaklıklarına göre değişimi (2016).

Bigadiç JBIS için 2016 yılında seçilen referans sıcaklıklarına göre elde edilen ekserji analizi sonuçlarına ait bazı bulgular Tablo 5.52 ile Şekil 5.48- 5.50'de özetlenmiştir. Tablo 5.52, farklı referans sıcaklıklarında Bigadiç JBIS'de sisteme olan toplam ekserji girdisini, bu girdinin ne kadarının kullanıldığını ve sistemde meydana gelen ekserji kayıplarının nerelerde ve hangi büyüklükte olduğunu göstermektedir. Buna göre sistemde meydana gelen ekserji kayıplarının en büyük bölümü kazanda meydana gelmektedir. Bu kayıpları sırasıyla, isale hattında, eşanjörlerde, atık jeotermal su ile birlikte, boru hatlarında, gaz separatöründe ve pompalarda meydana gelen ekserji kayıpları izlemektedir.

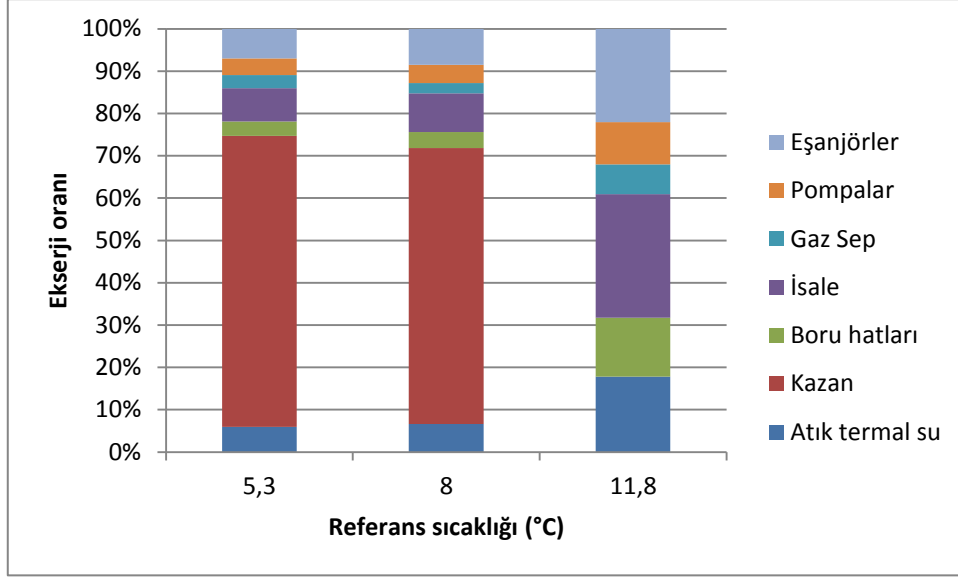
Tablo 5.52: Farklı referans sıcaklıkları için Bigadiç JBIS'nin ekserji analizi sonuçları (2016).

Ref. sıcaklığı (°C)	Toplam ekserji girdisi	Üretilen ekserji (kW)		Ekserji kayıpları (kW)							Ekserji verimi (%)
		Isıtma-sıcak su	Jeotermal su	Atık termal su	Kazan	Boru hatları	İsale hattı	Gaz separatörü	Pompalar	Eşanjörler	
5,3	3446	465	94	172	1985	98	228	90	113	202	16,23
8	3015	415	91	166	1637	93	231	59	110	213	16,76
11,8	1049	208	83	135	-	106	222	53	76	167	27,70

Farklı referans sıcaklıklarına göre sistemdeki tüm ekserji kayıplarının %65-68'ini oluşturan kazan kayıpları, sisteme olan toplam ekserji girdilerinin %54-57'lik bölümünü oluşturan en önemli kayıp noktasıdır. İkinci en büyük ekserji kayıp noktası olan isale hattı kayıpları ise toplam kayıpların %7-29'unu oluşturmakta ve sisteme olan toplam ekserji girdilerinin %6-21'i bu hatta yok olmaktadır. Sistemde bulunan plakalı ısı eşanjörlerinde de önemli ekserji kayıpları söz konusudur. Bu bileşenlerde meydana gelen ekserji kayıplarının toplam ekserji kayıpları içindeki payı %7-22 arasında değişmekte olup, sisteme olan toplam ekserji girdilerinin %6-16'lık bölümü burada yok olmaktadır (Şekil 5.48, 5.49).

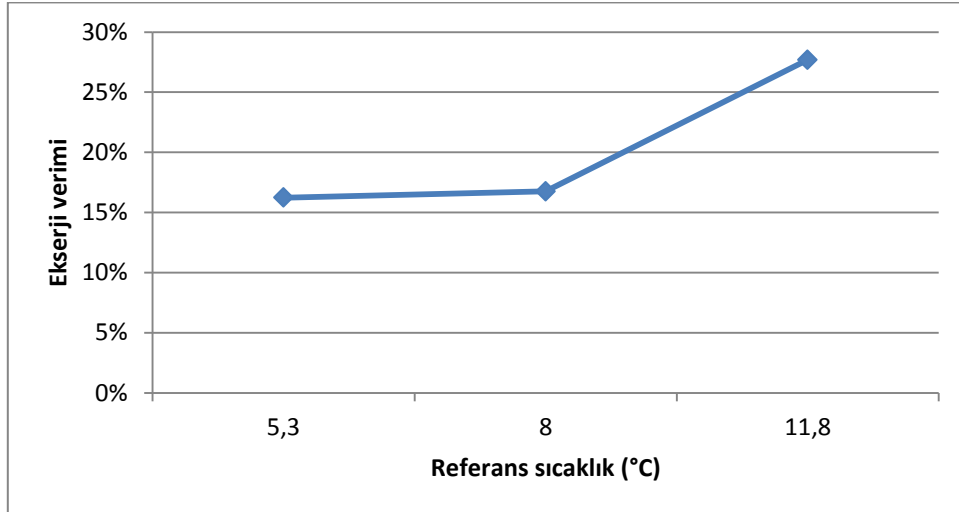


Şekil 5.48: Bigadiç JBIS'de meydana gelen ekserji kayıplarının toplam ekserji girdisine oranları (2016).



Şekil 5.49: Bigadiç JBIS’de meydana gelen ekserji kayıp bileşenlerinin toplam ekserji kayıplarındaki payı (2016).

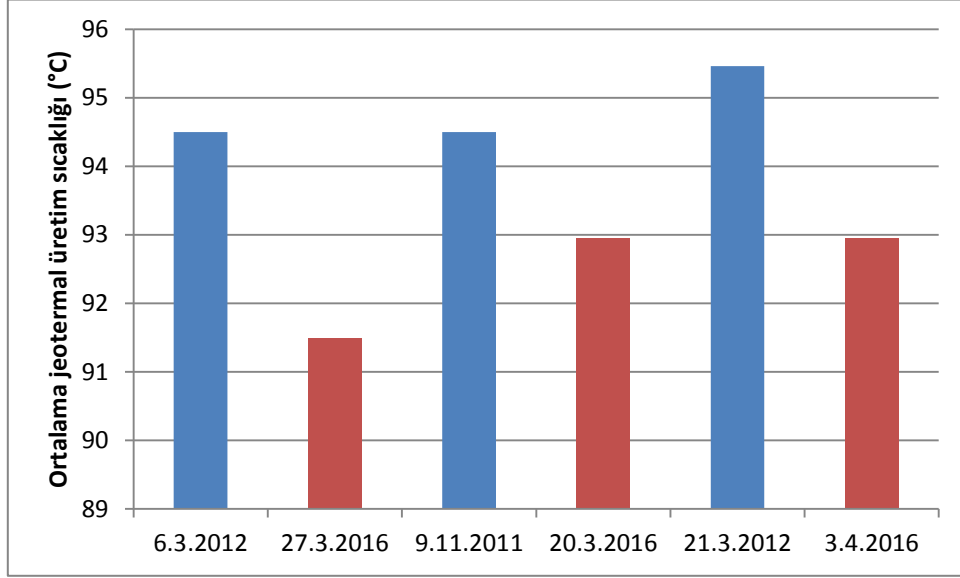
Şekil 5.50’de 2016 yılı için Bigadiç JBIS ekserji veriminin referans sıcaklıklarına göre değişimi verilmiştir. Buna göre ısıtma sezonu içerisindeki en yüksek ekserji verimi kazan desteğinin sağlanmadığı 11,8°C referans sıcaklığında %27,70 olarak, en düşük ekserji verimi ise 5,3°C referans sıcaklığında %16,23 olarak kaydedilmiştir. Kazanda meydana gelen ekserji kayıplarının büyük olması, kazan destekli ısıtma dönemlerindeki ekserji verimini düşürmektedir.



Şekil 5.50: Bigadiç JBIS ekserji veriminin referans sıcaklığına göre değişimi (2016).

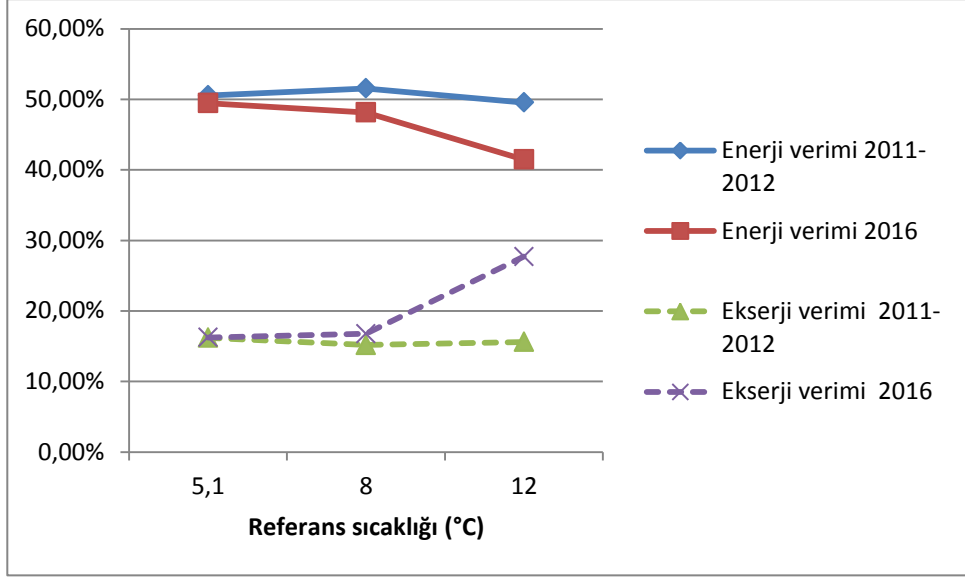
Bigadiç JBIS’nin 2011, 2012 yıllarına ait eski işletme koşulları için yapılan analizler ile 2016 yılında yapılan güncel analizlerin sonuçları, birbirine yakın referans sıcaklıkları için karşılaştırılarak aşağıdaki tablo ve şekillerde özetlenmiştir. Buna

göre 2016 yılında Bigadiç JBIS’de jeotermal kuyuların ortalama üretim sıcaklıklarının 2011 ve 2012 yıllarındaki sıcaklıklara göre ortalama 2,35 °C düştüğü görülmüştür. 2011, 2012 analiz dönemlerinde ortalama kuyu başı sıcaklıkları 94,5 - 95,46 °C arasında değişirken, bu değerlerin 2016 yılında yapılan analizlerde 91,49 - 92,91 °C aralığında değişim gösterdiği görülmüştür (Şekil 5.51).



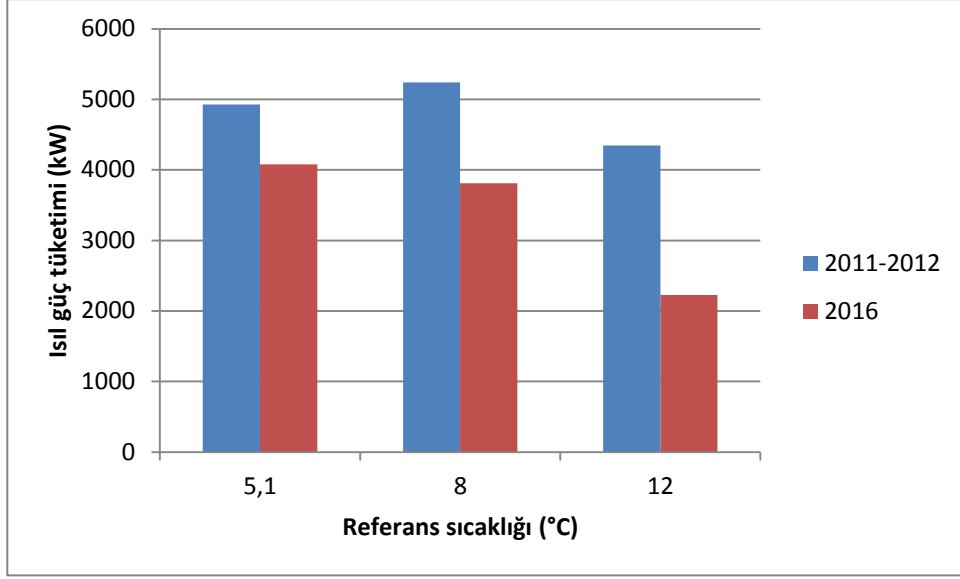
Şekil 5.51: 2016 yılı Bigadiç JBIS ortalama jeotermal akışkan üretim sıcaklıkları.

Sistemin eski ve güncel durumdaki enerji ve ekserji verimleri karşılaştırıldığında, 2016 yılındaki enerji verimlerinin sıcaklıkların artmasıyla belirgin bir şekilde azaldığı, ancak 2011, 2012 yıllarında sıcaklık değişiminin enerji verimleri üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Ayrıca 2016 yılındaki enerji verimlerin, 2011, 2012 enerji verimlerinden ortalama %4,2 daha küçük olduğu görülmüştür. Enerji verimlerindeki bu düşüş, 2016 yılında üretilen enerjinin daha az bir bölümünün konutların ısınmasında kullanıldığı anlamına gelmektedir (Şekil 5.52).



Şekil 5.52: Bigadiç JBIS 2011-2012 ve 2016 yılları enerji ve ekserji verimlerinin karşılaştırılması.

2016 yılında Bigadiç JBIS'deki konutlarda kalorimetre uygulamasının etkin bir şekilde kullanımı neticesinde sistemdeki aboneler, sistem tarafından sağlanan ısıyı daha kontrollü bir şekilde tüketerek 2011 ve 2012 yıllarına göre daha az enerji tüketmiştir (Şekil 5.53). Enerji tüketiminde kalorimetre kullanımı neticesinde gözlenen bu azalma başlıca iki temel değişiklik sonucu ortaya çıkmıştır: Bunlardan birincisi, tüketilen ısı kadar ısınma bedeli ödenmesiyle birlikte, kullanıcıların binalarında ısı tasarrufuna yönelik tedbir almaya başlamasıdır. Yapılan incelemelerde kalorimetre kullanımının başladığı Şubat 2015'ten sonra binalarda dış duvar ve çatı izolasyonu uygulamalarında önemli bir artış olduğu gözlenmiştir. İkinci değişiklik ise tüketim davranışlarında meydana gelmiştir. Kalorimetre uygulaması öncesinde binalara 24 saat boyunca kontrolsüz bir şekilde giren ısıtma suyu, kalorimetre kullanımıyla birlikte ihtiyaca göre konutlara alınmaya başlanmış, binalarda meydana gelen havalandırma kayıpları daha düşük seviyeye indirilmiştir.



Şekil 5.53: Bigadiç JBIS 2011-2012 ve 2016 yılları ısı güç tüketim oranları.

Tablo 5.53'de, 2011, 2012 yıllarıyla 2016 yılı için birbirlerine yakın referans sıcaklıklarında yapılan enerji analiz sonuçları verilmiştir. Buna göre 2012 ve 2016 yıllarında sırasıyla 5,1 ve 5,3°C referans sıcaklıklarında yapılan analizlere göre, 2016 yılında sistemde bulunan binaların ısı güç tüketimi 2012 yılına göre %17,29 azalarak 4928 kW'tan 4076 kW'a düşmüştür. 2011, 2012 yıllarında 135244 m² olan toplam ısıtma alanı 2016 yılında 154800 m²'ye çıkmıştır. Buna göre, konut başına düşen ısı güç tüketimi ise 2012 yılına göre %27,74 azalmıştır. Aynı referans sıcaklık aralığında, 2016 yılında kazan tarafından sağlanan ısı güç 2012 yılına göre %19,52 azalmıştır. 2016 yılında Bigadiç JBIS ısı merkezine giren ve çıkan jeotermal akışkan sıcaklıkları arasındaki fark (Delta T) 2012'nin aynı dönemine göre 4°C daha küçülmüştür.

Tablo 5.53: Bigadiç JBIS 2011-2012 yılları ile 2016 yılları genel enerji karşılaştırması.

Gün-Ay	Yıl	Ref. sıcaklığı (°C)	Global radyasyon değeri (kWh/m ² -gün)	Delta T (°C)	Toplam enerji girdisi (kW)	Binaların güç tüketimi (kW)	Isıl güç tüketiminde azalma (%)	Kazanla sağlanan ısı güç (kW)	Yakıt tüketiminde azalma (%)
6 Mart	2012	5,1	3,64	39	11554	4928		1906	
27 Mart	2016	5,3	4,73	35	10087	4076	17,29 (27,74)	1534	19,52
9 Kasım	2011	8	2,02	40	11932	5239		2311	
20 Mart	2016	8	3,89	35	9800	3810	27,27 (36,46)	1266	45,21
21 Mart	2012	12	4,84	38	10601	4344		1278	
3 Nisan	2016	11,8	4,40	33	7565	2226	48,75 (55,23)	0	100,00

Referans sıcaklığının artmasıyla eski ve yeni dönem ısı güç tüketimlerindeki fark daha da artmış ve 8°C referans sıcaklığında 1429 kW'a çıkmıştır. Buna göre 8°C referans sıcaklığı için, 2016 yılında Bigadiç JBIS'de bulunan binalar 2011 yılının aynı dönemine göre %27,27 daha az ısı güç tüketmiştir. Aynı referans sıcaklık aralığında, 2016 yılında konut başına ısı güç tüketimi %36,46, yakıt tüketimindeki azalma ise %45,21 olmuştur (Tablo 5.54).

11,8-12 °C referans sıcaklık aralığında yapılan analiz sonuçlarına göre 2011 yılında kazan tarafından sisteme 1278 kW'lık ısı güç sağlanırken, 2016 yılının aynı döneminde kazanın çalıştırılmadığı görülmektedir. Bu referans sıcaklık aralığında, 2016 yılındaki ısı güç tüketiminde %48,75, konut başına ısı güç tüketiminde ise %55,23 azalma gözlenmiştir (Tablo 5.54).

Sistemin eski ve güncel durumdaki enerji ve ekserji verimleri karşılaştırıldığında, 2016 yılındaki enerji verimlerinin sıcaklıkların artmasıyla belirgin bir şekilde azaldığı, ancak 2011, 2012 yıllarında sıcaklık değişiminin enerji verimleri üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Ayrıca 2016 yılındaki enerji verimlerin, 2011, 2012 enerji verimlerinden ortalama %4,2 daha küçük olduğu görülmüştür. Enerji verimlerindeki bu düşüş, 2016 yılında üretilen enerjinin daha az bir bölümünün konutların ısınmasında kullanıldığı anlamına gelmektedir (Şekil 5.52).

Sistemin eski ve güncel durumdaki enerji ve ekserji verimleri karşılaştırıldığında, 2016 yılındaki enerji verimlerinin sıcaklıkların artmasıyla belirgin bir şekilde azaldığı, ancak 2011, 2012 yıllarında sıcaklık değişiminin enerji verimleri üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Ayrıca 2016 yılındaki enerji verimlerin, 2011, 2012 enerji verimlerinden ortalama %4,2 daha küçük olduğu görülmüştür. Enerji verimlerindeki bu düşüş, 2016 yılında üretilen enerjinin daha az bir bölümünün konutların ısınmasında kullanıldığı anlamına gelmektedir (Şekil 5.52).

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bigadiç JBIS, 3000 konut ısıtacak şekilde projelendirilen, 2004-2005 ısıtma sezonunda 300 abone ile işletilmeye başlanan ve 2005-2006 ısıtma sezonunda abone sayısı 1000'e ulaşan ülkemizdeki 20'yi aşkın JBIS'lerden biridir. Sistemde, 2016 yılı ısıtma sezonu itibarıyla 1548 aboneye hizmet verilmektedir. Bigadiç JBIS'nin çalışma koşulları, işletmeye alındığı 2004 yılından günümüze kadar geçen süreçte, sistem abonelerine ihtiyaçları doğrultusunda ısı enerjisi sağlanabilmesi ve enerji maliyetlerinin düşürülebilmesi adına, sürekli değişim göstermiştir. Başlangıçta 100 °C sıcaklık ve 100 l/s debi kapasitesinde jeotermal enerji üretimi ön görülen ve projelendirilmesi buna göre yapılan sistemde, aradan geçen 12 sene sonunda, günümüz itibarıyla sürekli ve etkin çalışma koşullarında ortalama 92 °C sıcaklık ve 20 l/s debide jeotermal enerji üretimi gerçekleştirilmektedir.

Jeotermal enerji dışında sisteme ilave ısı güç sağlanabilmesi için çeşitli dönemlerde farklı yakıtların kullanıldığı pik güç ünitelerinden yararlanılmıştır. Bu üniteler tüm dönemlerde, işletme maliyetlerinin önemli bir bölümünü oluşturmuştur. 2006 yılına kadar yakıt olarak LNG'nin kullanıldığı kazanlarda, 2006-2012 yılları arasında kalorifer yakıtı kullanılmıştır. Mart 2012'de sıvı ve gaz yakabilen kazan sistemleri yerini, katı yakıt kazanlarına bırakmış ve günümüzde pik güç ünitesi olarak halen bu kazanlardan yararlanılmaktadır.

Üretilen jeotermal enerji ve bu enerjiden yararlanan abone sayısı dikkate alındığında ülkemizdeki önemli JBS'lerden biri olan Bigadiç JBIS'de bugüne kadar, ölçümlere dayalı güncel sistem verilerinin kullanıldığı detaylı bir sistem değerlendirmesi yapılmamıştır. Ölçümlere dayalı güncel sistem verileriyle Bigadiç JBIS'nin yıllık enerji bilançosunun ortaya koyulması, sistem veriminin tespit edilmesi, sistemdeki enerji kayıplarının hangi bileşenlerde ve ne büyüklükte olduğunun tespiti ve buna göre iyileştirme önerilerinin sunulabilmesi için bu çalışmada, Bigadiç JBIS'nin enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Analizler, ısıtma sürecindeki farklı yük dalgalanmalarını kapsayabilmesi ve sistemin genel performansı hakkında daha doğru bilgi verebilmesi için 2011 ve 2012 yıllarındaki altı farklı dış sıcaklık koşulunda; kullanımına Şubat 2015'te başlanan kalorimetre uygulamasının etkilerini ortaya koyabilmesi için ise 2016 yılındaki üç farklı yük durumunda yapılmıştır. Böylece sistemin sadece yılın soğuk günleri için değil, mevsimsel geçiş dönemleri

için de değerlendirilebilmesi ve 2016 yılındaki güncel performansının ortaya koyulması amaçlanmıştır.

Bigadiç JBIS 2011 yılında 242 gün ısıtma ve sıcak su, 90 gün ise yalnızca sıcak su olmak üzere toplam 332 gün çalışmıştır. Sistem 2012 yılında ise 243 gün ısıtma ve sıcak su, 32 gün ise yalnızca sıcak su olmak üzere toplam 275 gün çalışmıştır. Geriye kalan günlerde tek kuyudan çıkarılan jeotermal su yalnızca balneoloji amaçlı ihtiyaçları karşılamak üzere termal tesislerin kullanımına sunulmuştur. Sistemde üretilen jeotermal enerjinin yetersiz olması nedeniyle, 2011 yılında, parasal karşılığı 1.697.990 TL olan yaklaşık 889 ton kalorifer yakıtı, 2012 yılında ise toplam parasal karşılığı 978.644 TL olan yaklaşık 374 ton kalorifer yakıtı ile 653 ton linyit yakılmıştır.

2011 ve 2012 yıllarında yapılan enerji ve ekserji analizleri sonuçları, dikkatleri öncelik sırasına göre, pik güç üniteleri (fuel oil kazanları), isale hattı, ısı merkezi eşanjörleri ve atık jeotermal suya çekmektedir. 2011 ve 2012 yıllarını içeren 2 yıllık çalışmalar sonucunda, bir ısıtma sezonunda sistemde meydana gelen en büyük enerji kaybının 13464 MWh ile atık jeotermal suyun tahliyesi esnasında meydana geldiği görülmüştür. Atık termal su kayıpları diğer enerji kayıplarıyla karşılaştırıldığında miktar bakımından en büyük değeri almış olsa da nispeten düşük kalitededir. Nitekim bu kayıpların ekserjisi 797 MWh olarak hesaplanmıştır. Kazanlarda meydana gelen enerji kayıplarının diğer enerji kayıplarına göre oldukça düşük olduğu (1585 MWh), buna rağmen en büyük ekserji kaybının 9058 MWh ile kazanlarda meydana geldiği ortaya çıkmıştır.

2011-2012 yıllarında etkin bir şekilde kullanılan fuel oil kazanlarında yapılan baca gazı ölçüm sonuçlarına göre, yüksek baca gazı sıcaklığı (328,9°C) ve yakma havasındaki hava fazlalığının (hava fazlalık katsayısının, $\Lambda=1,28$) büyük olması nedeniyle baca gazları ile önemli ölçüde duyulur ısı kaybı gerçekleştiği tespit edilmiştir. Nitekim kazanın ekserji verimi %10,5 düzeyindedir. 328,9 °C olan baca gazı sıcaklığının kullanılacak bir ekonomizör yardımıyla 150 °C'ye kadar düşürülmesi ile %82,63 olan kazan veriminin %91'e çıkarılması mümkün görülmektedir. Bu düzenlemeyle yılda 69,43 ton kalorifer yakıtının tasarruf edilebileceği hesaplanmıştır. Bu tasarrufun 2016 yakıt fiyatlarına göre parasal karşılığı ise yılda 120826 TL'dir. Kazanlarda duman boruları içine yerleştirilen türbülötör ve kazan çıkışına kurulan ekonomizör veya hava ısıtıcısı sistemleriyle baca gazı sıcaklıklarının düşürülmesi ve böylece baca gazı kayıplarının azaltılması gerekmektedir. 2016 yılında etkin bir şekilde kullanılan kömür kazanlarında da

büyük ekserji kayıplarının olduğu tespit edilmiştir. Fuel oil kazanlarına göre daha düşük olan baca gazı sıcaklıkları nedeniyle bu kazanlar için uygulanabilecek olası bir ekonomizör kullanımının çok fazla ekonomik olmayacağı düşünülmektedir. Bunun yerine, kullanılacak bir hava ısıtıcısı ile yakma havasının ısıtılması çok daha uygun görülmektedir. Bu sayede kazan veriminde %2 civarında bir artış sağlanabileceği tahmin edilmektedir.

Hisarköy jeotermal sahasında üretilen jeotermal akışkanı 18 km uzaklıktaki Bigadiç ilçesine ileten isale hattında meydana gelen enerji ve ekserji kayıpları sistemde meydana gelen kayıpların önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. İsale hattında ortalama 95°C sıcaklıktaki jeotermal akışkanın iletilmesi ve isale hattı ısı yalıtım kalınlığının yetersiz olması burada meydana gelen ısı kayıplarını önemli ölçüde arttırmaktadır. Hat borularının ısı izolasyon kalınlığı 3,54 cm olup bu kalınlık piyasada bulunan aynı çaptaki ön izolasyonlu paket borulardaki yalıtım kalınlığından oldukça küçüktür. İkinci en büyük enerji kayıp noktası olan isale hattı kayıpları sistemde meydana gelen toplam enerji kayıplarının %18-24'ünü oluşturmakta ve sisteme olan toplam enerji girdilerinin %8-12'si bu hatta kaybolmaktadır. İsale hattında, bir ısıtma sezonunda 5650 MWh'lik enerji kaybı meydana gelmekte ve 1269 MWh'lik ekserji kaybı söz konusu olmaktadır.

Mevcut isale hattı boru sisteminin piyasada bulunan 5,7, 8,1 ve 10,5 cm ısı yalıtım kalınlığına sahip DN-250'lik boru sistemleriyle değiştirilmesiyle, isale hattında elde edilebilecek yıllık enerji tasarruf miktarları sırasıyla, 1751, 2655 ve 3220 MWh olarak; bu tasarrufların yıllık parasal karşılığı (tasarruf edilen ısının linyit yakan bir kömür kazanı ile sağlandığı düşünülerek) ise sırasıyla, 177106, 268515 ve 325646 TL olarak hesaplanmıştır.

Farklı isale hattı projeleri için yapılan ekonomik analiz sonuçlarına göre net bugünkü değeri en büyük olan proje 3.096.769,2 TL ile 10,5 cm ısı yalıtım kalınlığına sahip isale hattı projesidir. Bu projeyi 2.766.319,8 TL'lik net bugünkü değere sahip 8,1 cm ısı yalıtımlı isale hattı projesi izlemektedir. Söz konusu iki projenin net bugünkü değerleri arasındaki fark, 330.449 TL gibi küçük bir değer iken yatırım maliyetleri arasındaki fark ise 1.230.818 TL gibi büyük bir değer almaktadır. Bununla birlikte fayda/maliyet oranı, 8,1 cm ısı yalıtımlı isale hattı projesi için 1,605, 10,5 cm ısı yalıtımlı isale hattı projesi için ise 1,534 olarak hesaplanmıştır. Bu durum, 8,1 cm ısı yalıtımlı isale hattı projesinin diğer muhtemel isale hattı projeleri içinde en ekonomik yatırım olacağı anlamına gelmektedir. Mevcut 3,54 cm izolasyon kalınlığına sahip hat borularının, izolasyon kalınlığı 8,1 cm olan yeni isale hattı ile

değiştirilmesi sonucunda yılda 2655 MWh'lık bir ısı kaybının önüne geçilecek, elde edilecek bu kazanç sayesinde ilave olarak yaklaşık 60 konut ısıtılabilir.

Bigadiç JBIS'de en büyük üçüncü ekserji kaybı ısı merkezindeki plakalı ısı eşanjörlerinde meydana gelmektedir. Sistemin önemli bileşenlerinden olan ısı eşanjörlerinin ekserji verimlerinin ortalama değerleri Emek Mahallesi hattı için %71,4, Fethibey Mahallesi hattı için %71,7 ve Atatürk Caddesi hattı için ise %69,4 bulunmuştur. Isı eşanjörleri için hesaplanan ekserji verimlerinin aynı bileşenler için benzer çalışmalarda bulunan ekserji verimlerinden %8-20 daha küçük olduğu görülmüştür. Isı eşanjörleri için iyileştirme potansiyelleri hesaplanmış ve en büyük potansiyel iyileştirmenin 28,42 kW ile Fethibey Mahallesi ısı eşanjöründe olduğu, bunu 14,06 kW ile Emek Mahallesi, 10,94 kW ile de Atatürk Caddesi ısı eşanjörlerinin izlediği görülmüştür.

Bigadiç JBIS'de bir ısıtma sezonunda atık jeotermal enerji 40-45° sıcaklık ve 10-15 l/s debide dereye tahliye edilmektedir. Bu atık ısının sera ısıtmasında kullanılması halinde, Ekim, Kasım, Aralık, Ocak Şubat ve Mart aylarını kapsayan 6 aylık dönemde toplam 3,157 GWh'lık atık enerjiden yararlanılabilecektir. Bu enerjinin doğalgaz ile karşılanması (2016 yılı doğalgaz fiyatlarına göre), yılda 406361 TL'lik maliyet anlamına gelmektedir.

Bigadiç JBIS'de otomasyon sisteminin bulunmaması, sistemin değişen dış sıcaklıklara hızlı bir şekilde uyum sağlayamamasına sebep olmakta, bu da sistemde fazladan enerji tüketimine yol açmaktadır. Sistemin manuel kontrolü aynı zamanda, ısıtma zonları arası ısıl dengenin çoğu zaman sağlanamamasına ve adil olmayan ısı dağıtımına neden olmaktadır. Isıtma zonlarının enerji ihtiyaçlarının ayrı ayrı tespit edilmesiyle, ısıtma zonlarına göre dengeli bir ısı dağıtımının yapılabilmesi için sistemde üretilen ısıl gücün, ısı merkezinde, %24 oranında Emek Mahallesi, %40 oranında Fethibey Mahallesi ve %36 oranında Atatürk Caddesi ısıtma zonuna gönderilmesi gerektiği ortaya çıkarılmıştır.

Bigadiç JBIS'nin ısıtma sezonu içerisindeki enerji verimleri, 1,5-13,3°C arasında değişen referans sıcaklıklarına bağlı olarak, %45,10-51,55 arasında değişmektedir. Enerji analizlerinde kullanılan referans sıcaklıklarındaki çalışma süreleri dikkate alınarak, sistemin ısıtma sezonu içerisindeki ortalama enerji verimi %50 olarak hesaplanmıştır. Sistemin enerji verimi, yıl içerisinde ısıtmanın yapılmadığı, yalnız sıcak su ve jeotermal kullanım suyunun üretildiği ve yalnız jeotermal kullanım suyunun üretildiği farklı çalışma dönemleri için de hesaplanmıştır.

Buna göre, yalnız sıcak su ve jeotermal suyun üretildiği dönemde enerji verimi %52,4, yalnız jeotermal suyun üretildiği dönemdeki enerji verimi ise %24,8 olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte sistemin yıl içindeki tüm koşullardaki çalışma süreleri ve enerji verimleri dikkate alındığında, yıllık ortalama enerji veriminin %47,83 olduğu görülmüştür. Sistemin ekserji verimleri kazanın çalıştığı dönemlerde %15,60'a kadar düşmekte, kazanın devre dışı kaldığı ısıtma dönemlerinde ise %34,79'a kadar yükselmektedir. Kazandaki ekserji kayıpları sistemin ekserji verimini önemli ölçüde düşürmektedir.

2011 ve 2012 yıllarına göre, 2016 yılında Bigadiç JBIS'nin işletme koşullarında meydana gelen en önemli değişiklikler:

- Konutlarda tüketilen ısı miktarına göre ısınma bedeli ödenmesini sağlayan kalorimetre uygulamasına geçilmesi
- Artan abone sayısına paralel olarak toplam ısıtma alanının %14,4 artışla 135244 m²'den 154800 m²'ye yükselmesi ve
- 2011-2012 yıllarında etkin bir şekilde kullanılan fuel oil kazanının yerine kömür yakıtlı kazan kullanılması

olarak sıralanabilir. 2011, 2012 ve 2016 yılı analiz sonuçlarının karşılaştırılmasıyla, 2016 yılında sistemde görülen farklılıklar şu şekilde özetlenebilir:

- 2016 yılında Bigadiç JBIS'de jeotermal kuyuların ortalama üretim sıcaklıklarının, 2011 ve 2012 yıllarındaki sıcaklıklara göre ortalama 2,35 °C düştüğü görülmüştür.
- Bigadiç JBIS'deki konutlarda kalorimetre uygulamasının etkin bir şekilde kullanımı neticesinde sistemdeki aboneler, sistem tarafından sağlanan ısıyı daha kontrollü bir şekilde tüketerek 2011 ve 2012 yıllarına göre daha az enerji tüketmiştir.
- Aynı günlük ortalama sıcaklık (5°C günlük ortalama sıcaklık) ve mevsim koşullarında, 2016 yılında sistemde bulunan binaların toplam ısı güç tüketimi 2012 yılına göre %17,29, konut başına düşen ısı güç tüketimi ise %27,74 azalmıştır. 2016 yılında kazan tarafından sağlanan ısı güç ise 2012 yılına göre %19,52 azalmıştır. Bu durum yakıt tüketiminde aynı oranda (%19,52) azalma anlamına gelmektedir.
- 8°C günlük ortalama sıcaklık koşulunda, Bigadiç JBIS'nin eski ve yeni dönem ısı güç tüketimlerindeki fark daha da artmış ve 1429 kW'a

çıkmiştir. Buna göre 8°C referans sıcaklığı için, 2016 yılında Bigadiç JBIS'de bulunan binalar 2011 yılının aynı dönemine göre %27,27 daha az ısı güç tüketmiştir. Aynı referans sıcaklığında, 2016 yılında konut başına ısı güç tüketimindeki azalma oranı %36,46, yakıt tüketimindeki azalma ise %45,21 olmuştur.

- 12 °C günlük ortalama sıcaklık koşulunda yapılan analiz sonuçlarına göre 2011 yılında kazan tarafından sisteme 1278 kW'lık ısı güç sağlanırken, 2016 yılının aynı döneminde kazanın çalıştırılmadığı görülmektedir. Bu referans sıcaklık aralığında, 2016 yılındaki ısı güç tüketiminde %48,75, konut başına ısı güç tüketiminde ise %55,23 azalma gözlenmiştir.
- 2016 ısıtma döneminde 2011 yılı ısıtma dönemine göre 494 ton daha az kömür yakıldığı hesaplanmıştır. Bu tasarrufun parasal karşılığı 2016 fiyatlarına göre 200747 TL'dir.

Çalışmada, Bigadiç JBIS'de en önemli ısı tüketicisi konumunda bulunan sistem binaları, yapılan detaylı incelemelerle ele alınmıştır. Bu kapsamda,

- Sistemde yer alan abonelere ait istatistiki bilgiler analiz edilmiş,
- Isıtma sisteminde yer alan binaları temsil eden örnek binalar seçilerek bu binalara yönelik anket çalışmaları uygulanmış,
- Seçilen binalarda, en fazla ısı kaybının meydana geldiği bileşenler olan dış duvarlarda, toplam ısı geçiş katsayıları (U değerleri) ısı akış plakası ile ölçülmüş,
- Termal kamera çekimleriyle bina kabukları incelenmiş,
- Şehir içi dağıtım planları incelenerek her bir ısıtma zonundaki binaların doğrultu (kuzey-güney, güneybatı-kuzeydoğu, vs.), kat ve daire sayıları ile bitişik, ayırık veya sıralı nizam olma gibi ısı ihtiyacını önemli ölçüde etkileyebilecek özellikleri tespit edilmiştir.

Örnek binalarda yapılan bu çalışmalar neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Bigadiç JBIS'de bulunan konut binalarının %40'lık bölümü 1950-1980 yılları arasında yapılan ve dış duvarlarında genellikle dolu tuğla kullanılan yığma binalardır. Kalan %60'lık bölümü ise 1980 yılından sonra yapılan karkas binalardan oluşmaktadır.

- Binaların %45'inin hiç bir yapı bileşeninde ısı yalıtımının bulunmadığı, %40'ünün yalnızca çatısında ve %15'lik bölümünün ise yalnızca dış duvarlarında ısı yalıtımı bulunmaktadır.
- Isı akış plakası ile yapılan ölçümler neticesinde U değerlerinin, yığma binalarda $2,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ 'nın, diğer binalarda ise $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ 'nın üzerinde olduğu görülmüştür. Bu değerler TS-825 Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları Standardında dış duvarlar için tavsiye edilen U değerinin ($0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$) üzerindedir.
- Termal kamera çekimleriyle bina yüzey sıcaklıklarında uniform bir dağılımın olmadığı, yetersiz ısı yalıtımı neticesinde bina kabuklarında önemli ölçüde ısı kayıplarının meydana geldiği, ısı köprülerinin belirgin bir şekilde ortaya çıktığı görülmüştür.
- Bigadiç JBIS'de bulunan binaların %48,7'sinin ayırık nizam, %28,7'sinin ikili ve kalan %22,6'lık bölümünün ise sıralı binalardan meydana geldiği tespit edilmiştir.
- Bigadiç JBIS'de bulunan binalarda konut başına meydana gelen ısı kaybı $10501-22244 \text{ W}$ arasında değişmekte olup, konut başına ortalama ısı kaybı ise 12577 W olarak hesaplanmıştır.

Bigadiç JBIS'de bulunan binaların yüksek ısı tüketimleri öncelikli olarak yapı bileşenlerindeki yetersiz ısı yalıtımından kaynaklanmaktadır. Binalardaki ısı kayıplarının önemli bir bölümü dış duvarlar (%35-40) ve çatılarda (%7-15) meydana gelmektedir. Çalışmada, jeotermal enerji kullanımı ve binaların mevcut durumları göz önüne alınarak dış duvar ve çatı bileşenleri için optimum ısı yalıtım kalınlıkları, sırasıyla, 6 ve 11,3 cm olarak önerilmiştir. Buna göre Bigadiç JBIS'de bulunan tüm binaların dış duvar ve çatılarının optimum ısı yalıtım kalınlığında izolasyonu neticesinde tasarım koşulları için 2011 ve 2012 yıllarında 16058 kW olan Bigadiç JBIS ısı güç talebi 6959 kW 'ya, 2016 yılında 17699 kW olan talep ise 7965 kW 'ya düşecektir. Elde edilebilecek tasarruf oranı ise %55 olarak hesaplanmıştır. Sistemde bulunan binaların önemli bir bölümünün eski yıllarda yapılan yığma binalardan oluşması, tasarruf oranının yüksek olmasına neden olmuştur. 2016 yılı işletme koşulları dikkate alındığında elde edilebilecek bu tasarruf sayesinde ilave 851 konut ısıtılabilir veya yılda 680 ton daha az linyit tüketilerek 276000 TL'lik parasal tasarruf elde edilebilecektir.

7. KAYNAKLAR

- [1] Sawin, J. L., “Renewables 2014 Global Status Report”, *Renewable Energy Policy Network for the 21st Century*, ISBN 978-3-9815934-2-6, (2014).
- [2] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Strateji Geliştirme Başkanlığı, “2015 Yılı Bütçe Sunumu [online]”, (14 Mart 2015), <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Butce-Konusmalari/Sn-Bakanin-Butce-Sunus-Konusmalari>, (2015).
- [3] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, “Türkiye Elektrik Enerjisi Yakıt Cinslerine Gore Kurulu Gücü [online]”, (14 Mart 2015), http://www.eie.gov.tr/document/elektrik_kurulu_guc_kaynaklar_2002_2012.pdf, (2014).
- [4] Hepbasli, A., “A review on energetic, exergetic and exergoeconomic aspects of geothermal district heating systems (GDHSs)”, *Energy Conversion and Management*, 51, 2041–2061, (2010).
- [5] Lund, J. W. and Boyd, T., “Direct Utilization of Geothermal Energy 2015 Worldwide Review”, *Proceedings World Geothermal Congress 2015*, Melbourne-Australia, (2015).
- [6] Parlaktuna, M., Mertoglu, O., Simsek, S., Paksoy, H., and Basarir, N., “Geothermal Country Update Report of Turkey (2010-2013)”, *European Geothermal Congress 2013*, Pisa- Italy, (2013).
- [7] Mertoglu, O., Simsek, S. and Basarir, N., “Geothermal Country Update Report of Turkey (2010-2015)”, *Proceedings World Geothermal Congress 2015*, Melbourne- Australia, (2015).
- [8] Yilmazer, S., “Bati Anadolu’nun Olası Jeotermal Potansiyeli’nin Belirlenmesi”, *Proceedings of 11th Energy Congress of Turkey*, İzmir-Turkey, (2009).
- [9] Korkmaz, E.D., Serpen, E. and Satman, A., “Turkey’s Geothermal Energy Potential: Updated Results”, *Proceedings of the Thirty-Fifth*

Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford-California, (2010).

- [10] Akkuş, İ., Akıllı, H., Ceyhan, S., Dilemre, A. ve Tekin, Z., *Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri*, 201, Ankara: MTA Genel Müdürlüğü, (2005).
- [11] MTA Genel Müdürlüğü, “Balıkesir İli Madenleri ve Enerji Kaynakları [online]”,(13.04.2015), http://www.mta.gov.tr/v2.0/turkiye_maden/maden_potansiyel_2010/Balikesir_Madenler.pdf, (2015).
- [12] Dilemre, A., Gökalp, Y., Hakyol, S., Sarp, S. ve Orakçı, A., “Balıkesir İli Jeotermal Kaynakları Değerlendirme Raporu, MTA Genel Müdürlüğü”, (2006).
- [13] Kara, Y. A., “Düşük sıcaklıktaki jeotermal kaynakların ısı pompası yardımıyla bina ısıtmada kullanımı”, Doktora Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, Erzurum, (1999).
- [14] Kulcar, B., Goricanec, D. and Krope, J., “Economy of exploiting heat from low-temperature geothermal sources using a heat pump”, *Energy and Buildings*, 40, 323–329, (2008).
- [15] Xueling, L. and Jialing, Z., “Application of Low Temperature Geothermal Energy through Heat Pumps in Heating and Air-Conditioning Systems”, *Proceedings World Geothermal Congress 2005*, Antalya-Turkey, (2005).
- [16] Gavrilesco, O., Blaga, A. C., Rosca, M., Antal, C. and Karytsas, K., “Cascade Use of Low Enthalpy Geothermal Water at the University of Oradea”, *Proceedings World Geothermal Congress 2010*, Bali-Indonesia, (2010).
- [17] Yıldırım, N., Toksoy, M. and Gökçen, G., “District heating system design for a university campus”, *Energy and Buildings*, 38, 1111–1119, (2006).
- [18] Yıldırım, N., Toksoy, M. and Gökçen, G., “Piping network design of geothermal district heating systems: Case study for a university campus”, *Energy*, 35, 3256-3262, (2010).
- [19] Dincer I., “The role of exergy in energy policy making”, *Energy Policy*, 30, 137–149, (2002).

- [20] Hepbasli, A., "A key review on exergetic analysis and assessment of renewable energy resources for a sustainable future", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12, 593–661, (2008).
- [21] Ozturk, H. H., "Experimental determination of energy and exergy efficiency of the solar parabolic-cooker", *Solar Energy*, 77, 67-71, (2004).
- [22] Saitoh, H., Hamada, Y., Kubota, H., Nakamura, M., Ochifuji, K., Yokoyama, S., et al., "Field experiments and analyses on a hybrid solar collector", *Applied Thermal Engineering*, 23, 2089-2105, (2003).
- [23] Sahin, A.D., Dincer, I. and Rosen, M.A., "Thermodynamic analysis of wind energy", *International Journal of Energy Research*, 30, 553-566, (2006).
- [24] Lee, K. C., "Classification of geothermal resources by exergy", *Geothermics*, 30, 431–442, (2001).
- [25] Lee, K. C., "Classification of geothermal resources an engineering approach", *Proceedings of 21st workshop on geothermal reservoir engineering*, Stanford University, (1996).
- [26] Hepbasli, A., "Thermodynamic analysis of a ground-source heat pump system for district heating", *International Journal of Energy Research*, 7, 671-687, (2005).
- [27] Ozgener, O. and Hepbasli, A., "Experimental performance analysis of a solar assisted ground-source heat pump greenhouse heating system", *Energy and Buildings*, 37, 101-110, (2005).
- [28] Hepbasli, A. and Akdemir, O., "Energy and exergy analysis of a ground source (geothermal) heat pump system", *Energy Conversion and Management*, 45, 737-753, (2004).
- [29] Ozgener, O. and Hepbasli, A., "A parametrical study on the energetic and exergetic assessment of a solar assisted vertical ground-source heat pump system used for heating a greenhouse", *Building and Environment*, 42, 11-24, (2007).
- [30] Akpınar, E.K. and Hepbasli, A., "A comparative study on exergetic assessment of two ground-source (geothermal) heat pump systems for residential applications", *Building and Environment*, 42, 2004-2013, (2007).
- [31] Ozgener, O. and Hepbasli, A., "Modeling and performance evaluation of ground source (geothermal) heat pump systems", *Energy and Buildings*, 39, 66-75, (2007).

- [32] Kara, Y.A. and Yuksel, B., "Evaluation of low temperature geothermal energy through the use of heat pump", *Energy Conversion and Management*, 42, 773-781, (2000).
- [33] Kanoglu, M., "Exergy analysis of a dual-level binary geothermal power plant", *Geothermics*, 31,709–724, (2004).
- [34] DiPippo, R., "Second Law assessment of binary plants generating power from low-temperature geothermal fluids", *Geothermics*, 33, 565–586, (2004).
- [35] Ozturk, H. K., Atalay, O., Yilan, A. and Hepbasli, A., "Energy and exergy analysis of Kizildere geothermal power plants, Turkey", *Energy Sources*, 28, 1415–1424, (2006).
- [36] Cerci, Y., "Performance evaluation of a single-flash geothermal power plant in Denizli, Turkey", *Energy*, 28, 27–35, (2003).
- [37] Yildirim ED, Gokcen G. Exergy analysis and performance evaluation of Kizildere geothermal power plant, Turkey", *International Journal of Exergy*,1, 316–333, (2004).
- [38] Koreneos, C., Bobolias, C. and Spachos, T., "Evaluation of utilization opportunities of geothermal energy in the Kavala region, Greece, using exergy analysis" , *International Journal of Exergy*, 1, 111–127, (2004).
- [39] Dagdas, A., Erdem, H.H. and Sevilgen, S. H., "Performance analysis of gas turbine integrated geothermal power plant in Turkey: the proposed Kizildere Project", *Proceedings of world geothermal congress*, Antalya-Turkey, (2005).
- [40] Hepbasli, A. and Utlu, Z., "Evaluating the energy utilization efficiency of Turkey's renewable energy sources during 2001", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 8, 237-255, (2004).
- [41] Bodvarsson, G. and Eggers, D.E., "The exergy of thermal water", *Geothermics*, 1,93–95, (1972).
- [42] Arslan, O., "Exergoeconomic evaluation of electricity generation by the medium temperature geothermal resources, using a Kalina cycle: Simav case study", *International Journal of Thermal Sciences*, 49, 1866-1873, (2010).
- [43] 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*, 42, 3747-3756, (2007).

- [44] Dağdaş, A., “Jeotermal enerji kaynaklarının optimal kullanım modelinin geliştirilmesi ve yöresel uygulaması”, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2004).
- [45] Kanoğlu, M. and Çengel, Y., “Economic Evaluation of Geothermal Power Generation, Heating, and Cooling”, *Energy*, 24, 501-509, (1999).
- [46] Kanoğlu, M. and Çengel, Y. A., “Incorporating Cogeneration into a Geothermal Power Plant to Enhance Utilization and Profitability”, *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, Anaheim-California-USA, (1998).
- [47] Kanoğlu, M., Çengel, Y. and Turner, Y., “Incorporating a District HEating-Cooling System into an Existing Geothermal Power Plant”, *Journal of Energy Resources Technology*, 120, 179-184, (1998).
- [48] Arslan, O. and Kose, R., “Exergoeconomic optimization of integrated geothermal system in Simav, Kutahya”, *Energy Conversion and Management*, 51, 663–676, (2010).
- [49] Karytsas, C., Mendrinou, D. and Goldbrunner, J., “Low enthalpy geothermal energy utilisation schemes for greenhouse and district heating at Traianoupolis Evros, Greece”, *Geothermics*, 32, 69-78, (2003).
- [50] Hepbasli, A. and Canakci, C., “Geothermal district heating applications in Turkey: a case study of Izmir–Balcova”, *Energy Conversion and Management*, 44, 1285–1301, (2003).
- [51] Zhu, J. and Zhang, W., “Optimization design of plate heat exchangers (PHE) for geothermal district heating systems”, *Geothermics*, 33, 337–347, (2004).
- [52] Erdogmus, B., Toksoy, M., Ozerdem, B. and Aksoy, N., “Economic assessment of geothermal district heating systems: A case study of Balcova–Narlidere, Turkey”, *Energy and Buildings*, 38, 1053–1059, (2006).
- [53] Dagdas, A., “Heat exchanger optimization for geothermal district heating systems: A fuel saving approach”, *Renewable Energy*, 32, 1020–1032, (2007).
- [54] Kalinci, Y., Hepbasli, A. and Tavman, I., “Determination of optimum pipe diameter along with energetic and exergetic evaluation of geothermal district heating systems: Modeling and application”, *Energy and Buildings*, 40, 742–755, (2008).

- [55] Yetemen, O. and Yalcin, T., "Climatic parameters and evaluation of energy consumption of the Afyon geothermal district heating system, Afyon, Turkey", *Renewable Energy*, 34, 706–710, (2009).
- [56] Thorsteinsson, H. H. and Tester, J. W., "Barriers and enablers to geothermal district heating system development in the United States", *Energy Policy*, 38, 803–813, (2010).
- [57] Ozgener, L., "Coefficient of performance (COP) analysis of geothermal district heating systems (GDHSs): Salihli GDHS case study" *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 1330– 1334, (2012).
- [58] Ozgener, L., Hepbasli, A. and Dincer, I., "Energy and exergy analysis of geothermal district heating systems: an application", *Building and Environment*, 40, 1309–1322, (2005).
- [59] Ozgener, L., Hepbasli, A. and Dincer, I., "Thermo-mechanical exergy analysis of Balçova geothermal district heating system in Izmir, Turkey", *ASME-Journal of Energy Resources Technology*, 126, 293–301, (2004).
- [60] Ozgener, L., Hepbasli, A. and Dincer, I., "Energy and exergy analysis of Salihli geothermal district heating system in Manisa, Turkey", *International Journal of Energy Research*, 29, 393–408, (2005).
- [61] Ozgener, L. and Ozgener, O., "Monitoring of Energetic and Exergetic Performance Analysis of Salihli Geothermal District Heating System", *Journal of Energy Resources Technology*, 130, (2008).
- [62] Ozgener, L., Hepbasli, A. and Dincer, I., "Effect of reference state on the performance of energy and exergy evaluation of geothermal district heating systems: Balçova example", 41, 699-709, (2006).
- [63] Ozgener, L., Hepbasli, A. and Dincer, I., "Performance investigation of two geothermal district heating systems for building applications: Energy analysis", *Energy and Buildings*, 38, 286–292, (2006).
- [64] Ozgener, L., Hepbasli, A. and Dincer, I., "A key review on performance improvement aspects of geothermal district heating systems and applications", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11, 1675-1697, (2007).
- [65] Ozgener, L., Hepbasli, A. and Dincer, I., "Exergy analysis of two geothermal district heating systems for building applications", *Energy Conversion and Management*, 48, 1185–1192, (2007).

- [66] Ozgener, L., Hepbasli, A. and Dincer, I. Rosen, M. A., “Exergoeconomic analysis of geothermal district heating systems: A case study”, *Applied Thermal Engineering*, 27, 1303-1310, (2007).
- [67] Arslan, O., Ozgur, M. A., Kose, R. and Tugcu, A., “Exergoeconomic evaluation on the optimum heating circuit system of Simav geothermal district heating system”, 41, 1325-1333, (2009).
- [68] Ozgener, L. and Ozgener, O., “Monitoring of energy exergy efficiencies and exergoeconomic parameters of geothermal district heating systems (GDHSs)”, 86, 1704-1711, (2009).
- [69] Oktay, Z. and Aslan, A., “Geothermal district heating in Turkey, the Gonen case study”, *Geothermics*, 36, 167–182, (2007).
- [70] Etemoglu, A.B. and Can, M., “Classification of geothermal resources in Turkey by exergy analysis”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11, 1596–606, (2007).
- [71] Ozgener, L., Hepbasli, A. and Dincer, I., “Energy and exergy analysis of the Gonen geothermal district heating system in Turkey”, *Geothermics*, 34, 632–645, (2005).
- [72] Ozgener, L., Hepbasli, A. and Dincer, I., “Parametric study of the effect of reference state on energy and exergy efficiencies of geothermal district heating systems (GDHSs): an application of the Salihli GDHS in Turkey”, *Heat Transfer Engineering*, 28, 357–64, (2007).
- [73] Oktay, Z. and Dincer, I., “Energetic, exergetic, economic and environmental assessments of the Bigadic geothermal district heating system as a potential green solution”, *International Journal of Green Energy*, 4, 549–69, (2007).
- [74] Ozgener, L. and Ozgener, O., “Thermomechanical exergy and thermoeconomic analysis of geothermal district heating systems”, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, 222, 167–177, (2008).
- [75] Rosen, M.A. and Dincer, I., “Thermoeconomic analysis of power plants: an application to a coal-fired electrical generating station”, *Energy Conversion and Management*, 44, 1633–1651, (2003).
- [76] Oktay, Z., Coskun, C. and Dincer, I., “Energetic and exergetic performance investigation of the Bigadic geothermal district heating system in Turkey”, *Energy and Buildings*, 40, 702–709, (2008).
- [77] Ozgener, L., Hepbasli, A. and Dincer, I., “Investigation of the energetic and exergetic performance of the Gonen geothermal district heating

- system”, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, 220, 671–679, (2006).
- [78] Keçebaş, A., “Performance and thermo-economic assessments of geothermal district heating system: A case study in Afyon, Turkey”, *Renewable Energy*, 36, 77-83, (2011).
- [79] Keçebaş, A., “Effect of reference state on the exergoeconomic evaluation of geothermal district heating systems”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 462–469, (2013).
- [80] Alkan, M. A., Keçebaş, A. and Yamankaradeniz, N., “Exergoeconomic analysis of a district heating system for geothermal energy using specific exergy cost method”, *Energy*, 60, 426-434, (2013).
- [81] Kecebas, P., Gokgedik, H., Alkan, M. A. and Kecebas, A., “An economic comparison and evaluation of two geothermal district heating systems for advanced exergoeconomic analysis”, *Energy Conversion and Management*, 84, 471–480, (2014).
- [82] Tan, M. and Kecebas, A., “Thermodynamic and economic evaluations of a geothermal district heating system using advanced exergy-based methods”, *Energy Conversion and Management*, 77, 504–513, (2014).
- [83] Keçebas, A., Kayfeci, M. and Gedik, E., “Performance investigation of the Afyon geothermal district heating system for building applications: Exergy analysis”, *Applied Thermal Engineering*, 31, 1229-1237, (2011).
- [84] Kecebas, A., Yabanova, I. and Yumurtacı, M., “Artificial neural network modeling of geothermal district heating system thought exergy analysis”, *Energy Conversion and Management*, 64, 206–212, (2012).
- [85] Kecebas, A. and Yabanova, I., “Thermal monitoring and optimization of geothermal district heating systems using artificial neural network: A case study”, *Energy and Buildings*, 50, 339–346, (2012).
- [86] Hepbasli, A. and Keçebaş, A., “A comparative study on conventional and advanced exergetic analyses of geothermal district heating systems based on actual operational data”, *Energy and Buildings*, 61, 193–201, (2013).
- [87] Yabanova, I. and Keçebaş, A., “Development of ANN model for geothermal district heating system and a novel PID-based control strategy”, *Applied Thermal Engineering*, 51, 908-916, (2013).
- [88] Kecebas, A. and Yabanova, I., “Economic analysis of exergy efficiency based control strategy for geothermal district heating system”, *Energy Conversion and Management*, 73, 1–9, (2013).

- [89] Keçebaş, A., Alkan, M. A., Yabanova, I. and Yumurtacı, M., “Energetic and economic evaluations of geothermal district heating systems by using ANN”, *Energy Policy*, 56, 558–567, (2013).
- [90] Keçebaş, A., “Energetic, exergetic, economic and environmental evaluations of geothermal district heating systems: An application”, *Energy Conversion and Management*, 65, 546–556, (2013).
- [91] Ozgener, L., Hepbasli, A. and Dincer, I., “Energy and exergy analysis of the Gonen geothermal district heating system, Turkey”, *Geothermics*, 34, 632–645, (2005).
- [92] Oktay, Z. and Dincer, I., “Exergoeconomic analysis of the Gonen geothermal district heating system for buildings”, *Energy and Buildings*, 41, 154–163, (2009).
- [93] Aslan, A., Akyol, T. and Yüksel, B., “Energy analysis of different types of buildings in Gonen geothermal district heating system”, *Applied Thermal Engineering*, 31, 2726-2734, (2011).
- [94] Yüksel, B., Aslan, A. and Akyol, T., “Investigation of seasonal variations in the energy and exergy performance of the Gonen geothermal district heating system”, *Applied Thermal Engineering*, 36, 39-50, (2012).
- [95] Aslan, A., Yüksel, B. and Akyol, T., “Effects of different operating conditions of Gonen geothermal district heating system on its annual performance”, *Energy Conversion and Management*, 79, 554–567, (2014).
- [96] Dickson, M. H. and Fanelli, M. (Eds.), *Geothermal Energy Utilization and Technology*, France: UNESCO, 53-77, (2003).
- [97] Mertoğlu, O., Canlan, A., Bakır, N., Dokuz, İ. and Kaya, T., “Geothermal Direct Use Application in Turkey: Technology and Economics”, *Proceedings World Geothermal Congress*, Kyushu-Japan, 3505-3510, (2000).
- [98] John, W. L., “Direct Heat Utilization of Geothermal Resources Worldwide 2005”, *ASEG Extended Abstracts*, 1–15, (2006).
- [99] Ragnarsson, A. and Hrolfsson, I., “Akranes and Borgarfjörður District Heating System”, *Geo-Heat Center Quarterly Bulletin*, Vol. 19 (4), 10-13, (1998).
- [100] Ryan, G. P., “Equipment Used in Direct Heat Projects”, *Geothermal Resources Council Transactions*, 5, Davis, CA, 483-485, (1981).

- [101] Çengel, Y. A. ve Boles, M. A., *Termodinamik Mühendislik Yaklaşımıyla*, (Çev: A. Pınarbaşı, E. Buyruk, C. Özalp, A. Bilgin, H. Günerhan ve S. Basan), İzmir, 631-632, (2008).
- [102] Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, "Proje Analizinde Kullanılan Teknikler [online]", (05.07.2016), <http://www.dektmk.org.tr/upresimler/KKAVAK-1.pdf>, (2016).
- [103] Bilgiç, M., *Kazan Dairesi El Kitabı*, Üniversal Makine, İstanbul, 252-253, (2001).