

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

**GÖNEN JEOTERMAL BÖLGESEL ISITMA SİSTEMİNİN  
ENERJİ ve TERMOEKONOMİK VERİMLİLİĞİNİN  
İNCELENMESİ**

**DOKTORA TEZİ**

**Asiye ASLAN**

**Balıkesir, Haziran-2010**

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

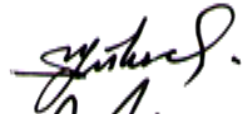
GÖNEN JEOTERMAL BÖLGESEL ISITMA SİSTEMİNİN  
ENERJİ ve TERMOEKONOMİK VERİMLİLİĞİNİN  
İNCELENMESİ

DOKTORA TEZİ

Asiye ASLAN

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Bedri YÜKSEL

Sınav Tarihi: 28.06.2010

Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Bedri YÜKSEL (Danışman-BAÜ)   
Prof. Dr. Recep YAMANKARADENİZ (UÜ)   
Prof. Dr. Ramazan KÖSE (DPÜ)   
Prof. Dr. Mustafa GÜNEŞ (BAÜ)   
Yrd. Doç. Dr. Nadir İLTEN (BAÜ) 

Enstitü Yönetim Kurulunun ..... tarih ..... sayılı oturumunun .....  
nolu kararı ile ..... Mezun olmuştur.

Balıkesir, Haziran-2010

## ÖZET

### GÖNEN JEOTERMAL BÖLGESEL ISITMA SİSTEMİNİN ENERJİ ve TERMOEKONOMİK VERİMLİLİĞİNİN İNCELENMESİ

Asiye ASLAN  
Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,  
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

(Doktora Tezi / Tez Danışmanı: Prof. Dr. Bedri YÜKSEL)

Balıkesir, 2010

Gönen jeotermal bölgesel ısıtma sistemi Türkiye'nin ilk jeotermal bölgesel ısıtma sistemidir. Bu çalışmada Gönen jeotermal bölgesel ısıtma sisteminin verimliliğinin incelenmesi amaçlanmıştır. Tesis 01.01.2009 ile 31.12.2009 tarihleri arasında, bir yıl süreyle hesaplamalarda kullanılan verileri elde etmek için sabit ve portatif ölçüm cihazları ile donatılmış ve belirli zaman aralıkları ile düzenli ölçümler alınarak kaydedilmiştir. Sistemin performansını belirlemek için enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Ayrıca, jeotermal bölgesel ısıtma sistemiyle ısıtılan binaların enerji kayıplarının belirlenebilmesi için yapı bileşenlerinin optimum yalıtım kalınlıkları da hesaplanmıştır.

Enerji ve ekserji analizleri, sistemin ısıtma yükü ihtiyaçlarının mevsimlik değişimi dikkate alınarak kış, yaz, ilkbahar ve sonbahar dönemleri için ayrı ayrı yapılmıştır. Her bir analizde, sistem bileşenlerinin enerji ve ekserji kayıpları ve verimleri belirlenmiştir. Optimum yalıtım kalınlıklarının hesaplanmasında, binaların yapısal özelliklerini tespit etmek için örnekleme metodu kullanılarak, örnek binalar belirlenmiştir. Bu amaçla bina sakinlerine anket uygulanmış ve ölçüm yapılmıştır. Sistemdeki tüm binaları kapsayan incelemelerde optimum yalıtım kalınlıklarının uygulanmasıyla elde edilebilecek enerji tasarrufu ve yatırımın geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Ayrıca, tesisin enerji ihtiyacı belirlenerek, enerji açığı doğrultusunda ilave edilmesi gereken pik-güç ünitesinin kapasitesi hesaplanmış ve maliyet tablosu oluşturularak ekonomik analizi yapılmıştır.

Sonuç olarak, sistemin en yüksek ortalama enerji ve ekserji verimleri sırasıyla % 50.55 ve % 52.34 olarak bahar döneminde ve yıllık ortalama enerji ve ekserji verimleri sırasıyla % 43.93 ve % 47.44 olarak elde edilmiştir. Bunun yanında sistemdeki tüm eski binalarda duvar ve döşemede EPS, çatıda camyünü veya taşıyünü malzeme kullanılarak optimum kalınlıkta yalıtım yapılmasıyla 7066 ilave konut, tüm binalarda aynı malzemelerin kullanılarak optimum kalınlıkta yalıtım yapılmasıyla ise 7632 ilave konut karşılığı tasarruf sağlamanın mümkün olduğu belirlenmiştir.

**ANAHTAR SÖZCÜKLER:** jeotermal enerji, enerji ve ekserji analizi, optimum yalıtım kalınlığı.

## **ABSTRACT**

### **INVESTIGATION of ENERGY and THERMOECONOMIC EFFICIENCY of GONEN GEOTHERMAL DISTRICT HEATING SYSTEM**

**Asiye ASLAN  
Balıkesir University, Institute of Science,  
Department of Mechanical Engineering**

**(Ph. D. Thesis / Supervisor: Prof. Dr. Bedri YÜKSEL)**

**Balıkesir-Turkey, 2010**

Gonen geothermal district heating system is Turkey's first geothermal district heating system. In this study, investigating efficiency of this system was intended. Plant was equipped with stationary and portable measurement devices between 01.01.2009 - 31.12.2009 for one year to obtain the data used in calculations. This data was recorded periodically by taking regular measurements. Energy and exergy analysis were made to determine the performance of the system. Besides, optimum insulation thicknesses of the structure components were calculated to determine energy losses of buildings heated by geothermal district heating system.

Energy and exergy analysis were performed separately for winter, summer, spring and autumn periods taking into account the seasonal variations of heating load needs of the system. In each analysis, energy and exergy losses and efficiency of system components were determined. While calculating optimum insulation thicknesses, sample buildings were chosen to determine structural features of the buildings by using sampling method. For this purpose a questionnaire was applied to residents and measurements were made. At the studies that are including all the buildings in the system, energy saving amounts that can be attained with the application of optimum insulation thickness and the investment payback periods were calculated. Moreover, by determining the system's energy needs, the capacity of peak-power unit that must be added to the system was calculated and the economic analysis was done by creating a cost table.

To sum up, the highest average energy and exergy efficiencies were obtained as 50.55% and 52.34% for the spring term and the annual average energy and exergy efficiencies were obtained as 43.93% and 47.44%, respectively. In addition, 7066 additional housing saving can be achieved by using EPS in the walls and floor, glasswool or rockwool in the roof besides optimum insulation thickness in all the old buildings and 7632 additional housing saving is possible by using the same materials and with application of optimum insulation thickness in all the buildings.

**KEYWORDS:** geothermal energy, energy and exergy analysis, optimum insulation thickness.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SEMBOL LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ .....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ .....	x
ÖNSÖZ .....	xii
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
1.1 Literatürdeki Çalışmalar .....	6
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı .....	19
<b>2. MATERYAL ve YÖNTEM</b> .....	22
2.1 Gönen İlçesinin Tanıtımı .....	22
2.2 Gönen İlçesinde Bulunan Jeotermal Kaynaklar .....	22
2.3 Kullanılan Merkez Jeotermal Saha.....	23
2.4 Jeotermal Bölgesel Isıtma Sistemi .....	24
2.4.1 Jeotermal Kuyular .....	24
2.4.2 Isı Merkezinin Tanıtımı .....	29
2.4.3 Boru Hatlarının Tanıtımı .....	32
2.4.4 Jeotermal Enerjiden Yararlanan Tüketim Yerlerinin Tanıtımı .....	35
2.5 Ölçüm Cihazlarının Tanıtımı, Montaj Yerlerinin Seçimi ve Montajı ..	37
2.5.1 İklim Verileri.....	37
2.5.2 Rezervuar (Kuyuların) Karakteristikleri.....	38
2.5.3 Bölgesel Isıtma Sistemi İşletme Parametreleri .....	41
2.5.4 Jeotermal Enerji ile Isıtılan Konutlarda Yapılan Ölçümler .....	46
2.6 Enerji ve Ekserji Analizi .....	47
2.6.1 Kütle Dengesi, Enerji ve Ekserji Analizi Bağlılıkları .....	47
2.6.2 Özgül Ekserji İndeksi Hesabı .....	50
2.6.3 Bölgesel Isıtma Sisteminin Enerji ve Ekserji Analizi .....	51
2.7 Jeotermal Enerji ile Isıtılan Binaların Örneklenmesi ve Yapısal Özellikleri .....	59
2.7.1 Örneklememe Metodu .....	59
2.7.2 Örnek Binaların Seçilmesi ve Yapısal Özelliklerinin Tespiti .....	60
2.7.3 Örnek Binaların Ölçülen ve Hesaplanan Isı Transfer Katsayılarının Karşılaştırılması .....	70
2.8 Toplam Isıl Güç Gereksinimi .....	74
2.8.1 Konutlarda ve Otellerde Isı Kaybı Hesabı .....	75
2.8.2 Tabakhane İşletmelerinin Isıl Güç Gereksiniminin Hesabı .....	78
2.8.3 Borularda Isı Kaybı Hesabı .....	79
2.9 Jeotermal Kuyulardan Elde Edilen Isıl Gücün Hesaplanması .....	81
2.10 Pik-Güç Ünitesinin Kapasite Hesabı ve Kazan Seçimi .....	82
2.11 Günlük Enerji İhtiyacının Hesaplanması .....	85
2.12 Pik-Güç Ünitesinin Yıllık Yakıt Sarfıyatı Hesabı .....	89
2.13 Pik-Güç Ünitesinin Ekonomik Açından Değerlendirilmesi .....	90

2.14	Bina Yapı Bileşenlerinin Optimum Yalıtım Kalınlığı Hesabı .....	94
2.15	Yakıtların Yıllık Yanma Ürünlerinin Hesaplanması.....	100
<b>3.</b>	<b>BULGULAR</b> .....	102
3.1	Enerji ve Ekserji Analizi Bulguları .....	102
3.2	Pik-Güç Ünitesinin Ekonomik Analizine İlişkin Bulgular .....	107
3.3	Bina Yapı Bileşenlerinin Optimum Yalıtım Kalınlıkları.....	111
3.3.1	Optimum Yalıtım Kalınlığının Yıllık Tasarruf Miktarına Etkisi .....	111
3.3.2	Optimum Yalıtım Kalınlığının Yakıt Tüketimi ve Yıllık Yanma Ürünlerine Etkisi .....	118
<b>4.</b>	<b>SONUÇLAR ve ÖNERİLER</b> .....	120
4.1	Enerji ve Ekserji Analizi Sonuçları .....	120
4.2	Konutlarda Optimum Yalıtım Kalınlığının Enerji Tasarrufuna Etkisinin Sonuçları .....	122
4.3	Konutlarda Optimum Yalıtım Kalınlığının Çevre Kirliliğini Azaltma Etkisinin Sonuçları .....	123
4.4	Konutlarda Optimum Yalıtım Kalınlığının Pik-Güç Ünitesinin Kapasitesine Etkisinin Sonuçları .....	125
4.5	Öneriler .....	126
<b>5.</b>	<b>KAYNAKLAR</b> .....	129
<b>EKLER</b>	.....	137
Ek-A:	Enerji ve Ekserji Analizi Akışkan Özellikleri ve Enerji-Ekserji Oranları .....	138

## SEMBOL LİSTESİ

<b><u>Simge Adı</u></b>	<b><u>Tanımı/Değeri</u></b>	<b><u>Birimi</u></b>
$A$	Alan	$m^2$
$B_y$	Yıllık yakıt miktarı	$m^3/yıl$
$C$	Birim maliyet	US\$/kg US\$/ $m^3$
$C_p$	Sabit basınçta özgül ısı	$kJ/kgK$
$C_D$	Derece-gün korelasyon faktörü	-
$DG$	Derece-gün sayısı	$^{\circ}C-gün$
$DS$	Derece-saat sayısı	$^{\circ}C-saat$
$d$	Çap	$m$
$\dot{E}$	Enerji oranı	$kW$
$\dot{E}_x$	Ekserji oranı	$kW$
$E$	Günlük enerji ihtiyacı	$kJ$
$E_A$	Birim yüzeyden ısıtma için gerekli yıllık enerji miktarı	$J/m^2-yıl$
$F$	Yıllık yakıt miktarı	$kg/yıl$
$g$	Enflasyon oranı	-
$H_u$	Isıl değer	$J/kg, J/m^3$ $kWh/kg$
$h$	Entalpi	$kJ/kg$
$i$	Faiz oranı	-
$i$	İskonto oranı	-
$k$	Yüzey çarpım katsayısı	-
$\dot{m}$	Kütleli debi	$kg/s$
$m_{yA}$	Birim yüzeyden yıllık yakıt talebi	$kg/m^2-yıl,$ $m^3/m^2-yıl$
$M$	Yakıtın mol ağırlığı	$kg/kmol$
$N$	Ömür	$yıl$
$N$	Ana kitle miktarı	$adet$
$N_{kişi}$	Kişi sayısı	$adet$
$N_h$	h tabakadaki tabaka miktarı	$adet$
$n$	Örnek hacmi	$adet$
$n_h$	h tabakadaki örnek miktarı	$adet$
$P$	Basınç	$kPa, bar,$ $mSS$
$PWF$	Şimdiki değer faktörü	-
$S$	Günlük ortalama sıcak su ihtiyacı	$lt/kişi-gün$
$s$	Entropi	$kJ/kg$
$S_h$	h tabakanın standart sapması	-
$SE_{xl}$	Özgül ekserji indeksi	-
$\dot{Q}$	Isıl güç	$kW$
$\dot{Q}_o$	Artırımsız ısı kaybı	$W$
$\dot{Q}_i$	İletimle gerçekleşen ısı kaybı	$W$
$\dot{Q}_s$	Sızıntı ile gerçekleşen ısı kaybı	$W$

$\dot{Q}_h$	Toplam ısı kaybı	W
$\dot{Q}_K$	Kazanın ısı kapasitesi	W
$\dot{q}$	Birim yüzeyden oluşan ısı kaybı	W/m <sup>2</sup>
$R$	Isıl direnç	m <sup>2</sup> K/W
$U$	Toplam ısı transfer katsayısı	W/m <sup>2</sup> K
$T$	Sıcaklık	°C, K
$T_t$	Seçilen taban sıcaklığı	°C
$T_{ort}$	Günlük ortalama hava sıcaklığı	°C
$T_{iort}$	İsale hattı giriş su sıcaklığı ortalaması	K
$T_{dort}$	İsale hattı ortalama dış sıcaklığı	K
$Z$	Toplam artırım	%
$Z_D$	Birleştirilmiş artırım katsayısı	%
$Z_W$	Kat yüksekliği artırımı	%
$Z_H$	Yön artırımı	%
$Z_R$	Kazan ısı yükü artırım katsayısı	%
$\dot{W}$	İş	kW
$x$	Yalıtım kalınlığı	m
$\Delta T$	Sıcaklık farkı	°C
$\lambda$	Yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı	W/mK
$\rho$	Yoğunluk	kg/m <sup>3</sup>
$\eta_s$	Isıtma sisteminin verimi	%
$\eta_k$	Kazanın ısı verimi	%
$\eta$	Enerji verimliliği	%
$\varepsilon$	Ekserji verimliliği	%
$\psi$	Ekserji akışı	kJ/kg

<b><u>Alt indis</u></b>	<b><u>Tanımı</u></b>
<i>A</i>	Yıllık
<i>D</i>	Duvar
<i>d</i>	Dış
<i>döş</i>	Döşeme altı hacim
<i>Eş</i>	Eşanjör
<i>hes</i>	Hesaplanan
<i>I</i>	Yalıtım malzemesi
<i>i</i>	İç
<i>izo</i>	Yalıtım
<i>jeo</i>	Jeotermal
<i>kon.s.su</i>	Konut sıcak su
<i>opt</i>	Optimum
<i>ölç</i>	Ölçülen
<i>p</i>	Pencere
<i>reen</i>	Reenjeksiyon
<i>Sis</i>	Sistem
<i>T</i>	Tavan
<i>t</i>	Toplam
<i>t</i>	Taban
<i>ta</i>	Tavan üstü hacim



<i>tab</i>	Tabakhane
<i>yb</i>	Yapı bileşeni
<i>ybt</i>	İzolasyon malzemesini de içeren toplam yapı bileşeni
<i>y</i>	Yakıt
0	Referans durum

**Kısaltmalar Tanımı**

BBN	Başabaş Noktası
CTP	Cam Elyaf Takviyeli Plastik
EPS	Ekspande Polistren
GÖS	Geri Ödeme Süresi
İKO	İç Karlılık Oranı
LCCA	Ömür Maliyet Analizi
PPR	Polipropilen
XPS	Ekstrüde Polistren

## ŞEKİL LİSTESİ

<b>Şekil No</b>	<b>Adı</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 1.1	Türkiye'nin jeotermal enerji potansiyelinin bölgesel dağılımı.	4
Şekil 1.2	Türkiye'de tüketilen enerjinin sektörel dağılımı .....	11
Şekil 1.3	Çalışmanın akış şeması .....	21
Şekil 2.1	Jeotermal sahada bulunan kuyuların yerleşim planı .....	25
Şekil 2.2	Jeotermal bölgesel ısıtma sistemi ısı merkezinin yerleşim planı .....	30
Şekil 2.3	Jeotermal bölgesel ısıtma sistemi dağıtım boru hatları .....	33
Şekil 2.4	Dış hava sıcaklığı ölçme sensörü .....	38
Şekil 2.5	Jeotermal bölgesel ısıtma sistemi ısı merkezinde ölçüm yapılan noktalar .....	43
Şekil 2.6	Isı merkezinde kullanılan plakalı eşanjörler .....	44
Şekil 2.7	Eşanjör çıkış borusu üzerine sıcaklık probu ve basınç transmitterinin monte edilmiş görünüşü .....	44
Şekil 2.8	Veri toplama cihazı ve bağlantı kabloları.....	44
Şekil 2.9	Toplam debinin ölçüldüğü hat üzerine monte edilmiş manyetik debimetrenin görünüşü .....	45
Şekil 2.10	Ultrasonik debimetre ile boru yüzeyinden debi ölçümü .....	45
Şekil 2.11	Isı akış plakası ile dış duvar ısı transfer katsayısı ölçümü .....	46
Şekil 2.12	Jeotermal bölgesel ısıtma sisteminin kış mevsimi akış şeması	54
Şekil 2.13	Jeotermal bölgesel ısıtma sisteminin yaz mevsimi akış şeması	55
Şekil 2.14	Dış duvar 1'in ısı transfer katsayısı ölçüm sonucunun grafiği .	71
Şekil 2.15	Dış duvar 2'nin (XPS) ısı transfer katsayısı ölçüm sonucunun grafiği .....	71
Şekil 2.16	Dış duvar 2'nin (EPS) ısı transfer katsayısı ölçüm sonucunun grafiği .....	72
Şekil 2.17	Dış duvar 3'ün ısı transfer katsayısı ölçüm sonucunun grafiği	72
Şekil 2.18	Dış duvar 4'ün ısı transfer katsayısı ölçüm sonucunun grafiği	73
Şekil 2.19	Son 10 yılın (1999-2009) günlük minimum dış hava sıcaklığı değişimi .....	75
Şekil 2.20	Toprak altı taşıma borusu kesiti.....	79
Şekil 2.21	Toplam ısı gücünün dış hava sıcaklığına göre değişimi ve pik-güç sisteminin devreye girmesi gereken ısı gücü ve sıcaklık değeri .....	84
Şekil 2.22	10 yıllık ortalama (1999-2009) günlük minimum dış hava sıcaklığı .....	86
Şekil 2.23	10 yıllık ortalama (1999-2009) derece saat değişimi .....	86
Şekil 2.24	Pik-güç ünitesine ihtiyaç duyulan derece saat değişimi .....	87
Şekil 2.25	Günlük ısıtma enerjisi ihtiyacının jeotermal enerji ve pik-güç ünitesi ile karşılanma değerleri .....	88
Şekil 3.1	Belirlenen 7 farklı durumun enerji ve ekserji verimleri .....	104
Şekil 3.2	Belirlenen 7 farklı durumda ortaya çıkan enerji kayıpları .....	105
Şekil 3.3	Belirlenen 7 farklı durumda ortaya çıkan ekserji kayıpları .....	105

Şekil 3.4	Durum I'in enerji ve ekserji veriminin referans sıcaklığı ile değişimi .....	106
Şekil 3.5	Özgül ekserji indeksinin aylara göre değişimi .....	106
Şekil 3.6	Başabaş analizinin grafiği .....	108
Şekil 3.7	Dış duvar, tavan ve döşeme yapı bileşenleri için yıllık tasarrufun yalıtım kalınlığına göre değişimi .....	113
Şekil 3.8	Farklı yakıt tipleri için yıllık tasarrufun yalıtım kalınlığına göre değişimi (XPS-Dış duvar 1) .....	116
Şekil 3.9	Farklı yalıtım malzemeleri için yıllık tasarrufun yalıtım kalınlığına göre değişimi (Jeotermal-Dış duvar 1) .....	116
Şekil 3.10	Farklı yakıt tipleri için yıllık tasarrufun derece güne göre değişimi (XPS kullanılması durumunda) .....	116
Şekil 3.11	Yakıt tüketiminin yalıtım kalınlığı ile değişimi .....	119
Şekil 3.12	CO <sub>2</sub> emisyonunun yalıtım kalınlığı ile değişimi .....	119
Şekil 3.13	SO <sub>2</sub> emisyonunun yalıtım kalınlığı ile değişimi .....	119

## ÇİZELGE LİSTESİ

<b>Çizelge No</b>	<b>Adı</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 1.1	Dünya yenilenebilir enerji kaynakları güç üretimi .....	2
Çizelge 1.2	Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları üretim kapasiteleri ....	3
Çizelge 1.3	Türkiye'deki jeotermal enerji kullanım kapasiteleri .....	5
Çizelge 1.4	Türkiye'nin jeotermal bölgesel ısıtma sistemleri ve kapasiteleri .....	5
Çizelge 2.1	Gönen sıcak su kaynaklarının ortalama sıcaklık ve debi değerleri.....	22
Çizelge 2.2	Jeotermal kuyuların teknik özellikleri (Aralık 2009).....	26
Çizelge 2.3	Jeotermal kuyularda kullanılan pompaların etiket değerleri ...	26
Çizelge 2.4	Jeotermal kaynağının kimyasal analizi .....	28
Çizelge 2.5	Jeotermal suların kantitatif jeotermometrelere göre sıcaklık değerleri .....	28
Çizelge 2.6	Jeotermal bölgesel ısıtma sisteminde kullanılan eşanjörlerin özellikleri .....	31
Çizelge 2.7	Jeotermal bölgesel ısıtma sisteminde kullanılan pompaların etiket değerleri .....	31
Çizelge 2.8	Jeotermal bölgesel ısıtma sistemi boru hatlarının uzunlukları ve özellikleri .....	34
Çizelge 2.9	Jeotermal bölgesel ısıtma sistemindeki binaların kapalı alanları .....	36
Çizelge 2.10	Ölçümlerde kullanılan cihazların teknik özellikleri ve kullanım yerleri .....	39
Çizelge 2.11	2009 yılı üretim kuyularının aylık sıcaklık değerlerinin değişimi .....	56
Çizelge 2.12	2009 yılı sistemin çalışma şeklinde değişikliklerin yapıldığı dönemler ve bu dönemlerin gün sayıları .....	56
Çizelge 2.13	Enerji ve ekserji analizlerinin yapıldığı 7 farklı durum ve özellikleri .....	57
Çizelge 2.14	Örneğe giren bina sayıları ile yüzdeleri .....	61
Çizelge 2.15	Örnek binaların birinci bölüm anket sonuçları .....	62
Çizelge 2.16	Örnek binaların ikinci bölüm anket sonuçları .....	63
Çizelge 2.17	Binaların dış duvarlarının yalıtımsız, eksik yalıtımlı ve yalıtımlı durumlarının konstrüksiyonları ile $U$ değerleri .....	64
Çizelge 2.18	Binaların tavan bileşeninin yalıtımsız, eksik yalıtımlı ve yalıtımlı durumlarının konstrüksiyonları ile $U$ değerleri .....	65
Çizelge 2.19	Binaların döşeme bileşeninin yalıtımsız, eksik yalıtımlı ve yalıtımlı durumlarının konstrüksiyonları ile $U$ değerleri .....	66
Çizelge 2.20	Eski, yeni ve toplam örnek binaların konstrüksiyon dağılımı .	68
Çizelge 2.21	Örnek binaların pencere tipleri ve $U$ değerleri .....	68
Çizelge 2.22	Sistemdeki tüm binaların yapı bileşenlerinin toplam yüzey alanları .....	69
Çizelge 2.23	Sistemdeki otellerin ısı transfer katsayıları ve toplam yüzey alanları .....	69

Çizelge 2.24	Örnek binaların dış duvarlarının hesaplanan ve ölçülen ısı transfer katsayıları karşılaştırılması .....	70
Çizelge 2.25	Konut ve otellerin ısı kaybı hesabında kullanılan sıcaklık verileri .....	76
Çizelge 2.26	Toplam ısı güç gereksinimi .....	78
Çizelge 2.27	Boru hatlarının ısı kayıpları .....	80
Çizelge 2.28	Üretim kuyuları verileri ve üretim kuyularında elde edilen güç .....	81
Çizelge 2.29	Pik-güç ünitesinin gelir / gider tablosu .....	91
Çizelge 2.30	Yakıtların fiyat, alt ısı değer ve ısıtma sistemlerinin verimi ..	95
Çizelge 2.31	Yalıtım malzemelerinin özellikleri .....	95
Çizelge 3.1	Belirlenen 7 farklı durumun enerji analizi sonuçları .....	103
Çizelge 3.2	Belirlenen 7 farklı durumun ekserji analizi sonuçları .....	103
Çizelge 3.3	Dönemlik ve yıllık ortalama enerji ve ekserji verimleri .....	104
Çizelge 3.4	İç karlılık oranının hesaplama tablosu .....	110
Çizelge 3.5	Kullanılan enerji türü ve yalıtım malzemesi tipine göre yapı bileşenlerinin (dış duvar, tavan, döşeme) optimum yalıtım kalınlıkları .....	112
Çizelge 3.6	Yapı bileşenlerinin yalıtım malzemesi ve türüne göre optimum yalıtım kalınlıklarında toplam alandan elde edilen yıllık tasarruf miktarları .....	114
Çizelge 3.7	Yapı bileşenlerinin geri ödeme süreleri .....	117

## **ÖNSÖZ**

Tez çalışmalarım sırasında her türlü desteği sağlayan Hocam Sayın Prof. Dr. Bedri YÜKSEL'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Değerli önerilerini benimle paylaşan tez izleme komitesi üyeleri Sayın Prof. Dr. Arif HEPBAŞLI ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Nadir İLTEN'e teşekkür ederim.

Her türlü katkılarından dolayı Gönen Belediye Başkanı Sayın Hüseyin YAKAR'a, Gönen Kaplıcaları İşletmesi A.Ş. Jeotermal Enerji Müdürlüğü'ne ve değerli personeline teşekkür ederim.

Her an yanımda hissettiğim aileme ve özellikle çok sevdiğim kardeşim Dr. Ayşe Şirin ASLAN'a teşekkür ederim.

Tez çalışmam sırasında sağlamış olduğu maddi desteklerden dolayı Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK)'a ayrıca teşekkür ederim.

**Balıkesir, 2010**

**Asiye ASLAN**

Bu alışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK)  
tarafından MAG 108M149 nolu proje olarak desteklenmiştir.

## 1. GİRİŞ

Enerji, toplumsal refahın sağlanması için gerekli aracın ve üretim faaliyetlerinin ana girdilerinden biri olarak ekonomik ve sosyal kalkınmanın vazgeçilmez temel taşlarından biridir. Enerji ile ilgili konular son yüzyılda büyük önem kazanmış ve her zaman ilgi odağı olma durumunu korumuştur. Var olan enerji kaynaklarının büyüyen dünya talebini karşılaması konusunda yapılan çalışmalar ve güvenli enerji arzının önemi insanların ve ülkelerin her zaman ilgisini çekmektedir.

Dünyada nüfus artışı, sanayileşme ve kentleşme olguları, küreselleşme sonucu artan ticaret olanakları, doğal kaynaklara ve enerjiye olan talebi giderek arttırmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı'nın (UEA) tahminlerine göre, mevcut enerji politikaları ve enerji arzı tercihlerinin devam etmesi durumunda dünya toplam enerji talebinin 2005-2030 yılları arasında % 49 artarak 11.4 milyar Ton Petrol Eşdeğerinden (TEP) 17.0 milyar TEP düzeyine ulaşacağını göstermektedir [1].

Dünyadaki ekonomik gelişmeler Türkiye'yi de etkilemiştir. 2007 yılında ülkemizin toplam birincil enerji tüketimi 107 625 bin TEP, üretimi 27 453 bin TEP olarak gerçekleşmiştir. Birincil enerji tüketimimizin yıllık % 4.3 artış ile 2020 yılında 220 milyon TEP'e ulaşacağı öngörülmektedir [1]. Burada en kritik soru, dünyada ve Türkiye'de bu talebin nasıl karşılanacağıdır. Bu noktada rüzgar, güneş, jeotermal, dalga gibi yenilenebilir enerji kaynakları dile getirilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları, fosil yakıtların tükenmesi ve enerji güvenliğinin sağlanması gibi kaygılarla tüm dünyada giderek artan bir ilgi ile karşılanmakta ve enerji ihtiyacının giderilmesinde önemli bir kaynak olarak görülmektedir. Bunlardan biri veya bir kaçının gelecekte dünya enerji talebinin önemli bir kısmını karşılayacağı konusunda kimsenin şüphesi yoktur. Çizelge 1.1' de dünya çapında her geçen gün kullanım alanları artan yenilenebilir enerji kaynaklarının güç üretim kapasiteleri verilmektedir.



Çizelge 1.1 Dünya yenilenebilir enerji kaynakları güç üretimi [2].

	İlave (2008 yılında)	Kurulu Güç (2008 yılı sonu)
<b>Güç Üretimi (GWe)</b>		
Büyük hidroelektrik santraller	25-30	860
Rüzgar türbinleri	27	121
Küçük hidroelektrik santralleri	6-8	85
Biyokütle santralleri	2	52
Fotovoltaikler (şebeke bağlantılı)	5.4	13
Jeotermal güç santralleri	0.4	10
Güneş santralleri	0.06	0.5
Dalga enerjisi santralleri	≈ 0	0.3
<b>Isı Üretimi (GWt)</b>		
Biyokütle ısıtması	10-15	≈ 250
Güneş kolektörleri	19	145
Jeotermal ısıtma	5-10	≈ 50
<b>Taşıma Yakıtlar (10<sup>9</sup> litre/yıl)</b>		
Etanol üretimi	17	67
Biyodizel üretimi	3	12

Çizelge 1.1'den güç üretim amaçlı en yüksek kapasiteye 860 GW ile büyük hidroelektrik santrallerin sahip olduğu görülmektedir. 2008 yılı sonu itibariyle dünya yenilenebilir güç ve ısı üretim kapasiteleri sırasıyla, 281.8 GW (büyük ölçekli hidroelektrik santralleri hariç) ve 445 GW'e ulaşmıştır. 2008 yılında dünya çapında yenilenebilir enerjide yeni kapasiteleri de içeren 120 milyar dolar yatırım yapıldığı tahmin edilmektedir. Bu rakam 2006 yılında gerçekleştirilen 63 milyon dolar yatırımın iki katı kadardır [2].

Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları bakımından Avrupa'daki birçok ülkeye nazaran oldukça iyi bir konumda bulunmaktadır. Çizelge 1.2 Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları üretim kapasitelerini vermektedir.

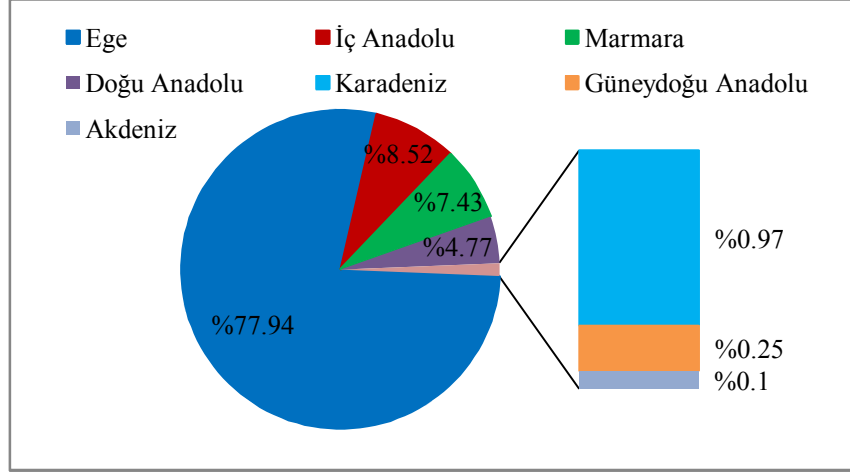
Çizelge 1.2 Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları üretim kapasiteleri [3].

Enerji Kaynağı	Kullanım Türü	Doğal Potansiyel	Teknik Potansiyel	Ekonomik Potansiyel
Güneş enerjisi	Elektrik (TWh/yıl)	977 000	6105	305
	Isı enerjisi (mtep/yıl)	80 000	500	25
Hidrolik enerji	Elektrik (TWh/yıl)	433	216	127.4
Rüzgar enerjisi	Karasal bazda	400	110	50
	Deniz bazında	-	180	-
Dalga enerjisi	Elektrik (TWh/yıl)	150	18	-
Jeotermal enerji	Elektrik (TWh/yıl)			1.4
	Isı enerjisi (MWt/yıl)	31 500	7500	2843
Biyokütle enerjisi	Klasik (mtep/yıl)	30	10	7
	Modern (mtep/yıl)	90	40	25

Çizelge 1.2 incelendiğinde, Türkiye'nin, özellikle bulunduğu güneş kuşağından dolayı güneş enerjisinin elektrik enerjisi üretimi açısından 6105 TWh/yıl gibi oldukça yüksek bir teknik potansiyele sahip olduğu, bunu 290 TWh/yıl ile rüzgar enerjisinin ve 216 TWh/yıl ile hidrolik enerjinin takip ettiği görülmektedir [3].

Türkiye'nin, Alp-Himalaya orojenik kuşağı üzerinde bulunmasıyla bağlantılı olarak, orojenik magmatik ve volkanik aktivitelerin çok olması nedeni ile jeotermal enerjinin doğal potansiyelinin oldukça iyi olduğu görülmektedir. Jeotermal enerji ile elektrik enerjisi üretimi açısından 1.4 TWh/yıl ekonomik potansiyele ve ısı enerjisi üretimi açısından 31 500 MWt/yıl ile doğal, 7500 MWt/yıl teknik ve 2843 MWt/yıl ekonomik potansiyele sahiptir. Ülkemiz jeotermal potansiyeli ile dünyada ilk 10 ülke arasındadır [4].

Ülkemizde aktif faylara ve volkanizmaya bağlı olarak başta Ege Bölgesi olmak üzere, İç Anadolu, Marmara, Doğu Anadolu, Karadeniz ve diğer bölgelerde 600'ün üzerinde jeotermal kaynak bulunmaktadır [5]. Şekil 1.1 Türkiye'nin jeotermal enerji potansiyelinin bölgesel dağılımını vermektedir.



Şekil 1.1 Türkiye'nin jeotermal enerji potansiyelinin bölgesel dağılımı [6].

Enerji içeriğine göre jeotermal kaynaklar; yüksek, orta ve düşük entalpili kaynaklar olmak üzere üç kategoride toplanmaktadır. Yüksek entalpili kaynaklar (>150 °C) konvensiyonel sistemler ile elektrik üretimine imkan sağlarken, orta (90-150 °C arası) ve düşük entalpili (<90 °C) kaynaklar direkt kullanıma olanak sağlamakta, bunun yanı sıra orta entalpili kaynaklar ikincil bir akışkanın kullanıldığı Organik Rankine Çevrimi (ORC) ile elektrik üretimine de imkan vermektedir [7, 8]. Çizelge 1.3 Türkiye'deki jeotermal kaynakların kullanım kapasitelerini vermektedir.

Jeotermal enerjinin direkt kullanımı, elektrik enerjisi gibi diğer enerji formlarına dönüştürülmeden ısı enerjisinin hazır kullanımını ifade etmektedir. Direkt kullanım başlıca alanları; bölgesel ısıtma, kaplıca uygulamaları, tarımsal, su ürünleri uygulamaları, endüstriyel prosesler ve ısı pompaları uygulamaları olarak sıralanabilir. Türkiye'de jeotermal enerjinin konut ısıtmadaki kullanımı hızla gelişmektedir. 2008 yılı itibarıyla 20 adet bölgesel ısıtma sistemiyle yaklaşık 6 milyon m<sup>2</sup> alana karşılık gelen konut ısıtılması jeotermal enerji ile sağlanmaktadır [10]. Çizelge 1.4 Türkiye'deki jeotermal bölgesel ısıtma sistemlerini ve kapasitelerini vermektedir.

Çizelge 1.3 Türkiye’deki jeotermal enerji kullanım kapasiteleri [9].

Jeotermal Kullanım	Kapasite
Bölgesel ısıtma (MWt)	845
Kaplıca kullanımı (MWt)	440
Toplam direkt kullanım (MWt)	1235
Güç üretimi (MWe)	20.4
Karbondioksit üretimi (ton/yıl)	120 000

Çizelge 1.4 Türkiye’nin jeotermal bölgesel ısıtma sistemleri ve kapasiteleri [10].

Şehir	Yıl	Ort. Sıcaklık (°C)	Debi (kg/s)	Konut Eşdeğeri (x100m <sup>2</sup> )
Gönen	1987	67	200	2500
Simav	1991	100	175	6000
Kırşehir	1994	54	270	1800
Kuzuluk	1994	80	25	500
Kızılcahamam	1995	70	150	2600
Balçova	1996	118	320	21 500
Afyon	1996	90	180	5000
Kozaklı	1996	98	100	1500
Sandıklı	1998	70	250	4000
Diyadin	1998	65	200	400
Armutlu	2000	78	30	250
Salihli	2002	80	150	4000
Sarayköy	2002	125	100	2500
Edremit	2004	60	270	2740
Bigadiç	2006	80	80	1000
Bergama	2006	62	100	200
Güre	2006	62	200	300
Sorgun	2007	75	200	1500
Yerköy	2007	60	40	500
Dikili	2008	120	40	150

## 1.1 Literatürdeki Çalışmalar

### Jeotermal Enerji ve Jeotermal Bölgesel Isıtma Sistemleri

Dünyada ve Türkiye’de jeotermal enerji araştırmaları çok eski yıllara dayanmasına rağmen, özellikle son yıllarda yapılan çalışmalar önemli proje uygulamaları ve incelemelerle sürekli önemini arttırarak günümüze kadar gelmiştir. Literatürde jeotermal enerjinin potansiyeli, kullanım alanları, kapasiteleri ve jeotermal bölgesel ısıtma sistemleri ile ilgili çok sayıda çalışmaya rastlanmıştır.

Fridleifsson [11] dünyadaki enerji kaynakları arasında jeotermal enerjinin durumunu değerlendiren çalışmasında, dünyanın birincil enerji tüketiminin yaklaşık 400 EJ/yıl olduğu ve bu ihtiyacın % 80 gibi büyük bir çoğunluğunun fosil enerji kaynakları tarafından karşılandığını belirtmiştir. Geri kalan % 14’lük kısmının ise biyokütle (% 10), hidroelektrik güç santralleri (% 2) ve yeni yenilenebilir kaynaklar (% 2) olmak üzere yenilenebilir enerji kaynakları ve % 6’lık kısmının da nükleer enerji tarafından karşılanmakta olduğunu bildirmiştir. Dünya Enerji Komitesinin farklı senaryolar doğrultusunda dünyanın birincil enerji tüketiminin 2050 yılı itibariyle % 50-275 arasında artacağını bildirdiğini belirten çalışmasında, 2050 yılı itibariyle yenilenebilir enerji kaynaklarının birincil enerji tüketiminin % 20-40’ını, 2100 yılı itibariyle de % 30-80’inini karşılayabileceğinin tahmin edildiği ifade edilmiştir. Bunun yanında, yenilenebilir enerji teknik potansiyelinin yaklaşık 7600 EJ/yıl olarak bilindiği ve bu değer gelecekte oluşacak enerji ihtiyacını karşılamada yeterli olacağını düşünüldüğü ifade edilmiştir. 1998 yılı itibariyle yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanan elektrik üretiminin yaklaşık 2826 TWh olduğu ve bu değer % 92’lik kısmının hidroelektrik güç santrallerinden, % 5.5’lik kısmının biyokütleden, % 1.6’lık kısmının jeotermal enerjiden, % 0.6’lık kısmının rüzgar enerjisinden, % 0.05’lik kısmının güneş enerjisinden ve % 0.02’lik kısmının ise gel-git enerjisinden elde edildiği bildirilmiştir. Jeotermal enerjiden ve su gücünden elektrik üretim maliyetinin 2-10 US\$/kWh arasında, rüzgar enerjisinden 5-13 US\$/kWh arasında, güneş enerjisinden ise 12-18 US\$/kWh arasında değiştiği ifade edilmiştir. Ayrıca toplam direkt ısı enerjisi kullanımının % 93’ünün biyokütle, % 5’inin jeotermal enerji ve % 2’sinin de güneş enerjisinden karşılandığı çalışmada

yer almaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biyokütleden 1-5 US\$/kWh arasında, jeotermal enerjiden 0.5-5 US\$/kWh ve güneş enerjisinden 3-20 US\$/kWh arasında ısı enerjisi elde etme maliyetinin olduğu da çalışmada belirtilmiştir.

Bloomquist [12] yaptığı çalışmada, jeotermal kaynakların ısıtma endüstrisinin % 37'sinde kullanıldığını ve bunun % 75'inin bölgesel ısıtma sistemleri olduğunu belirtmiştir. İlk endüstriyel jeotermal kullanımın 14.yy.'da Fransa'da Chaudes-Aigues Cantal'da bölgesel ısıtma sistemi olduğunu, 2003 yılı itibariyle jeotermal bölgesel ısıtma sistemlerinin 12 ülkede kullanıldığını ve 44 772 TJ yıllık enerji üretimi sağladığını ifade etmiştir. Bölgesel ısıtma için genelde 50 °C'nin üzerindeki sıcaklıkların gerektiği ve bazı şartlarda 40 °C gibi düşük sıcaklıklarında kullanılabilirliğini ve jeotermal ısı pompaları da ilave ederek bölgesel ısıtmanın iyi bir alternatif olduğunu belirtmiştir.

Lund v.d. [13] çalışmalarında dünya çapında jeotermal enerjinin direkt uygulamalarını ve kullanım kapasitelerini incelemişlerdir. Jeotermal enerjinin 72 ülkede direkt olarak kullanıldığını ve 2005 yılı itibariyle kullanım kapasitesinin 28 268 MWt olduğunu belirtmişlerdir. Bu kategorideki ısı enerjisi kullanımının yaklaşık % 32'lik kapasitesini ısı pompaları uygulamaları, %30'luk kapasitesini banyo ve yüzme havuzları uygulamaları, % 20'sini yüzey ısıtma, % 7.5'ini sera ısıtması, % 4'ünü endüstriyel prosesler, % 4'ünü tarım, cadde ısıtma ve diğer kullanımlar oluşturduğunu ifade etmişlerdir.

Mertoğlu v.d. [14] Türkiye'deki jeotermal uygulamalarını araştırmışlardır. Türkiye'de 2003 yılı itibariyle 61 000 konut eşdeğeri ısıtma yapılmaktadır. 665 MWt ısı enerjisi konut ısıtma için kullanılmakta ve 565 000 m<sup>2</sup> sera ısıtması gerçekleştirilmektedir. Jeotermal akışkan 195 kaplıcada (327 MWt) kullanılmaktadır. Türkiye'de 170 jeotermal saha bulunmaktadır. Kızıldere'de 20.4 MWe kapasiteli elektrik üretimi ve buna entegre CO<sub>2</sub> ile kuru buz üretimi yapılmaktadır. Bunun yanında 25 MWe ısı kapasiteli Aydın-Germencik santrali tamamlanarak işletmeye alınması planlanmaktadır.

Erdoğdu [15] çalışmasında, jeotermal enerjinin gelecek zamanlarda daha fazla kullanımının sağlanması için Türkiye'deki jeotermal enerjinin mevcut potansiyel, kullanım ve değerlendirmesini incelemiştir. Türkiye'nin jeotermal enerji potansiyelinin tamamını kullanması durumunda, toplam enerji ihtiyacının % 14'n karşılayabileceğini ifade etmiştir. Bundan dolayı jeotermal enerjinin fosil yakıtlar yerine çok cazip bir fırsat olduğu ve aynı zamanda fosil yakıtların negatif evre etkisinden dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının arttırılmasının zorunlu olduğunu ifade etmiştir. Çalışmada aynı zamanda jeotermal enerji politikaları ile ilgili bir takım ana hatlar çizilmiştir.

Gelegenis [16] jeotermal bölgesel ısıtma sistemlerinde yıllık ısı yükünün hızlı tahmini için bir algoritma geliştirmiştir. Algoritmayla jeotermal enerjinin direkt kullanımını eşanjörler ve ısı pompaları uygulamaları olarak ayırarak ısı yükü tahmini yapılmasını sağlamıştır. Isı yükünün hesabı, çeşitli temel sıcaklıklar için derece gün metodunun kullanımıyla detaylandırılmıştır. Çalışmada algoritmanın bir takım nümerik hesaplar yapılmaksızın ısı yükünün kolay bir şekilde tahmin edilmesini sağladığı ve farklı ısıtma sistemleri için % 0.8-1.3 hatayla geçerli sonuçlar verdiği ifade edilmiştir.

Richter v.d. [17] merkezi ısıtma sistemindeki korozyonu, boru hattı denetim metodu ile belirlemişlerdir. İzlanda'nın Reykjavik şehrinde yaptıkları çalışmada, paslanma sonucu çürüme faktörü tespit edilmiş ve ayrıca oksijen ölçer ile başarılı bir şekilde, sudaki çözünmüş oksijen oranı ölçülmüştür. alışmalarındaki sonuçlar şunu göstermiştir ki, çözünmüş oksijen oranı 100 ppm'in altında olduğunda yerel korozyon ihtimali çok azalmaktadır.

Thorsteinsson ve Tester [18] Amerika'daki bölgesel ısıtma sistemleri için Amerikan yasalarının mevcut yapısını ve bölgesel ısıtma sistemlerinin kapsamlı olduğu İzlanda ile karşılaştırmasını yapmışlardır. Amerika'da yaklaşık 1000 MW ısı kapasitesine sahip 21 adet faaliyette olan bölgesel ısıtma sistemi vardır. Isıtma ve sıcak su sağlama amaçlı kullanılan jeotermal bölgesel ısıtma sistemlerinin Amerika'da kullanımı ile nasıl avantajlar sağlanabileceği ile ilgili tavsiyeler sunmuşlardır.

Lund v.d. [19] Danimarka'da yenilenebilir enerji sistemlerinin geleceğinde bölgesel ısıtma sistemlerinin rolünü analiz etmişlerdir. 2010 yılında yenilenebilir enerji sistemleri bölgesel ısıtma sistemlerinin % 20'sini oluşturmaktadır. Bu çalışmada, 2060 yılında % 100 yenilenebilir enerji sistemlerine dönüştürmek için gerekli planı belirlemişlerdir. En iyi çözümün, bireysel ısı pompası sistemlerini bölgesel ısıtma sistemlerine birleştirmek olduğunu ifade etmişlerdir.

Erdoğmuş v.d. [20] Türkiye'nin en büyük sistemlerinden birisi olan ve İzmir'de bulunan Balçova-Narlidere jeotermal bölgesel ısıtma sistemini ekonomik açıdan değerlendirmişlerdir. İç verim oranı metodunu kullanarak yapılan yatırımın karlılığını araştırmışlardır. Bu amaçla farklı senaryolar geliştirmişlerdir. Bu senaryoların belirlenmesinde 2002 yılındaki işletme maliyetlerini belirli oranlarda arttırmışlar ve azaltmışlardır. Buna göre enerji kullanım fiyatının aylık 17 ile 72 US\$ arasında değiştiğini ortaya koymuşlardır.

Oktay ve Aslan [21] yaptıkları çalışmada Türkiye'deki jeotermal bölgesel ısıtma sistemleri ile ilgili genel bilgi verdikten sonra, Gönen jeotermal bölgesel ısıtma sisteminin son durumu üzerine kapsamlı bir araştırma yapmışlardır. Sistemin genel potansiyeli, jeotermal havza, kuyu ve ısı merkezi bilgileri ve sistemin tarihi gelişimini açıklamışlardır. Bunun yanında sistemin aylara göre ortalama ısı ihtiyacının bulunması üzerine kapsamlı bir hesaplama yapmışlar ve sistemin ekonomikliğini araştırmışlardır. Sistemin çevresel etkileri üzerine bir değerlendirme yapmışlardır. Jeotermal kaynaklı bölgesel ısıtma sistemlerinin fosil yakıtlardan ve diğer yenilenebilir kaynaklardan önemli ölçüde daha ucuz ve temiz olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Dağdaş [22] jeotermal bölgesel ısıtma sistemlerinde yakıt tasarrufu yaklaşımı ile eşanjör optimizasyonu yapmıştır. Jeotermal bölgesel ısıtma sistemlerinde yaygın olarak kullanılan ısıtma elemanı olan eşanjörler uygulama projelerinde, ilk yatırım maliyetinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Eşanjörler için ekonomik anlamda en önemli parametrelerden birisi, ısı transferi alanıdır. Bu nedenle optimum ısı transfer alanının belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, 90 °C sıcaklığa sahip bir jeotermal kaynak için, akışkan giriş sıcaklığı ve debisi bilinen ters



akışlı eşanjörün optimum ısı transfer alanının bulunması için matematiksel modeller oluşturulmuştur. Çalışmadaki amaç en yüksek yıllık net karı düşünerek, optimum ısı transfer alanının en uygun fonksiyonunu bulmaktır.

Küçüka [23] dört farklı kontrol mantıklarının jeotermal bölgesel ısıtma sisteminde kullanımı ve ısı etkilerini incelemiş ve jeotermal akışkanın yıllık tüketiminin azaltılması ile ilgili olarak % 10 dolayında bir avantaj elde edilebileceğini ortaya koymuştur.

Arslan v.d. [24] Türkiye'deki en önemli 15 jeotermal alandan birisi olan Simav jeotermal sahasında bulunan Simav jeotermal bölgesel ısıtma sisteminin optimizasyonunu yapmışlardır. Sistemdeki jeotermal kaynakların sıcaklık, basınç, debi gibi teknik özelliklerini belirttikten sonra sistemin şematik diyagramını vermişlerdir. Sistemin ana karakteristiklerini belirttikten sonra enerji, ekserji ve ömür çevrim analizi kapsamında sistemdeki ısıtma devresinin parametre etkilerini araştırmışlardır. Bir sonuç olarak, optimum ısıtma devresi 60/49 °C olarak belirlenmiştir.

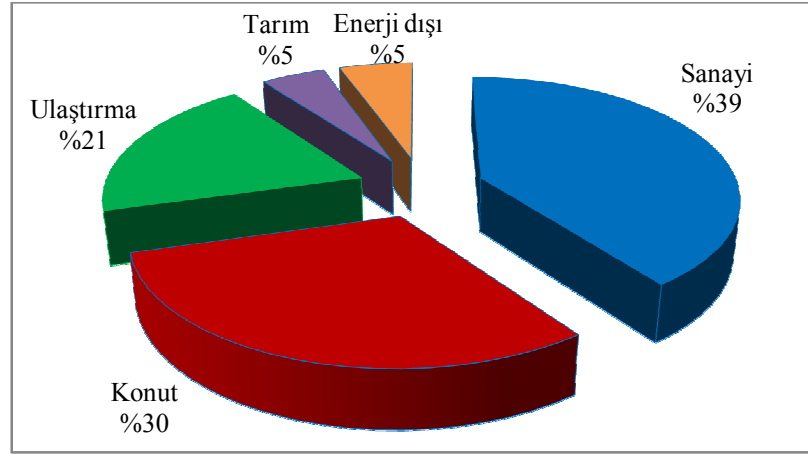
Yetemen ve Yalçın [25] Afyon jeotermal bölgesel ısıtma sisteminin enerji tüketimini değerlendirmişlerdir. Sistemin optimum ısıtma yükü farklı dış sıcaklıklar için belirlenmiştir. Sonuçlarda, jeotermal suların kullanımının optimizasyonu ile işletme maliyetinin azalacağını, ekipman ömrünün artacağını ifade etmişlerdir. Ayrıca çevre kirliliğinde azalma meydana geleceğini belirtmişlerdir.

### **Enerji Verimliliği**

Enerji talebini kontrol altına almanın bir diğer yolu enerjiyi verimli kullanmaktır. Enerji verimliliği, binalarda yaşam standardı ve hizmet kalitesinin, endüstriyel işletmelerde ise üretim kalitesi ve miktarının düşüşüne yol açmadan, birim hizmet veya ürün miktarı başına enerji tüketiminin azaltılmasıdır [26]. Dünyada verimlilik merkezli çalışmalar yaygınlaşmakta, tüm ülkeler ve büyük kuruluşlar yüksek bütçeler kullanarak bu alanda araştırma ve geliştirme faaliyetleri

yürütmektedir. Ülkemizde de çeşitli kurum ve kuruluşlar, enerji verimliliği konusunda çalışmalar yapmaktadır. Türkiye'nin enerji bağımlılığını azaltacak belki de en önemli girişim tasarruf olacaktır.

Türkiye'de tüketilen enerjinin sektörlere göre dağılımı Şekil 1.2'de verildiği gibidir. Şekilde 2007 yılında tüketilen enerjinin % 39'unun sanayi sektöründe, % 30'unun konutlarda, % 21'inin ulaşım sektöründe, % 5'inin tarım sektöründe ve % 5'inin enerji dışı kullanım olduğu görülmektedir [27].



Şekil 1.2 Türkiye'de tüketilen enerjinin sektörel dağılımı [27].

Dünya genelinde binalarda tüketilen enerji, toplam enerji tüketiminde daima önemli bir yere sahip olmuştur. Türkiye'de tüketilen enerjinin yaklaşık üçte birinin konut sektöründe olduğu Şekil 1.2'den görülmektedir. Binalarda uygulanacak teknikler ve alınacak çeşitli tedbirlerle büyük miktarlarda enerji tasarrufu yapılabileceği, dolayısıyla enerji verimliliğinin iyileştirilebileceği bugüne kadarki uygulamalarda görülmüştür. Ülkemizde, bina sektöründe % 30, sanayi sektöründe % 20 ve ulaşım sektöründe % 15 olmak üzere tasarruf potansiyelimiz olduğu tespit edilmiştir [1].

Binalardaki enerji verimliliğinin en önemli ayaklarından birisi olan bina dış kabuğunun enerji etkinliğinin iyileştirilmesi, yapı elemanlarının ısı geçirme

katsayılarının düşürülerek ısı direncin yükseltilmesi ile ilgili bir konudur. Bu noktada ısı yalıtımı önemli rol oynar. Bir binada ısı yalıtımı dış duvar, tavan ve döşemede yapılır. Doğru malzemenin ve doğru yalıtım kalınlığının uygulanmasıyla önemli oranda tasarruf sağlamak mümkündür.

Al-Homoud [28] ısı yalıtımının temel prensiplerini ve yalıtım malzemelerinin binalarda genel kullanımının performans karakteristiklerini ve mevcut uygulamalarını araştırmıştır. Isı yalıtımının binalarda sadece ısıtma ve iklimlendirme sistemlerindeki cihazların boyutlarını azaltmadığını aynı zamanda yıllık enerji fiyatlarını da düşürdüğünü ifade etmiştir. Buna ek olarak ısıl konforun sağlanmasına da yardımcı olduğunu belirtmiştir. Isı yalıtımının yapılması neticesinde elde edilen enerji tasarrufunun yalıtım malzemesinin tipi kadar, binanın bulunduğu yerin iklim şartlarına ve bina tipine de bağlı olarak değiştiğini ifade etmiştir.

Al-Sanea v.d. [29] binalarda enerjinin korunmasının en etkili yolunun ısı yalıtımı olduğunu ve son yıllarda yalıtım malzemelerinin yaygın kullanımı olmasına rağmen, dinamik ısı şartlarında optimum kalınlıkları hakkında çok az şey bilindiğini ifade etmiştir. Bu nedenle tipik bir bina duvarının sürekli şartlar altında yıllık ısıtma ve soğutma yüklerinin hesabı için nümerik bir model kullanmıştır. Hesaplanan optimum yalıtım kalınlığına elektrik tarifesinin etkisi araştırılmıştır.

Gustafson [30] yaptığı çalışmada, eski binalarda kullanılan enerjiyi azaltmak için optimizasyon yapmış ve bunun için bir simülasyon programı geliştirmiştir. Bu programı kullanarak ısıtma sistemlerinde ömür maliyet karşılaştırması yapmıştır. Burada en önemli vurgulanan sonuç, bölgesel ısıtma sistemlerinde işletme maliyetlerinin düşük olması için binalarda yeniden yalıtım yapılması ve ısı kayıplarının en aza indirilecek şekilde binaların tasarlanmasıdır.

Mohsen ve Akash [31] binalarda enerji tasarrufu konusunda Ürdün'de yaptıkları çalışmalarında binaların duvar ve çatılarında yalıtım malzemesi olarak EPS kullanılması durumunda % 76.8 değerine varan miktarlarda enerji tasarrufu sağlanabileceğini ortaya koymuşlardır.

Hasan [32] yaptığı çalışmada, ömür maliyet analizi yöntemine göre optimum yalıtım kalınlığını belirlemiştir. Sonuç olarak, kaya yünü ve polistren yalıtım malzemesi kullanarak Filistin’de duvar alanından 21 US\$/m<sup>2</sup> tasarruf sağlamanın mümkün olabileceğini hesaplamıştır. Duvar tipine bağlı olarak kaya yünü için 1 ve 1.7 yıl arasında polistren malzeme için ise 1.3 ve 2.3 yıl arasında geri ödeme süreleri elde etmiştir.

Çomaklı ve Yüksel [33] Türkiye’nin en soğuk üç şehri için (Erzurum, Erzincan ve Kars) binalarda dış duvarların optimum yalıtım kalınlığını belirlemiş ve Erzurum ili için optimum yalıtım kalınlığı uygulandığında 12 US\$/m<sup>2</sup>-yıl tasarruf sağlanabileceğini hesaplamışlardır.

Şişman v.d. [34] Türkiye’nin dört farklı derece-gün bölgesi için dış duvarın ve çatının optimum yalıtım kalınlığını belirlemişlerdir. Dış duvar için 1.28 ve 5.67 US\$/m<sup>2</sup>-yıl, çatı için 0.92 ve 4.92 US\$/m<sup>2</sup>-yıl arasında değişen tasarruf miktarı hesaplamışlardır.

Bolattürk [35] Türkiye’de farklı derece gün bölgelerinden 16 şehir için dış duvarların optimum yalıtım kalınlığını araştırmıştır. Çalışmasında kömür, doğalgaz, fuel-oil, LPG ve elektrik olmak üzere 5 farklı yakıt ve yalıtım malzemesi olarak polistren kullanmıştır. Farklı yakıt tiplerine ve farklı şehirlere bağlı olarak optimum yalıtım kalınlığını 2 ve 7 cm, enerji tasarrufunu % 22 ve % 79 ve geri ödeme süresini 1.3 ve 4.5 yıl aralığında hesaplamıştır.

Yu v.d. [36] Çin’de 4 farklı şehir için ısıtma ve soğutma amaçlı 5 farklı yalıtım malzemesi kullanarak ve P1-P2 ekonomik model ve derece gün analizi yöntemi ile tipik bir konut duvarının optimum yalıtım kalınlığını hesaplamıştır. Optimum yalıtım kalınlığı 5.3 ile 23.6 cm arasında ve geri ödeme süresi 1.9 ile 4.7 yıl arasında değişmektedir. Maksimum tasarruf 54.4 US\$/m<sup>2</sup> ile Shanghai’de, 54.8 US\$/m<sup>2</sup> ile Changsha’da, ve 41.5 US\$/m<sup>2</sup> ile Shaoguan’da ve 39.0 US\$/m<sup>2</sup> ile Chengdu’da elde edilmiştir.

Uçar ve Balo [37] Türkiye'nin dört iklim bölgesinden dört farklı şehrin dış duvarlarının optimum yalıtım kalınlığını, enerji tasarrufunu, geri ödeme süresini dört farklı enerji tipi ve dört farklı yalıtım malzemesi için hesaplamışlardır. Net enerji tasarrufu P1-P2 metodu kullanılarak hesaplanmıştır. Enerji tasarrufu 4.2 ile 9.5 US\$/m<sup>2</sup> arasında şehre ve yalıtım malzemesine bağlı olarak değişmektedir. En uzun geri ödeme süresi doğalgaz yakıtı kullanıldığında 2.25 yıl ile Mersin ili için, en kısa geri ödeme süresi LPG yakıtı kullanıldığında Bitlis ili için elde edilmiştir.

### **Ekserji Analizi**

Ekserji analizinin enerji sistemlerinin termodinamik analizinde güçlü bir araç olduğu kanıtlanmıştır [38-41]. Termodinamiğin birinci ve ikinci kanununu birleştiren ekserji analizi, enerjinin miktar ve niteliğinin belirlenmesini ve aynı zamanda sistemdeki enerji kayıplarının daha net bir görünümünü sağlar. Ekserji, çevresiyle etkileşim halinde olan sistemden elde edilebilen maksimum iş olarak tanımlanır [42, 43]. Ekserji analizi, bir jeotermal güç santralının analizinde ilk defa Badvarsson ve Eggers tarafından kullanılmıştır [44, 45]. Son zamanlarda jeotermal bölgesel ısıtma sistemlerinin performans ve verimliliklerinin belirlenmesinde ekserji analizi çok kullanılır hale gelmiştir [46-48].

Ekserji analizi yapmanın önemi aşağıdaki şekilde sıralanmaktadır [49].

- Enerji kaynaklarının kullanımının çevreye olan etkilerinin en iyi şekilde belirlenmesinde ana bir araçtır.
- Enerji sistemlerinin tasarımı ve analizi için termodinamiğin ikinci yasası ile birlikte kütle ve enerjinin korunumu prensiplerini kullanan etkin bir yöntemdir.
- Daha fazla verimli kaynak kullanılma amacını destekleyen uygun bir tekniktir. Belirlenmesi gereken atık ve kayıpların yerleri, tipleri ve gerçek büyüklükleri ortaya çıkarılır.
- Mevcut sistemlerdeki verimsizlikleri azaltarak, daha verimli enerji sistemlerini tasarlamının nasıl mümkün olup olmayacağını gösteren etkin bir tekniktir.

- Sürdürülebilir gelişmenin elde edilmesinde anahtar bir bileşendir.
- Enerji politikalarının oluşturulmasında kullanılabilecek önemli bir araçtır.

Tsatsaronis ve Moran [50] yaptıkları çalışmada, ekserji verimi, kayıp ekserji miktarı, ekserji kayıp oranı, kayıp ekserji maliyeti, eksergoekonomik faktör ve ilk yatırım maliyeti gibi termoekonomik değişkenleri kullanarak kojenerasyon sisteminde minimum maliyet analizi yapmışlardır. Bu çalışmada, türbinden elde edilen elektriğin maliyeti, 18.76 US\$/GJ olarak hesaplanırken, ısıtma amaçlı kullanılan sıcak suyun maliyeti ise 27.23 US\$/GJ olarak hesaplanmıştır.

Lee [51] jeotermal kaynakların daha doğru şekilde sınıflandırılabilmesi ve değerlendirilebilmesi için termodinamik iş yapabilme yeteneklerine göre sınıflandırılması gerektiğini ifade etmiş ve özgül ekserji indeksi (SE<sub>ExI</sub>) bağıntısını geliştirmiştir. Buna göre jeotermal kaynaklar; SE<sub>ExI</sub> < 0.05 ise düşük, 0.05 ≤ SE<sub>ExI</sub> < 0.5 ise orta ve SE<sub>ExI</sub> ≥ 0.5 ise yüksek kaliteli jeotermal kaynak olarak sınıflandırılmaktadır.

Rosen v.d. [52] ekserjinin avantajları ve ekserjinin yeşil enerji teknolojilerinin geliştirilmesine ve kullanımının artırılmasına nasıl yardımcı olabileceğini tartışmışlardır. Çalışma, mühendisler ve bilim adamları kadar endüstri, halk, medya ve hükümet tarafından da ekserji analizinin değerlendirilmesi ve anlamının geliştirilmesine yardımcı olmayı amaçlamıştır. Çünkü tüm bu grupların yeşil enerji teknolojilerinin değerlendirmesinde karar mekanizması olduğunu ifade etmişlerdir. Aynı zamanda çalışmada ekserjinin verim geliştirmek için bir araç olarak kullanılabileceğini ve teknik, çevresel ve ekonomik sorunların ekserji ile aralarındaki bağın tanımlanarak çözülmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Özgener v.d. [53] çalışmalarında, enerji ve ekserji analizi temelinde Gönen jeotermal bölgesel ısıtma sisteminin performans değerlendirmesini yapmışlardır. Belirlenen 6 °C referans sıcaklığı için tüm sistemin ekserji kayıpları hesaplanmış ve akış diyagramları ile gösterilmiştir. Sistemde ekserji kayıpları pompa, eşanjör, boru hattı ve reenjeksiyon olarak ortaya çıkmaktadır. Bu kayıp miktarları sisteme giren

toplam ekserjinin sırasıyla % 14.81, % 7.11, % 1.06 ve % 12.96'sı kadardır. Sistemin enerji ve ekserji verimleri araştırılarak sırasıyla % 45.91 ve % 64.04 olarak belirlenmiştir.

Hepbaşı ve Balta [54] düşük sıcaklıklı jeotermal kaynakların binalarda ısı pompası uygulamaları olarak kullanımının performans değerlendirmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada sistemin dizaynının yapıldığı, uygulamaya alındığı ve Niğde Üniversitesinde 2005 yılından beri başarılı bir şekilde kullanımda olduğu ifade edilmiştir. Performans değerlendirmesinde deneysel verileri kullanarak enerji ve ekserji metodunu uygulamışlardır. Her bir bileşenin ve sistemin tümünün ekserji kayıplarını hesaplamışlardır. Referans değerlerinin 0 °C ile 25 °C arasındaki değişimine göre ısı pompasının ve tüm sistemin enerji ve ekserji verimlerinin sırasıyla % 73.9 ile % 73.3 ve % 63.3 ile % 51.7 arasında değiştiğini gözlemlemişlerdir.

Özgener v.d. [55] Balçova, Salihli ve Gönen jeotermal bölgesel ısıtma sistemlerinin kapsamlı bir analizini yapmışlardır. Bu üç sistemin enerji - ekserji modellerini ve sistem performans analizlerini oluşturmuşlardır. Sistemlerin 4 °C referans sıcaklığında enerji verimliliği % 39.6 ile % 55.6 arasında, ekserji verimliliği % 45.7 ve % 63 arasında değişmiştir. Aynı referans sıcaklığında toplam enerji girdisi 17.02 MW ile 101.22 MW arasında değişmiştir. Yapılan çalışmada Salihli jeotermal bölgesel ısıtma sisteminin üç sistem arasında en yüksek enerji verimliliğine sahip olduğu, bunu Balçova ve Gönen'in takip ettiği, en yüksek ekserji verimliliğinin ise Gönen jeotermal bölgesel ısıtma sisteminde olduğu, bunu Salihli ve Balçova'nın takip ettiği belirlenmiştir.

Rosen ve Dinçer [56] çeşitli referans durum özelliklerinin enerji ve ekserji analizi sonuçlarına etkisi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Burada referans durum özelliklerinin seçimi ile enerji ve ekserji değerlerini ve kompleks sistemlerin enerji ve ekserji sonuçlarını hassas olarak açıklayabilmeyi amaçlamışlardır. Örnek sistem olarak ele alınan kömür yakıtlı elektrik üreten sistemlerde referans durumun gerçek etkisi gösterilmiş ve referans durum çeşitliliğinin öneminin az olduğunu ifade edilmiştir.

Hepbaşı [57] yenilenebilir enerji kaynaklarının performans değerlendirmelerine ilişkin kapsamlı bir ekserjetik analiz inceleme çalışması yapmıştır. Bu amaçla ilk etapta analizde kullanılan genel bağıntılar (enerji, ekserji ve entropi denge denklemleri, ekserjetik iyileştirme potansiyeli ve bazı termodinamik parametreler gibi) sunulmuştur. Daha sonra güneş enerji sistemleri, rüzgar enerji sistemleri, jeotermal enerji sistemleri, biyokütle ve diğer yenilenebilir enerji sistemleri analiz edilmiş ve değerlendirilmiştir. Çalışma önceki çalışmalarla karşılaştırılmış, ekserji kayıpları ekserji akış diyagramları ile ifade edilmiş ve sonuçlar sunulmuştur.

Kalınıcı v.d. [58] ekonomik analiz ile enerji ve ekserji analizi kullanarak jeotermal bölgesel ısıtma sistemlerinin performans analizi ile optimum boru çapını belirlemek amaçlı bir çalışma yapmışlardır. Bu bağlamda Dikili, İzmir jeotermal bölgesel ısıtma sistemini incelemişlerdir. Sistemi dağıtım hattı, Danıştay bölgesi ve Barışkent bölgesi olarak üçe ayırmışlardır. Tüm sistemin ekserji kayıplarını belirleyip, enerji ve ekserji akış diyagramları ile göstermişlerdir. Ekserji kayıpları jeotermal akışkanın reenjeksiyonu, eşanjörler, pompalar ve sisteme giren toplam ekserjinin % 1.94 oranında ise dağıtım hattında meydana gelmektedir.

Kelly v.d., [59] ileri ekserji analizi yaklaşımı olarak sistemlerdeki ekserji kayıplarını iki bölümde değerlendirmişlerdir. İlk bölüm sistemin bileşenlerinin performansları doğrultusunda ortaya çıkan kayıplar, ikinci bölüm ise sistemin bileşenlerinin verimsizliğinden ortaya çıkan kayıplardır. Bu çalışmada söz konusu yaklaşımın avantaj, dezavantaj, kısıtlamaları ve uygulamalarını birleştirme noktaları sunulmuştur.

### **Enerjinin Çevresel Etkileri**

Enerjinin insanlık için tüm önemi ve yararlarının yanı sıra, üretimi, taşınması, tüketimi ve atıkları itibariyle insan sağlığı ve çevre yönünden belli bir risk taşıdığı son yıllarda ortaya çıkmıştır. Bu risk özellikle hava, toprak, su kirliliği, sağlık sorunları, doğal dengenin bozulması, biyolojik çeşitliliğin azalması, belli canlı



türlerinin yok edilmesi gibi bazı sonuçları vurgulamaktadır. Tüm bu nedenlerden dolayı kullanımı sırasında sıfıra yakın çevre kirliliğine neden olan yenilenebilir enerji kaynaklarının ve enerji tasarrufunun önemi bir kez daha ortaya çıkmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı hava, toprak ve su kalitesinin korunmasına ve doğal dengenin idamesine yardımcı olmaktadır.

Kristmannsdottir ve Armannsson [60] jeotermal enerjinin çevresel etkileri üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bir jeotermal alanı geliştirme kararı almadan önce jeotermal enerjinin pozitif ve negatif etkilerinin düşünülme zorunda olduğunu ifade etmişlerdir. Jeotermal gelişmelerin ana çevresel etkilerini yüzey karışıklığı, akışkanın sondajının fiziksel etkileri, ısı etkisi ve kimyasal geri dönüş etkisi olarak belirtmişlerdir. Tüm bu faktörlere biyolojik etkileri de dahil etmişlerdir. Ayrıca endüstriyel aktiviteler kadar sosyal ve ekonomik etkilerinde önemli olduğunu belirtmişlerdir.

Kömürcü ve Akpınar [61] Türkiye'deki enerji ihtiyacının güncel durumu ve jeotermal enerjinin yenilenebilirliği, potansiyeli, kullanımı ve önemini açıklamışlardır. Aynı zamanda jeotermal enerji ve diğer enerji kaynakları arasında çevre sorunları anlamında bir karşılaştırma yapmışlardır. Yazarların tahminlerine göre jeotermal enerjinin Türkiye'de kullanımı ile 5 milyon konut ısıtılmakta ve bunun sonucunda 48 milyon ton/yıl CO<sub>2</sub> emisyonunun atmosfere atılması önlenmektedir. Bu nedenle jeotermal enerji gelecekte önem kazanacaktır.

Kaygusuz [62] Türkiye'deki enerji ve sürdürülebilir gelişmeler için sera gazlarının çevresel sorunlar üzerine etkisini inceleyen bir çalışma yapmıştır. 1990 yılından beri enerji tüketiminin yıllık ortalama % 4.3 oranında arttığı ve enerji üretim ve tüketimdeki artışın lokal, bölgesel ve global seviyede çevre sorunlarına neden olduğunu belirtmiştir. Türkiye'de 2004 yılında emisyon miktarının 193 milyon ton değerine ulaştığını ve sera gazlarının emisyonlarını azaltmada devletlerin bir lider rolü oynamakta olduğunu ifade etmiştir.

Çomaklı ve Yüksel [63] Erzurum ili için ısı yalıtımının çevresel etkilerini araştırmışlardır. Binaların dış duvarlarında optimum yalıtım kalınlığı uygulanması durumunda yaklaşık % 50 oranında CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltılabileceğini belirlemişlerdir.

Dombaycı [64] Türkiye'nin üçüncü iklim bölgesinde bulunan Denizli ili için dış duvarların optimum yalıtım kalınlığının çevre etkisini araştırmıştır. Enerji kullanımının ve emisyon miktarlarının azaltılması için optimum yalıtım kalınlığının çok önemli olduğunu ifade etmiştir. Sonuç olarak optimum yalıtım kalınlığı uygulandığında enerji tüketiminde % 46.6 ve CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> emisyonlarında % 41.5 oranında azalma olabileceğini hesaplamışlardır.

## **1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı**

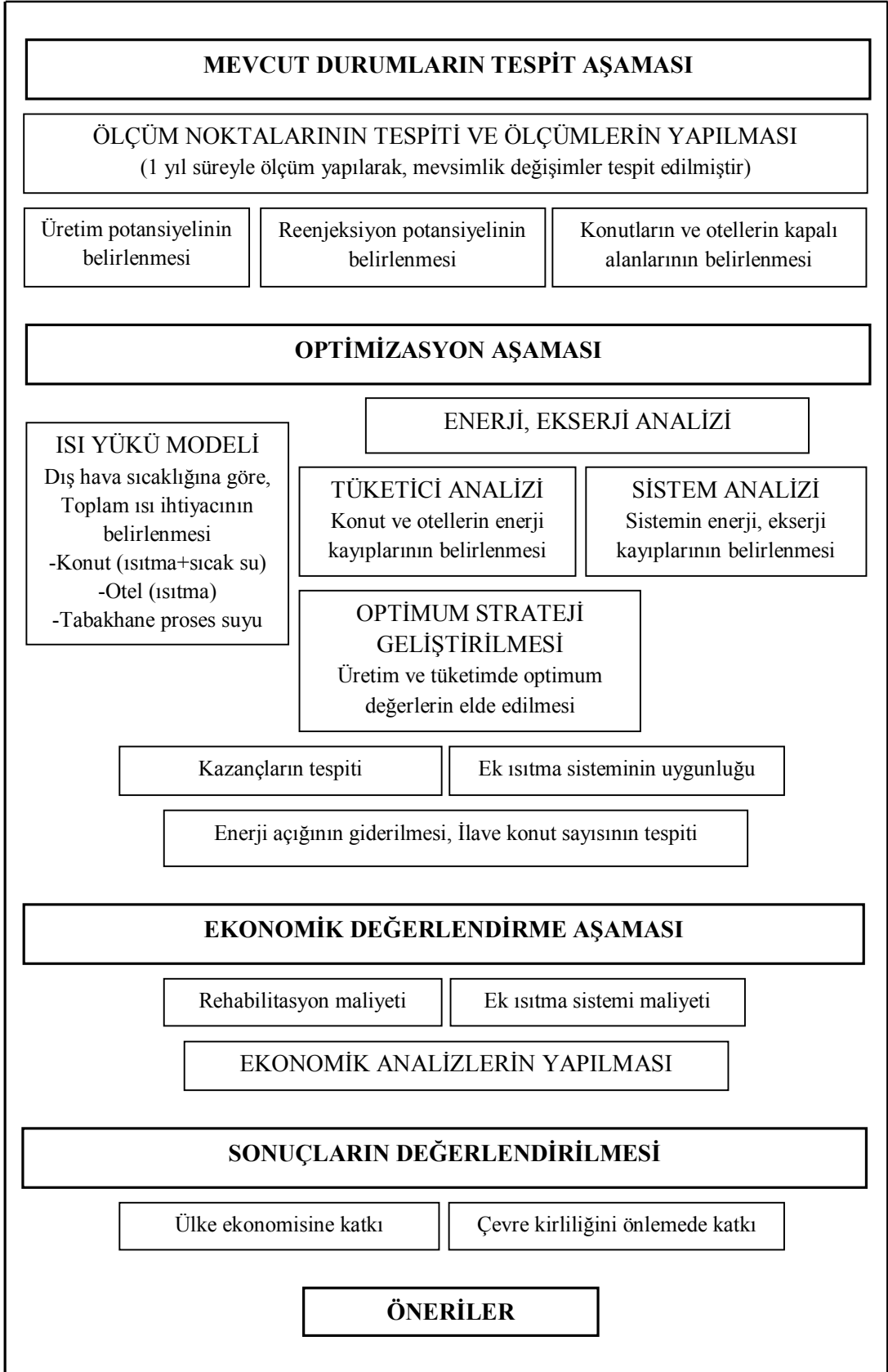
Gönen jeotermal bölgesel ısıtma sistemi 1987 yılında devreye alınan Türkiye'nin ilk jeotermal bölgesel ısıtma sistemidir. Bu özelliği ile birçok şehre ve ilçeye örnek olmuş, bu tür projelerin yaygınlaşmasına ve ülkemizdeki jeotermal endüstrisinin gelişmesine önemli katkı sağlamıştır. Yapılan çalışmanın temel amacı, Gönen jeotermal bölgesel ısıtma sisteminde üretilen enerjinin verimli bir şekilde kullanılabilmesinin sağlanması ve çeşitli problemlerin ortadan kaldırılabilmesi için alınabilecek tedbirlerin ve ek yatırımların belirlenmesidir. Hazırlanan tezde jeotermal bölgesel ısıtma sistemleri ile ilgili daha önce yapılan diğer çalışmalardan farklı olarak aşağıda belirtilen konular araştırılmıştır.

Gönen jeotermal bölgesel ısıtma sistemi 01.01.2009 ile 31.12.2009 tarihleri arasında 1 yıl süreyle sürekli takip edilmiş ve hesaplamalarda kullanılan veriler sistem üzerinden periyodik olarak ölçülerek kaydedilmiştir. Elde edilen veriler sistemin kontrolünü sağlayan noktalara, ölçüm cihazlarının monte edilmesiyle veya portatif cihazların kullanılmasıyla ölçülmüş ve veri toplama sistemi ile kaydedilmiştir. Diğer çalışmalardan farklı olarak sistemin performansını ve verimliliğini belirlemek için kış, yaz, ilkbahar ve sonbahar dönemleri ayrı ayrı değerlendirilerek birden fazla enerji ekserji analizi yapılmıştır. Her bir enerji ekserji

analizinde, sistem bileşenlerinin enerji ve ekserji kayıpları ve verimleri belirlenmiştir. Mevsimlik verimlerin oransal ortalaması alınarak yıllık değere ulaşılmıştır. Böylece bölgesel ısıtma sistemlerinin yılın belli mevsim veya dönemlerinde daha verimli kullanılabilme olanakları araştırılmıştır.

Jeotermal bölgesel ısıtma sistemiyle ısıtılan binaların enerji kayıplarının belirlenebilmesi için dış duvar, tavan ve döşeme yapı bileşenlerinin ısı iletim katsayıları hesaplanmış ve/veya ölçülmüştür. Ayrıca yalıtımla yapılabilecek tasarruf miktarının belirlenebilmesi için optimum yalıtım kalınlıkları her yapı elemanı için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu amaçla, binaların yapısal özelliklerinin tespitinde örnekleme metodu kullanılarak örnek binalar belirlenmiştir. Bina sakinlerine anket uygulanmış ve binalarda ölçümler yapılmıştır. Sistemdeki tüm binaları kapsayan incelemelerde optimum yalıtım kalınlıklarının uygulanmasıyla elde edilebilecek enerji tasarrufu ve yatırımın geri ödeme süreleri hesaplanmıştır.

Sistemin enerji ihtiyacı belirlenerek, enerji açığı doğrultusunda ilave edilmesi gereken pik-güç ünitesinin kapasitesi hesaplanmış ve maliyet tablosu oluşturularak ekonomik analizi yapılmıştır. Çalışmanın kapsamını ifade eden akış şeması Şekil 1.3'te verilmiştir.



Şekil 1.3 Çalışmanın akış şeması.

## 2. MATERYAL ve YÖNTEM

### 2.1 Gönen İlçesinin Tanıtımı

Gönen, Marmara Bölgesi'nde Balıkesir iline bağlı bir ilçedir. İlçe merkezinin deniz seviyesinden yüksekliği 33 m ve toplam alanı 1152 km<sup>2</sup> olup 40°06' kuzey enlemleri ile 27°38' doğu boylamlarında yer almaktadır. Gönen ve çevresi Akdeniz ve Karadeniz iklimlerinin etkisi altındadır. Gönen ilçesinde yıllık sıcaklık ortalaması 13.9 °C'dir. Son 50 yıl içerisinde kaydedilen en yüksek sıcaklık 42.7 °C (22 Ağustos 1977 tarihinde), en düşük sıcaklık ise -15.1 °C (21 Şubat 1985 tarihinde) ölçülmüştür [65]. Gönen TS 825 "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları" standardına göre İkinci 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 [66,67].

### 2.2 Gönen İlçesinde Bulunan Jeotermal Kaynaklar

Gönen havzasında, biri Gönen ilçe merkezi içinde (Kaplıca kaynağı), diğeri bunun 14 km güneybatısında (Dağ ılıcası) olmak üzere iki sıcak su kaynağı mevcuttur. Ayrıca kaplıcanın 1 km kadar doğusunda kullanılmayan bir başka sıcak su kaynağı da mevcuttur [68]. Çizelge 2.1'de Gönen havzasında kullanılan sıcak su kaynaklarının ortalama sıcaklık ve yaklaşık debi değerleri verilmektedir.

Çizelge 2.1 Gönen sıcak su kaynaklarının ortalama sıcaklık ve debi değerleri.

	Ortalama Sıcaklık (°C)	Debi (kg/s)
Kaplıca Kaynağı	67	155
Dağ Ilıcası	44	8

### 2.3 Kullanılan Merkez Jeotermal Saha

Gönen jeotermal sahasında yer alan toprak tabakaları sırasıyla üstten alta doğru alüvyon, Bayramiç formasyonu, Ezine volkanitleri, Bilecik kireçtaşı ve en altta Karakaya formasyonundan oluşmaktadır.

İstifin en altında yer alan Karakaya formasyonu geçirimsiz temel kayası niteliğindedir. İçerisinde seyrek kireçtaşı blokları bulunmakla birlikte, geçirimsiz temeli oluşturur.

Bilecik kireçtaşı ileri derecede karstlaşmış iyi bir karstik akiferdir. Havzada kalınlığı yer yer 300 metreyi aşmaktadır. Üstünde yer alan Miyosen yaşında örtü çökelleri niteliğindeki Ezine volkanitleri ile Gönen Jeotermal sahasının basınçlı rezervuarını teşkil etmektedir. Karstlaşmalar daha çok fayların denetiminde gelişmiştir [69].

Bilecik kireçtaşının oluşturduğu karstik rezervuar üzerinde örtü çökelleri olarak yer alan Ezine volkanitleri, lav, tüf arakatlı volkanoklastik kıltaşı, silttaşı ve çakıllı kıltaşıdan oluşmaktadır. Havzadaki kalınlığı yer yer 200 metreden daha fazladır. Jeotermal rezervuarın örtü kayasını oluşturur.

Bayramiç formasyonu başlıca kil, silt ve kumlardan oluşmaktadır. Geçirimsiz kil ve siltler hakim litolojiyi oluşturur. Ezine volkanitleri ile birlikte geçirimsiz örtü çökellerini teşkil ederler.

Havzada en üstte Gönen çayının taşıyıp getirdiği kırıntılı malzemedan oluşan alüvyon yer almaktadır. Jeotermal sahada kalınlığı 11 metreyi geçmeyen alüvyon, havzanın geçirimli serbest akiferini oluşturmaktadır. Yer altı suyu derinlikleri temel araştırma sondaj verilerine dayalı olarak hazırlanmıştır.

MTA tarafından öngörülen yeraltı jeoloji modelinde, Karakaya formasyonu içerisinde kireçtaşı blokları ve daha derin zonlarda akifer özelliğinde derin hazne kayaların olabileceği düşüncesi mevcuttur [69].

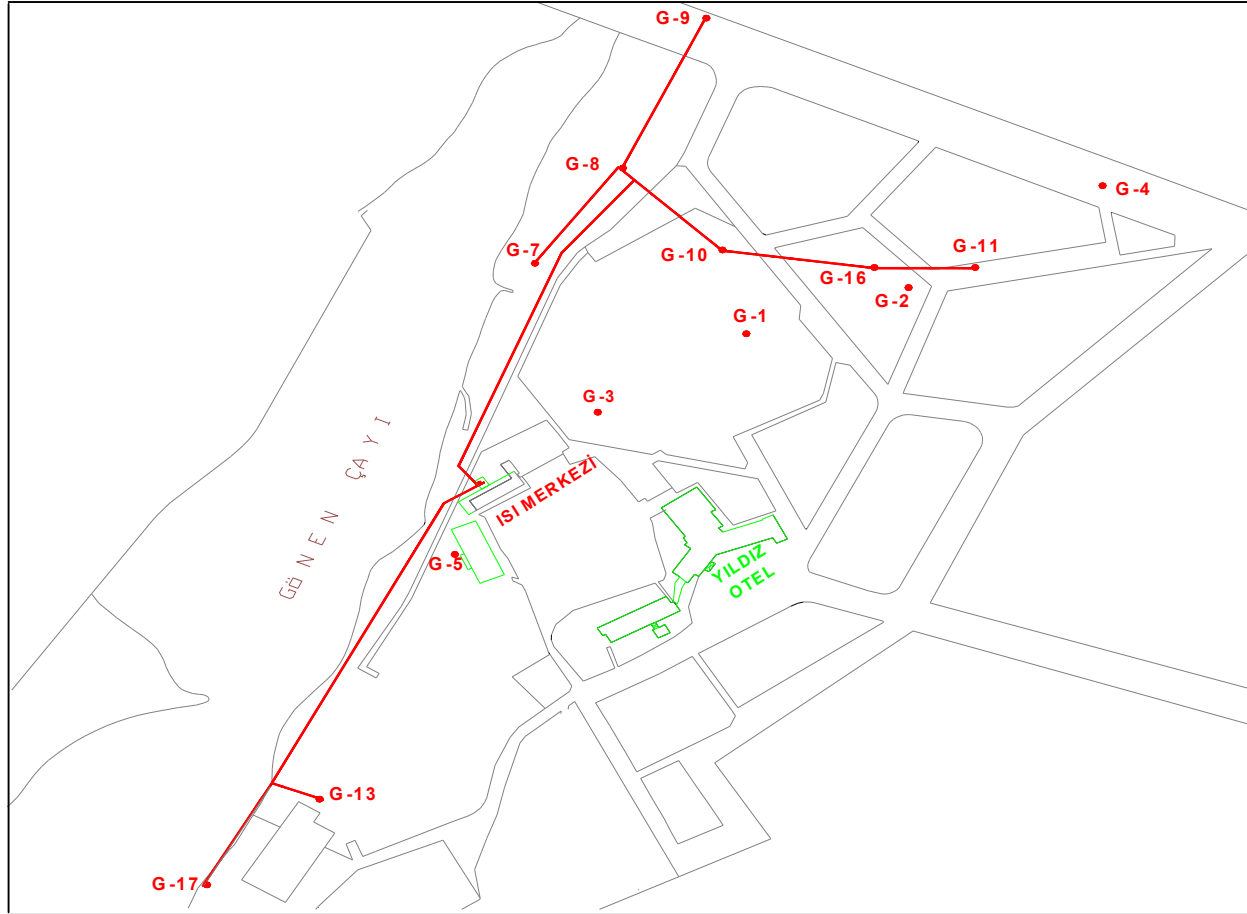
## 2.4 Jeotermal Bölgesel Isıtma Sistemi

Gönen jeotermal bölgesel ısıtma sistemi üç bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde; üretim ve reenjeksiyon kuyuları, denge tankları ve kuyu pompaları ile ekipmanları, ikinci bölümde; ısı aktarımını sağlayan ısı değiştiriciler (eşanjörler) sirkülasyon pompaları, çökeltme ve genleşme tankları, üçüncü bölümde ise bina ısıtma sistemleri bulunmaktadır. Bu bölümler hakkında aşağıda detaylı bilgi verilmektedir.

### 2.4.1 Jeotermal Kuyular

Gönen jeotermal bölgesel ısıtma sistemi, derinlikleri 133 ve 800 m arasında değişen toplam 17 adet kuyuya sahiptir. Sistemdeki 8 kuyu üretim amaçlı, 1 kuyu reenjeksiyon amaçlı olarak kullanılmakta olup, geri kalanlar ise atıl pozisyonundadır. Kuyuların, kuyu başı sıcaklıkları 50 ile 94 °C arasında, debi değerleri yaklaşık 7 ile 26 kg/s arasında değişmektedir. Yüksek entalpili ve yüksek debili kuyuların ürettikleri birim ısı enerjisi başına tükettikleri elektrik enerji daha az olduğu için diğer kuyulara oranla verimli sayılmaktadır. Jeotermal sahada bulunan kuyuların yerleşim planı Şekil 2.1’de gösterilmiştir. Kuyuların teknik özellikleri ve mevcut durumları ise Çizelge 2.2’de verilmiştir. Çizelgede sıcaklık, basınç ve debi verileri ölçülerek, diğer veriler ise işletmeden temin edilmiştir.

Gönen jeotermal kuyularında termal suyun çıkarılmasında dik milli (düşey eksenli) pompalar kullanılmaktadır. Bu tür pompalar montaj uzunlukları ve sıcaklık dayanımları ile dikkat çekmektedir. Çizelge 2.3 aktif jeotermal kuyularda kullanılan pompaların teknik bilgilerini vermektedir.



Şekil 2.1 Jeotermal sahada bulunan kuyuların yerleşim planı.



Çizelge 2.2 Jeotermal kuyuların teknik özellikleri (Aralık 2009).

Kuyu No	Açıldığı Yıl	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Basınç (bar)	Debi (kg/s)	Seviye (m)	İşletme Durumu
G1	1976	133	-	-	-	-	Reenjeksiyon
G2	1976	534	-	-	-	-	Servis dışı
G3	1987	308	-	-	-	-	Servis dışı
G4	1990	432	-	-	-	-	Servis dışı
G5	1991	332	-	-	-	-	Servis dışı
G6	1997	385	-	-	-	-	Servis dışı
G7	1997	380	51.44	1.5	13.8	47	Üretim
G8	1998	280	56.75	1.6	23.6	46	Üretim
G9	1999	560	91.11	2.0	6.9	28	Üretim
G10	1999	265	66.69	1.9	23.6	48	Üretim
G11	2002	800	78.00	2.1	8.3	48	Üretim
G12	2002	250	-	-	-	-	Servis dışı
G13	2002	350	59.22	1.6	25	56	Üretim
G14	2002	250	-	-	-	-	Servis dışı
G15	2003	188	-	-	-	-	Servis dışı
G16	2003	230	80.15	1.7	25	30	Üretim
G17	2003	240	63.84	1.5	26.3	38	Üretim

Çizelge 2.3 Jeotermal kuyularda kullanılan pompaların etiket değerleri.

Pompa No	Derinlik (m)	Debi (m <sup>3</sup> /h)	H <sub>m</sub> (mSS)	Güç (kW)	Devir (d/d)
G7	100	72	70	45	1400
G8	80	72	70	37	1400
G9	100	28.8	70	37	2900
G10	80	72	70	37	1400
G11	80	30	70	30	2900
G13	80	72	70	37	1400
G16	80	90	70	55	1400
G17	80	72	70	45	1400

Jeotermal sistemlerde, jeokimyasal parametrelerle sıcaklık tahmini kalitatif ve kantitatif jeotermometrelerle yapılmaktadır. Kalitatif değerlendirmelerde, yüksek sıcaklık parametresi olarak, yüksek miktarlarda Na, Cl, SiO<sub>2</sub> ile düşük miktarlardaki Mg, SO<sub>4</sub>, Ca ve orta miktarlardaki K<sup>+</sup> HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> değerleri baz olarak alınmaktadır [69]. Çizelge 2.4’de jeotermal kaynağın kimyasal analiz değerleri verilmektedir.

Gönen jeotermal kaynağının işletme raporlarına [69] göre, rezervuar sıcaklığının 150 °C’nin üstünde olabileceği hakkında kalitatif parametreler pek ümit verici değildir. Yüksek sıcaklıklı rezervuarlar için yüksek konsantrasyonlarda bulunması gereken SiO<sub>2</sub>, Na ve Cl değerleri söz konusu kaynakta 59, 445 ve 266 mg/lit düzeyindedir. Formasyon ile jeotermal akışkan arasında sıcaklığa bağımlı reaksiyonlarla çözünüp dengede bulunan elementlere dayanılarak oluşturulan kantitatif jeotermometrelere göre hesaplanan sıcaklık değerleri Çizelge 2.5’te verilmiştir.

Buna göre, Gönen jeotermal kaynağının SiO<sub>2</sub>, Na-K-Ca ve Na-K jeotermometrelerine göre rezervuar sıcaklığı 110-149 °C arasında hesaplanmaktadır [69].

Genel olarak jeotermal suların asitli, nötral ve alkali karakterde oluş durumlarına göre anyon ve katyon dağılımları şöyledir.

Asitli sıcak kaynaklar	: Na > Ca > Mg,	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> > Cl <sup>-</sup> > HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Nötral sıcak kaynaklar	: Na > Ca > Mg,	Cl <sup>-</sup> > SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> > HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Alkali sıcak kaynaklar	: Na > Ca > Mg,	Cl <sup>-</sup> > SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> > HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Deniz Suları	: Na > Ca > Mg,	Cl <sup>-</sup> > SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> > CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>

Gönen kaynağının anyon katyon dağılımı ise, Na > Ca > Mg, SO<sub>4</sub><sup>-</sup> > Cl<sup>-</sup> > HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> şeklinde olup asitli sıcak kaynak karakteristiğini taşımaktadır [69].

Çizelge 2.4 Jeotermal kaynağının kimyasal analizi [69].

pH	(25 °C)	6.8	
Sp kondüktivite	(25 °C) (mho)	5200	
Buharlaşma Kalıntısı	(180 °C) (mg/lt)	1532	
	(mg/lt)		(mg/lt)
K <sup>+</sup>	18	Hg	0.0001
Na <sup>+</sup>	445	SiO <sub>2</sub>	59
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1.67	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	378
Ca <sup>++</sup>	51.0	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.0
Mg <sup>++</sup>	3.2	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	506
B (total)	7.2	Cl <sup>-</sup>	266
Li <sup>+</sup>	1.8	F	8.0

Çizelge 2.5 Jeotermal suların kantitatif jeotermometrelere göre sıcaklık değerleri [69].

SiO <sub>2</sub> (ppm)		Na-K-Ca (ppm)		Na-K (ppm)	
SiO <sub>2</sub>	59	Na	445	Na	445
		K	18	K	18
		Ca	51		
t = 110 °C		t = 144 °C		t = 149 °C	

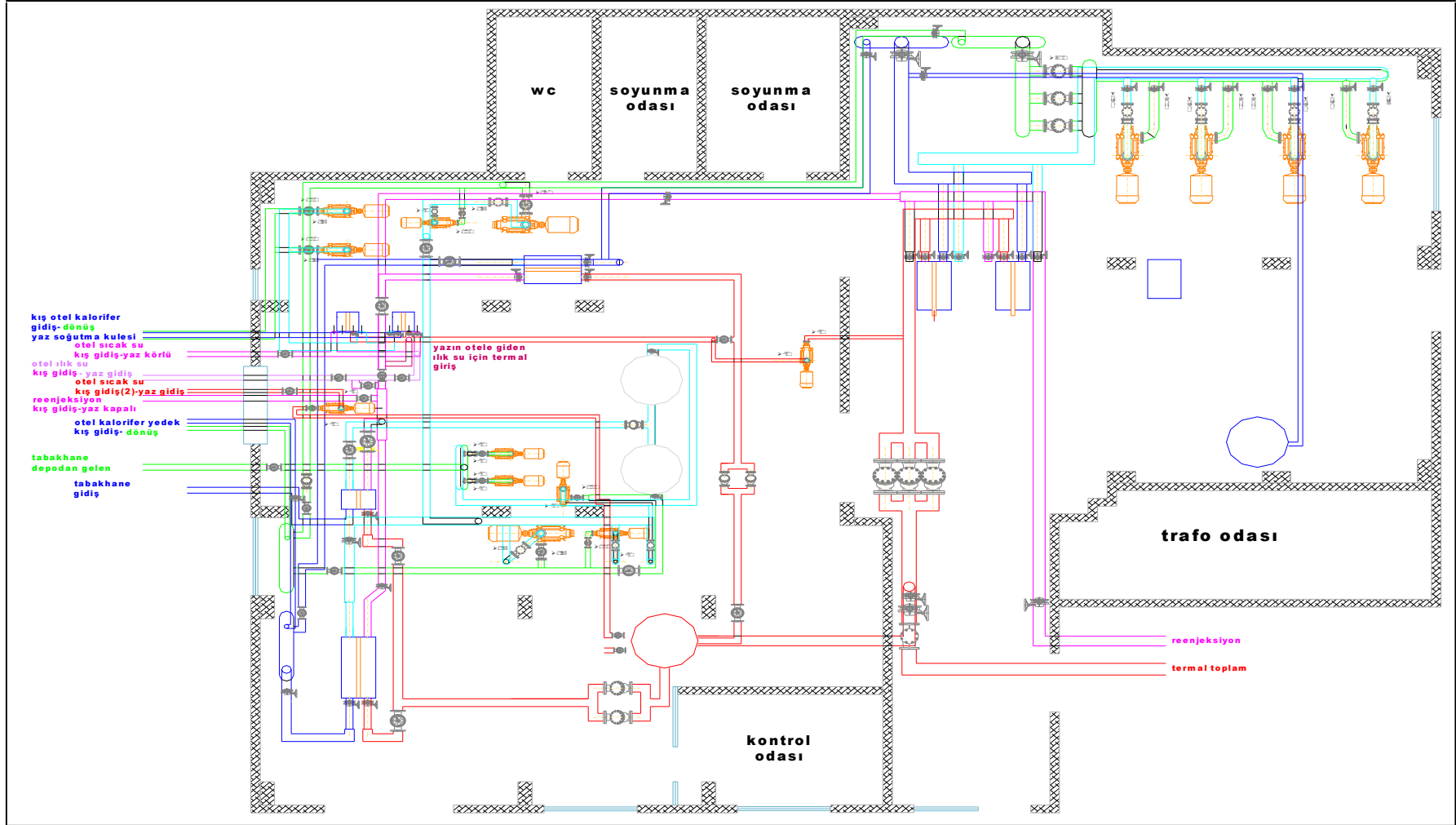
## 2.4.2 Isı Merkezinin Tanıtımı

Türkiye’de ilk jeotermal kaynaklı bölgesel ısıtma sistemi 1987 yılında 600 konut kapasite ile Gönen’de devreye alınmıştır. Isıtılan konut sayısı, ilave konutlar ve daha sonra 1995 yılında ilave edilen 1600 konut ile 2400’e ulaşmıştır. Günümüz itibari ile konut sayısı 2636 olmuştur. Gönen jeotermal bölgesel ısıtma sistemindeki kullanıcılar, 1. etap (eski hat), 2. etap (yeni hat), oteller ve tabakhaneler olarak dört kısımda toplanabilir. Isı merkezindeki sistemde; 2 adet 1. etaba, 2 adet 2. etaba, 2 adet otellere ve 1 adet tabakhane tesislerine hizmet veren toplam 7 adet ısı değiştirici (eşanjör) bulunmaktadır. Isı değiştiriciler plakalı tip olup, plakalar titanyum alaşımlı malzemelerdir.

Kuyu içi pompaları aracılığıyla üretim kuyularından pompalanan termal su basıncı yaklaşık 2-3 bar aralığında değişmektedir. Yaz ve kış sezonunda, dış hava sıcaklığına bağlı olarak değişen ısı yüküne göre, elektrik motoru tahrikli kuyu pompaları sırası ile kademeli şekilde elle devreye alınmaktadır. Pik dönemlerde enerji ihtiyacının artmasından dolayı tüm kuyular çalıştırılmaktadır. Kuyu içi pompaların pompaladığı termal su, ısı değiştiricilerde ısınıncil devrede dolaşan temiz suya aktardıktan sonra, kimyasal kompozisyonu bozulmadan bir kısmı kaplıcalarda tedavi amaçlı termal su olarak kullanılmakta, geri kalan kısmı ise yeraltına reenjekte edilmektedir. Kapalı sistemde dolaşan sıcak su ısı yüküne bağlı olarak değişen debi ve basınç kademelerinde sirkülasyon pompaları vasıtası ile dağıtım hatlarına ve dolayısı ile evlerdeki radyatörlere ve kullanım sıcak suyu üreten boylerlere pompalanmaktadır.

Otellere jeotermal su kaplıca ve tedavi amaçlı, yaz ve kış dönemlerinde sürekli olarak verilmektedir. Sistem değişikliği ile istenilen sıcaklık ve debide jeotermal su sağlanmaktadır.

Tabakhane ısı değiştiricisine giren jeotermal su miktarı, ikincil devredeki su sıcaklığının istenilen aralıkta kalmasını sağlayan termostatik vana kontrolü ile yapılmaktadır. Tabakhane tesislerinde ihtiyaç duyulan suyun basıncı ise hidrofor sistemi ile sağlanmaktadır. Şekil 2.2 sistemin ısı merkezi yerleşim planını, Çizelge 2.6 ısı merkezi eşanjör, Çizelge 2.7 ısı merkezi pompa bilgilerini vermektedir.



Şekil 2.2 Jeotermal bölgesel ısıtma sistemi ısı merkezinin yerleşim planı.

Çizelge 2.6 Jeotermal bölgesel ısıtma sisteminde kullanılan eşanjörlerin özellikleri.

Eşanjör No	Beslediği Hat	Marka	Plaka Sayısı	Boyut (en x boy)
E1	1. Etap	Alfa Laval	468	145.5x154.5
E2	Tabakhane	Alfa Laval	121	37.5x156
E3	Oteller	Alfa Laval	83	24.5x87.5
E4	Oteller	Alfa Laval	100	34.5x87.5
E5	1. Etap	Alfa Laval	285	88.5x156
E6	2. Etap	Alfa Laval	397	122.5x149
E7	2. Etap	Alfa Laval	395	122.5x149

Çizelge 2.7 Jeotermal bölgesel ısıtma sisteminde kullanılan pompaların etiket değerleri.

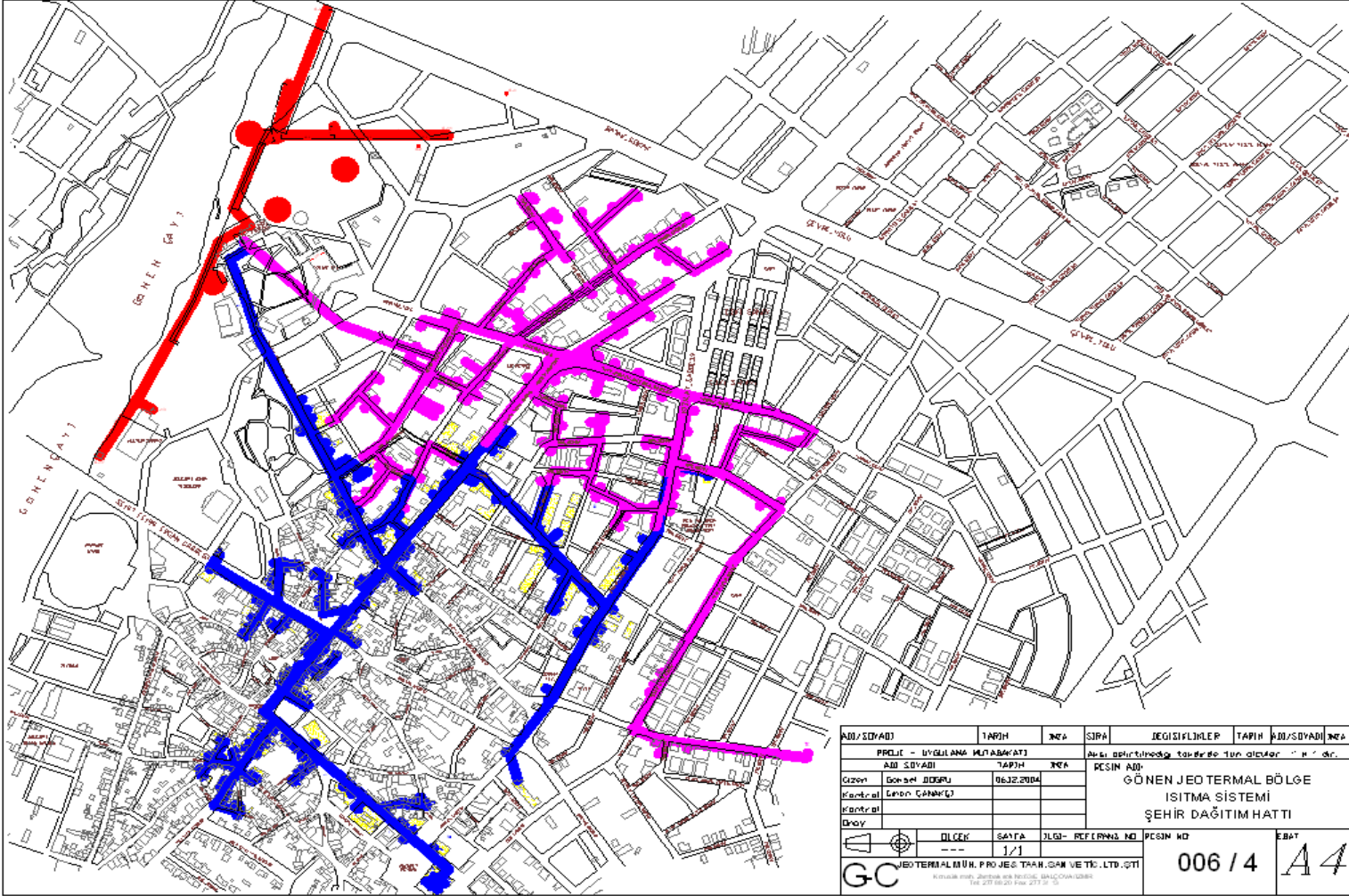
Pompa No	Bulunduğu Hat	Debi (m <sup>3</sup> /h)	H <sub>m</sub> (mSS)	Güç (Hp) (kW)		Devir (d/d)
P1	2. Etap	300	48	125	90	1400
P2	2. Etap	300	48	125	90	1400
P3	2. Etap	375	48	125	90	1400
P4	2. Etap	150	45	50	37	1400
P5	Tabakhane	50	70	25	18.5	2800
P6	Tabakhane	50	70	25	18.5	2800
P7	1. Etap	150	65	40	45	1450
P8	1. Etap	75	65	40	30	1400
P9	1. Etap	75	65	40	30	2800
P10	1. Etap	150	65	40	45	2800
P11	1. Etap	75	65	60	30	1400
P12	Otel	150	19	20	15	1400
P13	Otel	150	19	20	15	1400
P14	Otel S. Su	50	40	10	7.5	1400
P15	By-pass	80	40	25	18.5	2900

### 2.4.3 Boru Hatlarının Tanıtımı

Gönen jeotermal bölgesel ısıtma sisteminde boru hatları, jeotermal hatlar ve şehir dağıtım hatları olarak iki ayrı kısımdan oluşmaktadır. Jeotermal hatlar, üretim ve reenjeksiyon hattı olarak iki bölümden oluşmaktadır. Şehir dağıtım hattı, 1. etap ve 2. etap olmak üzere birbirinden bağımsız iki ayrı güzergahtır. Şekil 2.3 jeotermal bölgesel ısıtma sisteminin jeotermal ve şehir dağıtım boru hatlarını göstermektedir. Şekil üzerinde kırmızı renk jeotermal, mavi renk 1. etap şehir dağıtım ve pembe renk 2. etap şehir dağıtım hattını göstermektedir.

Gönen jeotermal şehir dağıtım boru hattı yaklaşık 1. etap 6.5 km x 2 (gidiş ve dönüş) ve 2. etap 7 km x 2 (gidiş ve dönüş) olmak üzere toplam 27 km uzunluğundadır. Sistemde jeotermal hatta DN 300 yalıtımlı çelik boru, diğer hatlarda ise yalıtımlı cam elyaf takviyeli plastik (CTP) boru kullanılmıştır. Şehir içerisinde 1. etap DN 50 boru hatları polipropilen (PPR) boru ile diğer çaplardaki gidiş ve dönüş dağıtım boruları ve 2. etabın tümü yalıtımlı CTP boru ile döşenmiştir. Tüm boru hatları yaklaşık 1 m derinlikte toprağa gömülü olarak döşenmiştir. Çizelge 2.8 jeotermal bölgesel ısıtma sisteminde kullanılan hatların boru uzunluklarını ve malzeme özelliklerini vermektedir.

Şehir hattında tabakhane sistemi ile entegre çalışan su takviye sistemi borularında eksilen suyu tamamlamaktadır. İşletme sırasında sistemdeki çeşitli sızıntı ve kaçaıklardan dolayı sisteme su takviyesi gerçekleştirilmektedir. Takviye edilen su, yumuşatma işlemine tabi tutulduktan sonra sisteme verilmektedir. Jeotermal kuyu ve boru hatlarında ise korozyon veya kabuklaşmayı önleyici herhangi bir inhibitör sistemi kullanılmamaktadır.



Şekil 2.3 Jeotermal bölgesel ısıtma sistemi dağıtım boru hatları.



Çizelge 2.8 Jeotermal bölgesel ısıtma sistemi boru hatlarının uzunlukları ve özellikleri.

Boru Çapı	Jeotermal Hat		1. Etap		2. Etap	
	Malzeme	Uzunluk (m)	Malzeme	Uzunluk (m) (gidiş+dönüş)	Malzeme	Uzunluk (m) (gidiş+dönüş)
DN 300	Çelik	25	-	-	CTP	776
DN 250	CTP	173	-	-	CTP	145
DN 200	CTP	511	CTP	1045	CTP	620
DN 150	CTP	236	CTP	24	CTP	563
DN 125	-	-	CTP	1195	CTP	930
DN 100	CTP	214	CTP	187	CTP	531
DN 80	-	-	CTP	120	CTP	663
DN 65	-	-	CTP	744	CTP	1235
DN 50	-	-	PPR	3097	CTP	1361

#### **2.4.4 Jeotermal Enerjiden Yararlanan Tüketim Yerlerinin Tanıtımı**

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.

#### **Konutlar**

Ülkemizde jeotermal enerjinin en yaygın kullanım alanlarından birisi konutların ısıtılmasıdır. Gönen jeotermal bölgesel ısıtma sisteminde, kapalı devrede dolaşan temiz su sirkülasyon pompaları vasıtası ile dağıtım hatlarına ve dolayısıyla evlerdeki radyatörlere ve aynı zamanda kullanım sıcak suyu üreten boylere gönderilmektedir. Böylece bölgesel ısıtma sistemi kış aylarında ısıtma ve sıcak su, yaz aylarında ise kullanım sıcak suyu amaçlı olmak üzere farklı kademelerde çalıştırılarak 12 ay boyunca aktif tutulmaktadır.

2009 yılında güncellenen jeotermal konut abone listesine göre sistemde toplam 2636 abone bulunmaktadır. Konutların 2009 yılı aylık ısınma bedeli 70 TL/100m<sup>2</sup> olup işyerleri için bu rakam 45 TL/30m<sup>2</sup>'dir. 100 m<sup>2</sup>'den büyük konutlarda ve 30 m<sup>2</sup>'den büyük işyerlerinde bu değerlere birim fazla alan için 0.70 TL/m<sup>2</sup> artırım yapılmaktadır.

#### **Oteller**

Bilindiği gibi, jeotermal enerjinin ilk kullanım şekli tedavi amaçlıdır. Antik çağlardan bu yana Anadolu'da kurulan tüm uygarlıklar doğal olarak yüzeye çıkan termal sularından yararlanmışlardır. Günümüzde bu yararlanma biçimi turizm faaliyetleriyle birleşerek çok önemli bir sektör haline gelmiştir. Gönen Kaplıcası en eski ve en çağdaş kaplıca tedavi merkezlerinden birisidir. Termal su turistik tesislerde ve fizik tedavi ünitesinde sağlık amaçlı olarak kullanılmaktadır. Gönen Kaplıcaları İşletmesi A.Ş. bünyesinde bulunan 795 yatak kapasitesi, 7 termal havuz

ve 75 hasta kapasiteli fizik tedavi ünitesine sahip 4 otelden oluşan termal kompleksin ısıtma ve sıcak su (termal su) ihtiyacı jeotermal enerji ile karşılanmaktadır.

Çizelge 2.9 jeotermal enerji ile ısıtma yapılan binaların (konut ve otel) toplam kapalı alanlarını vermektedir.

Çizelge 2.9 Jeotermal bölgesel ısıtma sistemindeki binaların kapalı alanları.

Isıtılan Bina Türü	Kapalı Alan (m <sup>2</sup> )	%
Konut ısıtma	275 462	92.03
Otel ısıtma	23 860	07.97
Toplam	299 322	100

### **Tabakhaneler**

İlçede jeotermal enerjinin endüstriyel amaçlı kullanımı, Karşıyaka Mahallesiinde bulunan 40 adet tabakhane tesisinin sıcak su ihtiyacının karşılanması şeklinde gerçekleşmektedir. Ortalama 60 °C'ye kadar ısıtılan su tabakhane tesislerine ihtiyaç doğrultusunda gönderilmektedir. Tabakhaneler için 2009 yılı sıcak su bedeli 3.10 TL/m<sup>3</sup>'tür.

## **2.5 Ölçüm Cihazlarının Tanıtımı, Montaj Yerlerinin Seçimi ve Montajı**

Jeotermal bölgesel ısıtma sistemlerinde sistemin ne kadar etkin kullanıldığıının belirlenmesi ve yapılan hesaplamaların doğru sonuçlar vermesi ancak sisteme ait verilerin doğru ve eksiksiz bir şekilde tespit edilmesiyle mümkündür. Bu çalışmada Gönen jeotermal bölgesel ısıtma sistemine ait gerçek ve güncel verilerin elde edilmesi için ölçme ve veri toplama sistemleri bölgesel ısıtma sisteminde uygun yerlere monte edilmiş ve ölçümler düzenli olarak kaydedilmiştir.

Gönen jeotermal bölgesel ısıtma sisteminde yapılan ölçümlerle ilk aşamada, zamanla değişen dış hava sıcaklığına bağlı olarak değişen bina ısı yüklerini karşılamak üzere, ısı üreten ve kullanım yerlerine iletilmesini sağlayan sistemlerin kapasitelerini tespit etmek hedeflenmiştir. İkinci aşamada ise sistem verimliliği ve sistemde oluşan kayıpların belirlenmesi amaçlanmıştır. Üçüncü aşamadaki amaç ise jeotermal bölgesel ısıtma sistemindeki konutların dış duvarlarının ısı transfer katsayılarının ölçülerek belirlenmesidir.

Bu doğrultuda 01.01.2009 tarihinden itibaren ölçümler yapılmaya ve kaydedilmeye başlanmıştır. Ölçümlerin doğruluğunu kanıtlamak üzere ölçüm standartlarına göre cihazların ve ekipmanların kalibrasyonları kontrol edilerek en yüksek doğruluk sağlanılmaya çalışılmıştır. Ölçüm noktalarının tespit edilmesinde, sistemle ilgili hesaplarda kullanılacak iklim verileri, rezervuar karakteristiklerini veren veriler, bölgesel ısıtma sisteminin işletme ile ilgili parametreleri ve sistemin ısıttığı konutların değerlendirilmesinde kullanılan ölçüm verileri dikkate alınarak 4 ana grup olarak değerlendirilmeye alınmıştır.

### **2.5.1 İklim Verileri**

Bu grupta, sistemin değerlendirilmesi ile ilgili hesaplarda sıklıkla kullanılan ve bu nedenle de sürekli ölçümü yapılan ve veri toplama sistemi ile kaydedilen dış hava sıcaklığıdır.

Dış ortam sıcaklıklarının ölçümünde Ahlborn dış ortam sıcaklık sensörü kullanılmıştır. Cihaz ısı merkezi dış duvarına monte edilmiş ve konnektör bağlantısı veri toplama sistemine yapılmıştır. Cihazın monte edileceği yer belirlenirken veri toplama sistemine olan mesafenin kısa olmasına ve atmosfer sıcaklığını doğru okuyacak şekilde yakınında herhangi bir etkileşim olmamasına dikkat edilmiştir. Şekil 2.4 cihazın montaj edilmiş resmini vermektedir.



Şekil 2.4 Dış hava sıcaklığı ölçme sensörü.

### 2.5.2 Rezervuar (Kuyuların) Karakteristikleri

Jeotermal saha içerisinde açılmış 17 adet kuyu bulunmaktadır. Ancak ölçüm yapıldığı zamanlarda bu kuyulardan 7 tanesi aktif durumdadır. Ölçümler aktif olan G7, G8, G9, G10, G13, G16 ve G17 kuyularında yapılmıştır. Jeotermal kuyuların sıcaklıkları, pompa çıkış basınçları ve kuyu debileri ölçülmüş ve kaydedilmiştir.

Her bir üretim kuyusunun çıkışına, kuyu başı sıcaklığını ölçen ve bu ölçülen değeri, ısı merkezindeki veri toplama sistemine aktararak kaydedilmesini sağlayan düzenek kurulmuştur. Üretim kuyularının sıcaklıklarının ölçülmesinde Kimo kafa tipi sıcaklık sensörü (termowell) kullanılmıştır. Kuyu mesafelerinin ısı merkezindeki veri toplama sistemine olan uzaklığı dikkate alınarak transmitterli sensör tercih edilmiştir. Montaj hatalarını ve daha sonradan oluşabilecek yanlış okumaların minimize edilmesi

için belirli aralıklarla yüzey sıcaklık ölçme cihazları ile ölçümler yapılmış ve bilgisayardan okunan değerler ile karşılaştırmaları yapılmıştır.

Kuyu başı basınçlarında kısa süreli değişmeler olmadığı için sistem üzerindeki mevcut manometreler ile ölçümler manuel olarak alınmış ve kaydedilmiştir. Kuyu debilerinin ölçümünde ise ultrasonik debimetreler kullanılmıştır. Çizelge 2.10 ölçümlerde kullanılan cihazların teknik özelliklerini ve kullanım yerlerini vermektedir.

Çizelge 2. 10 Ölçümlerde kullanılan cihazların teknik özellikleri ve kullanım yerleri.

Ölçüm Ekipmanı	Teknik Özellikleri	Kullanım Yerleri
AHLBORN Dış Ortam Sıcaklık Sensörü	<ul style="list-style-type: none"> <li>-30 ile +60 °C ölçüm aralığı</li> <li>Almemo konnektör</li> </ul>	Dış ortam sıcaklık ölçümü
AHLBORN Masaüstü Veri Toplama/İzleme Sistemi	<ul style="list-style-type: none"> <li>99 kanallı</li> <li>Sensörleri otomatik tanıma</li> <li>Yazılım üzerinden ölçüm noktalarının takibi</li> <li>Standart ölçüm parametrelerini okuyabilme</li> </ul>	Isı merkezindeki ölçüm noktalarının ve kuyuların sıcaklık ve basıncının belli periyotlarda kaydedilmesi
AHLBORN AMR-WinControl Veri Toplama/İzleme Yazılımı	<ul style="list-style-type: none"> <li>Çizgi grafik, bar grafik, dijital ve analog gösterim, projekt diyagram</li> <li>Excele transfer</li> </ul>	Kaydedilen verilerin takibi
KIMO Minyatür Tip Sıcaklık Probu	<ul style="list-style-type: none"> <li>100 mm dalma boyu</li> <li>6 mm kılıf çapı</li> <li>-50 ile +180 °C sıcaklık aralığı</li> <li>4 telli, Class A Pt100 eleman</li> <li>½" Dişli proses bağlantısı</li> <li>Ölçüm hassasiyeti 0.01 K</li> </ul>	Isı merkezindeki ölçüm noktalarının sıcaklıklarının ölçümü
KIMO Kafa Tipi Sıcaklık Sensörü (termowell ve transmitterli)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sensör dalma boyu 100 mm Çap 6 mm</li> <li>Termowell dalma boyu 80 mm Çap 9 mm</li> <li>0 -100 °C olarak ayarlı kafa tipi transmitter (4 -20 mA)</li> <li>Ölçüm hassasiyeti 0.01 K</li> </ul>	Kuyu başı sıcaklıklarının ölçümü

Çizelge 2.10'un devamı.

MIDAS Basınç Transmitteri	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0 -2.5 bar basınç ölçüm aralığı</li> <li>• 0 - 6 bar basınç ölçüm aralığı</li> <li>• 0 -10 bar basınç ölçüm aralığı</li> <li>• Maksimum 125 °C sıcaklık</li> <li>• 2 telli 4-20 mA analog sinyal çıkışı</li> <li>• ½"dişli proses bağlantısı</li> </ul>	Isı merkezindeki ölçüm noktalarının ve kuyu başı basınçlarının ölçümü
AHLBORN Isı Akış Plakası ve AHLBORN Tel Tipi Termokupl	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 25x25 cm boyutlarında</li> <li>• Maksimum 80 °C sıcaklık</li> <li>• Isıl iletken pasta (Isı akış plakasının yüzeye tam teması için) <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1.5 m boy, 0.5 mm tel çapı</li> <li>• -25 ile +400 °C operasyonel sıcaklık</li> </ul> </li> </ul>	Dış duvarların ısı transfer katsayılarının ölçümü
HONEYWELL Ultrasonik Debimetre	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DN 50-DN 400 ölçüm aralığında</li> <li>• 40 °C ile +120 °C operasyon sıcaklığında</li> <li>• Ölçüm noktasından önce min.10xDN ve ölçüm noktasından sonra min.5xDN düz uzunluk olma şartı</li> <li>• LCD ekran ile anlık ve toplam akışları görme imkanı</li> <li>• Çıkış 4-20 mA akım</li> <li>• Ölçüm hassasiyeti ölçülen değer in <math>\% \pm 1</math>'i</li> </ul>	Isı merkezindeki ölçüm noktalarının ve kuyuların debilerinin ölçümü
HONEYWELL DN 300 Manyetik Debimetre	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Primer gövde ve kompakt tip sinyal konvertörden oluşmakta</li> <li>• -5 °C ile + 90°C operasyon sıcaklığında</li> <li>• İç kaplama malzemesi sert kauçuk</li> <li>• Flanşlar çelik (rst 37-2 ) malzeme</li> <li>• Çıkış programlanabilir 4-20 mA analog ve akım</li> <li>• LCD ekran ile anlık ve toplam akışları görme imkanı</li> <li>• Ölçüm hassasiyeti ölçülen değer in <math>\% \pm 0.3</math>'ü</li> <li>• Bağlantı DN 300, PN 10 flanşlı tip</li> </ul>	Isı merkezindeki kuyulardan gelen toplam termal akışkanın debisinin sürekli olarak ölçümü ve veri toplama sistemi ile kaydedilmesi

### 2.5.3 Bölgesel Isıtma Sistemi İşletme Parametreleri

Isı merkezinin enerji ve ekserji analizlerini yapabilmek için yapılacak hesaplanmalarda ihtiyaç duyulacak veriler öncelikle belirlenmiştir. Bu bilgileri elde edecek şekilde, ısı merkezindeki ölçüm noktaları belirlenmiştir. Bu noktalardan yapılan ölçümlerin bir kısmı Şekil 2.5'te detaylandırıldığı gibi veri toplama sistemi ile sürekli ölçülerek, bir kısmı ise manuel alınarak kaydedilmiştir.

#### Sıcaklık ve Basınç Ölçüm Noktaları

- Isı merkezi girişinde toplam termal akışkanın sıcaklık ve basıncı,
- Termal ve ikincil akışkanın ısı merkezindeki konut, otel ve tabakhane ısı değiştiricileri giriş-çıkış sıcaklıkları ve basınçları,
- Otellerin sıcak kullanım suyu sıcaklık ve basıncı,
- Otellerin ılık kullanım suyu yaz ve kış mevsimi için sıcaklıkları ve basınçları,
- Reenjeksiyon yapılan termal suyun sıcaklık ve basıncı,
- 1. ve 2. etap konut gidiş ve dönüş kolektörleri su sıcaklıkları ve basınçları,
- Otellerin ısıtma suyu kollektör gidiş ve dönüş su sıcaklık ve basıncı,
- Sirkülasyon pompaları giriş ve çıkış su basınçları

#### Debi Noktaları

- Isı merkezi girişinde toplam termal akışkanın debisi,
- Termal ve ikincil akışkanın ısı merkezindeki konut, otel ve tabakhane eşanjörlerine giriş debileri
- Sirkülasyon pompaları debileri,
- Otellerin sıcak kullanım suyu debisi,
- Otellerin ılık kullanım suyu debisi,
- Reenjeksiyon termal suyun debisi



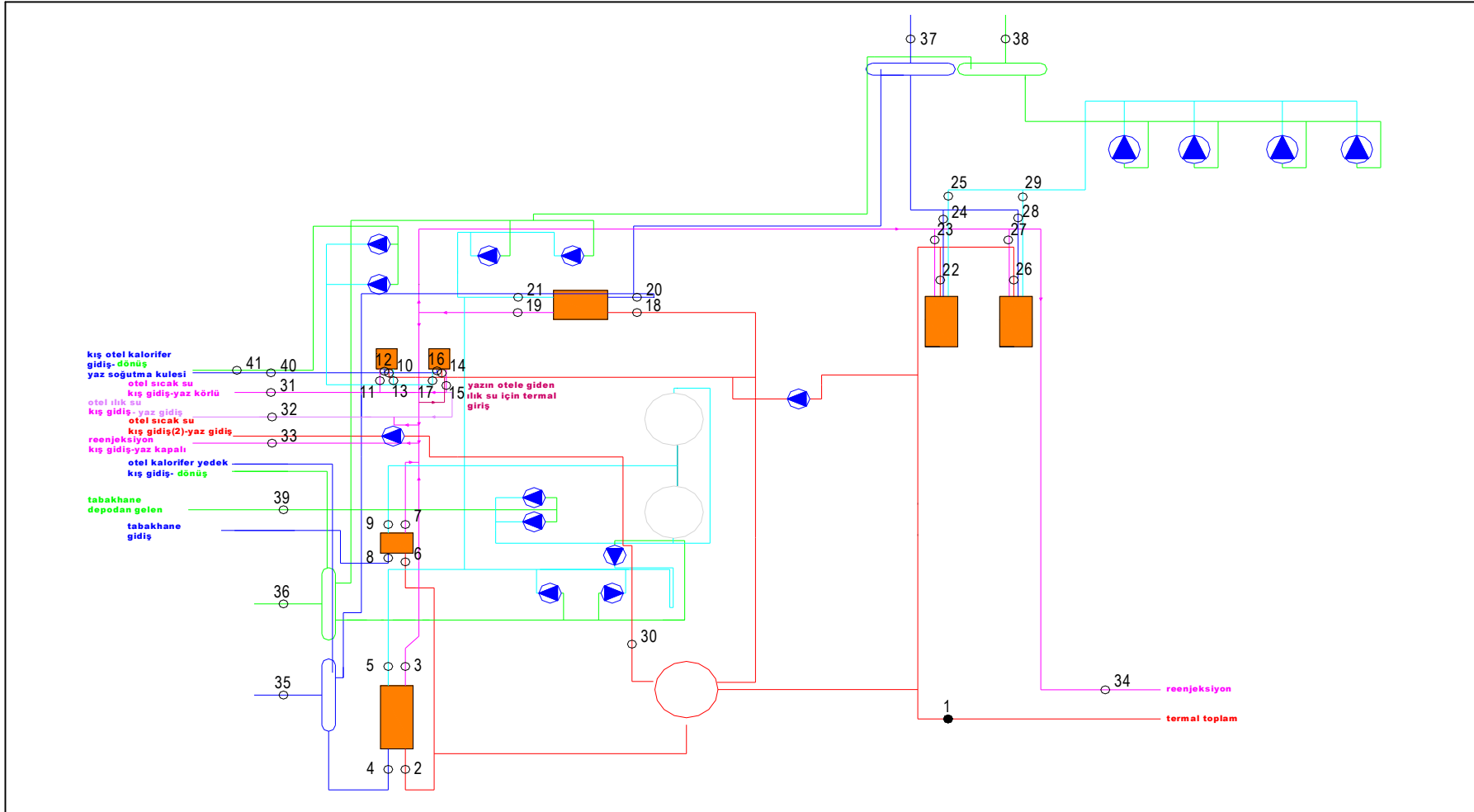
Veri toplama cihazı olarak Ahlborn masaüstü veri toplama/izleme sistemi kullanılmıştır. Sistem ısı merkezinde bulunan malzeme odasına monte edilmiştir. Bu noktanın belirlenmesinde eşanjörlere ve kollektörlere yakın olması ve veri aktarma kablolarının uzunluklarının minimum olması durumu dikkate alınmıştır.

Sıcaklıkların ölçümünde Kimo minyatür tip sıcaklık propları kullanılmıştır. Sıcaklık konektörleri Pt100 konektörüdür. Propların hat basıncının yüksek olduğu noktalarda arıza çıkması nedeni ile önlem olarak özel termowell sistemi yaptırılmış ve kullanılmıştır.

Basınçların ölçümünde önce hatların çalışma basınç aralıkları, klasik manometrelerle 0-2.5 bar, 0-6 bar ve 0-10 bar olarak belirlenmiştir. Daha sonra bu aralıkta çalışan Midas basınç transmitterleri satın alınarak uygun şekilde montajları yapılmıştır. Basınç transmitterleri herhangi bir arıza durumunda kolay müdahale edebilmek için manşonlar üzerine yerleştirilen küresel vanalar üzerine monte edilmiştir. Çalışma sırasında ani duruş ve kalkışlarda koç darbesi sonucu bazı basınçölçerler arızalanmış ve bunlar yenileri ile değiştirilmiştir.

Sirkülasyon pompaları basınçları sistem basıncının sık sık değişmediği dikkate alınarak manometre ile belirli zaman aralıklarında ölçülerek kaydedilmiştir.

Isı merkezi girişinde toplam termal akışkanın debi ölçümü DN 300, PN 10 flanşlı tip Honeywell debimetre ile gerçekleştirilmiştir. Herhangi bir arıza durumunda kullanılmak üzere debimetre ölçülerine uygun ayrı bir ara parça yapılmıştır. Ölçüm noktalarının çokluğu nedeniyle, sistemin her noktasına flanşlı tip sabit debimetre montajının zorluğu dikkate alınarak, taşınabilir ultrasonik tip debimetreler ile debi ölçümlerinin yapılması uygun görülmüştür. Ultrasonik debimetre olarak Honeywell debimetre kullanılmıştır. Debimetre, DN 50-DN 400 ölçüm çapları aralığındadır. Şekil 2.6-10 ısı merkezi ve kullanılan ölçüm cihazlarının montaj edilmiş resimlerini vermektedir.



Şekil 2.5 Jeotermal bölgesel ısıtma sistemi ısı merkezinde ölçüm yapılan noktalar.



Şekil 2.6 Isı merkezinde kullanılan plakalı eşanjörler.



Şekil 2.7 Eşanjör çıkış borusu üzerine sıcaklık probu ve basınç transmitterinin monte edilmiş görünüşü.



Şekil 2.8 Veri toplama cihazı ve bağlantı kabloları.



Şekil 2.9 Toplam debinin ölçüldüğü hat üzerine monte edilmiş manyetik debimetrenin görünüşü.



Şekil 2.10 Ultrasonik debimetre ile boru yüzeyinden debi ölçümü.

## 2.5.4 Jeotermal Enerji ile Isıtılan Konutlarda Yapılan Ölçümler

Jeotermal enerji ile ısıtılan binaların yapısal özelliklerinin belirlenebilmesi için Bölüm 2.7’de seçilen örnek konutlarda aşağıdaki veriler ölçülmüş ve taşınabilir tip veri toplama cihazı ile kaydedilmiştir.

- Oda iç hava sıcaklığı,
- Dış hava sıcaklığı,
- Dış duvarlara (bina yapı elemanları) ait ısı akış katsayısı

İç ve dış hava sıcaklığı tel tipi termokupl ile ölçülmüştür. Ahlborn ısı akış plakası ile dış duvar yapı bileşeninin birim alandan gerçekleşen ısı akışı ölçülmüştür. Ölçüm sırasında plaka ile duvar arasında hava tabakası kalmayacak şekilde plaka duvara yapıştırılarak bir veri toplama sistemine bağlanmıştır. Isı akış plakası tarafından tespit edilen ısı akışı ve sıcaklık sensörleri tarafından tespit edilen iç ve dış hava sıcaklıkları bilgisayarda kurulu bulunan yazılım sayesinde ısı transfer katsayısı değerlerine dönüştürülmüştür. Ölçümlere ısı transfer katsayıları değerleri kararlı hale gelinceye kadar devam edilmiş ve kararlı hale gelen ısı transfer katsayıları değerleri hesaplanan değerler ile karşılaştırılmıştır. Şekil 2.11’de cihazın ölçüm sırasındaki resmi verilmektedir.



Şekil 2.11 Isı akış plakası ile dış duvar ısı transfer katsayısı ölçümü.

## 2.6 Enerji ve Ekserji Analizi

Ekserji analizi, kütlenin korunumu ve enerjinin korunumu kanunlarını termodinamiğin ikinci yasasıyla birlikte kullanan bir metottür. Ekserji analizi için, referans çevrenin veya referans halin tamamen tanımlanması gereklidir. Bu da, en yaygın haliyle, referans çevrenin sıcaklık, basınç ve kimyasal potansiyeli tanımlanmasıyla yapılır. Buna göre, ekserji analizi sonuçları tanımlanan referans çevreye bağlıdır. Referans çevre; sistemin çevresiyle dengede olduğu durum olup ölü hal olarak adlandırılır ve bu durumda sistemin ekserjisi sıfırdır. Ölü durumda, sistem ve çevresi arasında, mekanik, ısıl ve kimyasal denge şartları açısından değişim yoktur. Yani sistemin basıncı, sıcaklığı ve kimyasal potansiyeli ele alınan referans çevrenin basınç, sıcaklık ve kimyasal potansiyeline eşittir [70-74]. Kısaca ekserji ele alınan bir referans şartına karşı gaz, akışkan veya katıdan elde edilebilecek maksimum kullanılabilir net enerji olup, jeotermal bölgesel ısıtma sistemi için hesap metodu aşağıda açıklanmıştır.

### 2.6.1 Kütle Dengesi, Enerji ve Ekserji Analizi Bağlıları

Bu çalışmada kütle, enerji ve ekserji denge eşitlik bağıntıları sistemin kararlı durum ve kararlı akış gibi davrandığı düşünülerek yapılmıştır. Jeotermal akışkan içerisinde bulunan tuz ve diğer parçacıkların etkisi ihmal edilerek akışkanın termodinamik özellikleri saf su gibi alınmıştır. Termodinamik özellikler termodinamik çizelgeler kullanılarak elde edilmiştir.

Kütle denge eşitliği şöyle yazılabilir.

$$\sum \dot{m}_{giren} = \sum \dot{m}_{çıkan} \quad (2.1)$$

Jeotermal sistem için kütle dengesi ise aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\sum_{i=1}^n \dot{m}_{jeo,i} - \dot{m}_{reen} - \dot{m}_{dışarı} = 0 \quad (2.2)$$

Genel enerji denge eşitliği,

$$\dot{E}_{giren} = \dot{E}_{çıkan} \quad (2.3)$$

şeklindedir.

Enerji denge eşitliği daha açık bir ifade ile aşağıdaki eşitlik ile açıklanabilir.

$$\dot{Q} + \sum \dot{m}_{giren} h_{giren} = \dot{W} + \sum \dot{m}_{çıkan} h_{çıkan} \quad (2.4)$$

Burada;

$$\dot{Q} = \dot{Q}_{net,giren} = \dot{Q}_{giren} - \dot{Q}_{çıkan} \text{ ısı giriş akımı,}$$

$\dot{W} = \dot{W}_{net,giren} = \dot{W}_{giren} - \dot{W}_{çıkan}$  net iş akımı (güç) ve  $h$  birim kütle için entalpidir. Kinetik, potansiyel ve küçük ısı ve iş transfer değişiklikleri ihmal edildiği kabul edilirse, (2.4) ile verilen enerji denge eşitliği aşağıdaki şekli ile basitleştirilerek yazılabilir.

$$\sum \dot{m}_{giren} h_{giren} = \sum \dot{m}_{çıkan} h_{çıkan} \quad (2.5)$$

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

$$\dot{E}_{jeo} = \sum_{i=1}^n \dot{m}_{jeo,i} (h_{jeo,i} - h_0) \quad (2.6)$$

Ekserji, enerjiden farklı olarak, (ideal, tersinir proseslerin dışında) dönüşüm yasasına uymaz. Daha doğru bir ifade ile ekserji; herhangi gerçek bir proseste tüketilir veya tahrip olur. Ekserji tüketimi proses boyunca prosesteki tersinmezlikler nedeniyle yaratılan entropi ile orantılıdır.

Genel olarak jeotermal bölgesel ısıtma sistemlerinde, proseslerin ağırlığını fiziksel ekserji oluşturmaktadır.

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

$$\dot{E}x_{giren} - \dot{E}x_{çıkan} = \dot{E}x_{kayıp} \quad (2.7)$$

şeklinde yazılabilir. Burada, akışın özgül ekserjisi aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$\psi = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (2.8)$$

Jeotermal suyun ekserji değeri de aşağıdaki eşitlikten bulunabilir.

$$\dot{E}x_{jeo} = \sum_{i=1}^n \dot{m}_{jeo,i} [(h_{jeo,i} - h_0) - T_0(s_{jeo,i} - s_0)] \quad (2.9)$$

### Ekserji Kayıpları

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

$$\dot{E}x_{kayıp,E\mathcal{S}} = \dot{E}x_{giren} - \dot{E}x_{çıkan} \quad (2.10)$$

$$\dot{E}x_{kayıp,Pompa} = \dot{W}_{Pompa} - (\dot{E}x_{çıkan} - \dot{E}x_{giren}) \quad (2.11)$$

$$\dot{E}x_{kayıp,Sis} = \sum \dot{E}x_{kayıp,E\mathcal{S}} + \sum \dot{E}x_{kayıp,Boru} + \sum \dot{E}x_{kayıp,Pompa} \quad (2.12)$$



## Enerji ve Ekserji Verimliliği

Sistemin enerji verimi aşağıdaki bağıntıdan bulunabilir.

$$\eta_{Sis} = \frac{\dot{E}_{yararlı}}{\dot{E}_{jeo}} \quad (2.13)$$

Eşanjörün ekserji verimliliği, soğuk akışkandaki ekserji değişiminin sıcak akışkandaki ekserji değişimine bölünmesiyle bulunur. Eşitlik aşağıdaki gibidir.

$$\varepsilon_{E\dot{S}} = \frac{\dot{m}_{soğuk}(\psi_{soğuk,çıkan} - \psi_{soğuk,giren})}{\dot{m}_{sıcak}(\psi_{sıcak,giren} - \psi_{sıcak,çıkan})} \quad (2.14)$$

Bunun yanında sistemin ekserji verimliliği şöyle bulunur.

$$\varepsilon_{Sis} = \frac{\dot{E}x_{kullanışlı,E\dot{S}}}{\dot{E}x_{jeo}} = 1 - \frac{\dot{E}x_{kayıp,Sis} + \dot{E}x_{reen} + \dot{E}x_{dışarı}}{\dot{E}x_{jeo}} \quad (2.15)$$

### 2.6.2 Özgül Ekserji İndeksi Hesabı

Jeotermal kaynakların sınıflandırılması, bu kaynakların daha doğru ve etkili kullanılması açısından önemlidir. Jeotermal kaynaklar, genellikle rezervuar sıcaklıklarına göre sınıflandırılırlar. 90 °C'den az sıcaklıktaki kaynaklar "düşük", 90-150 °C "orta" ve 150 °C'den büyük sıcaklığa sahip jeotermal kaynaklar "yüksek" kalitedeki kaynaklar olarak isimlendirilir. Jeotermal kaynaklar ısı formundadır. Ancak tüm ısı kaynakları işe dönüştürülemez, bu nedenle jeotermal kaynaklar termodinamik iş yapabilme yeteneklerine göre sınıflandırılmalıdır. Bu yaklaşımla, jeotermal kaynakların daha doğru şekilde sınıflandırılabilmesi ve değerlendirilebilmesi için, Lee tarafından aşağıdaki özgül ekserji indeksi (SEXI) bağıntısı geliştirilmiştir [51].

$$SExI = \frac{h_{jeo} - 273.16s_{jeo}}{1192} \quad (2.16)$$

$SExI < 0.05$	düşük kaliteli jeotermal kaynak
$0.05 \leq SExI < 0.5$	orta kaliteli jeotermal kaynak
$SExI \geq 0.5$	yüksek kaliteli jeotermal kaynak

olarak sınıflandırılmaktadır. Eşitlikte sahanın jeotermal suyu ortalama entalpi ve entropi değerlerine ihtiyaç vardır. Bu değerler aşağıdaki eşitlikler yardımı ile hesaplanmaktadır.

Ortalama entalpi,

$$h_{jeo} = \frac{\sum_{i=1}^n \dot{m}_i h_i}{\sum_{i=1}^n \dot{m}_i} \quad (2.16.1)$$

Ortalama entropi,

$$s_{jeo} = \frac{\sum_{i=1}^n \dot{m}_i s_i}{\sum_{i=1}^n \dot{m}_i} \quad (2.16.2)$$

### 2.6.3 Bölgesel Isıtma Sisteminin Enerji ve Ekserji Analizi

Gönen jeotermal bölgesel ısıtma sistemine, ölçme aletlerinin ve cihazlarının montajı 01 Ocak 2009 tarihine kadar yapılmış ve bu tarihten 31 Aralık 2009 tarihine kadar ölçümler alınmıştır ve ölçümler sırasında, sistem sürekli olarak izlenmiştir. Sistemin enerji ve ekserji analizlerin de kullanılan sıcaklık, basınç ve debi değerleri periyodik olarak ölçülerek kaydedilmiştir. Yapılan analizlerde sistemin aşağıda belirtilen özellikleri dikkate alınmıştır.

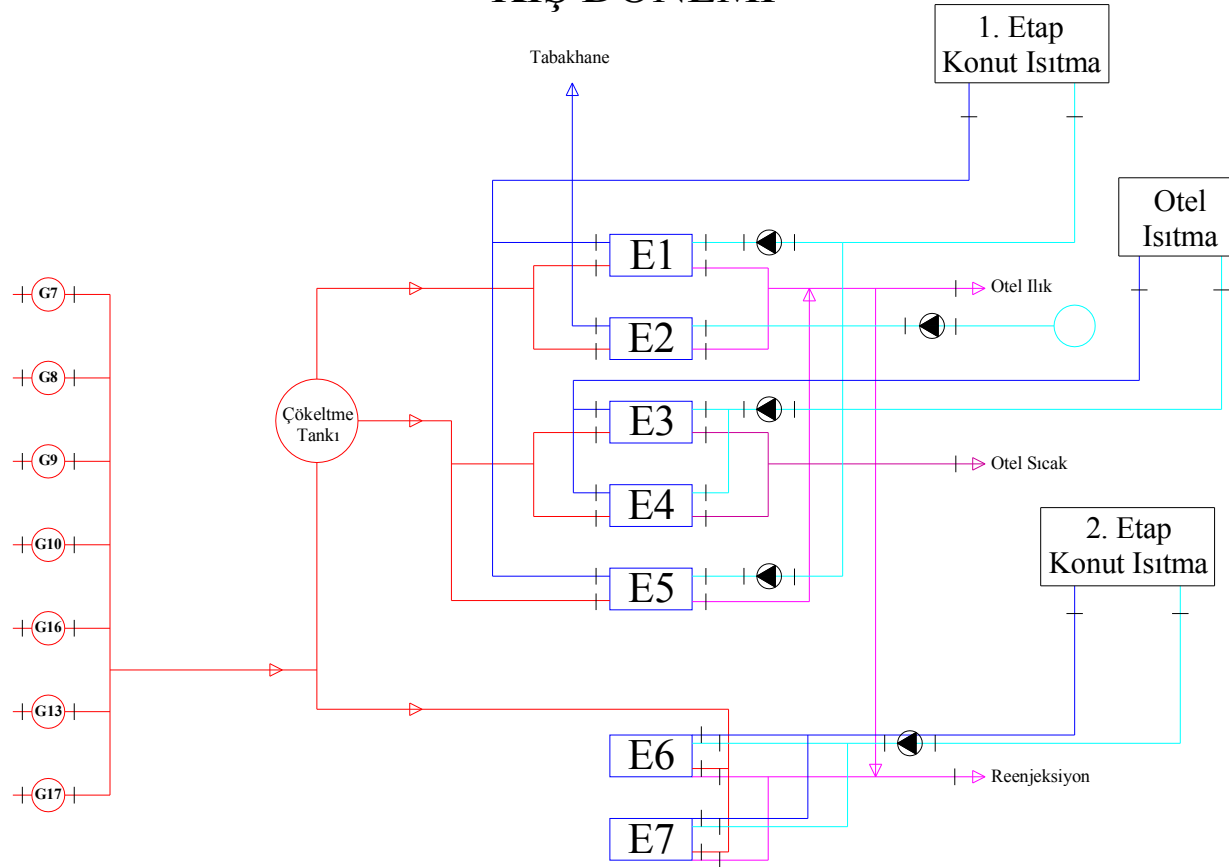
- Sistem, dış hava sıcaklığına bağlı olarak yaz ve kış mevsiminde ihtiyaç duyulan ısı yüküne göre farklı kapasitelerde çalışmaktadır. Kapasite değişimine bağlı olarak; hem jeotermal kuyu sayıları, hem de ısı merkezindeki eşanjör sayıları ve hem de pompa debi ve kademeleri değişmektedir.
- Jeotermal kuyularının sıcaklık değerleri, sisteme reenjeksiyon uygulanması ve zamanla reenjeksiyon yapılan jeotermal su miktarının da değişmesi nedeniyle, mevsimden mevsime farklılık göstermektedir.
- Yaz mevsiminde ısıtma ihtiyacının olmayışı sistemde kapasite değişimini gerektirdiği gibi aynı zamanda sistemin çalışma şeklinde de değişiklikler yapılmasını gerektirmektedir. Bu değişim kış mevsiminde ısıtma amaçlı kullanılan otel eşanjörlerinin yaz mevsiminde soğutma kuleleri yardımıyla otellere termal ılık su sağlama amaçlı kullanımı şeklinde gerçekleşmektedir. Ayrıca yaz mevsiminde otellere termal sıcak su sağlamak için ayrı bir boru hattı devreye alınmaktadır.
- Otelerde termal su kaplıca ve banyo amaçlı, farklı sıcaklıklarda sıcak ve ılık su olarak hem kış hem de yaz mevsiminde sürekli olarak kullanılmaktadır. Yaz mevsiminde sıcak su, çökertme tankından ayrılan termal bir hattan direkt olarak verilmektedir. Kış mevsiminde hem sıcak hem ılık su ile yaz mevsiminde ılık su, ısı merkezindeki eşanjörlerin termal çıkış hatlarından sağlanmaktadır. Bu şekilde aksi halde reenjeksiyon olarak yeraltına gönderilecek suyun enerjisinden bir kez daha faydalanılmaktadır.

Bu bağlamda, sistemin enerji ve ekserji analizinin sadece yılın bir günü için yapılmasının doğru bir yaklaşım olmadığı, çalışmanın eksik kaldığı dikkate alınarak, analizlerin sistemin farklı kapasitelerle çalıştığı diğer günler içinde yapılmasının gerektiği ortaya çıkmaktadır. Bir yıl süresince sistemin izlenmesi ve alınan ölçümler neticesinde tüm değişimler dikkate alınarak, yapılan değerlendirmeler ışığında, 1 yılda 7 farklı durum tespit edilmiş ve analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Referans hal değerleri için, mevsimsel çevre şartları yapılan hesaplarda dikkate alınmıştır. Manyetik debimetreler ile sürekli ölçümler alınmış ve ortalama değerler kullanılmıştır.

Ultrasonik debimetreler ile yapılan ölçümlerde genellikle çok tekrarlı (en az üç tekrar) ölçümler yapılarak ortalama değerler kullanılmıştır. Sistemin çalışmasının kolay anlaşılması için basitleştirilmiş çalışma şemaları Şekil 2.12, 13'te kış ve yaz mevsimleri için ayrı ayrı verilmiştir. Jeotermal üretim kuyularının sıcaklık değerlerindeki bir yıl boyunca aylık ortalama değişimi Çizelge 2.11'de verilmiştir.

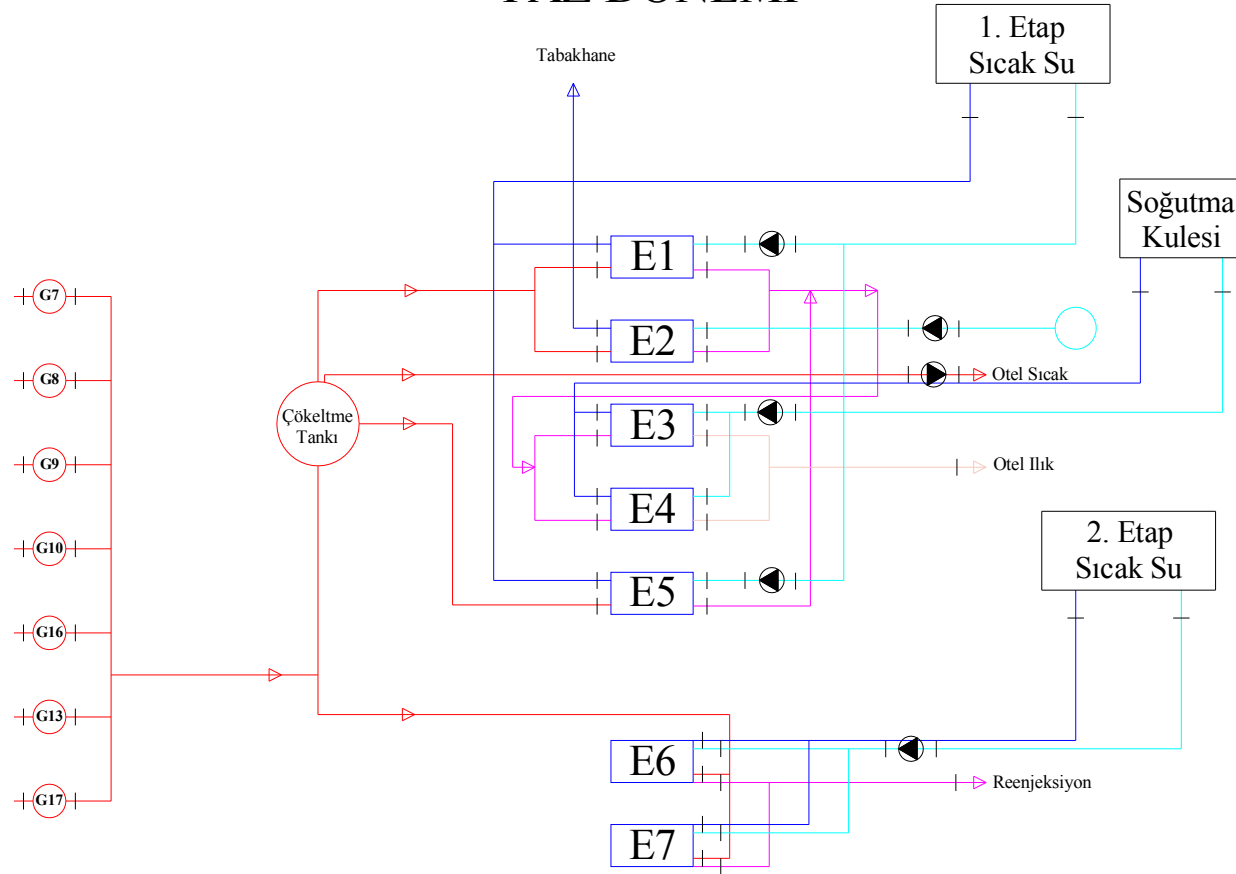
Bölgesel ısıtma sisteminde analizi yapılan 7 farklı durumun tespitinde ilk etapta sistemin çalışma şeklinin değiştiği mevsimlik dönemler ve bu dönemlerin gün sayıları belirlenmiş ve Çizelge 2.12'de verilmiştir. Çizelgede görüldüğü gibi yılın % 33'lük bir bölümünü oluşturan kış döneminde 6 veya 7 kuyu aktif halde yani sistem tam kapasite çalışmakta, % 33'lük bir bölümü oluşturan bahar dönemlerinde 3, 4 veya 5 kuyu aktif halde yani sistem yaklaşık % 50 kapasite ile çalışmaktadır. Yılın % 34'lük bölümü oluşturan yaz döneminde ise 2 kuyu aktif halde yani sistem yaklaşık % 25 kapasite ile çalışmaktadır. Buna göre 3 farklı durum (Durum I, II, III) kış döneminden, 3 farklı durum (Durum IV, V, VI) bahar dönemlerinden ve 1 durumda (Durum VII) yaz döneminden belirlenmiştir. Dönemler içerisindeki durumların seçilmesi sırasında, temel parametre olarak dış hava sıcaklığının değişimine göre devreye alınan kuyu sayısı dikkate alınmıştır. Sistemde aktif kuyu sayısı ile birlikte aktif eşanjör ve aktif sirkülasyon pompa sayısı ve gücü de değişmektedir. Belirlenen her bir durum Çizelge 2.13'te açık şekilde görülmektedir.

## KIŞ DÖNEMİ



Şekil 2.12 Jeotermal bölgesel ısıtma sisteminin kış mevsimi akış şeması.

## YAZ DÖNEMİ



Şekil 2.13 Jeotermal bölgesel ısıtma sisteminin yaz mevsimi akış şeması.

Çizelge 2.11 2009 yılı üretim kuyularının aylık sıcaklık değerlerinin değişimi (°C).

Aylar	G7	G8	G9	G10	G13	G16	G17
Ocak	50	56.7	93.5	60.2	60	80	62
Şubat	50	56.7	94	60.2	60	80	62
Mart	55	57	94	59.5	58	79.9	62
Nisan	54.5	56.5	-	63	59	80	62
Mayıs	55.5	-	-	75	59	80	63
Haziran	-	56.6	-	78	60	80	66
Temmuz	-	56.9	-	76	61	-	64.7
Ağustos	-	56.9	-	-	-	-	63.7
Eylül	-	57	-	77.8	-	-	63.7
Ekim	-	-	-	71.5	63.6	80.2	63.7
Kasım	54.4	56.8	92.8	70	61	80.2	63.8
Aralık	51.4	56.7	91.1	66.6	59.2	80.1	63.8

Çizelge 2.12 2009 yılı sistemin çalışma şeklinde değişikliklerin yapıldığı dönemler ve bu dönemlerin gün sayıları.

<p style="text-align: center;"><b>KIŞ DÖNEMİ</b> (ARALIK, OCAK, ŞUBAT, MART)</p> <p style="text-align: center;">121 GÜN (% 33)</p>	<p style="text-align: center;"><b>YAZ DÖNEMİ</b> (16-31 MAYIS, HAZİRAN, TEMMUZ, AĞUSTOS, 01-15 EYLÜL)</p> <p style="text-align: center;">123 GÜN (% 34)</p>
<p style="text-align: center;"><b>İLKBAHAR DÖNEMİ</b> (NİSAN, 01-15 MAYIS)</p> <p style="text-align: center;">45 GÜN (% 12)</p>	<p style="text-align: center;"><b>SONBAHAR DÖNEMİ</b> (16-30 EYLÜL, EKİM, KASIM)</p> <p style="text-align: center;">76 GÜN (% 21)</p>

Çizelge 2.13 Enerji ve ekserji analizlerinin yapıldığı 7 farklı durum ve özellikleri.

Durum No	Tarih/Saat	Dış Hava Sıcaklığı (°C)	Aktif Kuyular	Aktif Eşanjörler	1. Etap Aktif Sirkülasyon Pompaları	2. Etap Aktif Sirkülasyon Pompaları
I	01.01.2009 09:01	0.1	G7, G8, G9, G10, G13,G16, G17	E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7	P7, P10, P11	P1, P2, P3, P4
II	27.02.2009 09:12	3.86	G7, G8, G9, G10, G13,G16, G17	E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7	P7, P10, P11	P1, P2, P3
III	02.02.2009 08:50	7.1	G8, G9, G10,G13, G16, G17	E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7	P7, P10, P11	P1, P2, P4
IV	14.11.2009 09:09	9.63	G8, G10, G13,G16, G17	E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7	P7, P10	P1, P2
V	31.10.2009 09:13	11.83	G10,G13, G16, G17	E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7	P7, P11	P1, P2
VI	16.10.2009 09:14	15.26	G10,G16, G17	E1, E2, E3, E4, E6, E7	P7	P1, P4
VII	13.07.2009 09:07	18.45	G8, G17	E1, E2, E3, E4, E6	P11	P4



Çizelge 2.13 incelendiğinde dış hava sıcaklığının artmasına bağlı olarak aktif kuyu sayısında, sirkülasyon pompa sayısında ve gücünde kademeli olarak azalma olduğu görülmektedir. VI. duruma kadar tüm eşanjörler aktif olarak kullanılmakta, VI. durumda ise E5 eşanjörü devre dışı bırakılmaktadır. VII. durumda E5 ve E7 eşanjörleri devre dışı kalmaktadır.

Durum VI'ya (VI dahil) kadar konutlara ısıtma amaçlı ve kullanım amaçlı sıcak su, otellere ısıtma amaçlı sıcak su ve kullanım amaçlı termal su ve tabakhanelere ise sıcak su temini sağlanmaktadır. Durum I, II ve III'te otellere termal sıcak su otel eşanjörlerinin termal çıkışından, termal ılık su ise konut ve tabakhane eşanjörlerin termal çıkışının bir bölümünden sağlanmaktadır. Geri kalan termal su reenjeksiyon olarak yeraltına basılmaktadır. Durum IV, V ve VI'da ise otellere termal sıcak su otel eşanjörlerinin termal çıkışından verilmekte, yetersiz olduğu zamanlarda ayrı bir hattan takviye edilmektedir. Otelerde termal su kullanıldıktan sonra kanalizasyona tahliye edilmektedir.

Yaz aylarını kapsayan Durum VII'de ise konutlara kullanım amaçlı sıcak su, otellere termal ılık ve termal sıcak su ve tabakhanelere sıcak su sağlanmaktadır. Oteller için termal sıcak suyun tamamı bağımsız bir hattan verilmektedir. Termal ılık su ise konut ve tabakhane eşanjörlerin termal dönüş hattının toplamından sağlanmaktadır. Ancak eşanjör çıkışlarındaki su sıcaklığının yüksek olması nedeniyle termal ılık su sıcaklığı da yüksek değerdedir. Bu nedenle ılık suyun bir bölümü E3 ve E4 otel eşanjörlerinde soğutma kuleleri yardımıyla soğutulmakta ve geri kalanı ise direkt verilmektedir. Termal suyun tamamı otelerde kullanılmakta reenjeksiyon yapılmamaktadır.

## 2.7 Jeotermal Enerji ile Isıtılan Binaların Örneklenmesi ve Yapısal Özellikleri

### 2.7.1 Örnekleme Metodu

Bilimsel araştırmalarda veriler ana kütleyi oluşturan birimler üzerinden elde edilebileceği gibi ana kütleyi oluşturan birimler içersinden, amaca uygun bir yöntem ile seçilebilecek örneklem üzerinden de elde edilebilmektedir [75]. Bir araştırmada evrenin tamamı üzerinde çalışmak yerine onu temsil yeteneğine sahip örneklem üzerinde çalışma yapmak araştırmacılara birçok yönden avantaj sağlamaktadır. Birincisi ve en açık olanı, bilgiyi örnekten elde etmenin bütün yığından elde etmekten daha ucuz olmasıdır. Diğer bir avantaj, bilginin örneklemeyle daha çabuk toplanmasıdır. Üçüncü avantajı, örneklemeyle daha ayrıntılı verilerin elde edilebilmesidir. Buna sebep, büyük bir yığın için böyle verilerin elde edilmesinin mümkün olmadığı ya da maliyetinin yüksek olduğu durumlarda, küçük bir örnek için bu tür bir araştırmanın mümkün olabilmesidir. Örneklemenin dördüncü avantajı, başka bir şekilde elde edilemeyecek verinin elde edilebilmesidir [75, 76].

Örnekleme için iki ön koşul gerekir. Bunlar; seçilen örneğin temsil yeteneği taşıması yani ana kütleinin özelliklerini tam olarak yansıtabilmesi ve örnek hacminin yeterli büyüklükte olmasıdır.

Örnek grubun oluşturulmasında kullanılan yöntemler tesadüfi ve yargısal örneklemelelerdir. Tesadüfi (rastsal) örnekleme yönteminde örnek seçimi olasılık hesabına dayanır. Rastsal örnekleme de kendi içersinde basit rastsal örnekleme ve tabakalı örnekleme olmak üzere ikiye ayrılır. Basit tesadüfi örnekleme de ana kütleyi oluşturan her elemanın seçilme şansı eşittir. Tabakalı örnekleme yönteminde, ana kütleyi çeşitli alt bölümlere ayırarak her bir alt bölümden tesadüfi yöntemle seçim yapılır. Tabakaların kendi içinde türdeş olması büyük önem taşır. Tabakalı örnekleme yüksek temsil olanağı sağlar. Ana kütleinin tabakalara paylaştırılmasında çeşitli paylaştırma yöntemleri olmakla birlikte, büyük tabakadan daha çok sayıda örnek alınabilmesine olanak sağlayan 1934 yılında J. Neyman tarafından önerilen Neyman Paylaştırması bunlardan birisidir [76].

### 2.7.2. Örnek Binaların Seçilmesi ve Yapısal Özelliklerinin Tespiti

Gönen jeotermal bölgesel ısıtma sisteminde ısıtılan binaların (konutlar) yapı bileşenlerinin (dış duvar, tavan ve döşeme) mevcut konstrüksiyon ve yalıtım durumlarının tespit edilmesi, örnekleme metodu kullanılarak seçilen örnek binalar üzerinde yapılmıştır. Ana kitleyi, Gönen jeotermal bölgesel ısıtma sisteminde 2009 yılı itibariyle abone olan 300 adet bina oluşturmaktadır. Bunlardan ortalamayı bozan 12 bina kullanılan yöntem gereği örnekleme dahil edilmemiş, geriye kalan 288 bina üzerinden örnekleme yapılmıştır. Sitelerdeki birden fazla bina blokları (2-4) yapısal olarak aynı özelliklere sahip olduğundan tek bina bloğu olarak değerlendirilmiştir. Örnek bina sayısı, tabakalı tesadüfî örnekleme yöntemlerinden Neyman yöntemine göre aşağıdaki formül yardımıyla bulunmuştur [76].

$$n = \frac{(\sum N_h S_h)^2}{N^2 D^2 + \sum N_h S_h^2} \quad (2.17)$$

Formülde; örnek hacmi  $n$  (adet), ana kitleye dahil örnek sayısı  $N$  (adet),  $h$  tabakadaki örnek sayısı  $N_h$  (adet),  $h$  tabakasının standart sapması  $S_h$  (adet) sembolleriyle gösterilmektedir.  $D^2 = d^2/z^2$  olup,  $d$  ana kitle ortalamasından izin verilen hata miktarını,  $z$  standart normal dağılım tablosundaki değeri göstermektedir.

Formüle göre ana kitleyi meydana getiren binalar, normal dağılım gösteren iki tabakaya ayrılmıştır. Bunlar sahip oldukları konut sayısına göre; 1-5 ve 6 ve daha fazla konuta sahip olanlardır. Örnek hacminin belirlenmesinde kabul edilen hata payı % 10 ve örnek hacmi ( $n$ ) 56 dır. Her bir tabakaya giren örnek sayısı ( $n_h$ ), tabakalara ait standart sapma ile orantılı olarak aşağıdaki formül ile belirlenmiştir. Çizelge 2.14 örneğe giren bina sayıları ile yüzdelerini vermektedir.

$$n_h = \frac{N_h S_h}{\sum N_h S_h} \cdot n \quad (2.18)$$

Çizelge 2.14 Örneğe giren bina sayıları ile yüzdeleri.

Genişlik Grupları	Toplam Bina Sayısı	%	Örneğe Giren Bina Sayısı	%
1-5 adet	203	71	12	21
6-+ adet	83	29	44	79
Toplam	286	100	56	100

Hesaplama neticesinde elde edilen 56 adet binanın seçimi Kendall ve Smith'in tesadüfi sayılar tablosu kullanılarak yapılmıştır [76]. Örnek binalarda ihtiyaç duyulan verilerin temini ölçüm yapılarak ve anket uygulanarak elde edilmiştir. Binaların yapı bileşenlerinin konstrüksiyonlarının belirlenmesinde Belediye'den sağlanan mimari projelerden de faydalanılmıştır [77]. Ölçümler ve anketler 2009 kış döneminde yapılmıştır. Ölçülen değerler ile hesaplanan dış duvar ısı transfer katsayılarının karşılaştırmaları da yapılmış ve bu değerlerin birbiriyle uygun olduğu görülmüştür. Binaların diğer yapı bileşenlerinin (tavan ve döşeme) ısı transfer katsayıları, kullanılan yapı malzemelerinin özellik ve kalınlıkları dikkate alınarak TS 2164 de verilen bağıntı kullanılarak hesaplanmıştır.

Konutlarda uygulanan anketlerde sorulan sorular, hesaplamalar ve değerlendirmelerde kullanılacak bina özelliklerini verecek şekilde hazırlanmıştır. Binaların yapım yılı, yapıldıkları yılda uygulamada olan yalıtım yönetmelikleri dikkate alındığından önemlidir. Bina yapı elamanlarının özellikleri ve yalıtım durumları da hesaplamalarda önemli unsurlar olduğundan anketler bu veriler elde edilecek şekilde hazırlanmıştır. Konutlarda uygulanan anket soruları iki bölüm halinde değerlendirilmiştir. Birinci bölüm binanın genel özellik ve yapım yılını, ikinci bölüm ise yapı bileşenlerinin konstrüksiyon ve yalıtım durumlarını belirlemeye yöneliktir. Çizelge 2.15 binalarda yapılan anketin birinci bölüm sonuçlarını vermektedir. Anket sonuçları yüzde dağılımlarına göre tablolaştırılmıştır.

Çizelge 2.15 Örnek binaların birinci bölüm anket sonuçları.

	Bina Sayısı	%
<b>1. Binanız kaç yılında yapılmıştır?</b>		
2000 yılından önce	51	91
2000 yılından sonra	5	9
<b>2. Konutunuz kullanım alanı kaç metrekaredir?</b>		
90 m <sup>2</sup> den küçük	7	13
90-110 m <sup>2</sup> arası	37	66
110 m <sup>2</sup> den büyük	12	21
<b>3. Binanız kaç katlıdır?</b>		
2 kat	9	16
3 kat	7	13
4 kat	40	71
<b>4. Bir kattaki daire sayısı nedir?</b>		
1 daire	12	21
2 daire	25	45
4 daire	13	23
8 daire (bitişik nizam)	6	11

Birinci bölümde, seçilen örnek binaların % 91'inin, Türkiye'de halen uygulanmakta olan Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği'ne uygun olmadığı, binaların önemli bir kısmının 2000 yılından önce yapılan eski binalar olduğu ve geri kalan kısmının ise 2000 yılından sonra yapılan yeni binalar olduğu belirlenmiştir. 2000 yılı öncesi yapılan binalarda herhangi bir yalıtım mevcut değildir. Ancak kullanım sırasında ısınma problemleri yaşanması nedeniyle binalarda sonradan bir takım değişiklikler yapıldığı tespit edilmiştir. 2000 yılından sonra yapılan yeni binalarda yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Yalıtımsız yada eksik yalıtımlı binalar ile yalıtımlı binaları ayrı ayrı değerlendirebilmek için, anketin ikinci bölümü örnek binaların birinci bölüm sonuçlarına göre eski ve yeni binalar olarak gruplandırılmasından sonra uygulanmıştır. Çizelge 2.16 örnek binalarda yapılan anketin ikinci bölüm sonuçlarını vermektedir.

Çizelge 2.16 Örnek binaların ikinci bölüm anket sonuçları.

	Eski Bina Sayısı	%	Yeni Bina Sayısı	%	Toplam Bina Sayısı	%
<b>1. Dış duvar ana malzemesi nedir?</b>						
Delikli tuğla	44	79	4	7	48	86
Gazbeton	7	12	1	2	8	14
<b>2. Tavan tipi nedir?</b>						
Çatılı	46	82	5	9	55	91
Çatısız	5	9	-	-	5	9
<b>3. Döşeme tipi nedir?</b>						
Toprak temaslı döşeme	31	55	1	2	32	57
Isıtılmayan bodrum üstü döşeme	20	36	4	7	24	43
<b>4. Binaya ait herhangi bir yapı bileşeninde yalıtım var mı?</b>						
Dış duvar	3	5	4	7	7	12
Çatı	20	36	5	9	25	45
Döşeme	-	-	5	9	5	9
Mevcut değil	28	50	-	-	28	50
<b>5. Dış duvarda yalıtım uygulama türü nedir?</b>						
Mantolama	3	5	3	5	6	10
Sandviç	-	-	1	2	1	2
<b>6. Pencere ve camlarımızın tipi nedir?</b>						
Ahşap ve tek cam	13	23	-	-	13	23
PVC ve çift cam	38	68	5	9	43	77

İkinci bölümün anket sonuçlarının değerlendirilmesiyle örnek seçilen binalarda dört tip dış duvar, üç tip tavan ve dört tip döşeme konstrüksiyonu belirlenmiştir. Çizelge 2.17-19'da örnek binaların dış duvar, tavan ve döşeme bileşenlerinin yalıtımsız veya eksik yalıtımlı mevcut durumu ile hesabı yapılacak optimum yalıtımlı durumu birlikte gösterilmiştir. Ayrıca her bir yapı bileşeninin farklı konstrüksiyonunun  $U$  değeri verilmiştir.

Çizelge 2.17 Binaların dış duvarlarının yalıtımsız, eksik yalıtımlı ve yalıtımlı durumlarının konstrüksiyonları ile  $U$  değerleri.

KONSTRÜKSİYON		Yalıtımsız / Eksik Yalıtımlı Mevcut Durum		Optimum Yalıtımlı Durum	
		Kalınlık (m)	Isı İletkenliği (W/mK)	Kalınlık (m)	Isı İletkenliği (W/mK)
Dış duvar 1					
	İç sıva	0.02	0.87	0.02	0.87
	Delikli tuğla	0.19	0.45	0.19	0.45
	Yalıtım (XPS, EPS)	-	-	$x_{opt}$	0.028 - 0.034
	Dış sıva	0.03	1.4	0.03	1.4
		$U_{hes} = 1.571 \text{ W/m}^2\text{K}$		$U = 1/(R_{izo}+0.637)$	
Dış duvar 2					
	İç sıva	0.02	0.87	0.02	0.87
	Delikli tuğla	0.19	0.45	0.19	0.45
	Yalıtım (XPS, EPS)	0.03 - 0.04	0.028 - 0.034	$x_{opt}$	0.028 - 0.034
	Dış sıva	0.03	1.4	0.03	1.4
		$U_{hes} = 0.585 - 0.552 \text{ W/m}^2\text{K}$		$U = 1/(R_{izo}+0.637)$	
Dış duvar 3					
	İç sıva	0.02	0.87	0.02	0.87
	Gazbeton	0.2	0.22	0.2	0.22
	Yalıtım (XPS, EPS)	-	-	$x_{opt}$	0.028 - 0.034
	Dış sıva	0.03	1.4	0.03	1.4
		$U_{hes} = 0.890 \text{ W/m}^2\text{K}$		$U = 1/(R_{izo}+1.124)$	
Dış duvar 4					
	İç sıva	0.02	0.87	0.02	0.87
	Delikli tuğla	0.085	0.45	0.085	0.45
	Yalıtım (EPS)	0.02	0.040	$x_{opt}$	0.040
	Delikli tuğla	0.135	0.45	0.135	0.45
	Dış sıva	0.03	1.4	0.03	1.4
		$U_{hes} = 0.831 \text{ W/m}^2\text{K}$		$U = 1/(R_{izo}+0.703)$	

Çizelge 2.18 Binaların tavan bileşeninin yalıtımsız, eksik yalıtımlı ve yalıtımlı durumlarının konstrüksiyonları ile  $U$  değerleri.

KONSTRÜKSİYON		Yalıtımsız / Eksik Yalıtımlı Mevcut Durum		Optimum Yalıtımlı Durum	
		Kalınlık (m)	Isı İletkenliği (W/mK)	Kalınlık (m)	Isı İletkenliği (W/mK)
Tavan 1					
	Yalıtım (Camyünü)	-	-	$x_{opt}$	0.043
	Donatılı beton	0.12	2.1	0.12	2.1
	Tavan sıvası	0.02	0.87	0.02	0.87
		$U_{hes} = 3.447 \text{ W/m}^2\text{K}$		$U = 1/(R_{izo}+0.290)$	
Tavan 2					
	Su yalıtımı	-	-	0.002	0.19
	Yalıtım (Taşyünü)	-	-	$x_{opt}$	0.040
	Şap	0.05	1.4	0.05	1.4
	Donatılı beton	0.12	2.1	0.12	2.1
	Tavan sıvası	0.02	0.87	0.02	0.87
		$U_{hes} = 3.498 \text{ W/m}^2\text{K}$		$U = 1/(R_{izo}+0.286)$	
Tavan 3					
	Yalıtım (Camyünü)	0.05	0.043	$x_{opt}$	0.043
	Donatılı beton	0.12	2.1	0.12	2.1
	Tavan sıvası	0.02	0.87	0.02	0.87
		$U_{hes} = 0.688 \text{ W/m}^2\text{K}$		$U = 1/(R_{izo}+0.290)$	



Çizelge 2.19 Binaların döşeme bileşeninin yalıtımsız, eksik yalıtımlı ve yalıtımlı durumlarının konstrüksiyonları ile  $U$  değerleri.

KONSTRÜKSİYON		Yalıtımsız / Eksik Yalıtımlı Mevcut Durum		Optimum Yalıtımlı Durum	
		Kalınlık (m)	Isı İletkenliği (W/mK)	Kalınlık (m)	Isı İletkenliği (W/mK)
Döşeme 1					
	Kaplama (Seramik)	0.01	0.85	0.01	0.85
	Şap	0.05	1.4	0.05	1.4
	Yalıtım (EPS)	-	-	$x_{opt}$	0.039
	Su yalıtımı	-	-	0.002	0.19
	Grobeton	0.1	1.1	0.1	1.1
	Kum, çakıl	0.15	1.4	0.15	1.4
	Kil, sıkı toprak	0.35	2.1	0.35	2.1
	Temel betonu	0.5	1.74	0.5	1.74
	Grobeton	0.05	1.1	0.05	1.1
		$U_{hes} = 1.093 \text{ W/m}^2\text{K}$		$U = 1/(R_{izo}+0.915)$	
Döşeme 2					
	Kaplama (Seramik)	0.01	0.85	0.01	0.85
	Şap	0.05	1.4	0.05	1.4
	Yalıtım (EPS)	-	-	$x_{opt}$	0.039
	Donatılı beton	0.12	2.1	0.12	2.1
	Tavan sıvası	0.02	0.87	0.02	0.87
		$U_{hes} = 2.962 \text{ W/m}^2\text{K}$		$U = 1/(R_{izo}+0.338)$	
Döşeme 3					
	Kaplama (Seramik)	0.01	0.85	0.01	0.85
	Şap	0.05	1.4	0.05	1.4
	Yalıtım (EPS)	0.03	0.039	$x_{opt}$	0.039
	Su yalıtımı	0.002	0.19	0.002	0.19
	Grobeton	0.1	1.1	0.1	1.1
	Kum, çakıl	0.15	1.4	0.15	1.4
	Kil, sıkı toprak	0.35	2.1	0.35	2.1
	Temel betonu	0.5	1.74	0.5	1.74
	Grobeton	0.05	1.1	0.05	1.1
		$U_{hes} = 0.594 \text{ W/m}^2\text{K}$		$U = 1/(R_{izo}+0.915)$	

Çizelge 2.19'un devamı.

Döşeme 4					
	Kaplama (Seramik)	0.01	0.85	0.01	0.85
	Şap	0.05	1.4	0.05	1.4
	Yalıtım (EPS)	0.03	0.039	$x_{opt}$	0.039
	Donatılı beton	0.12	2.1	0.12	2.1
	Tavan sıvası	0.02	0.87	0.02	0.87
		$U_{hes} = 0.903 \text{ W/m}^2\text{K}$		$U = 1/(R_{izo}+0.338)$	

Örnek binalara ait dış duvar, çatı ve döşeme için farklı konstrüksiyonlar tespit edildikten sonra her bir konstrüksiyona giren bina sayısı ve bunun yüzde dağılımı eski binalar, yeni binalar ve toplam örnek binalar için elde edilmiş ve Çizelge 2.20'de verilmiştir. Çizelge 2.21 ise örnek binaların pencerelerinin, tiplerine göre ısı transfer katsayılarını vermektedir.

Gönen jeotermal bölgesel ısıtma sistemiyle ısıtılan ve araştırmada ana kitleyi oluşturan toplam 300 adet bina ve bu binalarda 2636 konut bulunmaktadır. Bu konutlar, toplam 275 462 m<sup>2</sup> kapalı alana sahiptir. Buna göre bir konutun kullanım alanı ortalama 104.5 m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. 104.5 m<sup>2</sup> (11 m x 9.5 m) bir konutun brüt dış duvar yüzey alanı ortalama 118.9 m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Pencere alanları toplamı duvar yüzey alanının % 15'i alınarak 18 m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Pencere alanları toplamı brüt değerden çıkarılarak 104.5 m<sup>2</sup> bir konutun net duvar yüzey alanı ortalama 100.9 m<sup>2</sup> olarak bulunmuştur. Anketlerde elde edilen oranların tüm sistem için dikkate alınmasıyla toplam duvar, çatı ve döşeme konstrüksiyon ve pencere tiplerinin yüzey alanları hesaplanmış ve Çizelge 2.22'de verilmiştir.

Jeotermal bölgesel ısıtma sistemi ile ısıtılan otel binalarının yapısal özelliklerinin belirlenmesinde Gönen Kaplıcaları İşletmesi A.Ş.'den temin edilen mimari projelerinden faydalanılmıştır [78]. Çizelge 2.23 otellerin yapı bileşenlerinin toplam ısı transfer katsayıları ve her bir yapı bileşeninin toplam yüzey alanlarını vermektedir.

Çizelge 2.20 Eski, yeni ve toplam örnek binaların konstrüksiyon dağılımı.

Yapı Bileşenleri	Eski Bina Sayısı	%	Yeni Bina Sayısı	%	Toplam Bina Sayısı	%
Dış Duvar 1	41	74	-	-	41	74
Dış Duvar 2	3	5	3	5	6	10
Dış Duvar 3	7	12	1	2	8	14
Dış Duvar 4	-	-	1	2	1	2
Çatı 1	26	46	-	-	26	46
Çatı 2	5	9	-	-	5	9
Çatı 3	20	36	5	9	25	45
Döşeme 1	31	55	-	-	31	55
Döşeme 2	20	36	-	-	20	36
Döşeme 3	-	-	1	2	1	2
Döşeme 4	-	-	4	7	4	7

Çizelge 2.21 Örnek binaların pencere tipleri ve  $U$  değerleri.

Yapı Bileşenleri	Pencere ve Cam Tipi	Isı Transfer Katsayısı ( $U$ ) ( $W/m^2K$ )
Pencere 1	Ahşap ve tek cam	5.2
Pencere 2	PVC ve çift cam	2.8

Çizelge 2.22 Sistemdeki tüm binaların yapı bileşenlerinin toplam yüzey alanları.

Yapı Bileşenleri	Eski Binalar Yüzey Alanı (m <sup>2</sup> )	Yeni Binalar Yüzey Alanı (m <sup>2</sup> )	Tüm Sistem Yüzey Alanı (m <sup>2</sup> )
Dış Duvar 1	131 936	-	131 936
Dış Duvar 2	8915	8915	17 830
Dış Duvar 3	21 395	3566	24 961
Dış Duvar 4	-	3566	3566
Çatı 1	38 110	-	38 110
Çatı 2	7456	-	7456
Çatı 3	29 826	7456	37 282
Döşeme 1	45 567	-	45 567
Döşeme 2	29 825	-	29 825
Döşeme 3	-	1657	1657
Döşeme 4	-	5799	5799
Pencere 1	10 913	-	10 913
Pencere 2	32 265	4270	36 535

Çizelge 2.23 Sistemdeki otellerin ısı transfer katsayıları ve toplam yüzey alanları.

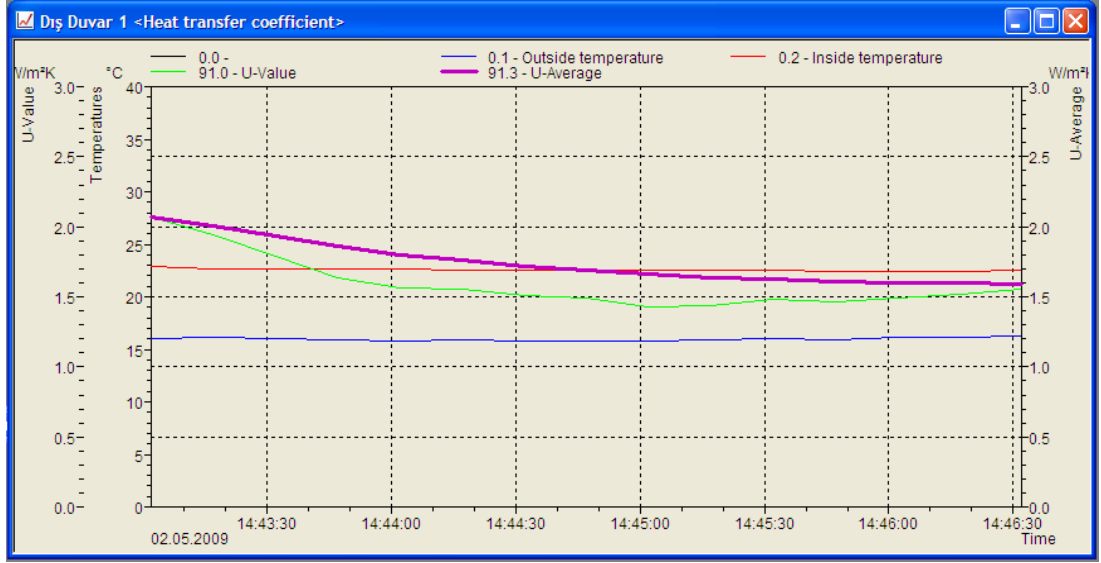
Yapı Bileşenleri	Isı Transfer Katsayısı (U) (W/m <sup>2</sup> K)	Toplam Yüzey Alanı (m <sup>2</sup> )
Dış duvar	0.890	5880
Tavan	3.498	5965
Döşeme	1.093	5965
Pencere (PVC ve çift)	2.8	2520

### 2.7.3 Örnek Binaların Ölçülen ve Hesaplanan Isı Transfer Katsayılarının Karşılaştırılması

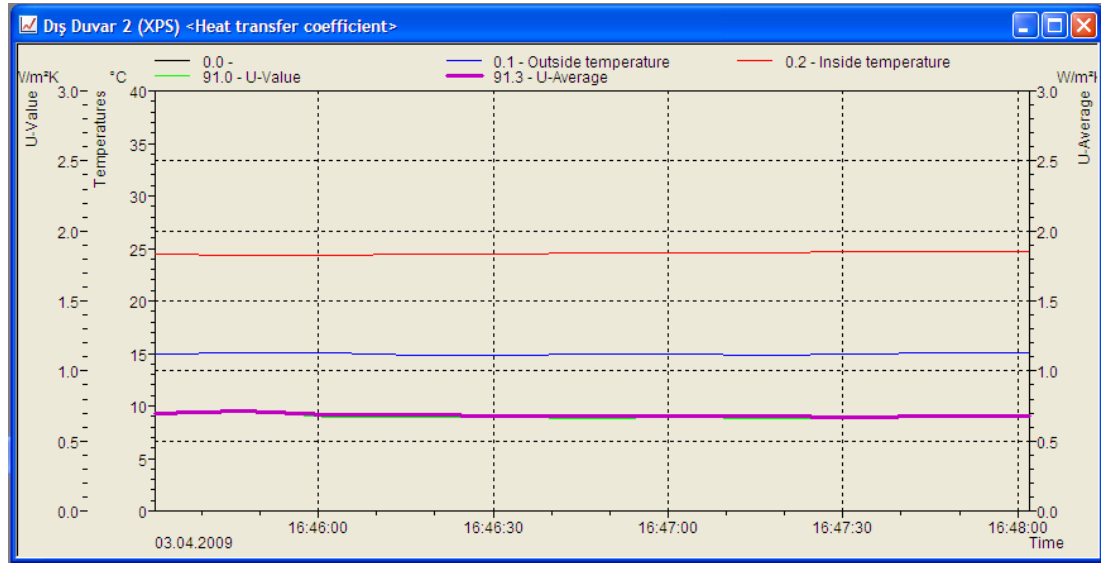
Çalışmanın bu bölümünde örnek binaların dış duvarlarının farklı konstrüksiyonlarının hesaplanan ısı transfer katsayıları ile ölçüm sonuçlarından elde edilen ısı transfer katsayıları birlikte verilmiştir (Çizelge 2.24). Çizelgeden ölçülen ve hesaplanan değerlerin uygunluğu görülmektedir. Ayrıca Dış duvar 1-4'ün ölçüm sonuçlarının grafikleri Şekil 2.14- 18'de verilmiştir.

Çizelge 2.24 Örnek binaların dış duvarlarının hesaplanan ve ölçülen ısı transfer katsayıları karşılaştırılması.

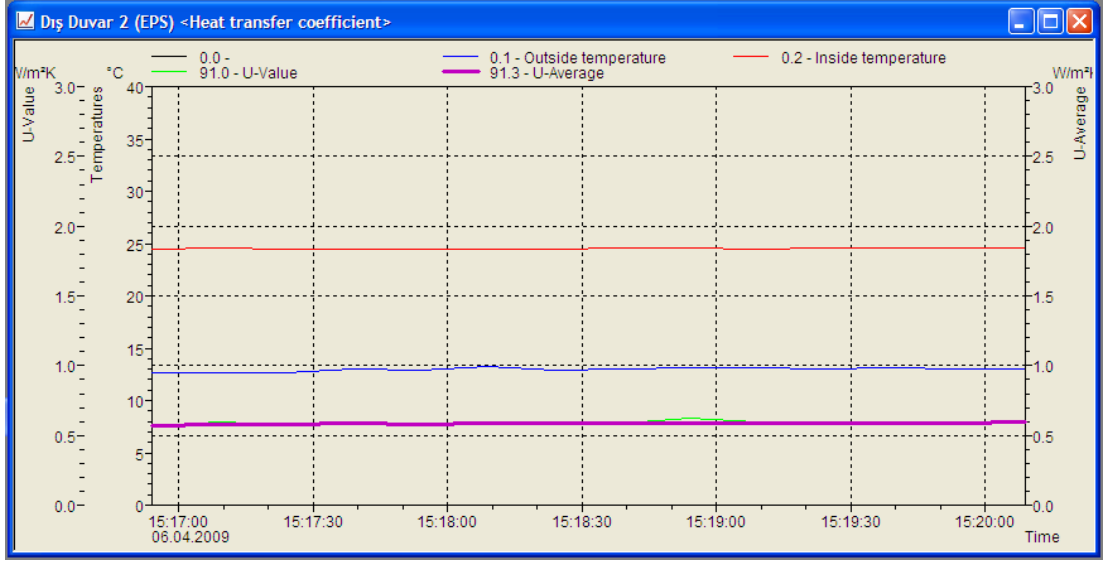
Yapı Bileşenleri	Hesaplanan ( $U_{hes}$ ) (W/m <sup>2</sup> K)	Ölçülen ( $U_{ölç}$ ) (W/m <sup>2</sup> K)
Dış duvar 1	1.571	1.59
Dış duvar 2 (XPS için)	0.585	0.68
Dış duvar 2 (EPS için)	0.552	0.60
Dış duvar 3	0.890	0.90
Dış duvar 4	0.831	0.89



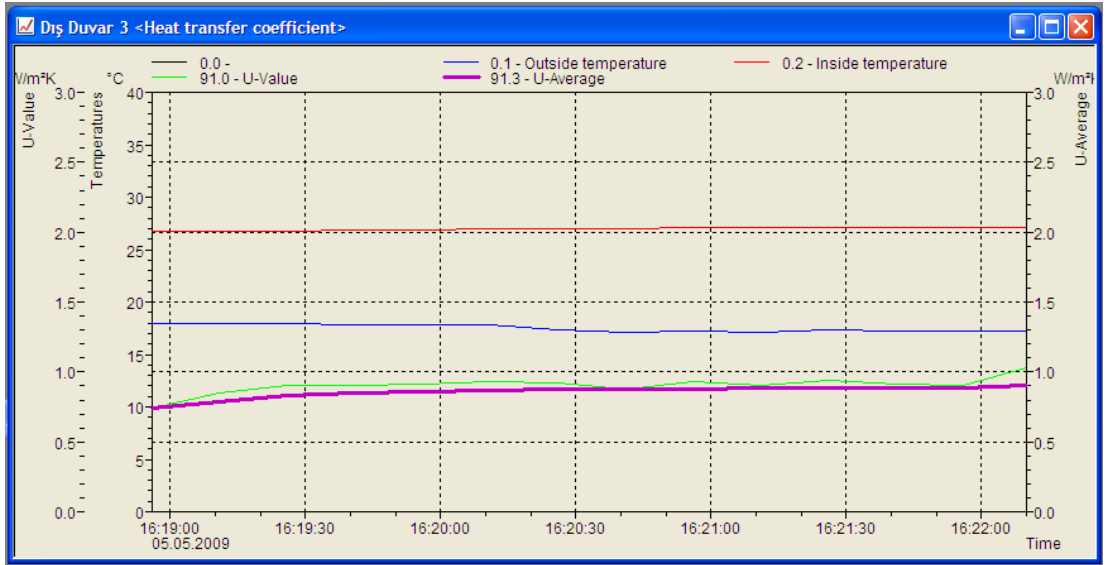
Şekil 2.14 Dış duvar 1'in ısı transfer katsayısı ölçüm sonucunun grafiği.



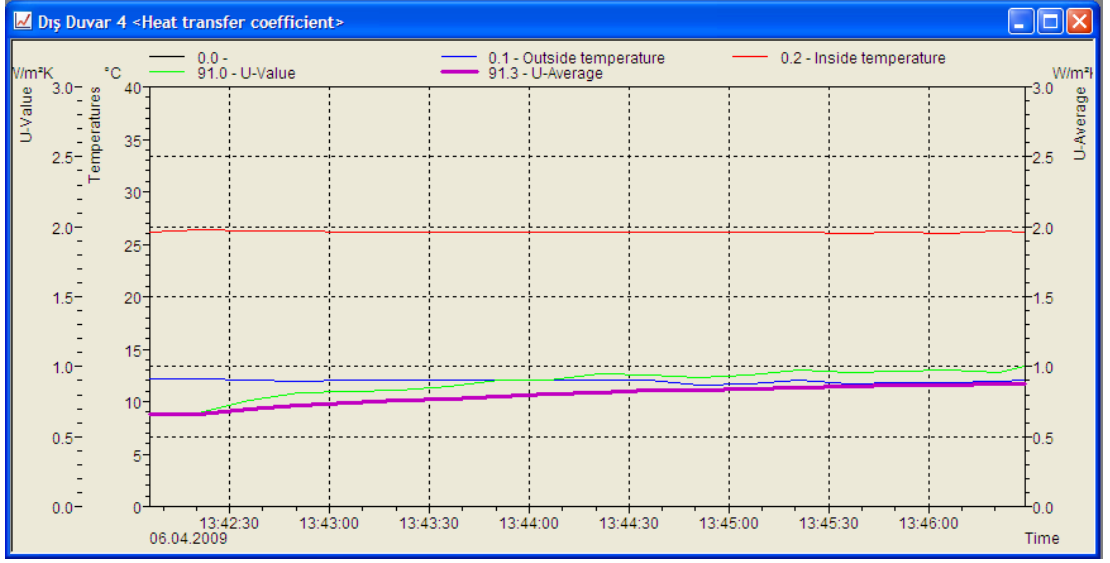
Şekil 2.15 Dış duvar 2'nin (XPS) ısı transfer katsayısı ölçüm sonucunun grafiği.



Şekil 2.16 Dış duvar 2'nin (EPS) ısı transfer katsayısı ölçüm sonucunun grafiği.



Şekil 2.17 Dış duvar 3'ün ısı transfer katsayısı ölçüm sonucunun grafiği.



Şekil 2.18 Dış duvar 4'ün ısı transfer katsayısı ölçüm sonucunun grafiği.

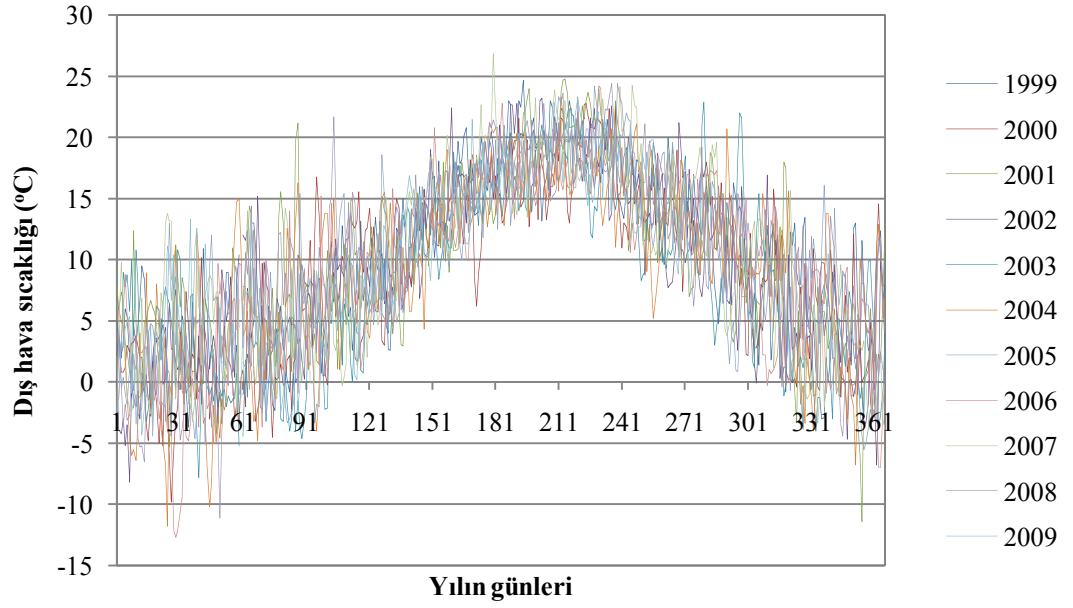


## 2.8 Toplam Isıl Güç Gereksinimi

Toplam ısı güç gereksiniminin belirlenmesinde iki önemli faktör vardır. Bunlardan birincisi ısı kaybı hesabında kullanılacak dış hava sıcaklığının değeri, ikincisi ise enerji tüketim yerlerinin belirlenmesidir.

TS 2164 "Kalorifer Tesisatı Projelendirme Kuralları" standardına göre Gönen ilçesi için ısı kaybı hesabında kullanılan dış hava sıcaklık değeri  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$  olarak verilmektedir [67]. Ankara Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilen son 10 yılın (1999'dan 2009'a kadar) günlük minimum dış hava sıcaklığı verilerine göre, Gönen'de son 10 yılda dış hava sıcaklığının günlük minimum değerinin  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin altına düştüğü gün sayısı sadece 16 gündür. Günlük minimum sıcaklıkların 10 yıllık ortalaması alındığında ise en düşük değer  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir [79]. Bu nedenle ısı kaybı hesabında dış hava sıcaklığı değeri  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$  alınmıştır. Şekil 2.19, 10 yılın günlük minimum dış hava sıcaklık verilerini vermektedir.

Gönen'de jeotermal enerji; konut ısıtmada, termal tesislerde ve tabakhane işletmelerinin sıcak su ihtiyacını karşılamakta kullanılmaktadır. Konutlarda ısıtma amaçlı ve mutfak ve banyoların sıcak su ihtiyacını karşılamakta, otellerde ısıtma ve tabakhane tesislerinde proses sıcak su tüketimi yapılmaktadır. Otellerin sıcak ve ılık su ihtiyacı ilgili eşanjörün jeotermal su çıkışlarından sağlandığı için toplam ısı ihtiyacının hesaplanmasından bağımsızdır ve herhangi bir yük oluşturmamaktadır.



Şekil 2.19 Son 10 yılın (1999-2009) günlük minimum dış hava sıcaklığı değişimi.

### 2.8.1 Konutlarda ve Otellerde Isı Kaybı Hesabı

Konutların ve otellerin ısı kaybı hesabında TS 2164 "Kalorifer Tesisatı Projelendirme Kuralları" standardı esas alınmıştır [67]. Hesaplarda kullanılacak dış hava ve iç ortam sıcaklık değerleri standarda göre tespit edilmiş ve Çizelge 2.25'te verilmiştir. İç ortam sıcaklık değeri konut ortalama sıcaklık değeri olarak alınmıştır.

Bu hesaplamada, hacmin istenilen belli bir sıcaklıkta arzu edilen hassasiyet düzeyinde kalabilmesi için gerekli olan ısı ihtiyacı bulunmaktadır. Burada hareket noktası belirli iç ve dış sıcaklık şartlarında hacimden dış atmosfere olan ısı kaybı miktarının hesaplanmasıdır. Hesaplanan saatlik ısı kaybı, hacme bir saatte verilmesi gereken ısı miktarıdır.

Çizelge 2.25 Konut ve otellerin ısı kaybı hesabında kullanılan sıcaklık verileri.

	(°C)
Dış hava sıcaklığı	-6
Ortalama iç ortam sıcaklığı	20
Çatı arası sıcaklığı	-1
Döşeme altı bodrum sıcaklığı	15
Döşeme altı toprak sıcaklığı	6

İç hacimden dış atmosfere geçen ısı, iletimsel ve hava sızıntısı yoluyla olan kayıpların toplamıdır. İletimsel (iletim ve taşınım) yolla kaybolan aşağıdaki formülde belirtildiği gibidir.

$$\dot{Q}_o = UA\Delta T \quad (2.19)$$

Burada,  $\dot{Q}_o$  bir ortamdan diğer ortama geçen ısı miktarı (W),  $U$  yapı bileşeninin toplam ısı geçirgenlik katsayısı (W/m<sup>2</sup>K),  $A$  yapı bileşeninin yüzey alanı (m<sup>2</sup>),  $\Delta T$  yapı bileşeninin iki tarafında bulunan ortamların sıcaklık farkıdır (K).

Artırımsız iletimsel yolla gerçekleşen ısı kaybı her bir yapı bileşeni için,

$$\begin{aligned} \dot{Q}_o = & U_D A_D (T_{iç} - T_{dış}) + U_p A_p (T_{iç} - T_{dış}) + U_T A_T (T_{iç} - T_{ta}) \\ & + U_t A_t (T_{iç} - T_{döş}) \end{aligned} \quad (2.20)$$

şeklinde yazılabilir. Buna göre konutların ve otellerin yapı bileşenlerinin ısı transfer katsayıları (mevcut durumlarının) ve toplam yüzey alanları için Bölüm 2.7'de hesaplanan değerler kullanılarak toplam iletimsel ısı kaybı hesaplanabilir.

Artırımsız olarak hesaplanan ısı kaybına çeşitli artırımlar eklenir. Toplam artırım  $Z$ ,

$$Z = (1 + \%Z_D + \%Z_W + \%Z_H) \quad (2.21)$$

şeklindedir. Denklemdede,  $Z_D$  kesikli çalışma (işletme) artırım katsayısıdır. Kesikli çalışma artırım katsayısı jeotermal enerjinin konutlarda ve otellerde sürekli işletme olması nedeni % 7 alınmıştır.  $Z_W$  yüksek kat ve katlar artırımıdır. Yüksek kat ve katlar artırımı ise sistemdeki binaların 4. katlarının toplamdaki yüzde oranına (% 17'lik kısım) göre % 5 ve tüm otel binalarının 4 katlı olması nedeniyle yine % 5 ortalama olarak hesaba katılmıştır.  $Z_H$  yön artırımıdır. Yön artırım katsayısı sistemdeki binaların duvar yüzeylerinin farklı yönlerde olması nedeni ile dört yönün ortalaması gibi düşünülerek sıfır olarak alınmıştır.

İletimsel artırımlı ısı kaybı,

$$\dot{Q}_i = \dot{Q}_o Z \quad (2.22)$$

şeklinde hesaplanır. Toplam ısı gereksinimi  $\dot{Q}_h$ 'ı hesaplamak için, artırımlar dikkate alınarak bulunan  $\dot{Q}_i$  ısı kaybı ile  $\dot{Q}_s$  hava sızıntı ısı kaybı toplanır.

$$\dot{Q}_h = \dot{Q}_i + \dot{Q}_s \quad (2.23)$$

Denklemdede,  $\dot{Q}_s$  sızıntı yoluyla ısı kaybıdır (W) ve 104.5 m<sup>2</sup> bir konut için yaklaşık 2300 W olarak hesaplanmış ve konut sayısı ile çarpılarak 6062 kW olarak bulunmuştur. Otellerde ise iletimle gerçekleşen ısı kaybının % 40'ı olarak kabul edilmiştir.

Konutlardaki sıcak su ihtiyacının karşılanması için gerekli olan ısı gereksinimi ise şu şekilde belirlenebilmektedir [18].

$$\dot{Q}_{sıcak su} = N_{kişi} C_p S \Delta T \quad (2.24)$$

Eşitlikte gösterilen  $N_{kişi}$  bir evdeki ortalama insan sayısını ifade etmektedir ve hesaplamalar için 4 olarak alınmıştır.  $S$  ise günlük ortalama sıcak su ihtiyacını belirtmektedir ve hesaplamalarda 50 lt/(kişi-gün) veya 50 kg/(kişi-gün), ve  $\Delta T$  ise sıcak su (60 °C) ile şebekeden gelen su (10 °C) arasındaki sıcaklık farkını ifade etmektedir [80].

## 2.8.2 Tabakhane İşletmelerinin Isıl Güç Gereksiniminin Hesabı

Gönen jeotermal bölgesel ısıtma sisteminde tabakhane işletmelerine sıcak su temin edilmektedir. Kullanılan suyun ısıtılması için verilmesi gereken ısı miktarı aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$\dot{Q}_{tabakhane} = \dot{m}C_p\Delta T \quad (2.25)$$

Bağintıda,  $\dot{m}$  kullanılan suyun kütleli debisini (kg/s),  $C_p$  suyun özgül ısısını (kJ/kgK),  $\Delta T$  ise eşanjör giriş-çıkış su sıcaklıkları farkını (K) göstermektedir. Debi değerinin belirlenmesinde ultrasonik debimetre ile sürekli olarak ölçüm yapılmış ve pik yük için maksimum değer elde edildiği zaman aralığı tespit edilmiştir. 07:00 ile 09:00 saatleri arasında belirlenen bu zaman diliminde 3 tekrarlı yapılan ölçümlerin ortalaması alınarak 9.7 kg/s debi değeri elde edilmiş ve hesaplamalarda kullanılmıştır. Tabakhane eşanjörüne suyun giriş ve çıkış sıcaklık değerleri veri toplama sistemiyle ölçüm sonuçlarından elde edilerek ortalama değerler alınmıştır. Giriş suyu sıcaklığı 15 °C, çıkış suyu sıcaklığı da işletmelerde uygun kullanım için 65 °C'dir.

Konut, otel ve tabakhane işletmelerinde ısı güç gereksinimi toplamı hesaplanarak Çizelge 2.26'da verilmiştir. Hesaplarda binaların mevcut özellikleri dikkate alınarak Bölüm 2.7'de elde edilen değerler kullanılmıştır.

Çizelge 2.26 Toplam ısı güç gereksinimi.

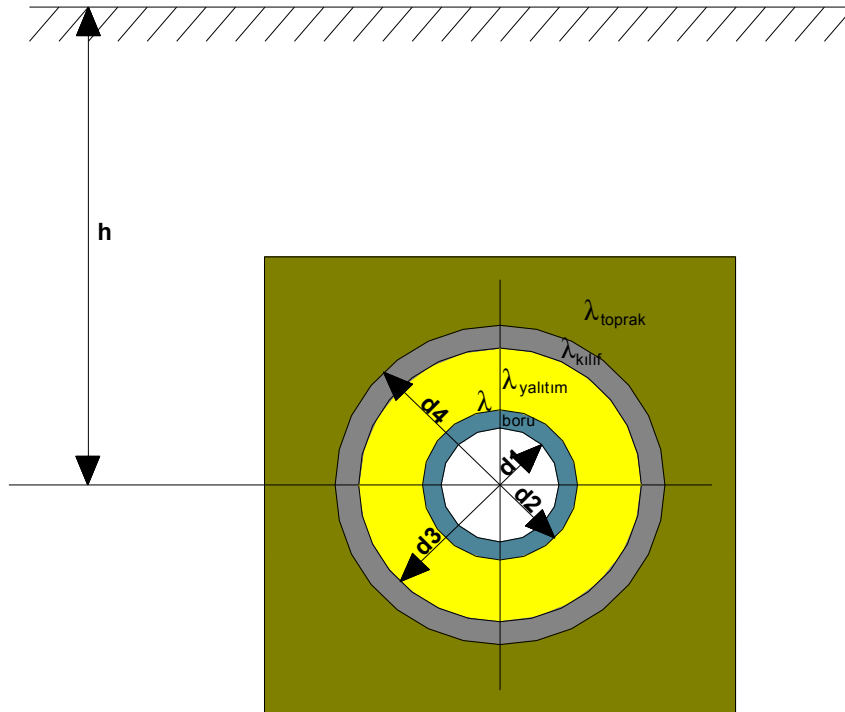
	$\dot{Q}_o$ (kW)	$\dot{Q}_i$ (kW)	$\dot{Q}_s$ (kW)	$\dot{Q}_h$ (kW)	$\dot{Q}_{sıcak su}$ (kW)	$\dot{Q}_{tabakhane}$ (kW)	$\dot{Q}_{toplam}$ (kW)
Konutlar	15 589	16 812	6062	22 875	1277	-	24 152
Oteller	953	1067	427	1494	-	-	1494
Tabakhane	-	-	-	-	-	2000	2000
$\dot{Q}_{toplam gereksinim}$							27 646

### 2.8.3 Borularda Isı Kaybı Hesabı

Yalıtımlı borularda sürekli rejimde birim uzunluk başına ısı kaybı,

$$\dot{Q} = \frac{2\pi(T_{iort} - T_{dort})}{\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{\lambda_3} \ln \frac{d_4}{d_3} + \frac{1}{\lambda_4} \ln \frac{4h}{d_4}} \quad (2.26)$$

formülüyle hesaplanabilir [81]. Denklemden,  $T_{iort}$  isale hattı giriş ve çıkış su sıcaklığı ortalamasını (K),  $T_{dort}$  ortalama dış sıcaklığı (K);  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  boru sistemini oluşturan sırasıyla, servis borusu, ısı yalıtım malzemesi ve dış kılıf borusunun,  $\lambda_4$  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. Şekil 2.20 toprak altı taşıma borusunun kesit resmini vermektedir.



Şekil 2.20 Toprak altı taşıma borusu kesiti.

Boru hatlarında meydana gelen ısı kayıpları hesaplanırken, jeotermal hat, 1. etap ve 2. etap boru hattı olmak üzere sistem üç bölümde değerlendirilmiştir. İsale hattı giriş ve çıkış su sıcaklığı ortalaması hat sıcaklıkları dikkate alınarak hesaplanmış, ortalama dış toprak sıcaklığı 6 °C olarak alınmıştır. Bu değer TS 2164’de -6 °C olarak verilen dış hava sıcaklık değerine (Gönen ilçesini kapsıyor) göre seçilmiştir. Çizelge 2.27 sistemdeki boru hatlarının ısı kayıpları toplamını vermektedir. Jeotermal ve sıcak su borularında kullanılan malzemelerin ısı iletim katsayıları ilgili kataloglardan [82] aşağıdaki şekilde alınmıştır.

CTP:  $\lambda_{CTP}=0.33$  W/mK, Çelik :  $\lambda_{çelik}=76$  W/mK, PPR :  $\lambda_{PPR}=0.43$  W/mK,  
Yalıtım :  $\lambda_{yalıtım}=0.0275$ , Kılıf :  $\lambda_{kılıf}=0.43$  W/mK, Toprak :  $\lambda_{toprak}=1.5$  W/mK

Çizelge 2.27 Boru hatlarının ısı kayıpları.

	DN 300 (kW)	DN 250 (kW)	DN 200 (kW)	DN 150 (kW)	DN 125 (kW)	DN 100 (kW)	DN 80 (kW)	DN 65 (kW)	DN 50 (kW)	$\dot{Q}_{toplam}$ (kW)
Jeotermal	0.7	4.8	11.9	4.3	-	5.0	-	-	-	26.7
1. Etap	-	-	16.9	0.4	15.3	2.0	1.3	7.6	25.7	69.2
2. Etap	15.0	3.0	10.0	8.2	11.9	5.9	7.3	12.6	11.3	85.2
$\dot{Q}_{toplam}$ boru ısı kaybı										181

## 2.9 Jeotermal Kuyulardan Elde Edilen Isıl Gücün Hesaplanması

Gönen jeotermal bölgesel ısıtma sisteminde 2009 yılı Aralık ayı itibariyle toplam 8 adet üretim kuyusu aktif haldedir. Çizelge 2.28 üretim kuyuların sıcaklık, debi ve hesaplanan güç değerlerini vermektedir. Debi değerleri kuyu başından ultrasonik debimetre ile en az 3 tekrarlı olarak ölçülerek ortalamaları alınmıştır. G11 kuyusu Aralık 2009 tarihinde aktif hale gelmiştir. Jeotermal kuyularından elde edilen güç hesabı yapılırken aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$\dot{Q}_{\text{üretim}} = \sum_{i=1}^n \dot{m}_i C_p (T_{\text{üretim}} - T_{\text{atık}}) \quad (2.27)$$

Bağıntıda,  $\dot{m}$  üretim kuyularının kütleli debisidir (kg/s).  $C_p$  suyun özgül ısısını (kJ/kgK), sıcaklık farkı ise üretim ve atık termal su eşanjör giriş-çıkış su sıcaklıkları farkını (K) ifade etmektedir. Üretim sıcaklıkları kuyu başı sıcaklıkları, atık termal su sıcaklığı da ölçülen değerlerin ortalaması olarak 40 °C alınmıştır.

Çizelge 2.28 Üretim kuyuları verileri ve üretim kuyularında elde edilen güç.

Kuyu No	Sıcaklık $T_{\text{üretim}}$ (°C)	Debi $\dot{m}$ (kg/s)	Isıl Güç $\dot{Q}$ (kW)
G7	51.44	13.8	665
G8	56.75	23.6	1656
G9	91.11	6.9	1486
G10	66.69	23.6	2483
G11	78	8.3	1326
G13	59.22	25	1900
G16	80.15	25	4202
G17	63.84	26.3	2633
$\dot{Q}_{\text{toplam üretim}}$		152.5	16 351



## 2.10 Pik-Güç Ünitesinin Kapasite Hesabı ve Kazan Seçimi

Dış hava sıcaklığının belli değerlerin altına düştüğü zamanlarda, ihtiyaç duyulan enerjinin tamamını jeotermal kaynaklar karşılamada yetersiz kalmaktadır. Bu durumlarda sistemi destekleyecek pik-güç ünitesine gerek duyulmaktadır. Aksi durumda binaların ısınmama sorunu ve buna bağlı müşteri memnuniyetsizliği kaçınılmazdır. Bina iç sıcaklıklarının +20°C'de tutulması için jeotermal sistemi destekleyici (fuel-oil, doğalgaz, kömür, elektrik gibi) enerji türleri kullanan ilave sisteme gerek duyulmaktadır. İlave enerji veren sistemin bir optimizasyon sonucu boyutlandırılması zorunludur [68]. Çalışmanın amaçlarından birisi, jeotermal tesislerde pik-güç ünitesinin optimum kapasitesini belirlemektir. Aynı zamanda pik ısı yükünün karşılanmasında ihtiyaç olan bu sistemin ekonomik yönden uygunluğu da ele alınmıştır. Bu noktadan hareketle;

Gönen jeotermal bölgesel ısıtma sistemi için pik-güç ünitesi kapasitesi,

$$\dot{Q}_{pik-güç} = \dot{Q}_{toplam\ gereksinim} + \dot{Q}_{toplam\ boru\ ısı\ kaybı} - \dot{Q}_{toplam\ üretim} \quad (2.28)$$

şeklinde yazılabilir. Bölüm 2.8 ve 2.9'da elde edilen değerlerin yazılmasıyla,

$$\dot{Q}_{pik-güç} = 11\,476\text{ kW}$$

bulunmuştur. Sıvı ve doğalgaz kazanlarında kazan kapasitesi,

$$\dot{Q}_K = \dot{Q}_h (1 + Z_R) \quad (2.29)$$

ifadesiyle verilmektedir [83]. Burada  $\dot{Q}_K$  kazan kapasitesi (kW),  $\dot{Q}_h$  toplam ısı kapasitesi (kW),  $Z_R$  kazan ısı yükü artırım katsayısıdır. Sistem, uzak mesafeli bölgesel ısıtma sistemi olduğu için  $Z_R$  değeri 0.15 alınmıştır. Toplam ısı kapasitesi yerine pik-güç ünitesinin kapasitesi alınarak denklem yeniden yazılırsa,

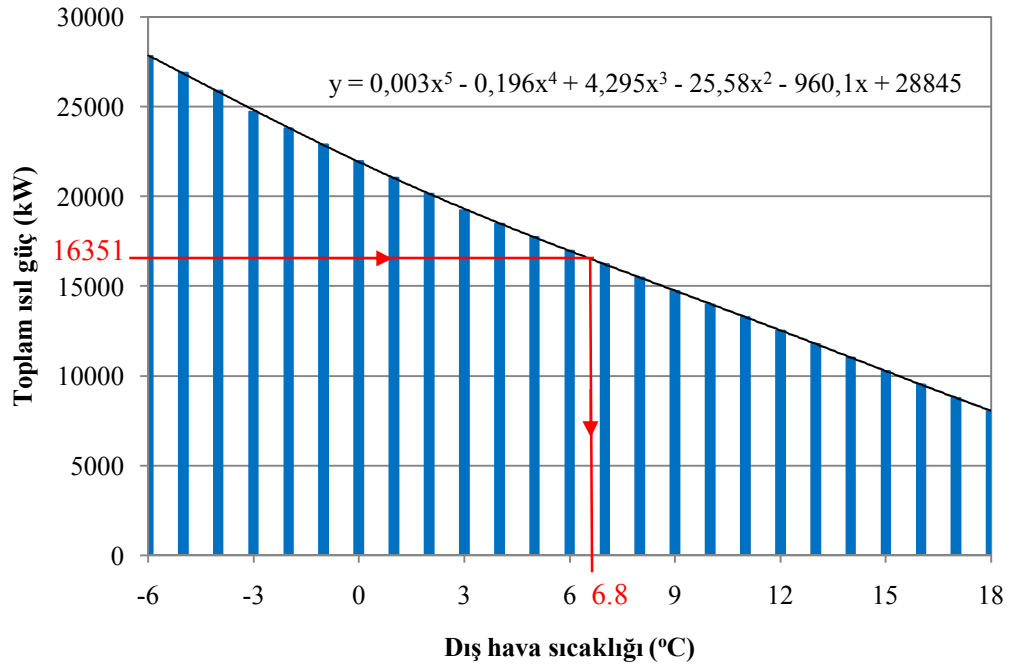
$$\dot{Q}_K = \dot{Q}_{pik-güç} (1 + Z_R) \quad (2.30)$$

$$\dot{Q}_K = 13\,197 \text{ kW}$$

elde edilir. İhtiyacı karşılamak üzere 3 adet 4000 kW ısı yüküne sahip doğalgaz yakıtlı kazan önerilebilir.

Pik-güç ünitesinin devreye gireceği sıcaklık değerinin elde edilebilmesi için ısı kaybı hesabında kabul edilen en düşük dış hava sıcaklığı değeri olan  $-6 \text{ }^\circ\text{C}$  ile ısıtma yapılan en yüksek dış hava sıcaklığı değeri olan  $18 \text{ }^\circ\text{C}$  arasındaki her bir derece için toplam ısı ihtiyacı hesaplanmıştır. Şekil 2.21 toplam ısı ihtiyacının dış hava sıcaklığına göre değişimini vermektedir. Şekil üzerinde jeotermal kuyulardan elde edilen enerjinin ( $16\,351 \text{ kW}$ )  $6.8 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklık değerine kadar toplam ısı ihtiyacını karşılayabileceği, sıcaklığın daha düşük olduğu değerlerde enerji açığının ortaya çıkacağı görülmektedir.

Dış hava sıcaklığının değerine göre toplam ısı güç değerinin değişiminin dikkate alınmasıyla; önerilen 3 adet kazandan 1 adetinin sıcaklık  $6.8 \text{ }^\circ\text{C}$ 'nin altına düştüğünde, 2 adetinin sıcaklık  $1.7 \text{ }^\circ\text{C}$ 'nin altına düştüğünde, 3 adetinin ise  $-3.3 \text{ }^\circ\text{C}$ 'nin altına düştüğü zaman devreye gireceği hesaplanmıştır.



Şekil 2.21 Toplam ısıtıl gücün dış hava sıcaklığına göre değişimi ve pik-güç sisteminin devreye girmesi gereken ısıtıl güç ve sıcaklık değeri.

## 2.11 Günlük Enerji İhtiyacının Hesaplanması

Sistemin günlük enerji ihtiyacı belirlenirken derece saat yönteminden faydalanılmıştır. Derece saat yöntemi, derece gün yöntemine benzer olarak dış ortam sıcaklığı ve bir denge noktası sıcaklığı arasındaki fark ile orantılıdır. Fakat derece saat yöntemi derece gün yönteminden daha hassas sonuçlar vermektedir [84].

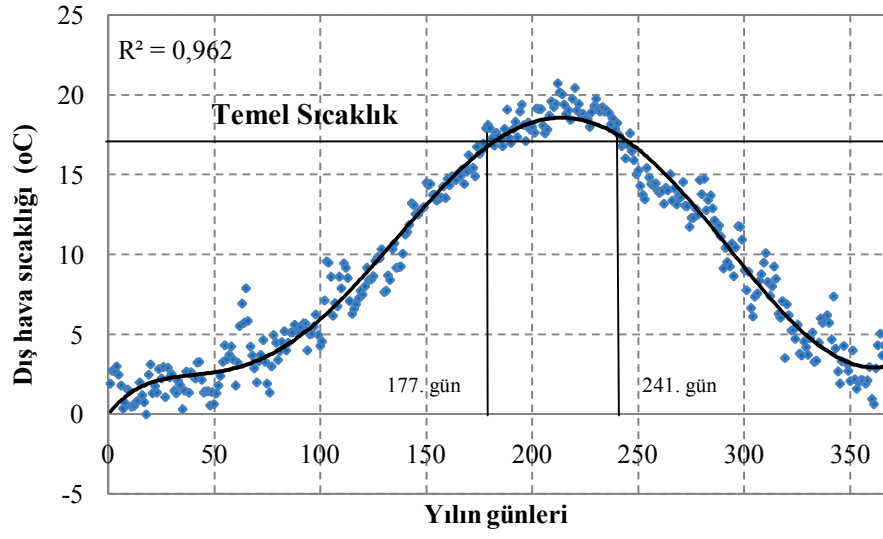
Isıtma derece saatlerinin hesaplanması için genel olarak herhangi bir  $n$  periyodunda, tespit edilen bir taban sıcaklık ( $T_t$ )'nin altındaki değerler toplanır [85].

$$T_{ort} < T_t \text{ için, } DS = \sum_{i=1}^n (T_t - T_{ort}) \quad (2.31)$$

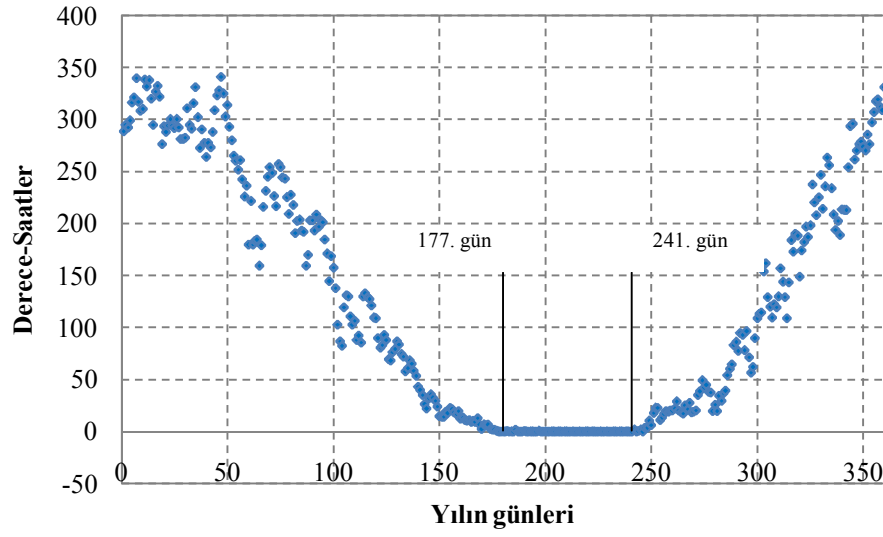
Burada,  $DS$   $n$  güne ait ısıtma derece-saatlerinin kümülatif toplamı (Derece.saat),  $n$  periyottaki gün sayısı (Gün),  $T_t$  seçilen taban sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T_{ort}$  günlük ortalama dış hava sıcaklığıdır ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Derece saat ( $DS$ ) değerlerinin hesaplanması için çeşitli çalışmalarda değişik taban sıcaklıkları önerilmiştir. ABD için genel olarak  $18.3^{\circ}\text{C}$  olarak kullanılmaktadır. Türkiye’de Ankara ve İstanbul gibi büyük metropollerde taban sıcaklığının  $15^{\circ}\text{C}$  alınabileceği saptanmıştır. Geleneksel olarak tipik yalıtımsız konutlar için ısıtma derece günleri  $18^{\circ}\text{C}$  taban sıcaklığında hesap edilmektedir [86]. Gönen’de jeotermal bölgesel ısıtma sistemine bağlı konutların önemli bir bölümünün eski binalardan oluştuğu ve yalıtımsız olarak inşa edildiği için, ısıtma yükleri belirlenmesi amaçlı derece saat değerlerinin hesaplanmasında taban sıcaklığı  $18^{\circ}\text{C}$  olarak alınmıştır.

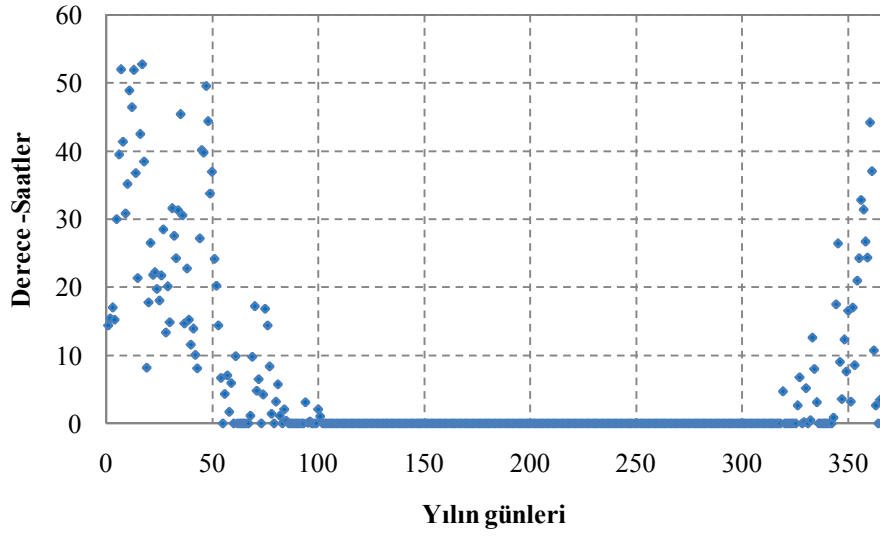
Derece saat değerlerinin hesaplanmasında Ankara Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden temin edilen 10 yıllık (1999’dan 2009’a kadar) ortalama saatlik dış hava sıcaklığı verilerinden faydalanılmıştır [79]. Şekil 2.22, 10 yıllık ortalama (1999-2009) günlük minimum dış hava sıcaklığının yılın günlerine göre değişimini vermektedir. Şekil 2.23, 10 yıllık ortalama derece saat değişimini vermektedir. Şekil 2.24 ise pik-güç ünitesine ihtiyaç duyulan derece saat değişimini vermektedir. Pik-güç ünitesi için temel sıcaklık olarak  $6.8^{\circ}\text{C}$  alınmıştır.



Şekil 2.22 10 yıllık ortalama (1999-2009) günlük minimum dış hava sıcaklığı.



Şekil 2.23 10 yıllık ortalama (1999-2009) derece saat değişimi.



Şekil 2.24 Pik-güç ünitesine ihtiyaç duyulan derece saat değişimi.

Derece saat sayısına göre ısıtılan konutlarda günlük enerji ihtiyacı aşağıdaki formül yardımıyla bulunabilir [87, 88].

$$E = UADS \quad (2.32)$$

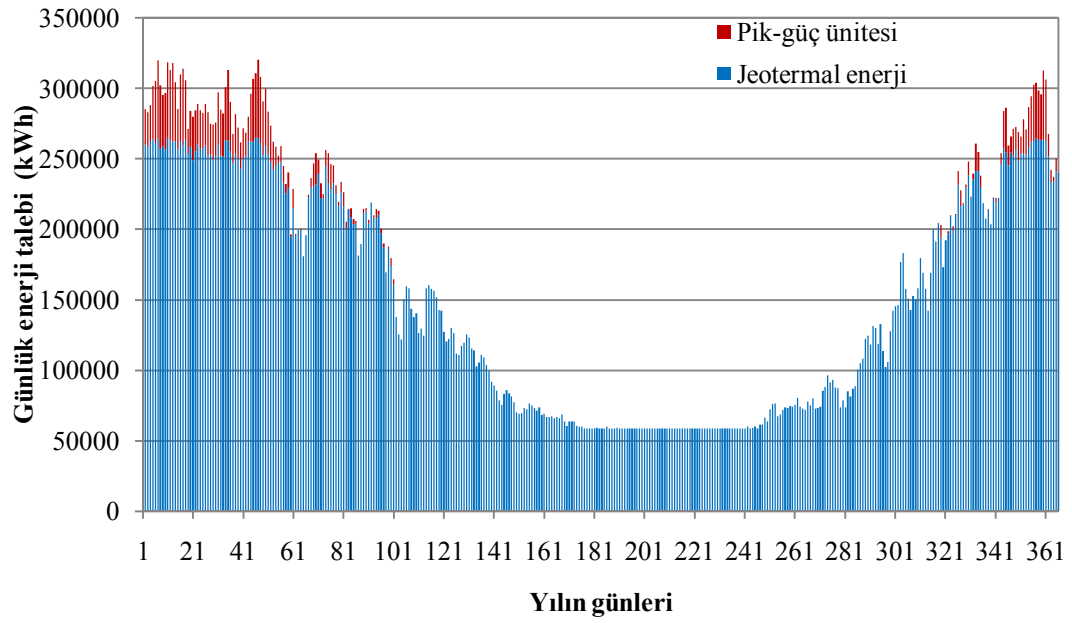
Formülde,  $U$  toplam ısı transfer katsayısı ( $W/m^2K$ ),  $A$  ısı kaybeden yüzey alanları toplamı ( $m^2$ ),  $DS$  derece saat sayısıdır. Isıtma ihtiyacının olduğu kış mevsimi, ısıtma ihtiyacının olmadığı yaz mevsimi ve pik-güç ünitesinin sağlayacağı enerji için (2.32) nolu formül düzenlenerek yeniden yazılırsa,

$$E_{kış} = \left[ \sum (U.A)_{konut} + \sum (U.A)_{otel} \right] DS + [E_{kon.s.su} + E_{tab}] \quad (2.33)$$

$$E_{pik} = \left[ \sum (U.A)_{konut} + \sum (U.A)_{otel} \right] DS_{pik} \quad (2.34)$$

$$E_{yaz} = [E_{kon.s.su} + E_{tab}] \quad (2.35)$$

elde edilir. Tabakhane enerji ihtiyacının hesaplanmasında debi değeri ultrasonik debimetre ile yapılan ölçüm sonuçlarına göre ortalama 20 m<sup>3</sup>/h olarak belirlenmiştir. Şekil 2.25 günlük enerji ihtiyacının jeotermal enerji ile karşılanan ve jeotermal enerjinin yetersiz kaldığı günlerde pik-güç ünitesinin devreye gireceği enerji değerlerini vermektedir.



Şekil 2.25 Günlük ısıtma enerjisi ihtiyacının jeotermal enerji ve pik-güç ünitesi ile karşılanma değerleri.

## 2.12 Pik-Güç Ünitesinin Yıllık Yakıt Sarfıyatı Hesabı

İşletme maliyeti hesapları için yıllık yakıt sarfıyatı hesabında, dış ortalama sıcaklığın mevsim boyunca değişimi göz önüne alınmalıdır. Bina ısı kaybı iç ortam ile dış hava sıcaklık farkına bağlıdır. Bu fark değiştikçe yakıt tüketimi de değişir. Bu nedenle mevsim boyunca sabit bir yakıt sarfıyatı yoktur. Yıllık yakıt tüketimi hassas bir şekilde, dış hava sıcaklıklarını da göz önüne alan aşağıdaki formüle göre hesaplanabilir [83, 88].

$$B_y = \frac{E_{yıl}}{H_u \eta_k} \quad (2.36)$$

Burada;  $B_y$  yıllık yakıt miktarı ( $m^3/yıl$ ),  $E_{yıl}$  yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı (kJ),  $H_u$  yakıtın alt ısı değeri,  $\eta_k$  kazanın ısı verimidir. Pik-güç ünitesinde Gönen Kaplıcaları İşletmesi A.Ş. yakıt olarak doğalgaz kullanımını ön plana almıştır. Bu nedenle pik-güç sisteminde hesaplar doğalgaz yakıtına göre yapılmıştır. Pik-güç ünitesinin yıllık yakıt miktarının hesaplanmasında kullanılan doğalgaz yakıtının alt ısı değeri  $H_u=34.524 \times 10^6$  J/ $m^3$  ve kazan verimi  $\eta_k=0.95$  alınarak,

$$B_y = 298\,748 \text{ m}^3$$

bulunmuştur.



### **2.13 Pik-Güç Ünitesinin Ekonomik Açıdan Değerlendirilmesi**

Mühendislikte ekonominin temel kurallarından biriside düşünülen bir projenin veya yatırımın karlılığını belirlemektir. Bu nedenle yatırım kararı almadan önce, bir projenin gelirlerini ve harcamalarını mukayese etmek gerekir. Çalışmanın bu aşamasında pik-güç ünitesi yatırımının karlılığını belirlemek amacıyla ekonomik analizler yapılmıştır. Analizlerde kullanılan yıllık toplam gelir ve yıllık toplam gider maliyet hesabı aşağıdaki gibi yapılmıştır.

#### **Yıllık Toplam Gelir**

Yıllık toplam gelirin hesaplanmasında; pik-güç ünitesinin devreye girmesi ile eksik enerji ihtiyacının konut ısıtma alanında karşılanacağı kabul edilmiştir. Yapılan hesaplama ile sistemde bulunan 2636 adet konuttan 200 adet konutun ısıtma enerjisi ihtiyacının pik-güç ünitesi ile karşılanması gerektiği belirlenmiştir. Gönen jeotermal işletmesinde 2010 yılında 100 m<sup>2</sup> bir konutun ısıtma bedeli 85 TL/ay'dır ve 12 ay boyunca ücret ödenmektedir. Son 10 yılın yapılan zamları değerlendirilerek, hesaplamalarda abone ücretlerine her yıl ortalama % 3 artırım yapılacağı kabul edilmiştir.

#### **Yıllık Toplam Maliyet**

Pik-güç ünitesinin yıllık toplam maliyeti; yıllık yatırım maliyeti (ilk yatırım maliyeti), yıllık yakıt maliyeti ve yıllık bakım ve işletme maliyeti olarak 3 kategori halinde değerlendirilmiştir. İlk yatırım maliyeti; kazanlar, brülörler, kontrol paneli, aksesuarlar, baca ve diğer donanımları kapsamaktadır. Analizlerde pik-güç ünitesindeki cihazların ömrü 30 yıl olarak alınmıştır. İlk yatırım maliyetlerinin belirlenmesinde firmalardan alınan teklifler değerlendirilmiştir. Yıllık yakıt maliyeti hesabında doğalgazın birim fiyatı ilçedeki doğalgaz firması Çanakkale Doğalgaz Dağıtım A.Ş.'nin Ocak 2010 tarihli endüstriyel fiyat tarifesinden alınmıştır.

Yıllık bakım ve işletme maliyetleri; brülör fan motoru ve ısıtıcı enerji gideri, normal bakım gideri, arıza bakım gideri, baca ve kazan temizlik gideri, işçi ücreti ve diğer giderlerden oluşmaktadır. Bakım ve işletme maliyetleri toplamı alınan firma teklifleri değerlendirilerek yaklaşık 5000 US\$ olarak belirlenmiştir. Pik-güç ünitesinin yıllık toplam gelir / gider tablosu Çizelge 2.29’da verilmiştir.

Çizelge 2.29 Pik-güç ünitesinin gelir / gider tablosu [89-91].

<b>GELİR BİRİMLERİ</b>	
<b>Yıllık Toplam Gelir (US\$/yıl)</b>	<b>140 690</b>
<b>GİDER BİRİMLERİ</b>	
Kazan maliyeti	69 212
Brülör maliyeti	40 085
Diğer donanımlar (kontrol paneli, aksesuarlar, baca vd.)	7225
<b>Yıllık Yatırım Maliyeti, (US\$/yıl)</b>	<b>116 522</b>
Yıllık yakıt ihtiyacı (m <sup>3</sup> /yıl)	298 748
Yakıt birim fiyatı (US\$/m <sup>3</sup> )	0.3363
<b>Yıllık Yakıt maliyeti (US\$/yıl)</b>	<b>100 468</b>
<b>Toplam Bakım ve İşletme Maliyeti (US\$/yıl)</b>	<b>5000</b>
<b>Toplam Yıllık Maliyet (US\$/yıl)</b>	<b>221 990</b>

1US\$=1.45TL (Ocak 2010)

## Yatırımların Kar Planlaması Analizi

### Geri Ödeme Süresi Yöntemi

Yatırımların karlılık analizinde kullanılan sermayenin geri ödeme süresi yaygın kullanılan ve anlaşılması en kolay yöntemlerdendir. Geri ödeme süresi, bir yatırımın sağladığı nakit akımların kaç dönem sonra, o yatırım için kullanılan fon çıkışına eşit olacağını gösteren süredir. Bu metotta nakit akışları kullanılsa da paranın zaman değeri göz önüne alınmaz. Bu metotta geri ödeme süresinden sonraki nakit akışları incelenmez [92]. Bu metoda ait genel formül aşağıdaki gibidir.

$$G. \ddot{O}. S = \frac{\text{İlk yatırım} + \text{İşletme maliyeti}}{\text{Yıllık net kar}} \quad (2.37)$$

Hesaplarda; yıllık net kar olarak yıllık toplam gelir, ilk yatırım olarak yıllık yatırım maliyeti, işletme maliyeti olarak yıllık yakıt maliyeti ile toplam bakım ve işletme maliyetlerinin toplamı alınmıştır.

### Başabaş Noktası Analizi

Yatırımların kar planlama analizlerinden birisi başabaş noktası analizidir. Amaç, projenin başabaş olduğu faaliyet noktasını saptamaktır. Başabaş noktası işletmenin ne kar ne de zarar ettiği bir faaliyet noktasıdır. Bu noktada, toplam satış gelirleri toplam maliyetlere eşittir. Böylece başabaş analizinin, projenin sabit ve değişken maliyetleri ile karları arasındaki ilişkinin belirlenmesi anlamını taşıdığı görülmektedir. Dolayısıyla, toplam giderlerin, toplam gelirlere karşılanabileceği sınırı başabaş noktası analizi belirler [92, 93]. Metoda ait formül aşağıdaki gibidir.

$$B. B. N = \frac{\text{Toplam sabit gider}}{1 - \frac{\text{Toplam değişken gider}}{\text{Toplam gelir}}} \quad (2.38)$$

Hesaplarda, toplam sabit gider olarak yıllık yatırım maliyeti, toplam değişken gider olarak yıllık yakıt maliyeti ile toplam bakım ve işletme maliyetlerinin 30 yıllık toplam değeri, toplam gelir olarak yıllık gelirin 30 yıllık toplam değeri alınmıştır.

### İç Karlılık Oranı Yöntemi

Yatırımın gerçekleştireceği nakit çıkışı ile, yatırımın ekonomik ömrü boyunca sağlayacağı nakit girişini eşit kılan iskonto haddi olarak tanımlanır. Yani projeye ait nakit girişlerinin, projeye ait nakit çıkışlarına eşitleyen verim oranıdır. Bulunan verim oranı ile sermaye maliyeti mukayese edilerek projenin kabul veya reddine karar verilir [93].

İç karlılık oranı deneme yanılma yolu ile belirlenir. Bu oran için önce belirli bir reel iskonto oranı kullanılır. Birbirine yakın değerler verilerek (–) ve (+) değer bulunur. Şayet bulunan sonuç (–) ise bu sefer küçük bir değer verilerek bir (–) ve bir (+) değer bulunması sağlanır [92].

$$İ. K. O = i_1 + [(PV(i_2 - i_1))/(PV + NV)] \quad (2.39)$$

Denklemden;

$i_1$ , Net bugünkü değeri yatırım tutarının üzerine çıkaran en düşük iskonto oranı,

PV, En düşük iskonto oranı ile hesaplanan net bugünkü değer ile yatırım tutarı arasındaki fark,

$i_2$ , Net bugünkü değeri yatırım tutarının altına düşüren en düşük iskonto oranı,

NV, Net bugünkü değerin pozitif ve negatif değerleri ile yatırım tutarı arasındaki farkın toplamını ifade etmektedir.

## 2.14 Bina Yapı Bileşenlerinin Optimum Yalıtım Kalınlığı Hesabı

Çalışmanın bu bölümünde, Gönen jeotermal bölgesel ısıtma sistemi ile ısıtılan binaların yapı bileşenlerinin (dış duvar, tavan ve döşeme) optimum yalıtım kalınlıkları ve optimum yalıtımın kalınlıklarının uygulanmasıyla elde edilebilecek tasarruf miktarları belirlenmiştir. Ayrıca yapılacak tasarruf sayesinde, kömür yakıt kullanan binalardan jeotermal enerjiye geçebilecek konut sayıları ve optimum yalıtım kalınlığı uygulanması durumunda kömür yakıt tüketimindeki azalma miktarları ile CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> emisyonlarındaki azalma miktarlarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Binalarda uygulanacak ısı yalıtımında kullanılacak yalıtım malzemesi kalınlığı, hedeflenen enerji tasarrufu ve oluşacak 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. Bu çalışmada optimum yalıtım kalınlığının belirlenirken ömür maliyet analizi (LCCA) yöntemi kullanılmıştır.

Türkiye, TS 825'e göre dört derece gün bölgesine ayrılmıştır. Balıkesir ili Gönen ilçesi ikinci derece gün bölgesinde bulunmakta ve ısıtma derece gün sayısı 1914'tür (18 °C denge noktası sıcaklığında) [94]. Yapılan hesaplar ve analizlerde kullanılan jeotermal enerji ile kömür (İthal Sibirya kömürü) ve doğalgaz yakıtlarının fiyat, alt ısı değeri ve ısıtma sistemlerinin verim değerleri Çizelge 2.30'da verilmiştir. Ayrıca kömür yakıtının kimyasal formülü emisyon değerlerinin hesabında kullanılmak üzere çizelgede belirtilmiştir.

Yalıtım malzemesi olarak ülkemizde ve özellikle Gönen ilçesinde yaygın kullanılan yalıtım malzemeleri; dış duvarlarda (mantolama yönteminde) XPS ve EPS ( $\rho \geq 20 \text{ kg/m}^3$ ) ve sandviç yönteminde EPS ( $\rho = 10 \text{ kg/m}^3$ ), tavanda camyünü ve taş yünü, döşemede EPS ( $\rho = 16 \text{ kg/m}^3$ ) kullanılmıştır. Çizelge 2.31 bu yalıtım malzemelerinin özelliklerini vermektedir.

Çizelge 2.30 Yakıtların fiyat, alt ısıl değer ve ısıtma sistemlerinin verimi[90,95,96].

	Fiyat	Alt Isıl Değer	Verim (%)
Jeotermal Enerji	0.4482 US\$/kg	36.000x10 <sup>6</sup> J/kg	98
Doğalgaz	0.3540 US\$/m <sup>3</sup>	34.542x10 <sup>6</sup> J/m <sup>3</sup>	93
Kömür (C <sub>5.85</sub> H <sub>5.26</sub> O <sub>1.13</sub> S <sub>0.008</sub> N <sub>0.077</sub> )	0.2767 US\$/kg	25.122x10 <sup>6</sup> J/kg	65

1 US\$=1.47 TL (Ekim 2009)

Çizelge 2.31 Yalıtım malzemelerinin özellikleri.

Yalıtım Malzemesi	Yoğunluğu ( $\rho$ ) (kg/m <sup>3</sup> )	Isı İletkenliği ( $\lambda$ ) (W/mK)	Fiyatı (US\$)
XPS (Ekstrüde Polistren)	$\geq 30$	0.028	144
EPS (Ekspande Polistren)	$\geq 20$	0.034	85
	16	0.039	55
	10	0.040	40
Camyünü Şilte	11	0.043	37
Taşyünü	150-170	0.040	132

2009 yılında Gönen’de jeotermal aboneleri 100 m<sup>2</sup> büyüklüğünde bir konut için 70 TL/ay ücret ödemektedir. Bu durumda yıllık jeotermal ücreti 840 TL/yıl’dır. Yıllık yakıt miktarı aşağıdaki genel formüle göre hesaplanarak jeotermal enerji için birim fiyat belirlenmiştir [95].

$$F = \frac{24(DG)C_D\dot{Q}}{\eta_s(T_i - T_d)H_u} \quad (2.40)$$

Formülde,  $DG$  derece gün değerini (°C-gün),  $C_D$  ( $C_D=0.8$ ) 18 °C temel sıcaklığında derece gün korelasyon faktörü,  $\dot{Q}$  toplam ısı kaybı (kW),  $\eta_s$  sistem verimi,  $T_i$  ve  $T_d$  sırasıyla iç ve dış sıcaklık değerleri (°C) ve  $H_u$  yakıtın alt ısıl değeri (kWh/kg)’dir. Hesaplama 100 m<sup>2</sup> konut için toplam ısı kaybı 8.83 kW ve  $T_i = 20$  °C,  $T_d = -6$  °C olarak alınmıştır (Bölüm 2.7 ve 2.8’den hesaplandı).

## Yapı Bileşenlerinin Isı Yüğü Hesabının Yapılması

Optimum yalıtım kalınlıkları hesapları dış duvar, tavan ve döşeme yapı elemanları için yapılmıştır. Isı yüğü hesabı yapı bileşenleri için aşağıdaki gibi verilmiştir.

Yapı bileşeninin birim yüzeyinden oluşan ısı kaybı,

$$\dot{q} = U\Delta T \quad (2.41)$$

şeklindedir.  $U$  yapı bileşeninin toplam ısı transfer katsayısı ve  $\Delta T$  ise gün boyunca değişen dış ortam sıcaklığı ile sabit iç ortam sıcaklığının farkıdır.

Yapı bileşeninin derece-gün sayılarına bağlı olarak birim yüzeyden gerçekleşen yıllık ısı kaybı,

$$\dot{q}_A = 86400kDGU \quad (2.42)$$

şeklinde yaklaşık hesaplanabilir. Burada,  $k$  yüzey çarpım katsayısıdır ve TS 825'te verilmektedir. Bu değer dış hava temaslı dış duvar ve teraslarda 1, tavan ve döşemede ise sırasıyla 0.8 ve 0.5 olarak alınmaktadır.  $k$  değerinin değişmesi hesaplarda kullanılan dış hava sıcaklıklarının değişmesinden kaynaklanmaktadır [66].

Yapı bileşeninin birim yüzeyinden oluşan ısı kaybı sebebiyle, ısıtma için gerekli yıllık enerji miktarı ( $E_A$ ), yıllık ısı kaybının yakma sisteminin verimine ( $\eta_s$ ) bölünmesi ile yaklaşık olarak elde edilir.

$$E_A = \frac{86400kDGU}{\eta_s} \quad (2.43)$$

Yapı bileşeninin ısı transfer katsayısı, yapı bileşenini oluşturan farklı kalınlıktaki katmanların dirençleri ve fiziksel özellikleri dikkate alınarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$U = \frac{1}{R_i + R_{yb} + R_{izo} + R_d} \quad (2.44)$$

Burada,  $R_i$  ve  $R_d$  sırasıyla iç ve dış yüzeyin ısı direnci olup,  $R_{yb}$  yalıtımsız yapı bileşeni tabakalarının toplam ısı direnci ve  $R_{izo}$  yalıtım tabakasının ısı direncidir.

$$R_{izo} = \frac{x}{\lambda} \quad (2.45)$$

Denklemden  $x$  ve  $\lambda$  sırasıyla yalıtım malzemesinin kalınlığı ve ısı iletim katsayısı değeridir. Eğer  $R_{yb}$  yalıtımsız yapı bileşeninin toplam ısı geçirgenlik direnci ise (2.44) numaralı eşitlik yeniden aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$U = \frac{1}{R_{ybt} + R_{izo}} \quad (2.46)$$

Bu durumda yıllık ısı yükü ve yıllık yakıt tüketimi aşağıda verildiği gibidir.

$$E_A = \frac{86400kDG}{\left(R_{ybt} + \frac{x}{\lambda}\right)\eta_s} \quad (2.47)$$

$$m_{yA} = \frac{86400kDG}{\left(R_{ybt} + \frac{x}{\lambda}\right)H_u\eta_s} \quad (2.48)$$

$H_u$  yakıtın alt ısı değeridir. Yakıt tipine bağlı olarak J/kg veya J/m<sup>3</sup> biriminde olabilir.



## Optimum Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi

Toplam ısıtma maliyeti,  $N$  yıl ömür için şimdiki değer faktörü  $PWF$  ile birlikte değerlendirilir. Şimdiki değer faktörü enflasyon oranı ( $g$ ) ve faiz oranına ( $i$ ) bağlıdır. Enflasyon ve faiz oranlarına göre  $PWF$  aşağıdaki gibi yazılabilir.

Eğer  $i > g$  ise,

$$r = \frac{i - g}{1 + g}$$

Eğer  $i < g$  ise,

$$r = \frac{g - i}{1 + i} \quad \text{ve,}$$

$$PWF = \frac{(1 + r)^N - 1}{r(1 + r)^N} \quad (2.49)$$

Denklemden  $N$  ömür, hesaplarda 10 yıl olarak alınmıştır. Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası [97] ve Türkiye İstatistik Kurumu [98] kayıtlarına göre yıllık faiz oranı ( $i$ ) ve enflasyon oranı ( $g$ ) 2009 yılı Ekim ayı itibariyle sırasıyla, % 9.25 ve % 5.08 olarak alınmıştır.

Eğer  $i = g$  ise,

$$PWF = \frac{N}{1 + i} \quad (2.50)$$

Birim alan için yıllık ısıtma maliyeti,

$$C_A = \frac{86400kDGC_y}{\left(R_{ybt} + \frac{x}{\lambda}\right) H_u \eta_s} \quad (2.51)$$

Burada  $C_y$ , yakıt maliyetidir, yakıt tipine bağlı olarak US\$/kg veya US\$/m<sup>3</sup> biriminde olabilir.

Yalıtım maliyeti aşağıda verildiği gibi hesaplanır.

$$C_{izo} = C_I x \quad (2.52)$$

Burada  $C_I$  , yalıtım malzemesinin maliyeti (US\$/m<sup>3</sup>) ve  $x$  de yalıtım malzemesinin kalınlığı (m)'dir.

Yalıtımlı binanın toplam ısıtma maliyeti, sistemle ilgili tüm harcamalardan oluşan ömür maliyet analizi (LCCA) dikkate alınarak aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$C_t = +C_A PWF + C_I x \quad \text{veya} \quad (2.53)$$

$$C_t = \frac{86400kDGC_y PWF}{\left(R_{ybt} + \frac{x}{\lambda}\right) H_u \eta_s} + C_I x \quad (2.54)$$

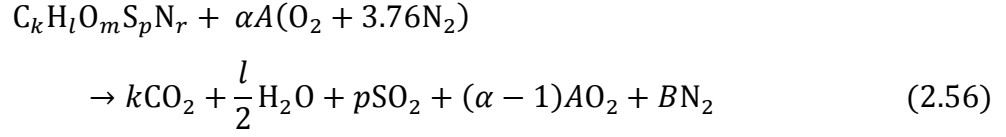
Optimum yalıtım kalınlığı (2.54) nolu denklemin minimize edilmesiyle elde edilir.

$$x_{opt} = 293.94 \left( \frac{kDGC_y PWF \lambda}{H_u C_I \eta_s} \right)^{1/2} - \lambda R_{ybt} \quad (2.55)$$

Tasarruf miktarı yapı bileşeninin yalıtımsız/eksik yalıtımlı ısıtma maliyeti ile yalıtımlı ısıtma maliyeti arasındaki fark olarak ve yatırımın geri dönüş süresi yalıtımsız ısıtma maliyetinin tasarruf miktarına oranı olarak hesaplanabilir.

## 2.15 Yakıtların Yıllık Yanma Ürünlerinin Hesaplanması

Yakıtlar için yanma olayının genel kimyasal formülü aşağıdaki gibidir.



$A$  ve  $B$  oksijenin denge formülünden hesaplanabilir.

$$A = k + \frac{l}{4} + p - \frac{m}{2} \quad (2.56.1)$$

$$B = 3.76\alpha \left( k + \frac{l}{4} + p - \frac{m}{2} \right) + \frac{r}{2} \quad (2.56.2)$$

Denklem (2.56)'da CO ve NO<sub>x</sub> emisyonları ihmal edilmiştir. 1 kg yakıtın yanması sonucu elde edilen emisyon oranları aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$M_{CO_2} = \frac{kCO_2}{M} \equiv \text{kgCO}_2/\text{kgyakıt} \quad (2.57)$$

$$M_{SO_2} = \frac{pSO_2}{M} \equiv \text{kgCO}_2/\text{kgyakıt} \quad (2.58)$$

Yukarıdaki denklemin sağ tarafına  $DG$  kapsamında yakılan toplam yakıt miktarı ( $m_{yA}$ )'nın yazılmasıyla, CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub>'nin toplam emisyon miktarları hesaplanabilir.

$$M_{CO_2} = \frac{44k}{M} m_{yA} \quad (2.59)$$

$$M_{CO_2} = \frac{3801600kDGk}{M\eta_s H_u} \left( \frac{\lambda}{\lambda R_{ybt} + x} \right) \text{ kg/yıl} \quad (2.60)$$

$$M_{SO_2} = \frac{32p}{M} m_{yA} \quad (2.61)$$

$$M_{SO_2} = \frac{2764800kDGp}{M\eta_s H_u} \left( \frac{\lambda}{\lambda R_{ybt} + x} \right) \text{ kg/yıl} \quad (2.62)$$

$M$ , yakıtın mol ağırlığıdır ve aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$M = 12k + l + 16m + 32p + 14r \quad \text{kg/kmol} \quad (2.63)$$

### **3. BULGULAR**

#### **3.1 Enerji ve Ekserji Analizi Bulguları**

Gönen jeotermal bölgesel ısıtma sisteminde, yapılan ölçümlerden elde edilen veriler analizlerde kullanılmış ve belirlenen her bir durum için enerji ve ekserji verimleri ile enerji ve ekserji kayıpları hesaplanmıştır. Jeotermal akışkan ve sistemde dolaşan temiz sıcak su için sistemden elde edilen sıcaklık, basınç ve debi verileri kullanılarak sistemin enerji-ekserji oranları ve enerji-ekserji değerleri termodinamik çizelgeler yardımıyla elde edilmiştir.

Çizelge 3.1 her bir durum için sisteme giren enerji, kullanılan enerji, kayıplar ve enerji verimi değerlerini, Çizelge 3.2 her bir durum için sisteme giren ekserji, kullanılan ekserji, kayıplar ve ekserji verimi değerlerini vermektedir. Sistemde kullanılan enerji ve kullanılan ekserji ısıtma ve sıcak su tüketiminin toplamı şeklindedir. Enerji kayıpları reenjeksiyon, kanalizasyon ve boru hatlarındaki kayıplar olarak 3 farklı şekilde, ekserji kayıpları ise reenjeksiyon, kanalizasyon, boru hatları, pompa ve eşanjörlerdeki kayıplar olmak üzere 5 farklı şekilde ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 3.1,2 incelendiğinde Durum 1'den Durum VII'ye doğru giren enerji ve ekserji miktarlarının giderek azaldığı görülmektedir. Durum numaraları kış aylarından yaz aylarına doğru ilerlediğinden dış hava sıcaklığının artmasıyla birlikte sistemde devreye giren kuyu sayısında azalma meydana gelmektedir. Buna bağlı olarak sisteme giren enerji ve ekserji miktarları da azalmaktadır. Bununla birlikte dış hava sıcaklığının artmasıyla enerji ve ekserji verimlerinin de giderek arttığı görülmektedir.

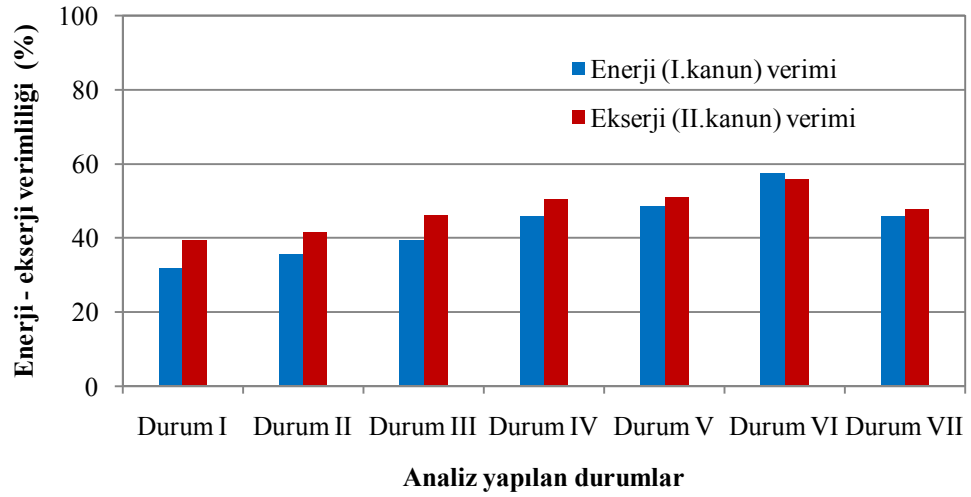
Çizelge 3.1 Belirlenen 7 farklı durumun enerji analizi sonuçları.

Durum No	Giren (kW)	Kullanılan (kW)		Kayıplar (kW)			Verim (%)
		Isıtma-Sıcak su	Termal su	Reen.	Kanal.	Boru	
I	42 389	13 204	249	22 897	4059	1980	31.72
II	39 928	13 234	999	20 286	3619	1790	35.64
III	32 912	12 219	787	14 714	3241	1951	39.51
IV	27 267	11 554	931	10 641	2887	1254	45.78
V	21 888	9693	937	6940	2824	1494	48.56
VI	14 735	7158	1290	2728	2405	1154	57.32
VII	7960	2352	930	0	3072	906	45.63

Çizelge 3.2 Belirlenen 7 farklı durumun ekserji analizi sonuçları.

Durum No	Giren (kW)	Kullanılan (kW)		Kayıplar (kW)					Verim (%)
		Isıtma-Sıcaksu	Termal su	Reen.	Kanal.	Boru	Pompa	Eşanjör	
I	4438	1702	46	1606	241	68	380	395	39.34
II	3910	1499	120	1246	188	55	375	427	41.42
III	3124	1349	87	811	152	39	320	366	45.95
IV	2458	1147	93	504	118	48	284	264	50.45
V	1987	923	87	308	107	2	262	298	50.82
VI	1312	618	114	114	80	21	132	233	55.76
VII	553	194	71	0	88	4	144	52	47.75

Şekil 3.1 her bir durumun enerji (I. kanun) ve ekserji (II. kanun) verimlerini grafik olarak göstermektedir. Otel eşanjörlerinde ılık termal suyun soğutulmasının yapıldığı VII. durumda hem enerji hem de ekserji verimi düşmektedir. Bunun yanında VI. duruma kadar ekserji veriminin enerji veriminden daha yüksek olduğu görülmekte, 1. Etaptaki E5 eşanjörünün devre dışı bırakıldığı VI. durumda ise enerji verimi, ekserji veriminden daha yüksek değere çıkmaktadır.



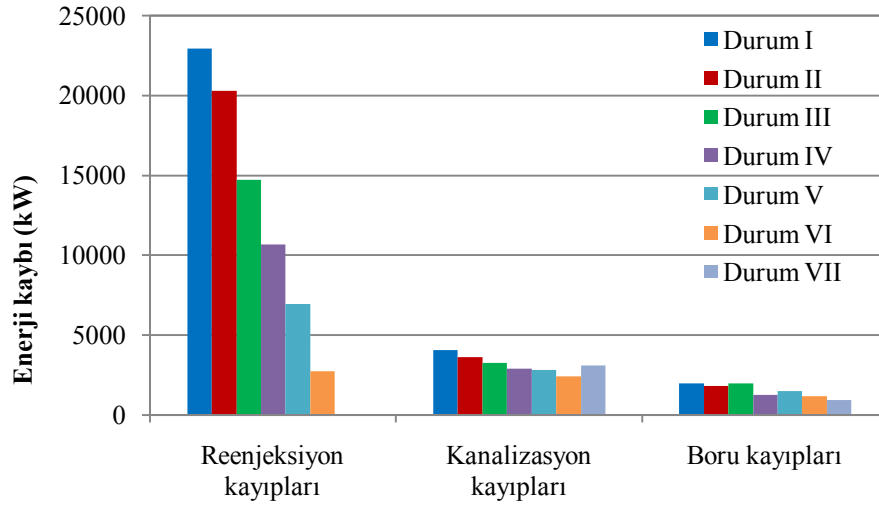
Şekil 3.1 Belirlenen 7 farklı durumun enerji ve ekserji verimleri.

Çizelge 3.3 sistemin yıllık ortalama enerji ve ekserji verimlerini vermektedir. Her bir döneme ait durumların ortalaması alınarak dönemlik ortalama, her bir dönemin yıldaki gün sayısının yüzdesine göre ise yıllık ortalama değerler elde edilmiştir.

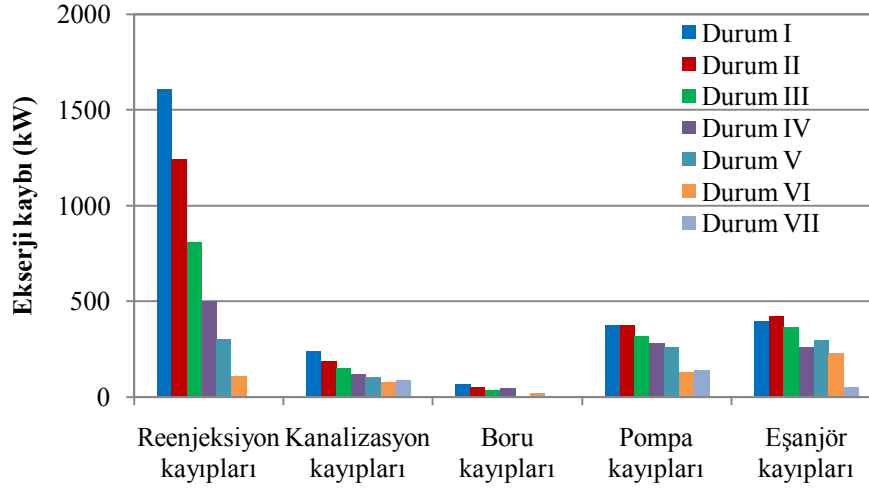
Çizelge 3.3 Dönemlik ve yıllık ortalama enerji ve ekserji verimleri.

	Kış	Bahar	Yaz	Yıllık Ortalama
Gün sayısı	121	121	123	365
Ort. enerji verimi (%)	35.62	50.55	45.63	43.93
Ort. ekserji verimi (%)	42.23	52.34	47.75	47.44

Her bir durumda oluşan enerji kayıplarını Şekil 3.2, ekserji kayıplarını ise Şekil 3.3 grafik olarak göstermektedir. Reenjeksiyon kayıpları özellikle düşük dış hava sıcaklıklarında kayıpların önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Sıcaklık yükseldikçe kayıplar genel olarak düşük değerler almaktadır. Reenjeksiyon kayıplarını azaltmak için yeraltına basılan termal suyun enerjisi azaltılmalıdır.



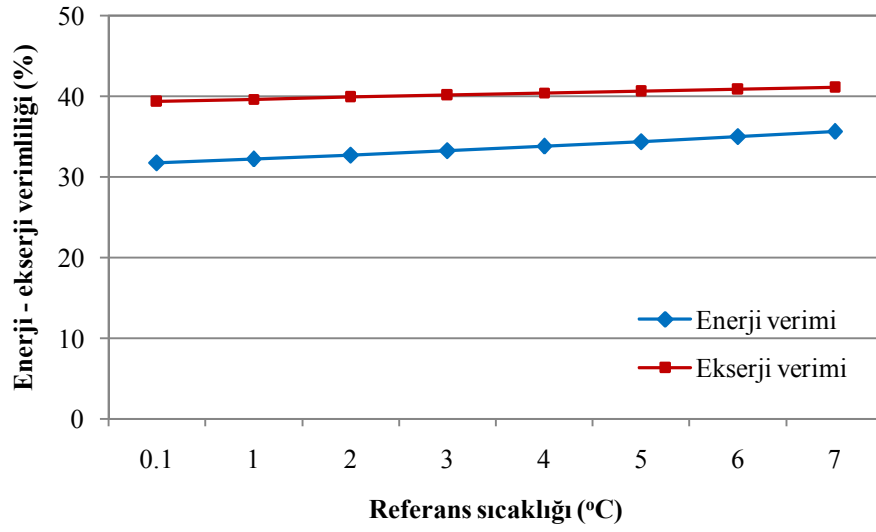
Şekil 3.2 Belirlenen 7 farklı durumda ortaya çıkan enerji kayıpları.



Şekil 3.3 Belirlenen 7 farklı durumda ortaya çıkan ekserji kayıpları.

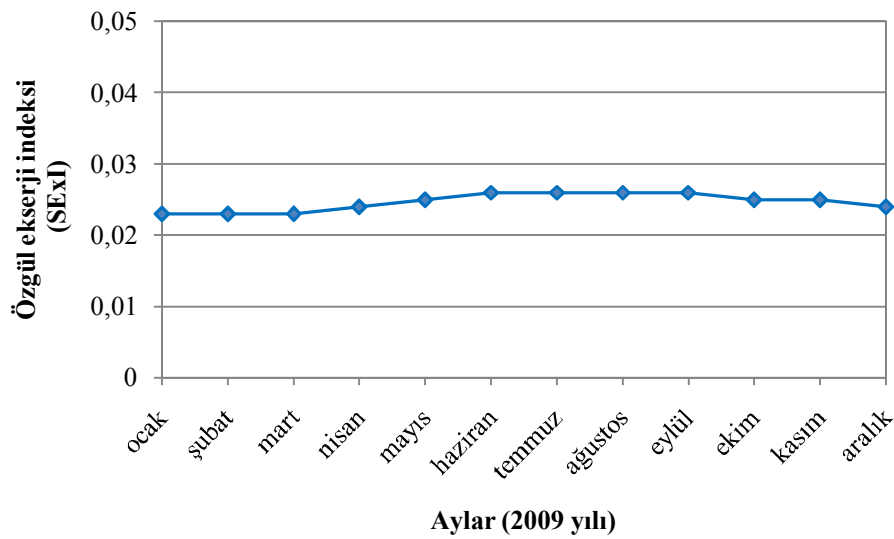
Şekil 3.4 Durum I'in enerji ve ekserji verimliliğinin referans sıcaklığı ile değişimini vermektedir. Referans sıcaklığının artmasıyla birlikte enerji ve ekserji verimlerinin giderek arttığı görülmektedir.





Şekil 3.4 Durum I'in enerji ve ekserji veriminin referans sıcaklığı ile değişimi.

Yapılan ölçümler neticesinde elde edilen verilerin (2.16) nolu denklemde kullanılmasıyla Gönen jeotermal kaynaklarının özgül ekserji indeksi 2009 yılının tüm ayları için hesaplanmış ve Şekil 3.5'te verilmiştir. Yaz aylarında sisteme reenjeksiyon yapılmamaktadır. Bu nedenle kuyu sıcaklıklarında artış meydana gelmekte ve özgül ekserji indeksi de artmaktadır. Ancak tüm aylardaki değerler, Gönen jeotermal kaynaklarının düşük kaliteli jeotermal kaynak kategorisine girdiğini göstermektedir.



Şekil 3.5 Özgül ekserji indeksinin aylara göre değişimi

### 3.2 Pik-Güç Ünitesinin Ekonomik Analizine İlişkin Bulgular

Yapılması önerilen yatırımın başabaş analizi, geri ödeme süresi ve iç karlılık oranı analizlerine ilişkin elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir.

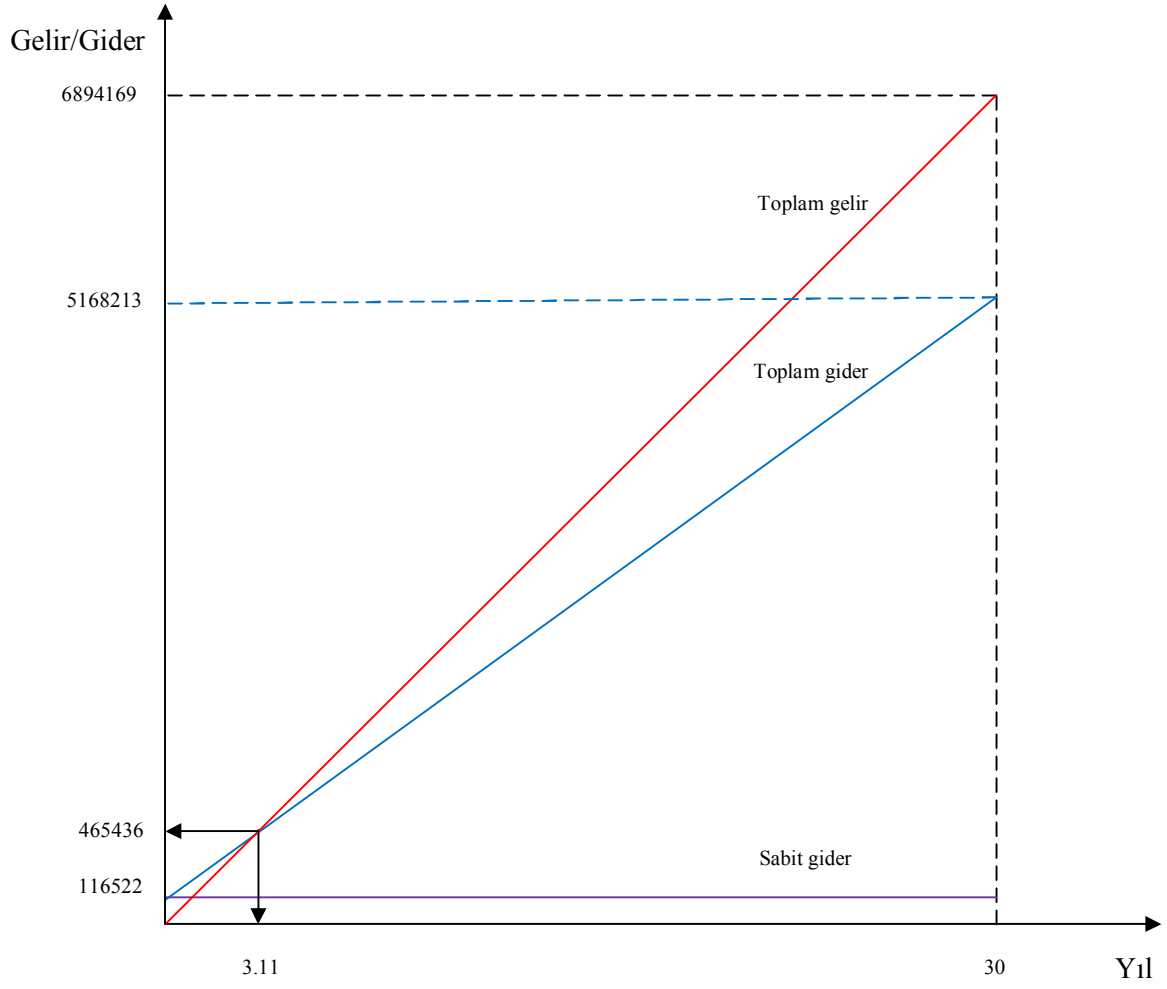
#### Geri Ödeme Süresine İlişkin Bulgular

$$G.Ö.S = \frac{\text{İlk yatırım} + \text{İşletme maliyeti}}{\text{Yıllık net kar}} = 3.11 \quad (2.31)$$

Yatırımın geri ödeme süresi, hesaplamadan da görüldüğü üzere 3.11 yıldır. Bu noktadan hareketle, yatırım için yapılan harcamanın yaklaşık üç yılda kendini finanse edebileceği ifade edilebilir. 3.11 yıllık geri ödeme süresinin, bu alanda yapılacak böyle bir yatırım için oldukça kısa sayılabilecek bir süre olduğunu söylemek mümkündür.

#### Başabaş Analizine İlişkin Bulgular

Yatırımın başabaş noktası formül kullanılarak hesaplanmış ve anlaşılır olabilmesi amacıyla grafikte gösterilmiştir. Şekil 3.6'da başabaş analizi sonuçları görülmektedir. Buna göre önerilen yatırımda başabaş noktasına ulaşabilmek için elde edilmesi gereken gelir miktarı 465 436 US\$'dır. Elde edilmesi gereken bu gelir, toplam elde edilebilecek gelirin sadece % 6.8 lik bir kısmına eşittir. Dolayısıyla bu yatırım için yapılan harcamanın 3 yıl gibi bir sürede geri döneceği ve % 93'lük bir kar sağlayacağı söylenebilir. Bu anlamda önerilen bu yatırımın oldukça karlı bir yatırım olabileceği görülmektedir.



Şekil 3.6 Başabaş analizinin grafiği.

## **İç Karlılık Analizine İlişkin Bulgular**

Yatırımın iç karlılık oranı belli oranlar kullanılarak hesaplanmaya çalışılmış ve bunun sonucunda iç karlılık oranının % 33 ve % 34 arasında bulunduğu belirlenmiştir. Bundan sonraki aşamada, iç karlılık oranı formülü yardımıyla iç karlılık oranı net % 33.40 olarak belirlenmiştir. Çizelge 3.4'te iç karlılık oranı hesaplama tablosu verilmektedir.

2010 Ocak ayı itibariyle yıllık borçlanma faizinin % 9 olduğu düşünüldüğünde yatırımın iç karlılık oranının borçlanma faizinin yaklaşık 3 katına eşit olduğu anlaşılmaktadır. Bu anlamda yatırımın tamamı borçla finanse edilse bile yatırımın borçlanma faizlerini rahatlıkla karşılayabildiği ve önemli oranda kar getirdiği görülmektedir.

Çizelge 3.4 İç karlılık oranının hesaplama tablosu.

Yıllar	Abone Ücreti (TL)	Abone Ücreti (US\$)	İskonto Oranı % 33	İskonto Oranı % 34	Yıllık Gelir (İskonto Oranı % 33)	Yıllık Kar (İskonto Oranı % 33)	Yıllık Kar (İskonto Oranı % 34)
2011	87.55	60.38	0.751	0.746	108 827.67	27 245.01	27 063.62
2012	90.18	62.19	0.565	0.556	84 330.58	21 112.16	20 775.86
2013	92.88	64.06	0.425	0.415	65 337.54	16 357.25	15 972.38
2014	95.67	65.98	0.319	0.310	50 512.84	12 645.89	12 289.11
2015	98.54	67.96	0.240	0.231	39 143.49	9 799.57	9 432.09
2016	101.49	70.00	0.180	0.172	30 238.35	7 570.17	7 233.72
2017	104.54	72.10	0.135	0.128	23 359.12	5 847.96	5 544.73
2018	107.68	74.26	0.102	0.096	18 178.59	4 551.01	4 283.30
2019	110.91	76.49	0.076	0.071	13 951.17	3 492.68	3 262.90
2020	114.23	78.78	0.057	0.053	10 777.28	2 698.09	2 508.75
2021	117.66	81.14	0.043	0.040	8 374.14	2 096.47	1 950.20
2022	121.19	83.58	0.032	0.029	6 418.87	1 606.97	1 456.31
2023	124.83	86.09	0.024	0.022	4 958.58	1 241.38	1 137.93
2024	128.57	88.67	0.018	0.002	3 830.50	958.97	85.24
2025	132.43	91.33	0.013	0.001	2 849.47	713.36	65.85
2026	136.40	94.07	0.010	0.009	2 257.66	565.20	508.68
2027	140.49	96.89	0.007	0.006	1 627.77	407.51	349.30
2028	144.71	99.80	0.005	0.005	1 197.57	299.81	299.81
2029	149.05	102.79	0.005	0.003	1 233.50	308.81	185.28
2030	153.52	105.88	0.003	0.002	762.30	190.84	127.23
2031	158.13	109.05	0.002	0.002	523.45	131.05	131.05
2032	162.87	112.32	0.001	0.001	269.58	67.49	67.49
2033	167.75	115.69	0.001	0.001	277.66	69.51	69.51
2034	172.79	119.16	0.001	0.000	285.99	71.60	0.00
2035	177.97	122.74	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00
2036	183.31	126.42	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00
2037	188.81	130.21	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00
2038	194.47	134.12	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00
2039	200.31	138.14	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00
2040	206.32	142.29	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00
<b>Top.</b>	<b>4165</b>	<b>2872</b>	-	-	<b>479 523</b>	<b>120 048</b>	<b>114 800</b>

Not: Peşin değer tablosu verileri [99] no'lu kaynaktan alınmıştır.

1 US\$=1.45 TL (Ocak 2010)

### 3.3 Bina Yapı Bileşenlerinin Optimum Yalıtım Kalınlıkları

Gönen ilçesinde kullanılan enerji türüne ve yalıtım malzemesi tiplerine göre farklı yapı bileşenlerinin hesaplanan optimum yalıtım kalınlık değerleri Çizelge 3.5'te verilmiştir.

#### 3.3.1 Optimum Yalıtım Kalınlığının Yıllık Tasarruf Miktarına Etkisi

Her bir yapı bileşeninin (dış duvar, tavan ve döşeme) farklı konstrüksiyonları için birim alandan elde edilen yıllık tasarrufun yalıtım kalınlığına göre değişimi Şekil 3.7'de verilmiştir. Grafikler Dış duvar 1, 2 ve 3'te EPS ( $\rho \geq 20 \text{ kg/m}^3$ ), Dış duvar 4'te EPS ( $\rho \geq 10 \text{ kg/m}^3$ ), Tavan 1, 3'te camyünü, Tavan 2'de taşıyünü ve Döşeme 1, 2, 3 ve 4'te EPS ( $\rho \geq 16 \text{ kg/m}^3$ ) yalıtım malzemesi ve yakıt olarak jeotermal enerji kullanılması durumuna göre elde edilmiştir.

Dış duvarların optimum kalınlıkta yalıtım malzemesi ile yalıtılmasıyla birim alandan en fazla yıllık tasarruf yalıtımsız Dış duvar 1'de elde edilmektedir. Halen 0.04 m yalıtımlı olan Dış duvar 2 ve 0.02 m yalıtımlı olan Dış duvar 4'te ilave yalıtımla optimum kalınlıklar elde edilmektedir. Görüldüğü gibi en az tasarruf Dış duvar 2'de elde edilmektedir.

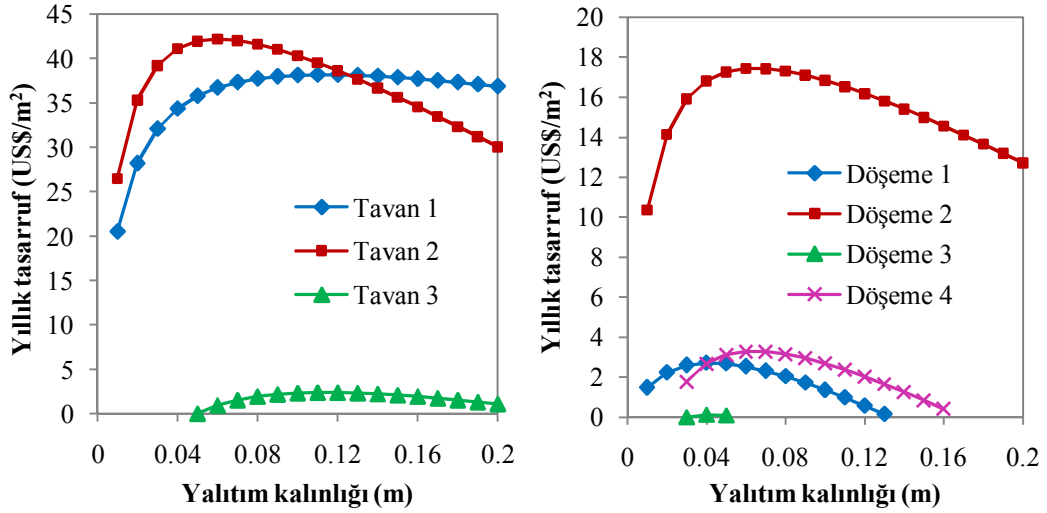
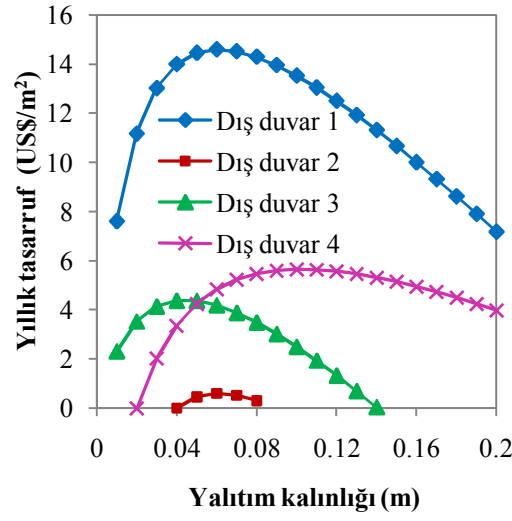
Tavan konstrüksiyonlarında, yalıtımsız ve üzeri açık tavan tipi Tavan 2'de optimum yalıtım kalınlığı uygulandığında en fazla yıllık tasarruf sağlanmakta ve Tavan 3'te mevcut olan 0.05 m'den sonraki tasarruf miktarları görülmektedir.

Döşemede ise optimum yalıtım kalınlığının uygulanmasıyla en fazla yıllık tasarruf, yalıtımsız ve ısıtılmayan bodrum üstü döşeme konstrüksiyonuna sahip Döşeme 2'de elde edilmektedir. Döşeme 3 ve 4'te mevcut olan 0.03 m yalıtım kalınlığından sonraki yıllık tasarruf miktarları görülmektedir.

Yapı elamanları genel olarak değerlendirildiğinde, yalıtımlı elamanlarda tasarruf miktarları en az, yalıtımsız elamanlarda ise maksimum çıkmaktadır.

Çizelge 3.5 Kullanılan enerji türü ve yalıtım malzemesi tipine göre yapı bileşenlerinin (dış duvar, tavan, döşeme) optimum yalıtım kalınlıkları (m).

	Jeotermal Enerji		Doğalgaz		Kömür	
	XPS	EPS	XPS	EPS	XPS	EPS
Dış Duvar						
Dış duvar 1	0.039	0.060	0.035	0.055	0.048	0.073
Dış duvar 2	0.039	0.060	0.035	0.055	0.048	0.073
Dış duvar 3	0.026	0.044	0.022	0.038	0.035	0.057
Dış duvar 4	-	0.102	-	0.093	-	0.122
Tavan	Camyünü	Taşıyünü	Camyünü	Taşıyünü	Camyünü	Taşıyünü
Tavan 1	0.113	-	0.104	-	0.133	-
Tavan 2	-	0.060	-	0.055	-	0.071
Tavan 3	0.113	-	0.104	-	0.133	-
Döşeme	-	EPS	-	EPS	-	EPS
Döşeme 1	-	0.042	-	0.036	-	0.054
Döşeme 2	-	0.064	-	0.059	-	0.076
Döşeme 3	-	0.042	-	0.036	-	0.054
Döşeme 4	-	0.064	-	0.059	-	0.076



Şekil 3.7 Dış duvar, tavan ve döşeme yapı bileşenleri için yıllık tasarrufun yalıtım kalınlığına göre değişimi.

Çizelge 3.6 her bir yapı bileşeninin yalıtım türüne ve kullanılan enerji cinsine göre optimum yalıtım kalınlıklarında, binaların toplam ısı kaybeden alanlarından yararlanarak hesaplanan yıllık parasal tasarruf miktarlarını vermektedir. Toplam tasarruf miktarları birim alandan elde edilen tasarruf miktarlarının her bir yapı bileşenine ait yüzey alanları ile çarpılmasıyla elde edilmiştir.



Çizelge 3.6 Yapı bileşenlerinin yalıtım malzemesi ve türüne göre optimum yalıtım kalınlıklarında toplam alandan elde edilen yıllık tasarruf miktarları (US\$).

	Jeotermal Enerji		Doğalgaz		Kömür	
	XPS	EPS	XPS	EPS	XPS	EPS
Dış Duvar						
Dış duvar 1	1 686 641	1 926 454	1 367 982	1 584 747	2 528 247	2 820 069
Dış duvar 2	5135	10 819	1822	5759	18 782	28 049
Dış duvar 3	78 124	109 615	56 281	83 412	140 548	181 879
Dış duvar 4	-	20 174	-	16 026	-	31 284
Tavan	Camyünü	Taşyünü	Camyünü	Taşyünü	Camyünü	Taşyünü
Tavan 1	1 455 785	-	1 242 398	-	1 999 445	-
Tavan 2	-	314 866	-	265 563	-	441 545
Tavan 3	89 003	-	66 411	-	152 121	-
Döşeme	-	EPS	-	EPS	-	EPS
Döşeme 1	-	124 491	-	94 915	-	205 951
Döşeme 2	-	520 248	-	437 821	-	732 368
Döşeme 3	-	203	-	63	-	809
Döşeme 4	-	8856	-	6334	-	16 094

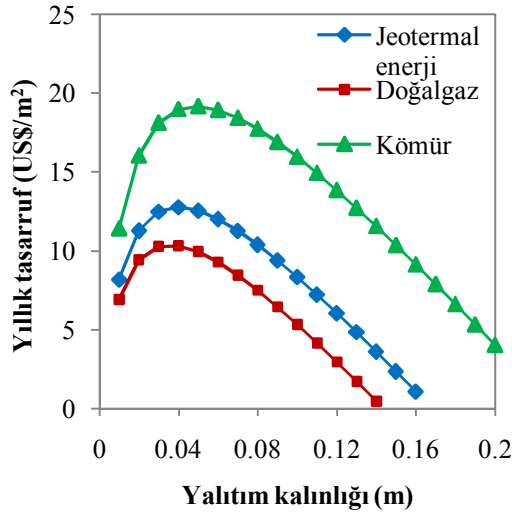
Çizelge 3.6 incelendiğinde, maksimum parasal tasarrufun toplam binaların % 74'ünde mevcut olan ve burada Dış duvar 1 olarak tanımlanan yalıtımsız dış duvarlarda olduğu görülmektedir. Tavanlarda ise toplam binaların % 46'sında var olan yalıtımsız ve üzeri çatı ile örtülü tavan tiplerinde (Tavan 1) maksimum tasarruf olduğu görülmektedir. Döşemelerde ise en fazla toplam yıllık tasarruf miktarı yalıtımsız ve sistemdeki binaların % 36'sında var olan, ısıtılmayan bodrum üstü döşeme tipinde (Döşeme 2) elde edilmektedir.

Şekil 3.8 Dış duvar 1'de yalıtım malzemesi olarak XPS kullanılması durumunda farklı enerji kullanımları (jeotermal enerji, doğalgaz ve kömür) için yıllık parasal tasarrufun yalıtım kalınlıklarına göre değişimini vermektedir. En fazla tasarruf miktarı kömür, en az tasarruf miktarı ise doğalgaz kullanıldığında elde edilmektedir. Jeotermal enerji doğalgaz yakıt kullanım değerlerine yakın değerler sergilemektedir.

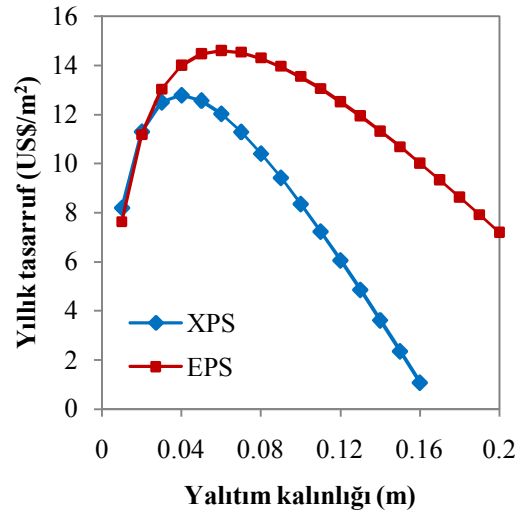
Isıtma amaçlı jeotermal enerji kullanılması durumunda ve Dış duvar 1'de, yalıtım malzemesi olarak XPS veya EPS kullanılırsa, yıllık parasal tasarrufun yalıtım kalınlığı ile değişimi Şekil 3.9'da verilmektedir. EPS yalıtım malzemesi kullanıldığında elde edilen tasarruf miktarının daha fazla olduğu görülmektedir.

Şekil 3.10 ise Dış duvar 1'de XPS yalıtım malzemesi kullanıldığında jeotermal enerji, doğalgaz ve kömür yakıt tipleri için yıllık tasarrufun derece gün değerlerine göre değişimini vermektedir. Görüldüğü gibi derece gün değeri arttıkça tasarruf miktarı da artmaktadır.

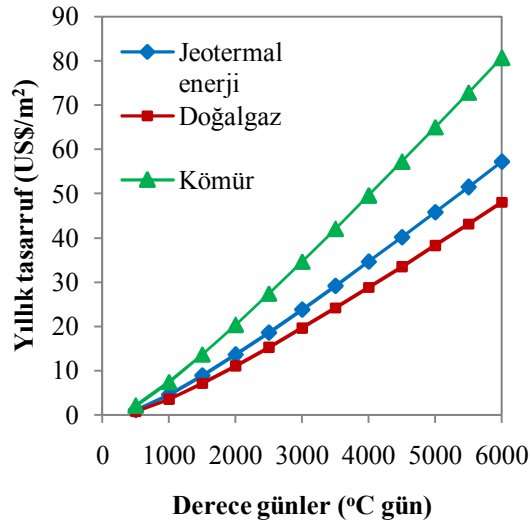
Çizelge 3.7 yalıtım malzemesi ve kullanılan enerji türlerine göre, yapı bileşenlerinde optimum yalıtım kalınlıkları uygulandığında, yatırımların geri ödeme sürelerini vermektedir. Doğal olarak en kısa geri ödeme süreleri en fazla tasarrufun sağlandığı yapı elamanlarında meydana gelmektedir. Dış duvarlarda en kısa geri ödeme süresi, en fazla toplam yıllık tasarrufunun sağlandığı Dış duvar 1'de, tavanlarda, en fazla toplam yıllık tasarrufun sağlandığı Tavan 1'de, aynı şekilde döşemelerde de en fazla toplam tasarruf miktarının elde edildiği Döşeme 2'de elde edilmiştir. 12 yılı geçen tasarruflar ekonomik olmadığı için dikkate alınmamıştır.



Şekil 3.8 Farklı yakıt tipleri için yıllık tasarrufun yalıtım kalınlığına göre değişimi (XPS-Dış duvar 1).



Şekil 3.9 Farklı yalıtım malzemeleri için yıllık tasarrufun yalıtım kalınlığına göre değişimi (Jeotermal-Dış duvar 1).



Şekil 3.10 Farklı yakıt tipleri için yıllık tasarrufun derece güne göre değişimi (XPS kullanılması durumunda).

Çizelge 3.7 Yapı bileşenlerinin geri ödeme süreleri (Yıl).

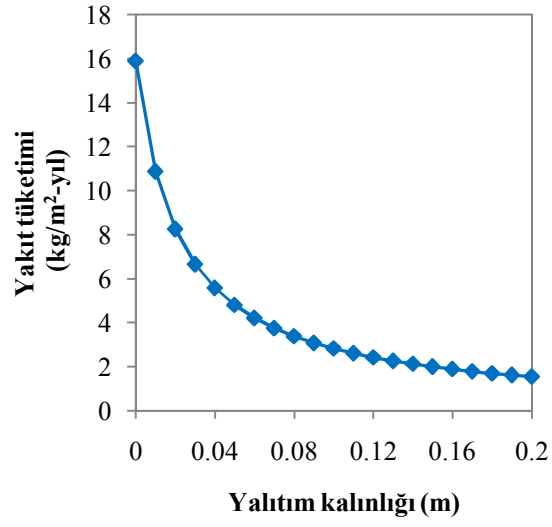
	Jeotermal Enerji		Doğalgaz		Kömür	
	XPS	EPS	XPS	EPS	XPS	EPS
Dış Duvar	XPS	EPS	XPS	EPS	XPS	EPS
Dış duvar 1	2.09	1.83	2.24	1.93	1.86	1.67
Dış duvar 2	ihmal	ihmal	ihmal	ihmal	ihmal	ihmal
Dış duvar 3	4.85	3.45	5.84	3.94	3.59	2.78
Dış duvar 4	-	2.64	-	2.91	-	2.24
Tavan	Camyünü	Taşyünü	Camyünü	Taşyünü	Camyünü	Taşyünü
Tavan 1	1.23	-	1.25	-	1.19	-
Tavan 2	-	1.41	-	1.45	-	1.34
Tavan 3	4.71	-	5.61	-	3.52	-
Döşeme	-	EPS	-	EPS	-	EPS
Döşeme 1	-	3.41	-	3.88	-	2.75
Döşeme 2	-	1.44	-	1.49	-	1.37
Döşeme 3	-	ihmal	-	ihmal	-	ihmal
Döşeme 4	-	6.12	-	7.63	-	4.29

### **3.3.2 Optimum Yalıtım Kalınlığının Yakıt Tüketimi ve Yıllık Yanma Ürünlerine Etkisi**

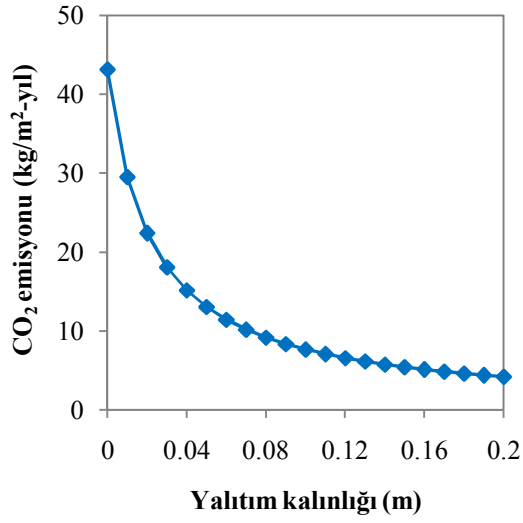
Şekil 3.11 Dış duvar 1’de yalıtım malzemesi olarak EPS ve yakıt olarak kömür kullanıldığında yakıt tüketiminin yalıtım kalınlığı ile değişimini vermektedir. Şekilden görüldüğü gibi yalıtım kalınlığı arttıkça yakıt tüketimi azalmaktadır.

Şekil 3.12, 13 Dış duvar 1’de yalıtım malzemesi olarak EPS ve yakıt olarak kömür kullanıldığında 1 m<sup>2</sup> duvar alanında ortaya çıkan sırasıyla CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> emisyonlarının yalıtım kalınlığı ile değişimini vermektedir. Yalıtım kalınlığı arttıkça emisyon miktarları azalmaktadır.

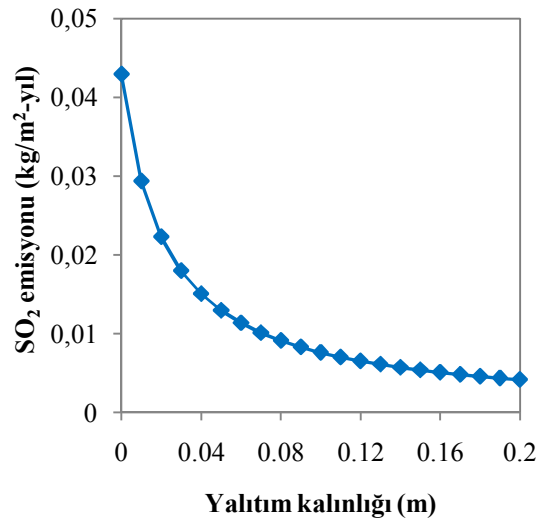
Dış duvar 1’de mevcut durumda yalıtım malzemesi uygulanmamıştır. Yapı bileşenine, yalıtım malzemesi olarak EPS ve yakıt olarak kömür kullanarak Çizelge 3.5’te elde edilen 0.073 m optimum yalıtım kalınlığı uygulanmasıyla yakıt tüketiminde ve emisyon miktarlarında % 77.1 oranında azalma sağlanabileceği hesaplanmıştır.



Şekil 3.11 Yakıt tüketiminin yalıtım kalınlığı ile değişimi.



Şekil 3.12 CO<sub>2</sub> emisyonunun yalıtım kalınlığı ile değişimi.



Şekil 3.13 SO<sub>2</sub> emisyonunun yalıtım kalınlığı ile değişimi.

## 4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

### 4.1 Enerji ve Ekserji Analizi Sonuçları

Gönen jeotermal bölgesel ısıtma sisteminde 1 yıl süreyle yapılan ölçümler neticesinde elde edilen verilerden faydalanılarak belirlenen 7 farklı durumun yapılan enerji ve ekserji analizi bulgularının değerlendirilmesiyle aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Referans çevre sıcaklığının artmasıyla sistemdeki kayıplar giren enerji ve ekserji artışına göre daha yüksek bir oranda azaldığından enerji ve ekserji verimleri giderek artmaktadır. En yüksek ortalama enerji ve ekserji verimleri sırasıyla % 50.55 ve % 52.34 değerleri ile bahar döneminde, en düşük ortalama enerji ve ekserji verimleri sırasıyla % 35.62 ve % 42.23 değerleri ile kış döneminde elde edilmiştir. Yıllık ortalama enerji ve ekserji verimleri sırasıyla % 43.93 ve % 47.44 değerindedir. Düşük dış hava sıcaklığında sistemin veriminin de düştüğü görülmektedir.
- Konutlarda ısıtma yapılan yaklaşık 15 °C referans çevre sıcaklığına kadar ekserji verimi enerji veriminden daha yüksek değerdedir. Konutlarda ısıtmanın azaldığı ve sıcak su tüketiminin gerçekleştiği 15 °C referans çevre sıcaklığının üstündeki değerlerde enerji verimi ekserji veriminden daha yüksek bir değere ulaşmaktadır. Bunun nedeni otellerde kullanılan sıcak ve ılık termal suyun sıcaklığının yükselmesiyle tüketilen enerji değerinin yükselmesidir. Aktif haldeki kuyulara bağlı olarak otellerde tüketilen yaklaşık 50 °C olan termal sıcak su yaklaşık 57 °C değerine yükselmiştir. Isıtma azaldığı için eşanjör çıkışlarındaki termal su sıcaklığı da yükselmekte ve bu değerde tüketilen termal ılık su sıcaklığını arttırmaktadır. Termal su

sıcaklığının giderek artması otellerdeki termal su tüketiminde banyo ve havuzlarda probleme neden olduğu için bir sonraki adımda eşanjör çıkışlarındaki termal suyun sıcaklığını düşürmek amaçlı soğutma kuleleri devreye alınmaktadır. Soğutma kulelerinin devreye alınmasıyla enerji verimi ve ekserji verimi düşmektedir. Soğutma kulelerinin devreye alınmasıyla açığa çıkan enerji atmosfere atılmaktadır. Bu enerjiden faydalanabilme imkanı oluşturulması verim değerlerini arttıracaktır.

- Düşük referans çevre sıcaklığında sisteme giren termal su miktarı yüksektir ve bu termal suyun önemli bir bölümü reenjeksiyon olarak yeraltına basılmaktadır. Referans çevre sıcaklığı arttıkça otellerde ve banyolarda tüketilen termal su miktarındaki artışa göre daha yüksek oranda sisteme giren termal su miktarı azalmakta ve dolayısıyla yeraltına basılan reenjeksiyon miktarında da azalma olmaktadır. Bu nedenle çevre sıcaklığının giderek artması reenjeksiyon miktarının ve reenjeksiyon enerji ve ekserji kayıplarının da giderek azalmasına neden olmaktadır.
- Otellerde ve banyolarda termal su tüketimi bahar ve özellikle yaz mevsiminde, kış mevsimine göre daha fazladır. Ancak kış mevsiminde sıcak termal su, yaz mevsiminde ise ılık termal su daha fazla tüketilmektedir. Bu nedenle kanalizasyon kayıpları giderek azalmaktadır. Yaz döneminde ise reenjeksiyon tamamen kapalı olduğundan ve daha fazla termal su tüketildiğinden kanalizasyon kayıpları bir önceki duruma göre bir artış göstermiştir.
- Sistemdeki boru, pompa ve eşanjör kayıpları referans çevre sıcaklığının artmasıyla, azalma eğilimi göstermekle birlikte bazı durumlarda bir önceki değerden yüksek değerler almaktadır. Bunun bir nedeni olarak kapasite azalmasıyla aynı oranda pompa kademe ve gücünde azalma sağlanamaması, bir diğer nedeni de eşanjörlerin termal ve sıcak su vanalarının ve by-pass hatlarının vanalarının



kontrolünün manuel olarak yapılarak sistemde zaman zaman farklılıklar oluşturulmasıdır.

- Termal ve şehir dağıtım boru hatlarında yalıtımlı borular döşendiğinden boru kayıpları yüksek miktarda değildir. Eşanjörlerdeki kayıplar pompa ve boru kayıplarına göre biraz daha fazla olduğundan eşanjör verimlerinin artırılması için otomasyon sistemi kurularak eşanjörlere debi giriş ve çıkışı kontrollü olarak sağlanmalıdır.

#### **4.2 Konutlarda Optimum Yalıtım Kalınlığının Enerji Tasarrufuna Etkisinin Sonuçları**

Gönen jeotermal bölgesel ısıtma sistemiyle ısıtılan binaların dış duvar, tavan ve döşemelerinde optimum yalıtım uygulanması durumunda konut sayısı bazında tasarruf sağlamak mümkündür. Dış duvarlar ve tavanda sonradan yalıtım yapılması kolay bir şekilde mümkün olmaktadır. Bulguların değerlendirilmesiyle aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Yapılan hesaplarda duvar tipleri içinde en fazla tasarruf potansiyeline sahip, yalıtımsız olan ve tamamı eski tip binalardan oluşan konutlarda bulunan, dış duvarların (Dış duvar 1) optimum kalınlıkta XPS yalıtım malzemesi kullanılarak yalıtılması durumunda 1176 ilave konut, EPS yalıtım malzemesi kullanılarak yalıtılması durumunda 1287 ilave konut karşılığı tasarruf sağlanabileceği belirlenmiştir. Yalıtımsız veya eksik yalıtımlı dış duvarların kullanıldığı eski tip binalarda tüm dış duvarların (Dış duvar 1, 2, 3, 4) optimum kalınlıkta XPS yalıtım malzemesi (Dış duvar 4'te sadece EPS) kullanılarak yalıtılmasıyla 1281 ilave konut, EPS yalıtım malzemesi kullanılarak yalıtılmasıyla 1436 ilave konut, hem eski hem yeni tip binaların tüm dış duvarlarının (Dış duvar 1, 2, 3, 4) optimum kalınlıkta XPS yalıtım malzemesi (Dış duvar 4'te sadece EPS) kullanılarak yalıtılmasıyla 1308 ilave konut,

EPS yalıtım malzemesi kullanılarak yalıtılmasıyla 1502 ilave konut karşılığı tasarruf sağlamanın mümkün olabileceği hesaplanmıştır.

- Yalıtımsız, tavan tipleri içinde en fazla tasarruf potansiyeline sahip ve tamamı eski tip binalardan oluşan konutlarda bulunan tavanlarda (Tavan 1) camyünü malzeme kullanılarak optimum kalınlıkta yalıtım yapılmasıyla 670 ilave konut karşılığı tasarruf sağlamanın mümkün olduğu görülmüştür. Yalıtımsız veya eksik yalıtımlı olan tavan tiplerinde (Tavan 1, 2, 3) üzeri örtülü çatılarda camyünü, teras çatılarda taşıyünü malzeme kullanılarak sadece eski tip binaların tavanlarında optimum kalınlıkta yalıtım yapılmasıyla 940 ilave konut, hem eski hem de yeni tip binaların tavanlarında optimum kalınlıkta yalıtım yapılmasıyla 961 ilave konut karşılığı tasarruf sağlamak mümkündür.
- Sistemdeki tüm eski binalarda duvar ve döşemede EPS, çatıda camyünü veya taşıyünü malzeme kullanılarak optimum kalınlıkta yalıtım yapılmasıyla 7066 ilave konut, tüm binalarda aynı malzemeleri kullanılarak optimum kalınlıkta yalıtım yapılmasıyla ise 7632 ilave konut karşılığı tasarruf sağlamanın mümkün olduğu görülmüştür.

#### **4.3 Konutlarda Optimum Yalıtım Kalınlığının Çevre Kirliliğini Azaltma Etkisinin Sonuçları**

Gönen jeotermal bölgesel ısıtma sisteminde yapı bileşenlerine optimum yalıtım kalınlığı uygulanarak enerji tasarrufunun sağlanmasıyla konut sayısının artırılması durumunda, kömür ile ısıtılan konut sayısında azalma söz konusu olacaktır. Bu durumda ilçede çevreye atılan CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> emisyon miktarları da azalacaktır.

- Kömür yakıtından jeotermal enerjiye geçilmesi durumunda ilave edilecek konutların ortalama 104.5 m<sup>2</sup> alana sahip olduğu ve dış duvar

ve döşemede EPS, çatıda camyünü ve taşıyünü yalıtım malzemesi kullanarak optimum kalınlıkta komple yalıtımlı binalar olduğu farz edildiğinde; 1000 konut ilave edilmesi durumunda kömür tüketiminde 2248 ton/yıl azalma ve çevreye atılan CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> emisyonlarının miktarında ise sırasıyla 6099 ton/yıl ve 6 ton/yıl azalma, 5000 konut ilave edilmesi durumunda kömür tüketiminde 11 240 ton/yıl azalma ve çevreye atılan CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> emisyonlarının miktarında ise sırasıyla 30 499 ton/yıl ve 30 ton/year azalma, 8000 konut ilave edilmesi durumunda kömür tüketiminde 17 984 ton/yıl azalma ve çevreye atılan CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> emisyonlarının miktarında ise sırasıyla 48 794 ton/yıl ve 48 ton/yıl azalma gerçekleşecektir.

- Sadece dış duvarlarda EPS yalıtım malzemesi kullanarak mantolama yöntemine göre yalıtım yapılmış binalar olduğu farz edildiğinde; 1000 konut ilave edilmesi durumunda kömür tüketiminde 7345 ton/yıl azalma ve çevreye atılan CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> emisyonlarının miktarında ise sırasıyla 19 929 ton/yıl ve 19 ton/yıl azalma, 5000 konut ilave edilmesi durumunda kömür tüketiminde 36 729 ton/yıl azalma ve çevreye atılan CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> emisyonlarının miktarında ise sırasıyla 99 649 ton/yıl ve 99 ton/yıl azalma, 8000 konut ilave edilmesi durumunda kömür tüketiminde 58 766 ton/yıl azalma ve çevreye atılan CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> emisyonlarının miktarında ise sırasıyla 159 438 ton/yıl ve 158 ton/yıl azalma sağlanması mümkündür.
- Yalıtımsız binalar olduğu farz edildiğinde; 1000 konut ilave edilmesi durumunda kömür tüketiminde 8387 ton/yıl azalma ve çevreye atılan CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> emisyonlarının miktarında ise sırasıyla 22 755 ton/yıl ve 22 ton/yıl azalma, 5000 konut ilave edilmesi durumunda kömür tüketiminde 41 936 ton/yıl azalma ve çevreye atılan CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> emisyonlarının miktarında ise sırasıyla 113 776 ton/yıl ve 113 ton/yıl azalma, 8000 konut ilave edilmesi durumunda kömür tüketiminde 67 098 ton/yıl azalma ve çevreye atılan CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> emisyonlarının

miktarında ise sırasıyla 182 043 ton/yıl ve 181 ton/yıl azalma sağlanacağı hesaplanmıştır.

#### **4.4 Konutlarda Optimum Yalıtım Kalınlığının Pik-Güç Ünitesinin Kapasitesine Etkisinin Sonuçları**

Gönen jeotermal bölgesel ısıtma sisteminde yapı bileşenlerine optimum yalıtım kalınlığı uygulanarak enerji tasarrufunun sağlanması durumunda, sistemde mevcut olan enerji açığı azalacak ve pik-güç ünitesinin kapasitesi düşecektir. Bulguların değerlendirilmesiyle aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Yapılan hesaplarda duvar tipleri içinde en fazla tasarruf potansiyeline sahip, yalıtımsız olan ve tamamı eski tip binalardan oluşan konutlarda bulunan, dış duvarların (Dış duvar 1) XPS yalıtım malzemesi kullanılarak optimum kalınlıkta yalıtılmasıyla % 49, EPS yalıtım malzemesi kullanılarak yalıtılmasıyla % 48 oranında pik-güç kapasitesinde azalma mümkün olabileceği hesaplanmıştır. Yalıtımsız veya eksik yalıtımlı dış duvarların kullanıldığı binalarda tüm dış duvarların (Dış duvar 1, 2, 3, 4) optimum kalınlıkta XPS yalıtım malzemesi (Dış duvar 4'te sadece EPS) kullanılarak yalıtılmasıyla % 57, EPS yalıtım malzemesi kullanılarak yalıtılmasıyla % 56 oranında pik-güç kapasitesinde azalma olabileceği görülmüştür.
- Yalıtımsız tavanların kullanıldığı ve tavan tipleri içinde en fazla tasarruf potansiyeli bulunan ve tamamı eski tip binalardan oluşan konutların tavanlarında (Tavan 1) camyünü malzeme kullanılarak optimum kalınlıkta yalıtım yapılmasıyla % 25, yalıtımsız veya eksik yalıtımlı olan bütün tavan tiplerinde (Tavan 1, 2, 3) üzeri örtülü çatılarda camyünü, teras çatılarda taşıyünü malzeme kullanılarak optimum kalınlıkta tüm binalarda yalıtım yapılmasıyla % 35 oranında pik-güç kapasitesinde azalma mümkün olabileceği görülmüştür.

- Sistemdeki tüm binalarda duvar ve döşemede EPS, çatıda camyünü veya taşıyünü malzeme kullanılarak optimum kalınlıkta yalıtım yapılmasıyla jeotermal enerjinin tüm enerji ihtiyacını karşılayabileceği ve pik-güç ünitesine gerek olmayacağı belirlenmiştir.

#### 4.5 Öneriler

Yerli enerji kaynaklarımızın mevcut enerji talebimizi karşılamakta yetersiz kaldığı günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek ve bu kaynakları verimli kullanarak israfın önlenmesini, enerji maliyetlerinin azaltılmasını ve bununla birlikte çevrenin korunmasını sağlamak son derece önemlidir.

Gönen jeotermal bölgesel ısıtma sisteminde yapılan incelemelerde kış mevsiminde hava sıcaklığının düşük değerlerinde jeotermal kaynaklardan sağlanan enerjinin, tüketim potansiyelini karşılamakta yetersiz kaldığı görülmüştür. Bunun neticesinde bölgesel ısıtma sisteminde ısınma problemleri yaşanmaktadır. Ortaya çıkan sorunların giderilebilmesi ve verimliliğin sağlanması için sistem ve aboneler bazında bir takım önlemlerin alınması ve ek yatırımların değerlendirilmesi zorunlu hale gelmiştir.

Sistem bazında yapılan incelemelerde teknik donanım eksikliği nedeniyle işletme problemleri yaşandığı gözlenmiştir. İlk yapılan değerlendirmelerde kuyular ve ısı merkezindeki debi, sıcaklık ve basınç gibi verilerin tam olarak belirlenemediği tespit edilmiştir. Yapılan çalışma kapsamında kurulan ölçüm sistemleriyle verilerin ölçülmesi ve kaydedilmesi sağlanmıştır. Bu nedenle, sistem verilerinin düzenli bir şekilde elde edilmesi ve değerlendirilmesi sağlanarak ileriye dönük bilimsel çalışmaların ve düzenlemelerin yapılabilmesi mümkün olduğundan, ölçüm sistemlerinin kullanılmaya devam edilmesi son derece gereklidir.

Sistemin hiçbir noktasında otomatik kontrol donanımı bulunmamaktadır. Sistem tamamen elle kontrol ve takip edilmektedir. Isı merkezinde paralel çok

sayıda sirkülasyon pompası kullanılmaktadır. Bunun yerine frekans konvertörlü pompa sistemine geçilmesi önerilmektedir. Otomatik kontrol sistemlerinin düzenlenmesi ve yeni teknolojilerin kullanılması sistemin verimli işletilmesi açısından önemlidir.

Jeotermal sahada üretim ve reenjeksiyon zonlarının tam olarak belirlenmeden sisteme reenjeksiyon uygulanıyor olması, üretim kuyularının sıcaklık değerlerinin düşmesine neden olmaktadır. Mevsimlik dönemlerde üretim sıcaklığında yaklaşık 15 °C fark oluşan kuyuların olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle rezervuar modellemesi yapılan çalışmalara ağırlık verilmesi gerektiği ortaya konmuştur.

Bunun yanında enerji ve ekserji analizlerinde reenjeksiyon kayıplarının, kayıpların önemli bir bölümünü oluşturduğu belirlenmiştir. Reenjeksiyon kayıplarının azaltılmasını sağlamak için yeraltına basılan termal suyun enerjisinden bir kez daha faydalanma yoluna gidilmelidir. Bunun için sera ısıtması, ısı pompası gibi alternatif sistemler planlanarak sisteme entegre edilmelidir. Özellikle Gönen’de tarım için elverişli arazilerin bulunması sera uygulamalarına ağırlık verilmesi açısından önemlidir. Ayrıca bir diğer düşük sıcaklık uygulaması olan absorpsiyonlu soğutma prosesi uygulanarak yaz aylarında kaplıca otellerinin soğutma ihtiyacının karşılanması önerilebilir. Gönen jeotermal bölgesel ısıtma sisteminin entegre sistem modelleri kurularak enerji ve ekserji verimlerinin yüksek olduğu modeller ele alınmalıdır.

Yaz mevsiminde, otellerin ılık termal su ihtiyacı, otel ısı değiştiricilerinin soğutma amaçlı kullanımıyla sağlanmaktadır. Isı değiştiricilere giren termal su, soğutma kulelerinden gelen su ile soğutulmaktadır. Ancak bu işlem neticesinde, sekonder devrede açığa çıkan önemli miktarda enerji hiçbir şekilde değerlendirilmeden atmosfere bırakılmaktadır. Bu israf edilen enerjinin, örneğin yaklaşık 400 konut kapasitesine sahip toplam 5 adet kaplıca otelinin mutfağında sıcak su kullanımı olarak değerlendirilmesi gibi alternatif sistemler üzerinde çalışılması atık enerjinin geri kazanımını sağlayacaktır.

Konutlarda yapılan incelemelerde, sistemdeki binaların yalıtımsız veya eksik yalıtımlı durumları gözlenmiştir. Bu durum dikkate alınarak tüketim potansiyelleri hesaplandığında dış hava sıcaklığı 6.8 °C'nin altına düştüğünde, sistemin 200 konutun enerji tüketimini karşılamakta yetersiz kaldığı görülmüştür. Pik-güç sisteminin devreye alınmasıyla konutlardaki ısınma problemleri ortadan kalkması halinde ilave yatırım 3.11 yılda kara geçmeye başlayacağı hesaplanmıştır. Mevcut duruma göre yapılacak yatırım ekonomik olarak görülmektedir. Ancak ilave ünite kurulması yerine binalarda yalıtım uygulamalarının yapılmasıyla enerji tüketimleri azaltılarak sistemin verimli hale getirilmesi çok daha uygun olacaktır. Bu nedenle konutlarda enerji tüketimini azaltacak yönde çalışmaların yapılması önemli olacaktır.

Mevcut binalara sonradan yalıtım yapılması kolay bir şekilde sağlanmaktadır. Kayıpların önemli bir bölümünü oluşturan dış duvarlara mantolama denilen teknik kullanılarak yalıtım uygulanabilmektedir. Bununla birlikte çatı yalıtımı ve pencerelere çift cam yapılması ısı kayıplarının en aza indirilmesini sağlayacaktır. Ayrıca radyatörlerin dış duvar ile temasta olduğu noktalarda sıcaklık farkının yüksek değerde olmasından dolayı ciddi kayıplar oluşmaktadır. Radyatör arkası yalıtım uygulamaları tasarruf sağlamaya yardımcı olacaktır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, binalara ısı yalıtımı uygulanması kadar uygulanan yalıtımın doğru bir şekilde ve standartlara uygun olmasıdır. Kullanılacak yalıtım malzemelerinin uygun seçilmesi ve optimum yalıtım kalınlığının göz önünde bulundurularak yalıtım yapılması gereklidir. İncelenen konutların bir bölümünde uygulanan yalıtımın maliyeti düşürmek amacıyla optimum kalınlıkta olmadığı görülmüştür.

Binalarda gerekli tasarruf önlemlerinin alınması ve verimliliğin sağlanması için halkın bilinçlendirilmesi önemlidir. Uzman kişiler tarafından verilecek enerji tasarrufu seminerleri düzenlenerek enerjinin verimli kullanılması ve böylece ülke ekonomisine ve çevreyi korumaya katkı sağlanabilir.

## 5. KAYNAKLAR

- [1] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara, (2009), erişim: <http://www.enerji.gov.tr>
- [2] REN21 (Renewable Energy Policy Network for the 21th Century), Renewable 2008, Global Status Report 2009 Update, (2009), available from: [http://www.ren21.net/pdf/RE\\_GSR\\_2009\\_Update.pdf](http://www.ren21.net/pdf/RE_GSR_2009_Update.pdf)
- [3] Ozgur, M.A., "Review of Turkey's renewable energy potential", *Renewable Energy*, (2008) **33**, 2345-2356.
- [4] Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, (2009), erişim: <http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/jeotermal/17iletisim.html>
- [5] Hepbasli, C., Canakcı., C., "Geothermal district heating applications in Turkey: a case study of Izmir-Balcova", *Energy Conversion and Management*, (2003) **44**, 1285-1301.
- [6] Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, (2007), erişim: [http://www.eie.gov.tr/turkce/jeoloji/jeotermal/13turkiyede\\_jeotermal\\_enerji.html](http://www.eie.gov.tr/turkce/jeoloji/jeotermal/13turkiyede_jeotermal_enerji.html)
- [7] Barbier, E., "Geothermal energy technology and current status: An overview", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (2002) **6**, 3-65.
- [8] Kutscher, C.F., "The status and future of geothermal electric power", National Renewable Energy Laboratory NREL/CP-550-28204, (2000), available from: <http://www.nrel.gov/geothermal/pdfs/28204.pdf>
- [9] Toklu, E., Guney, M., Comaklı, O., Kaygusuz, K., "Energy production, consumption, policies and recent developments in Turkey", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (2010) **14**, 1172-1186.
- [10] Serpen, U., Aksoy, N., Öngür, T., Korkmaz, D., "Geothermal energy in Turkey: 2008 update", *Geothermics*, (2009) **38**, 227-237.
- [11] Fridleifsson, I. B., "Status of geothermal energy amongst the world's energy sources", *Geothermics*, (2003) **32**, 379-388.



- [12] Bloomquist, R.G., "Geothermal space heating", *Geothermics*, (2003) **32**, 513-526.
- [13] Lund, J.W., Freeston D.H., Boyd, T.L. , "Direct application of geothermal energy:2005 Worldwide review", *Geothermics*, (2005) **34**, 691-727.
- [14] Mertoglu, O., Bakir, N., Kaya, T., "Geothermal applications in Turkey", *Geothermics*, (2003) **32**, 419-428.
- [15] Erdogdu, E., "A snapshot of geothermal energy potential and utilization in Turkey", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (2009) **13**, 2535-2543.
- [16] Gelegenis, J., "Rapid estimation of geothermal coverage by district-heating systems", *Applied Energy*, (2005) **80**, 401-426.
- [17] Richter, S., Thorarinsdottir, R.I., Jonsdottir, F., "On-line corrosion monitoring in geothermal district heating systems. II. Localized corrosion", *Corrosion Science*, (2007) **49**, 1907-1917.
- [18] Thorsteinsson, H.H., Tester, J.W., "Barriers and enablers to geothermal district heating system development in the United States", *Energy Policy*, (2010) **38**, 803-813.
- [19] Lund, H., Möller, B., Dyrelund, A., "The role of district heating in future renewable energy systems", *Energy*, (2010) **35**, 1381-1390.
- [20] Erdogmus, B., Toksoy, M., Ozerdem, B., Aksoy, N., "Economic assesment of geothermal district heating systems: A case study of Balçova-Narlıdere, Turkey", *Energy and Buildings*, (2006) **38**, 1053-1059.
- [21] Oktay, Z. and Aslan, A., "Geothermal district heating in Turkey: The Gonen case study", *Geothermics*, (2007) **36**, 167-182.
- [22] Dagdas, A., "Heat exchanger optimization for geothermal district heating systems: A fuel saving approach", *Renewable Energy*, (2007) **32**, 1020-1032.
- [23] Kücüka, S., "The thermal effects of some control logics used in GDHS", *Applied Thermal Engineering*, (2007) **27**, 1495-1500.
- [24] Arslan, O., Ozgur, M.A., Kose, R., Tugcu, A., "Exergoeconomic evaluation on the optimum heating circuit system of Simav geothermal district heating system", *Energy and Buildings*, (2009) **41**, 1325-1333.

- [25] Yetemen, O., Yalcın, T., "Climatic parameters and evaluation of energy consumption of the Afyon geothermal district heating system, Afyon, Turkey ", *Renewable Energy*, (2009) **34**, 706-710.
- [26] Elektrik Mühendisleri Odası, Enerji Verimliliği, (2010), erişim: <http://www.emo.org.tr/>
- [27] Balat, M., "Security of energy supply in Turkey: Challenges and solutions", *Energy Conversion and Management*, (2010) **51**, 1998-2011.
- [28] Al-Homoud, M.S., "Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials", *Building and Environment*, (2005) **40**, 353-366.
- [29] Al-Sanea, S.A., Zedan, M.F., Al-Ajlan, S.A., "Effect of electricity tariff on the optimum insulation-thickness in building walls as determined by a dynamic heat-transfer model", *Applied Energy*, (2005) **82**, 313-330.
- [30] Gustafsson, S.I., "Optimisation of insulation measures on existing buildings", *Energy and Buildings*, (2000) **33**, 49-55.
- [31] Mohsen, M.S. and Akash, B.A., "Some prospects of energy savings in buildings", *Energy conversion and management*, (2001) **42**, 1307-1315.
- [32] Hasan, A., "Optimizing insulation thickness for buildings using life cycle cost", *Applied Energy*, (1999) **63**, 115-124.
- [33] Comaklı, K. and Yuksel, B., "Optimum insulation thickness of external walls for energy saving", *Applied Thermal Engineering*, (2003) **23**, 473-479.
- [34] Sisman, N., Kahya, E., Aras, N., Aras, H., "Determination of optimum insulation thicknesses of the external walls and roof (ceiling) for Turkey's different degree-day regions", *Energy Policy*, (2007) **35**, 5151-5155.
- [35] Bolattürk, A., "Optimum insulation thicknesses for building walls with respect to cooling and heating degree-hours in the warmest zone of Turkey", *Building and Environment*, (2008) **43**, 1055-1064.
- [36] Yu, J., Yang C., Tian, L., Liao, D., "A study on optimum insulation thicknesses of external walls in hot summer and cold winter zone of China", *Applied Energy*, (2009) **86**, 2520-2529.

- [37] Ucar, A., Balo, F., "Determination of the energy savings and the optimum insulation thickness in the four different insulated exterior walls", *Renewable Energy*, (2010) **35**, 88-94.
- [38] Moran, M.J., "Availability analysis: a guide to efficient energy use", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, (1982).
- [39] Bejan, A., "Advanced Engineering Thermodynamics", John Willey and Sons, New York, (1988).
- [40] Gaggioli, R.A., "Available energy and exergy", *International Journal of Applied Thermodynamics*, (1998) **1**, 1-8.
- [41] Kanoglu, M., "Exergy analysis of a dual-level binary geothermal power plant", *Geothermics*, (2002) **31**, 709-724.
- [42] Chang, H., "Exergy analysis and exergoeconomic analysis of an ethylene process", *Journal of Science and Engineering*, (2001) **4**, 95-104.
- [43] Koroneos, C., Spaachos, T., Moussiopoulos, N., "Exergy analysis of renewable energy sources", *Renewable Energy*, (2003) **28**, 295-310.
- [44] Badvarsson, G., Eggers, D.E., "The exergy of thermal water", *Geothermics*, (1972) **1**, 93-95.
- [45] Etemoglu, A.B., Can, M., "Classification of geothermal resources in Turkey by exergy analysis", *Renewable and Sustainable Energy*, (2006) **11**, 1596-1606.
- [46] Ozgener, L., Hepbasli, A., Dincer, I., "Energy and exergy analysis of geothermal district heating systems: an application", *Building and Environment*, (2005) **40**, 1309-1322.
- [47] Ozgener, L., Hepbasli, A., Dincer, I., "Effect of reference state on the performance of energy and exergy evaluation of geothermal district heating systems: Balcova example", *Building and Environment*, (2006) **41**, 699-709.
- [48] Ozgener, L., Hepbasli, A., Dincer, I., "Energy and exergy analysis of Salihli geothermal district heating system in Manisa, Turkey", *International Journal of Energy Research*, (2005) **29**, 393-408.
- [49] Dincer, I., "The role of exergy in Energy Policy Making", *Energy Policy*, (2002) **30**, 137-149.

- [50] Tsatsaronis, G., and Moran, M.J., "Exergy-aided cost minimization", *Energy Conversion and Management*, (1997) **38**, 15-17, 1535-1542.
- [51] Lee, K.C., "Classification of geothermal resources by exergy", *Geothermics*, (2001) **30**, 431-442.
- [52] Rosen, M.A., Dincer, I., Kanoglu, M., " Role of exergy in increasing efficiency and sustainability and reducing environmental impact", *Energy Policy*, (2008) **36**, 128-137.
- [53] Ozgener, L., Hepbasli, A., Dincer, I., "Energy and exergy analysis of the Gonen geothermal district heating system, Turkey", *Geothermics*, (2005) **34**, 632-645.
- [54] Hepbasli, A., 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*, (2007) **42**, 3747-3756.
- [55] Ozgener, L., Hepbasli, A., Dincer, I., "A key review on performance improvement aspects of geothermal district heating systems and applications", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (2007) **11**, 1675-1697.
- [56] Rosen, M.A., Dincer, I., "Effect of varying dead-state properties on energy and exergy analyses of thermal systems", *International Journal of Thermal Sciences*, (2004) **43**, 121-133.
- [57] Hepbasli, A., "A key review on exergetic analysis and assessment of renewable energy resources for a sustainable future", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (2008) **12**, 593-661.
- [58] Kalinci, Y., Hepbasli, A., Tavman, I., "Determination of optimum pipe diameter along with energetic and exergetic evaluation of geothermal district heating systems: Modeling and application", *Energy and Buildings*, (2008) **40**, 742-755.
- [59] Kelly, S., Tsatsaronis, G., Morosuk, T., "Advanced exergetic analysis : Approaches for splitting the exergy destruction into endogenous and exogenous parts", *Energy*, (2009) **34**, 384-391.
- [60] Kristmannsdottir, H., Armannsson, H., "Environmental aspects of geothermal energy utilization", *Geothermics*, (2003) **32**, 451-461.
- [61] Kömürcü, M.I., Akpınar, A., "Importance of geothermal energy and its environmental effects in Turkey", *Renewable Energy*, (2009) **34**, 1611-1615.

- [62] Kaygusuz, K., "Energy and environmental issues relating to green house gas emissions for sustainable development in Turkey", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (2009) **13**, 253-270.
- [63] Comaklı, K. and Yuksel, B., "Environmental impact of thermal insulation thickness in buildings", *Applied Thermal Engineering*, (2004) **24**, 933-940.
- [64] Dombaycı, A., "The environmental impact of optimum insulation thickness for external walls of buildings", *Building and Environment*, (2007) **42**, 3855-3859.
- [65] Gönen, Balıkesir, (2009), erişim: <http://tr.wikipedia.org/>
- [66] TSE (Türk Standartları Enstitüsü), TS 825: Binalarda ısı yalıtım kuralları, Ankara, (1998).
- [67] TSE (Türk Standartları Enstitüsü), TS 2164: Kalorifer Tesisatı Projelendirme Kuralları, Ankara, (1983).
- [68] Balıkesir Gönen İlçesi Jeotermal Merkezi Isıtma Sistemi Yatırımının Fizibilite Raporu, Gönen Kaplıcaları İşletmesi A.Ş., Gönen, (1985).
- [69] Gönen Kaplıcası Jeotermal Alanı İşletme Faaliyet Raporu, Gönen Kaplıcaları İşletmesi A.Ş., Gönen, (2009).
- [70] Ahrendts, J., "Reference states", *Energy*, (1980) **5**, 667-677.
- [71] Gallo, W.L.R., Milanez, L.F., 1990, "Choice of a reference state for exergetic analysis", *Energy*, (1990) **15**, 113-121.
- [72] Kameyama, H., Yoshida, K., Yamauchi, S., Fueki, K., "Evaluation of reference exergies for the elements", *Applied Energy*, (1982) **11**, 733-755.
- [73] Rosen, M.A., Dincer, I., "Exergy as the confluence of energy, environment and sustainable development", *Exergy an International Journal*, (2001) **1**, 3-13.
- [74] Szargut, J., "Chemical exergies of the elements", *Applied Energy*, (1989) **32**, 269-286.
- [75] Ural, A., Kılıç, İ., "Bilimsel Araştırma Süreci ve SPSS ile Veri Analizi", Detay Yayıncılık, Ankara, (2005) s. 28-29.
- [76] Yamane, T., "Elementary Sampling Theory", Prentice-Hall (1967), p. 2-6, 405.

- [77] Gönen Belediyesi Arşivi, Gönen Belediye Başkanlığı, Gönen, (2009).
- [78] Gönen Kaplıcaları İşletmesi A.Ş. Arşivi, Gönen Kaplıcaları İşletmesi A.Ş., Gönen, (2009).
- [79] TC. Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, (2009).
- [80] Sıhhi Tesisat Proje Hazırlama Esasları, Ankara, MMO, (2002), 260-2, s. 55-54.
- [81] Schramek E. R., "Isıtma, Klima Tekniği El Kitabı", Türk Tesisat Mühendisleri Derneği, (2003) s. 57.
- [82] İzobor (İzobor Boru İmalat ve Jeotermal Enerji San. ve Tic. Ltd. Sti.) Ön İzolasyonlu Boru ve Ekleme Parçaları Katoloğu, (2009) erişim: <http://www.izobor.com/tr/index.html>
- [83] Kalorifer Tesisatı, Ankara, MMO, (2006), 352-3, s. 111.
- [84] Bulut, H., Büyükalaca, O., Yılmaz, T., "Akdeniz Bölgesi İçin Isıtma ve Soğutma Derece Saat Değerlerinin Analizi", erişim: <http://eng.harran.edu.tr/~hbulut/hbulutDH.pdf>
- [85] Büyükalaca, O., Bulut, H., Yılmaz, T., "Analysis of variable-base heating and cooling degree-days for Turkey", *Applied Energy*, (2001) **69**, 269-283.
- [86] Akbayır, Ö., "Derece Gün Metodu ve Eskişehir İçin Derece Gün Değerlerinin Tespiti", Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2006).
- [87] Durmayaz, A., Kadioğlu, M., Şen, Z., "An application of the degree-hours method to estimate the residential heating energy requirement and fuel consumption in Istanbul", *Energy*, (2000) **25**, 1245-1256.
- [88] Sarak, H., Satman, A., "The degree-day method to estimate the residential heating natural gas consumption in Turkey: a case study", *Energy*, (2003) **28**, 929-939.
- [89] Erensan Isı Mühendisliği, İstanbul, (2009) erişim: <http://www.erenan.com.tr/>
- [90] Çanakkale Gaz, (2009) erişim: <http://www.canakkalegaz.com.tr/turkish/>

- [91] Isısan Isıtma Tesisatı Kitabı, Isısan Çalışmaları, (2000), s. 512-516.
- [92] Usta, Ö., "İşletme Finansı ve Finansal Yönetim", Detay Yayıncılık, Ankara, (2005), s. 14-19.
- [93] Özdemir M., "Finansal Yönetim", Türkmen Kitapevi, İstanbul, (1999), s. 104-107, 216.
- [94] Bulut H, Büyükalaca O, Yılmaz T., "Heating and cooling degree days zones for Turkey", 16. National Heat Science and Technique Congress, Kayseri, Turkey, (2007).
- [95] Hepbasli A., "A study on estimating the energetic and exergetic prices of various residential energy sources ", *Energy and Buildings*, (2008), **40**, 308-315.
- [96] Enerji ve Çevre Teknoloji Sistemleri Dergisi, Teknik Yayıncılık Grubu, (2008).
- [97] Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası (TCMB), (2009), erişim: <http://www.tcmb.gov.tr/>
- [98] Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), (2009), erişim: <http://www.tuik.gov.tr/>
- [99] Akgüç, Ö., "Finansal Yönetim", Avcıol Basım-Yayın, İstanbul, (1998), s. 966.

## **EKLER**



EK-A.Enerji ve Ekserji Analizi Akışkan Özellikleri ve Enerji- Ekserji Oranları

DURUM 1									
	Akışkan	Sıcaklık	Basınç	Spesifik entalpi	Spesifik entropi	Debi	Spesifik ekserji	Ekserji oranı	Enerji oranı
		T	P	h	s	$\dot{m}$	$\psi$	$\dot{E}_x$	$\dot{E}$
No		(°C)	(kPa)	(kJ/kg)	(kJ/kgK)	(kg/s)	(kJ/kg)	(kW)	(kW)
0	ölü hal	0.1	101.325	0.4824	0.0013	-	-	-	-
G7	termalsu	50	203	209.41	0.7034	15.3	17.254	263.6074	3191.949
G7'	termalsu	49.5	81	207.22	0.697	15.3	16.812	256.8424	3158.491
G8	termalsu	56.7	203	237.43	0.7892	26.4	21.851	576.621	6252.784
G8'	termalsu	56.2	81	235.34	0.7828	26.4	21.508	567.5749	6197.631
G9	termalsu	94	203	393.86	1.2385	8.3	55.622	463.5167	3278.147
G9'	termalsu	93.5	81	391.67	1.2328	8.3	54.988	458.2342	3259.897
G10	termalsu	60.2	203	249.04	0.8246	26.4	23.797	627.9685	6559.159
G10'	termalsu	59.7	81	244.86	0.812	26.4	23.057	608.4354	6448.853
G13	termalsu	60	182	251.22	0.8309	26.4	24.257	640.11	6616.687
G13'	termalsu	59.5	81	249.04	0.8246	26.4	23.797	627.9685	6559.159
G16	termalsu	80	203	335.03	1.0751	27.8	41.4	1150.006	9292.989
G16'	termalsu	79.5	81	332.84	1.0692	27.8	40.821	1133.914	9232.156
G17	termalsu	62	182	259.59	0.8559	27.8	25.802	716.7167	7197.433
G17'	termalsu	61.5	81	257.41	0.8497	27.8	25.314	703.1778	7136.878
E1 TG	termalsu	62.27	120	260.67	0.8593	23.1	25.954	599.0871	6005.912
E1 TÇ	termalsu	38.39	90	160.79	0.5505	23.1	10.376	239.5093	3700.382
E1 ŞÇ	su	46.32	504	194.29	0.6554	61.1	15.238	931.2294	11843.8
E1 ŞG	su	37.3	551	156.64	0.5357	61.1	10.266	627.3911	9542.964
E2 TG	termalsu	62.25	124	260.59	0.8591	5.4	25.928	139.2893	1397.329
E2 TÇ	termalsu	24.09	120	101.06	0.3541	5.4	4.2632	22.90241	540.3147
E2 ŞÇ	su	54.33	398	227.68	0.7589	5.6	20.373	113.1822	1262.209
E2 ŞG	su	17.43	409	73.49	0.2593	5.6	2.5736	14.29778	405.5978
E3 TG	termalsu	62.32	124	260.88	0.8599	4.2	26	108.3325	1084.99
E3 TÇ	termalsu	49.25	126	206.21	0.6937	4.2	16.702	69.59333	857.1983
E3 ŞÇ	su	50.88	348	213.21	0.7147	9.4	17.969	169.5985	2007.763
E3 ŞG	su	45.11	378	189.12	0.6396	9.4	14.382	135.7372	1780.397
E4 TG	termalsu	62.24	124	260.55	0.8589	4.2	25.943	108.095	1083.615
E4 TÇ	termalsu	52.09	125	218.08	0.7304	4.2	18.553	77.30542	906.6567
E4 ŞÇ	su	50.9	328	213.28	0.7149	7.1	17.985	128.0483	1515.078
E4 ŞG	su	44.96	369	188.49	0.6376	7.1	14.298	101.7969	1338.578
E5 TG	termalsu	58.24	123	243.81	0.8087	22.0	22.907	503.2393	5345.522
E5 TÇ	termalsu	36.57	101	153.2	0.526	22.0	9.4745	208.1397	3354.964
E5 ŞÇ	su	46.32	520	194.3	0.6554	52.8	15.248	804.7714	10229.26
E5 ŞG	su	37.3	561	156.65	0.5357	52.8	10.276	542.3656	8242.179
E6 TG	termalsu	62.24	126	260.55	0.8589	49.6	25.943	1286.929	12901.02
E6 TÇ	termalsu	43.82	83	183.48	0.6227	49.6	13.355	662.5134	9077.853

<b>DURUM 1'in Devamı</b>									
E6 ŞÇ	su	44.1	452	184.97	0.6262	141.7	13.89	1967.736	26135.74
E6 ŞG	su	37.65	568	158.12	0.5404	141.7	10.463	1482.301	22331.99
E7 TG	termalsu	62.41	127	261.26	0.861	49.2	26.08	1283.282	12831.97
E7 TÇ	termalsu	43.61	80	182.6	0.6199	49.2	13.24	651.485	8961.381
E7 ŞÇ	su	44.18	448	185.3	0.6273	141.7	13.92	1971.943	26182.49
E7 ŞG	su	37.65	560	158.11	0.5404	141.7	10.453	1480.884	22330.58
P 1-5	su	37.3	556	156.65	0.5357	113.9	10.276	1170.368	17785.75
P 1-5'	su	36.8	65	154.13	0.5291	113.9	9.5582	1088.573	17498.75
P 2	su	17.43	409	73.49	0.2593	5.6	2.5736	14.29778	405.5978
P 2'	su	16.93	51	71.06	0.2522	5.6	2.0819	11.56611	392.0978
P 3-4	su	45.03	348	188.76	0.6385	16.6	14.322	237.1436	3117.5
P 3-4'	su	44.5	138	186.37	0.6316	16.6	13.816	228.7603	3077.926
P 6-7	su	37.65	563	158.12	0.5404	283.3	10.463	2964.602	44663.99
P 6-7'	su	37.1	133	155.44	0.5331	283.3	9.7762	2769.923	43904.65
P Sıcak su	termalsu	51.42	228	215.37	0.7217	8.3	18.218	151.82	1790.73
P Sıcak su'	termalsu	50.9	124	213.11	0.715	8.3	17.788	148.2292	1771.897
Ilık su	termalsu	31	81	129.91	0.4502	19.4	6.8779	133.7369	2516.648
Kanalizasyon	termalsu	35	51	146.59	0.5048	27.8	8.6521	240.3361	4058.544
Reenjeksiyon	termalsu	42	81	175.87	0.5986	130.6	12.325	1609.058	22897.83

DURUM 2									
	Akışkan	Sıcaklık	Basınç	Spesifik entalpi	Spesifik entropi	Debi	Spesifik ekserji	Ekserji oranı	Enerji oranı
		T	P	h	s	$\dot{m}$	$\psi$	$\dot{E}_x$	$\dot{E}$
No		(°C)	(kPa)	(kJ/kg)	(kJ/kgK)	(kg/s)	(kJ/kg)	(kW)	(kW)
0	ölü hal	3.86	101.325	16.31	0.0589	-	-	-	-
G7	termalsu	50	193	209.4	0.7034	15.3	14.564	222.4979	2949.986
G7'	termalsu	49.5	81	207.22	0.697	15.3	14.156	216.2768	2916.681
G8	termalsu	56.7	193	237.42	0.7892	26.4	18.817	496.5571	5834.847
G8'	termalsu	56.2	81	235.24	0.7829	26.4	18.382	485.0806	5777.319
G9	termalsu	94	213	393.87	1.2385	8.3	50.811	423.4233	3146.333
G9'	termalsu	93.5	81	391.67	1.2328	8.3	50.19	418.2475	3128
G10	termalsu	60.2	193	252.07	0.8334	26.4	21.224	560.0646	6221.444
G10'	termalsu	59.7	81	249.88	0.8271	26.4	20.779	548.3242	6163.653
G13	termalsu	60	182	251.22	0.8309	26.4	21.066	555.9083	6199.014
G13'	termalsu	59.5	81	249.04	0.8246	26.4	20.631	544.4318	6141.486
G16	termalsu	79.7	193	333.77	1.0715	27.8	36.97	1026.939	8818.333
G16'	termalsu	79.2	81	331.58	1.0657	27.8	36.386	1010.733	8757.5
G17	termalsu	62	172	259.58	0.8559	27.8	22.501	625.0278	6757.5
G17'	termalsu	61.5	81	257.41	0.8497	27.8	22.048	612.4556	6697.222
E1 TG	termalsu	61.55	113	257.65	0.8503	20.6	22.122	455.4233	4968.396
E1 TÇ	termalsu	38.01	84	159.2	0.5454	20.6	8.1295	167.3596	2941.635
E1 ŞÇ	su	44.78	508	187.86	0.6352	61.1	11.915	728.1328	10483.61
E1 ŞG	su	36.85	565	154.78	0.5296	61.1	8.0861	494.1506	8462.056
E2 TG	termalsu	61.64	99	258.01	0.8514	5.9	22.178	131.0486	1428.224
E2 TÇ	termalsu	24.71	71	103.61	0.3629	5.9	3.092	18.27087	515.8624
E2 ŞÇ	su	54.99	366	230.41	0.7674	5.6	17.846	99.14167	1189.444
E2 ŞG	su	15.71	362	66.25	0.2345	5.6	1.2988	7.215556	277.4444
E3 TG	termalsu	61.59	122	257.82	0.8508	4.2	22.154	92.30708	1006.292
E3 TÇ	termalsu	49.29	119	206.37	0.6942	4.2	14.082	58.67458	791.9167
E3 ŞÇ	su	50.4	385	211.24	0.7085	6.7	14.991	99.90618	1299.111
E3 ŞG	su	42.71	423	179.13	0.6079	6.7	10.747	71.62337	1085.114
E4 TG	termalsu	61.51	120	257.49	0.8498	4.2	22.101	92.08625	1004.917
E4 TÇ	termalsu	52.73	117	220.75	0.7386	4.2	16.163	67.34625	851.8333
E4 ŞÇ	su	49.46	375	207.3	0.6963	5.4	14.43	77.4054	1024.494
E4 ŞG	su	42.64	420	178.84	0.607	5.4	10.706	57.42993	871.8313
E5 TG	termalsu	60.56	124	253.51	0.8379	18.9	21.417	404.1746	4476.361
E5 TÇ	termalsu	35.39	107	148.27	0.5101	18.9	6.9776	131.679	2490.306
E5 ŞÇ	su	44.78	547	187.89	0.6352	52.8	11.945	630.4253	9055.611
E5 ŞG	su	35.78	595	150.33	0.5152	52.8	7.6249	402.4253	7073.278
E6 TG	termalsu	61.51	131	257.5	0.8498	52.4	22.111	1159.247	12645.4
E6 TÇ	termalsu	43.34	89	181.48	0.6164	52.4	10.743	563.2209	8659.734
E6 ŞÇ	su	44.29	435	185.74	0.6288	131.9	11.568	1526.294	22355.35
E6 ŞG	su	37.07	561	155.69	0.5326	131.9	8.1651	1077.34	18390.42

<b>DURUM 2'nin Devamı</b>									
E7 TG	termalsu	61.66	134	258.13	0.8517	51.7	22.214	1147.764	12494.25
E7 TÇ	termalsu	43.12	88	180.56	0.6135	51.7	10.626	549.0092	8486.398
E7 ŞÇ	su	44.13	420	185.06	0.6267	131.9	11.469	1513.324	22265.63
E7 ŞG	su	36.87	550	154.85	0.5299	131.9	8.073	1065.188	18279.58
P 1-5	su	36.3	580	152.49	0.5222	113.9	7.8459	893.5608	15509.39
P 1-5'	su	35.8	119	149.99	0.5156	113.9	7.1741	817.0503	15224.67
P 2	su	15.71	362	66.25	0.2345	5.6	1.2988	7.215556	277.4444
P 2'	su	15.2	51	63.82	0.2272	5.6	0.8909	4.949444	263.9444
P 3-4	su	42.6	422	178.67	0.6065	12.0	10.675	128.4032	1952.967
P 3-4'	su	42.1	205	176.39	0.5999	12.0	10.223	122.9686	1925.542
P 6-7	su	36.97	555	155.27	0.5312	263.9	8.1329	2146.182	36670
P 6-7'	su	36.4	134	152.52	0.5237	263.9	7.4604	1968.717	35944.31
P Sıcak su	termalsu	51.98	261	217.74	0.7289	8.3	15.84	132	1678.583
P Sıcak su'	termalsu	51.4	122	215.2	0.7215	8.3	15.35	127.915	1657.417
Ilık su	termalsu	40	81	167.51	0.572	19.4	9.0713	176.3864	2940
Kanalizasyon	termalsu	35	51	146.59	0.5048	27.8	6.7657	187.9361	3618.889
Reenjeksiyon	termalsu	41	81	171.69	0.5854	130.6	9.5395	1245.435	20285.72

DURUM 3									
	Akışkan	Sıcaklık	Basınç	Spesifik entalpi	Spesifik entropi	Debi	Spesifik ekserji	Ekserji oranı	Enerji oranı
		T	P	h	s	$\dot{m}$	$\psi$	$\dot{E}_x$	$\dot{E}$
No		(°C)	(kPa)	(kJ/kg)	(kJ/kgK)	(kg/s)	(kJ/kg)	(kW)	(kW)
0	ölü hal	7.1	101.325	29.92	0.1077	-	-	-	-
G8	termalsu	56.7	182	237.41	0.7892	25.0	16.67	416.75	5187.25
G8'	termalsu	56.2	81	235.24	0.7829	25.0	16.264	406.6	5133
G9	termalsu	94	203	393.86	1.2385	6.9	47.316	328.5833	2527.361
G9'	termalsu	93.8	81	391.67	1.2328	6.9	46.722	324.4583	2512.153
G10	termalsu	60.2	182	252.06	0.8334	25.0	18.944	473.6	5553.5
G10'	termalsu	59.7	81	249.88	0.8271	25.0	18.528	463.2	5499
G13	termalsu	60	162	251.2	0.8309	25.0	18.784	469.6	5532
G13'	termalsu	59.5	81	249.04	0.8246	25.0	18.388	459.7	5478
G16	termalsu	80	182	335.02	1.0751	26.4	34.228	903.2389	8051.25
G16'	termalsu	79.5	81	332.84	1.0692	26.4	33.7	889.3056	7993.722
G17	termalsu	62	162	259.57	0.8559	26.4	20.154	531.8417	6060.208
G17'	termalsu	61.5	81	257.41	0.8497	26.4	19.73	520.6528	6003.208
E1 TG	termalsu	64	106	267.9	0.8808	18.3	21.512	392.6368	4343.608
E1 TÇ	termalsu	39.96	89	167.35	0.5715	18.3	7.566	138.0945	2508.371
E1 ŞÇ	su	46.54	489	195.19	0.6582	61.1	11.13	680.1667	10099.83
E1 ŞG	su	39.36	540	165.24	0.5633	61.1	7.752	473.7333	8269.556
E2 TG	termalsu	63.62	110	266.31	0.8761	5.0	21.238	107.2188	1193.401
E2 TÇ	termalsu	21.99	85	92.25	0.3245	5.0	1.626	8.208768	314.6694
E2 ŞÇ	su	51.66	270	216.41	0.7248	5.6	13.702	76.12222	1036.056
E2 ŞG	su	13.83	301	58.32	0.2072	5.6	0.54	3	157.7778
E3 TG	termalsu	64.05	117	268.12	0.8815	4.2	21.536	89.73333	992.5
E3 TÇ	termalsu	48.11	123	201.44	0.6789	4.2	11.584	48.26667	714.6667
E3 ŞÇ	su	46.07	394	193.15	0.6521	14.1	10.798	152.2648	2301.739
E3 ŞG	su	41.36	427	173.5	0.59	14.1	8.536	120.3679	2024.651
E4 TG	termalsu	63.99	119	267.87	0.8807	4.2	21.51	89.625	991.4583
E4 TÇ	termalsu	51.98	124	217.62	0.729	4.2	13.736	57.23333	782.0833
E4 ŞÇ	su	46.23	375	193.8	0.6542	11.6	10.86	126.3843	1907.169
E4 ŞG	su	41.93	415	175.87	0.5976	11.6	8.778	102.1548	1698.507
E5 TG	termalsu	62.92	114	263.38	0.8674	15.6	20.744	323.7471	3643.56
E5 TÇ	termalsu	37.76	99	158.17	0.542	15.6	6.646	103.7227	2001.57
E5 ŞÇ	su	46.8	510	196.3	0.6616	52.8	11.288	595.7556	8781.167
E5 ŞG	su	39.36	552	165.25	0.5633	52.8	7.762	409.6611	7142.417
E6 TG	termalsu	64	111	267.9	0.8808	42.6	21.512	916.1097	10134.61
E6 TÇ	termalsu	43.68	90	182.9	0.6209	42.6	9.284	395.3683	6514.804
E6 ŞÇ	su	47.2	436	197.91	0.6669	118.1	11.414	1347.486	19832.15
E6 ŞG	su	39.87	552	167.38	0.5701	118.1	7.988	943.0278	16227.92
E7 TG	termalsu	64.23	113	268.87	0.8837	44.2	21.67	956.8604	10551.07
E7 TÇ	termalsu	43.67	87	182.85	0.6207	44.2	9.29	410.2092	6752.776

<b>DURUM 3'ün Devamı</b>									
E7 ŞÇ	su	47.2	427	197.9	0.6669	118.1	11.404	1346.306	19830.97
E7 ŞG	su	39.51	540	165.87	0.5653	118.1	7.822	923.4306	16049.65
P 1-5	su	39.3	575	165.02	0.5625	113.9	7.756	883.3222	15386.39
P 1-5'	su	38.8	80	162.5	0.556	113.9	7.056	803.6	15099.39
P 2	su	13.83	392	58.42	0.2072	5.6	0.64	3.555556	158.3333
P 2'	su	13.3	51	55.86	0.1995	5.6	0.236	1.311111	144.1111
P 3-4	su	41.6	414	174.49	0.5932	25.7	8.63	222.1258	3721.058
P 3-4'	su	41.1	188	172.2	0.5867	25.7	8.16	210.0286	3662.116
P 6-7	su	39.6	563	166.26	0.5665	236.1	7.876	1859.611	32191.39
P 6-7'	su	39.1	146	163.81	0.56	236.1	7.246	1710.861	31612.92
P Sıcak su	termalsu	50.55	211	211.72	0.7105	8.3	13.016	108.4667	1515
P Sıcak su'	termalsu	50	91	209.32	0.7034	8.3	12.604	105.0333	1495
Ilık su	termalsu	38	81	159.15	0.5453	19.4	6.702	130.3167	2512.806
Kanalizasyon	termalsu	35	51	146.59	0.5048	27.8	5.482	152.2778	3240.833
Reenjeksiyon	termalsu	40	81	167.51	0.572	106.9	7.586	811.2806	14714.49

DURUM 4									
	Akışkan	Sıcaklık	Basınç	Spesifik entalpi	Spesifik entropi	Debi	Spesifik ekserji	Ekserji oranı	Enerji oranı
		T	P	h	s	$\dot{m}$	$\psi$	$\dot{E}_x$	$\dot{E}$
No		(°C)	(kPa)	(kJ/kg)	(kJ/kgK)	(kg/s)	(kJ/kg)	(kW)	(kW)
0	ölü hal	9.63	101.325	40.54	0.1454	-	-	-	-
G8	termalsu	56.8	142	237.8	0.7905	19.4	14.697	285.7692	3835.611
G8'	termalsu	56.3	81	235.66	0.7842	19.4	14.34	278.8256	3794
G10	termalsu	70	152	293.06	0.9547	22.2	23.488	521.9578	5611.556
G10'	termalsu	69.5	81	290.91	0.9486	22.2	23.064	512.5422	5563.778
G13	termalsu	61	162	255.39	0.8434	22.2	17.316	384.8	4774.444
G13'	termalsu	60.5	81	253.23	0.8372	22.2	16.911	375.7911	4726.444
G16	termalsu	80.2	122	335.81	1.0775	25.0	31.486	787.1425	7381.75
G16'	termalsu	79.7	81	333.68	1.0716	25.0	31.025	775.635	7328.5
G17	termalsu	63.8	152	267.1	0.8783	25.0	19.149	478.7325	5664
G17'	termalsu	63.3	81	264.95	0.8722	25.0	18.726	468.14	5610.25
E1 TG	termalsu	64.02	89	266.21	0.8759	15.3	18.939	290.0012	3455.637
E1 TÇ	termalsu	38.63	75	161.78	0.5537	15.3	5.6911	87.1466	1856.522
E1 ŞÇ	su	44.6	450	187.05	0.6328	59.7	8.5758	512.1658	8749.903
E1 ŞG	su	38.09	513	162.21	0.5537	59.7	6.1211	365.5657	7266.403
E2 TG	termalsu	63.54	89	265.96	0.8751	6.5	18.915	122.4992	1459.895
E2 TÇ	termalsu	23.96	68	100.47	0.3523	6.5	1.3773	8.919856	388.1267
E2 ŞÇ	su	42.1	289	196.94	0.6643	11.1	9.5513	106.1256	1737.778
E2 ŞG	su	19.03	357	80.13	0.2823	11.1	0.8473	9.414444	439.8889
E3 TG	termalsu	64.26	74	264.94	0.8722	3.1	18.716	57.18656	685.6667
E3 TÇ	termalsu	49.16	64	205.78	0.6926	3.1	10.382	31.724	504.9
E3 ŞÇ	su	54.77	50	229.23	0.7647	5.1	13.428	68.91631	968.4034
E3 ŞG	su	45.78	394	191.94	0.6483	5.1	9.0793	46.5972	777.022
E4 TG	termalsu	64.15	75	264.32	0.8733	3.1	17.784	54.34092	683.7722
E4 TÇ	termalsu	52.8	67	221	0.7395	3.1	12.33	37.67408	551.4056
E4 ŞÇ	su	52.34	48	219.06	0.7336	5.3	12.059	63.46384	939.4799
E4 ŞG	su	45.75	386	191.8	0.648	5.3	9.0242	47.49078	796.0214
E5 TG	termalsu	63.52	84	265.87	0.8749	11.9	18.882	223.832	2671.19
E5 TÇ	termalsu	36.6	77	153.3	0.5264	11.9	4.937	58.52601	1336.721
E5 ŞÇ	su	44.3	470	185.82	0.6289	51.4	8.4495	434.2104	7465.778
E5 ŞG	su	38.09	520	161.8	0.5524	51.4	6.079	312.3931	6231.417
E6 TG	termalsu	64.16	92	264.37	0.8704	36.2	18.655	674.7323	8095.703
E6 TÇ	termalsu	40.4	88	169.19	0.5774	36.2	6.394	231.2645	4653.139
E6 ŞÇ	su	47.8	323	200.32	0.6748	104.2	9.9598	1037.479	16643.75
E6 ŞG	su	39.55	459	165.96	0.5659	104.2	6.4185	668.5938	13064.58
E7 TG	termalsu	64.34	94	264.37	0.8704	35.8	18.655	668.01	8015.046
E7 TÇ	termalsu	40.05	86	167.72	0.5727	35.8	6.2541	223.9508	4554.142
E7 ŞÇ	su	47.9	324	200.74	0.6761	104.2	10.012	1042.906	16687.5
E7 ŞG	su	39.55	446	165.95	0.5659	104.2	6.4085	667.5521	13063.54

<b>DURUM 4'ün Devamı</b>									
P 1-5	su	38	516	159.54	0.5451	111.1	5.8849	653.8778	13222.22
P 1-5'	su	37.5	82	157.07	0.5386	111.1	5.2544	583.8222	12947.78
P 2	su	19.03	357	80.13	0.2823	11.1	0.8473	9.414444	439.8889
P 2'	su	18.5	51	77.63	0.2748	11.1	0.4698	5.22	412.1111
P 3-4	su	45.7	390	191.6	0.6473	10.4	9.0223	93.78545	1570.246
P 3-4'	su	45.2	173	189.32	0.6408	10.4	8.5818	89.20651	1546.546
P 6-7	su	39.5	446	165.74	0.5652	208.3	6.3966	1332.625	26083.33
P 6-7'	su	39	138	163.38	0.5587	208.3	5.8761	1224.188	25591.67
P Sıcak su	termalsu	51.11	203	214.05	0.7177	7.8	11.549	89.82633	1349.522
P Sıcak su'	termalsu	50.61	81	211.86	0.7113	7.8	11.17	86.88011	1332.489
Ilık su	termalsu	40	71	167.5	0.572	19.4	6.2322	121.1817	2468.667
Kanalizasyon	termalsu	35	51	146.59	0.5048	27.2	4.3398	118.139	2886.917
Reenjeksiyon	termalsu	39	71	163.32	0.5587	86.7	5.8161	504.062	10640.93



DURUM 5									
	Akışkan	Sıcaklık	Basınç	Spesifik entalpi	Spesifik entropi	Debi	Spesifik ekserji	Ekserji oranı	Enerji oranı
		T	P	h	s	$\dot{m}$	$\psi$	$\dot{E}_x$	$\dot{E}$
No		(°C)	(kPa)	(kJ/kg)	(kJ/kgK)	(kg/s)	(kJ/kg)	(kW)	(kW)
0	ölü hal	11.83	101.325	49.76	0.1779	-	-	-	-
G10	termalsu	71.5	152	299.35	0.973	20.8	22.987	478.8854	5199.792
G10'	termalsu	71	81	297.2	0.9669	20.8	22.575	470.3125	5155
G13	termalsu	63.6	142	266.25	0.8759	20.8	17.56	365.8333	4510.208
G13'	termalsu	63.1	81	264.11	0.8697	20.8	17.187	358.0625	4465.625
G16	termalsu	80.2	152	335.83	1.0775	23.6	29.684	700.8722	6754.431
G16'	termalsu	79.7	81	333.68	1.0716	23.6	29.216	689.8104	6703.667
G17	termalsu	63.7	172	266.7	0.8771	25.0	17.668	441.7	5423.5
G17'	termalsu	63.2	81	264.53	0.8709	25.0	17.265	431.625	5369.25
E1 TG	termalsu	66.59	92	278.73	0.9129	10.7	19.495	207.9563	2442.46
E1 TÇ	termalsu	39.56	87	165.68	0.5662	10.7	5.2545	56.05059	1236.537
E1 ŞÇ	su	44.99	379	188.62	0.638	55.6	7.7315	429.5278	7714.444
E1 ŞG	su	39.8	427	166.98	0.5692	55.6	5.6995	316.6389	6512.222
E2 TG	termalsu	66.23	88	277.22	0.9085	6.3	19.239	120.8317	1428.577
E2 TÇ	termalsu	26.92	69	112.85	0.3938	6.3	1.5585	9.788256	396.2407
E2 ŞÇ	su	44.94	390	188.42	0.6373	11.1	7.731	85.9	1540.667
E2 ŞG	su	22.72	431	95.62	0.3348	11.1	1.1435	12.70556	509.5556
E3 TG	termalsu	66.67	75	279.05	0.9139	2.5	19.53	48.825	573.225
E3 TÇ	termalsu	50.12	60	209.79	0.705	2.5	9.8065	24.51625	400.075
E3 ŞÇ	su	55.13	54	230.74	0.7693	6.0	12.431	74.86647	1089.963
E3 ŞG	su	48.26	412	202.32	0.6807	6.0	9.262	55.78097	918.802
E4 TG	termalsu	66.58	74	278.68	0.9128	2.5	19.474	48.68375	572.3
E4 TÇ	termalsu	53.27	60	222.96	0.7455	2.5	11.434	28.585	433
E4 ŞÇ	su	53.58	53	224.25	0.7495	6.2	11.584	72.04815	1085.263
E4 ŞG	su	48.23	403	202.18	0.6803	6.2	9.236	57.44447	947.9954
E5 TG	termalsu	66.03	85	276.38	0.906	7.1	19.112	134.9425	1600.119
E5 TÇ	termalsu	39.77	84	166.55	0.569	7.1	5.3265	37.60936	824.6311
E5 ŞÇ	su	44.17	389	185.2	0.6272	41.7	7.3895	307.8958	5643.333
E5 ŞG	su	39.72	417	166.64	0.5682	41.7	5.6445	235.1875	4870
E6 TG	termalsu	66.58	92	278.69	0.9128	31.8	19.484	620.2436	7287.826
E6 TÇ	termalsu	40.73	91	170.57	0.5818	31.8	5.6985	181.4078	3845.902
E6 ŞÇ	su	48.26	329	202.25	0.6807	104.2	9.192	957.5	15884.38
E6 ŞG	su	40.36	435	169.32	0.5767	104.2	5.902	614.7917	12454.17
E7 TG	termalsu	66.8	96	279.62	0.9155	27.0	19.644	530.5093	6207.639
E7 TÇ	termalsu	40.61	94	170.07	0.5802	27.0	5.6545	152.7064	3249.113
E7 ŞÇ	su	47.1	327	197.4	0.6656	104.2	8.6455	900.5729	15379.17
E7 ŞG	su	40.31	419	169.1	0.576	104.2	5.8815	612.6563	12431.25
P 1-5	su	39.7	422	166.56	0.5679	97.2	5.65	549.3056	11355.56
P 1-5'	su	39.23	88	164.3	0.5618	97.2	5.1285	498.6042	11135.83

<b>DURUM 5'in Devamı</b>									
P 2	su	22.7	431	95.54	0.3345	11.1	1.149	12.76667	508.6667
P 2'	su	22.2	51	93.1	0.3275	11.1	0.704	7.822222	481.5556
P 3-4	su	48.2	405	202.06	0.6799	12.2	9.23	112.9954	1864.485
P 3-4'	su	47.7	190	199.79	0.6735	12.2	8.784	107.5354	1836.695
P 6-7	su	40.3	427	169.07	0.5759	208.3	5.88	1225	24856.25
P 6-7'	su	39.8	121	166.71	0.5694	208.3	5.3725	1119.271	24364.58
P Sıcak su	termalsu	51.23	253	214.6	0.7192	6.9	10.57	73.39931	1144.722
P Sıcak su'	termalsu	50.7	81	212.24	0.7125	6.9	10.119	70.27083	1128.333
Ilık su	termalsu	40	71	167.5	0.572	22.2	5.4215	120.4778	2616.444
Kanalizasyon	termalsu	35	51	146.59	0.5048	29.2	3.6635	106.8521	2824.208
Reenjeksiyon	termalsu	39	71	163.32	0.5587	61.1	5.032	307.5111	6939.778

DURUM 6									
	Akışkan	Sıcaklık	Basınç	Spesifik entalpi	Spesifik entropi	Debi	Spesifik ekserji	Ekserji oranı	Enerji oranı
		T	P	h	s	$\dot{m}$	$\psi$	$\dot{E}_x$	$\dot{E}$
No		(°C)	(kPa)	(kJ/kg)	(kJ/kgK)	(kg/s)	(kJ/kg)	(kW)	(kW)
0	ölü hal	15.26	101.325	64.12	0.228	-	-	-	-
G10	termalsu	71.5	152	299.35	0.973	19.4	20.67	401.9167	4573.917
G10'	termalsu	71	81	297.2	0.9669	19.4	20.277	394.2711	4532.111
G16	termalsu	80.2	152	335.83	1.0775	20.8	27.054	563.625	5660.625
G16'	termalsu	79.7	81	333.68	1.0716	20.8	26.603	554.2333	5615.833
G17	termalsu	63.7	122	266.66	0.8771	22.2	15.599	346.6489	4500.889
G17'	termalsu	63.2	81	264.53	0.8709	22.2	15.255	338.9956	4453.556
E1 TG	termalsu	70.2	96	293.86	0.9572	16.6	19.73	326.7413	3804.562
E1 TÇ	termalsu	40.43	85	169.31	0.5778	16.6	4.4476	73.65357	1741.977
E1 ŞÇ	su	47.66	295	199.71	0.673	70.8	7.43	526.2917	9604.292
E1 ŞG	su	40.7	400	170.71	0.5812	70.8	4.8684	344.845	7550.125
E2 TG	termalsu	69.21	97	289.71	0.9451	8.7	19.065	166.0659	1964.984
E2 TÇ	termalsu	25.38	84	106.42	0.3723	8.7	0.7416	6.459649	368.4508
E2 ŞÇ	su	55.73	372	233.51	0.7768	11.1	11.336	125.9511	1882.111
E2 ŞG	su	21.37	424	89.97	0.3157	11.1	0.5924	6.582222	287.2222
E3 TG	termalsu	69.32	89	290.17	0.9464	1.4	19.151	26.59833	313.9583
E3 TÇ	termalsu	54.15	96	226.68	0.7568	1.4	10.266	14.25778	225.7778
E3 ŞÇ	su	53.56	59	224.18	0.7493	7.0	9.9256	69.70896	1124.125
E3 ŞG	su	50.56	408	211.93	0.7105	7.0	8.85	62.15486	1038.092
E4 TG	termalsu	69.23	90	289.79	0.9453	1.4	19.088	26.51056	313.4306
E4 TÇ	termalsu	57.45	95	240.48	0.7987	1.4	11.998	16.66444	244.9444
E4 ŞÇ	su	54.64	58	228.69	0.7631	4.0	10.461	41.54293	653.5311
E4 ŞG	su	50.52	399	211.75	0.71	4.0	8.814	35.00166	586.2599
E6 TG	termalsu	69.05	101	289.04	0.9431	14.3	18.971	272.0649	3225.565
E6 TÇ	termalsu	41.89	105	175.43	0.5972	14.3	4.9804	71.42363	1596.29
E6 ŞÇ	su	46.75	275	195.89	0.6611	79.2	7.0372	557.1117	10431.79
E6 ŞG	su	41.83	352	175.39	0.5963	79.2	5.1996	411.635	8808.875
E7 TG	termalsu	69.3	102	290.09	0.9462	15.3	19.128	292.611	3456.709
E7 TÇ	termalsu	42.13	101	176.43	0.6004	15.3	5.0588	77.38549	1718.029
E7 ŞÇ	su	47.08	273	197.27	0.6654	79.2	7.1788	568.3217	10541.04
E7 ŞG	su	41.83	339	175.38	0.5963	79.2	5.1896	410.8433	8808.083
P 1-5	su	40.7	400	170.71	0.5812	70.8	4.8684	344.845	7550.125
P 1-5'	su	40.2	88	168.35	0.5747	70.8	4.3804	310.2783	7382.958
P 2	su	21.37	424	89.97	0.3157	11.1	0.5924	6.582222	287.2222
P 2'	su	20.8	51	87.25	0.3076	11.1	0.2052	2.28	257
P 3-4	su	50.5	403	211.67	0.7097	11.0	8.8204	96.97405	1622.208
P 3-4'	su	50	187	209.4	0.7034	11.0	8.3648	91.96505	1597.251
P 6-7	su	41.8	346	175.26	0.5959	158.3	5.1848	820.9267	17597.17
P 6-7'	su	41.3	128	172.98	0.5893	158.3	4.8056	760.8867	17236.17

<b>DURUM 6'nın Devamı</b>									
P Sıcak su	termalsu	56.97	303	238.64	0.7926	6.9	11.915	82.74444	1211.944
P Sıcak su'	termalsu	56.4	91	236.08	0.7854	6.9	11.429	79.36667	1194.167
Ilık su	termalsu	42	81	175.87	0.5986	22.2	5.0172	111.4933	2483.333
Kanalizasyon	termalsu	35	51	146.59	0.5048	29.2	2.7516	80.255	2405.375
Reenjeksiyon	termalsu	40	81	167.51	0.572	26.4	4.318	113.9472	2728.347

DURUM 7									
	Akışkan	Sıcaklık	Basınç	Spesifik entalpi	Spesifik entropi	Debi	Spesifik ekserji	Ekserji oranı	Enerji oranı
		T	P	h	s	$\dot{m}$	$\psi$	$\dot{E}_x$	$\dot{E}$
No		(°C)	(kPa)	(kJ/kg)	(kJ/kgK)	(kg/s)	(kJ/kg)	(kW)	(kW)
0	ölü hal	18.45	101.325	77.47	0.2741	-	-	-	-
G8	termalsu	56.9	142	238.22	0.7918	19.4	10.099	196.3753	3125.694
G8'	termalsu	56.4	81	236.07	0.7854	19.4	9.8117	190.7831	3083.889
G17	termalsu	64.7	132	270.83	0.8895	25.0	14.279	356.965	4834
G17'	termalsu	64.2	81	268.72	0.8833	25.0	13.973	349.32	4781.25
E1 TG	termalsu	59.41	84	248.63	0.8234	12.5	11.314	141.2627	2137.101
E1 TÇ	termalsu	47.52	76	198.94	0.6712	12.5	5.9139	73.84085	1516.672
E1 ŞÇ	su	52.87	135	221.35	0.7404	29.2	8.1867	238.7788	4196.5
E1 ŞG	su	47.78	157	200.09	0.6746	29.2	6.0745	177.1729	3576.417
E2 TG	termalsu	59.4	83	242.85	0.806	13.5	10.597	143.0475	2232.421
E2 TÇ	termalsu	35.62	47	149.18	0.5132	13.5	2.1319	28.77796	967.9945
E2 ŞÇ	su	53.89	237	225.71	0.7534	11.1	8.7637	97.37444	1647.111
E2 ŞG	su	25	296	105.03	0.3669	11.1	0.5552	6.168889	306.2222
E3 TG	termalsu	42.45	51	177.72	0.6046	5.6	4.0745	22.63611	556.9444
E3 TÇ	termalsu	34.75	47	145.55	0.5014	5.6	1.9357	10.75389	378.2222
E3 ŞÇ	su	34.94	72	146.36	0.504	12.0	1.9891	23.90148	827.7981
E3 ŞG	su	31.38	140	131.55	0.4554	12.0	1.3217	15.88185	649.8377
E4 TG	termalsu	42.38	51	177.43	0.6037	5.6	4.0464	22.48	555.3333
E4 TÇ	termalsu	35.06	48	146.84	0.5056	5.6	2.0035	11.13056	385.3889
E4 ŞÇ	su	33.39	73	139.88	0.4829	17.6	1.6492	29.03354	1098.704
E4 ŞG	su	31.08	131	130.28	0.4513	17.6	1.2448	21.91423	929.6999
E6 TG	termalsu	59.31	84	248.25	0.8222	13.5	11.283	152.5392	2308.861
E6 TÇ	termalsu	46.15	83	193.22	0.6533	13.5	5.4028	73.04317	1564.883
E6 ŞÇ	su	47.31	160	198.13	0.6684	58.3	5.9187	345.2575	7038.5
E6 ŞG	su	44.26	209	185.42	0.6285	58.3	4.8196	281.1433	6297.083
P 1-5	su	47.78	157	200.09	0.6746	29.2	6.0745	177.1729	3576.417
P 1-5'	su	47.2	74	197.6	0.6671	29.2	5.767	168.2042	3503.792
P 2	su	25	296	105.03	0.3669	11.1	0.5552	6.168889	306.2222
P 2'	su	24.5	51	102.72	0.3599	11.1	0.2822	3.135556	280.5556
P 3-4	su	31.23	135	130.91	0.4533	29.6	1.2928	38.29383	1582.938
P 3-4'	su	30.7	51	128.63	0.4461	29.6	1.108	32.8199	1515.403
P 6-7	su	44.26	209	185.42	0.6285	58.3	4.8196	281.1433	6297.083
P 6-7'	su	43.76	131	183.27	0.6219	58.3	4.5902	267.7617	6171.667
P Sıcak su	termalsu	59.33	239	248.46	0.8224	4.2	11.435	47.64458	712.4583
P Sıcak su'	termalsu	58.8	81	246.11	0.8158	4.2	11.005	45.85542	702.6667
Ilık su	termalsu	38	71	159.15	0.5453	40.3	2.7608	111.1989	3289.889
Kanalizasyon	termalsu	35	51	146.59	0.5048	44.4	1.9863	88.28	3072
Reenjeksiyon	termalsu	38	71	159.15	0.5453	kapalı	kapalı	kapalı	kapalı