

T.C.  
ERZİNCAN BİNALİ YILDIRIM ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DÜŞÜK SICAKLIKLI JEOTERMAL KAYNAĞIN  
KONUT VE SERA ISITMASINDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN  
ARAŞTIRILMASI VE TERMODİNAMİK ANALİZİ:  
ERZİNCAN-AKYAZI MODELİ

MUSTAFA ALPER YERLİKAYA

Danışman: Prof. Dr. Ahmet TANDIROĞLU

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI

ERZİNCAN  
2020  
Her Hakkı Saklıdır.

### Bilimsel Etiğe Uygunluk Sayfası

“Düşük Sıcaklıklı Jeotermal Kaynağın Konut ve Sera Isıtmasında Kullanılabilirliğinin Araştırılması ve Termodinamik Analizi: Erzincan-Akyazı Bölgesi” isimli “Yüksek Lisans” tezim tarafınca intihal tespit programı ile incelenmiştir. Buna göre tezimde bilimsel etik ihlali ve intihal olarak nitelendirilebilecek herhangi bir durum olmadığını taahhüt ederim.

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir biçimde elde edildiğini; aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi beyan ederim. 18/08/2020



**Mustafa Alper YERLİKAYA**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### **DÜŞÜK SICAKLIKLI JEOTERMAL KAYNAĞIN KONUT VE SERA ISITMASINDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI VE TERMODİNAMİK ANALİZİ: ERZİNCAN-AKYAZI BÖLGESİ**

MUSTAFA ALPER YERLİKAYA

Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi  
Fen Bilimler Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ahmet TANDIROĞLU

Enerji kaynaklarının sürdürülebilirliğinin sağlanması geçmişten günümüze en önemli konulardan birini oluşturmaktadır. Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan biokütle kullanılarak üretilen mevcut biyogaz ile düşük sıcaklıklı jeotermal kaynağın sıcaklığını artırılması, sıcaklığı artırılan jeotermal kaynağın enerjisinin konut ve sera ısıtılması için kullanılması, ayrıca aynı bölgedeki jeotermal kaplıca tesisinde kullanılması üzerine bir araştırma yapılmıştır.

Erzincan-Akyazı bölgesindeki jeotermal kaynak için tasarlanan tesisin enerji, entropi, ekserji, maliyet analizleri yapılarak sistem elemanlarının ve sistemin toplamının birinci ve ikinci yasa verimleri belirlenmiştir. Sistemin toplam birinci yasa verimi  $\eta_I=50,30$ , ikinci yasa verimi  $\eta_{II}=5,55$  olarak hesaplanmıştır. Yapılan araştırma sonucunda, Erzincan-Akyazı bölgesindeki jeotermal enerjinin biyogaz yakıtlı kazanda sıcaklığının artırılarak konut ısıtması, sera ve yüzme havuzunda kullanılarak değerlendirilmesi durumunda ısıtılacak konut sayısının 275 den 575'e ve sera alanının ise 27.500 m<sup>2</sup> den 57.500 m<sup>2</sup> ye artacağı belirlenmiştir. Tasarlanan tesisin ilk yatırım maliyetini yaklaşık olarak 83 ay içerisinde amorti edeceği hesaplanmıştır.

**2020, 68 Sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Biyogaz, Erzincan Jeotermal, Termodinamik Analiz, Yenilenebilir Enerji.

## ABSTRACT

Master Thesis

### LOW TEMPERATURE GEOTHERMAL SOURCE RESEARCH AND USE OF THERMODYNAMIC ANALYSIS OF THE USABILITY OF RESIDENCE AND GREENHOUSE HEATING: ERZİNCAN-AKYAZI REGION

MUSTAFA ALPER YERLİKAYA

Erzincan Binali Yıldırım University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ahmet TANDIROĞLU

Ensuring the sustainability of energy resources is one of the most important issues from the past to the present. In this study, a research was conducted on increasing the temperature of the low temperature geothermal source with the existing biogas produced by using biomass, which is one of the renewable energy sources, using the energy of the geothermal source whose temperature is increased.

Energy, entropy, exergy, cost analysis of the facility designed for geothermal resource in Erzincan-Akyazı region were made and the first and second law yields of the system elements and system were determined. The total first law efficiency of the system was calculated  $\eta_I=50,30$ , and the second law efficiency was  $\eta_{II}=5,55$ . As a result of the research, it was determined that if the geothermal energy in the Erzincan-Akyazı region was evaluated in biogas-fired boiler by increasing the temperature of the house heating, greenhouse and swimming pool, the number of houses that can be heated will increase from 275 to 575 and the greenhouse area from 27.500m<sup>2</sup> to 57.500m<sup>2</sup>. It was calculated that the designed facility will amortize the initial investment cost in approximately 83 months.

**2020, 68 Pages**

**Keywords:** Biogas, Erzincan Geothermal, Renewable Energy, Thermodynamic Analysis.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma boyunca yardımlarını benden hiç esirgemeyen, araştırma sürecinde bana yol gösteren, her türlü konuda yardımcı olan değerli danışmanım ve Makine Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Ahmet TANDIROĞLU Hoca' ma teşekkür ederim.

Tez süresince her türlü bilgi ve birikiminden yararlandığım değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Murat ÇETİN'e, Dr. Öğr. Üyesi Aslıhan KURNUÇ SEYHAN'a, ve Prof. Dr. Ertan BUYRUK'a ayrıca teşekkür ederim. Ayrıca tezin hazırlanması sırasında ve bu yaşıma kadar bana maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen değerli aileme yani annem Meryem YERLİKAYA, babam Mehmet Teoman YERLİKAYA, abim Murat Gökhan YERLİKAYA 'ya canı gönülden teşekkür ederim.

Mustafa Alper YERLİKAYA

Ağustos, 2020

# İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	viii
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. KURAMSAL TEMELLER.....</b>	<b>9</b>
2.1. Yenilenemeyen Enerji Kaynakları .....	9
2.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları .....	9
2.2.1. Güneş enerjisi.....	10
2.2.2. Rüzgâr enerjisi .....	10
2.2.3. Hidrojen enerjisi.....	11
2.2.4. Biyokütle enerjisi .....	11
2.2.4.1. Ormansal biyokütle .....	11
2.2.4.2. Tarımsal kökenli biyokütle .....	12
2.2.4.3. Atık biyokütle .....	13
2.2.5. Biyogaz enerjisi.....	15
2.2.6. Jeotermal enerji .....	15
2.3. Jeotermal Enerji Kullanım Alanları .....	18
2.3.1. Elektrik üretimi .....	18
2.3.1.1. Kuru – buhar çevrimleri .....	19
2.3.1.2 Tek ve çift püskürtmeli çevrimler .....	21
2.3.1.3. Binary çevrim.....	22
2.3.1.4. Kombine tek püskürtmeli Binary çevrimi.....	22
2.3.1.5. Bileşik püskürtmeli Binary çevrimi .....	23
2.3.2. Endüstriyel kullanımlar .....	27
2.3.3. Bölgesel ısıtma sistemleri .....	28
2.3.4. Sera uygulamaları .....	28
2.3.5. Kar ve buz çözme.....	31

2.3.6. Sağlık alanında kullanım.....	32
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>33</b>
3.1. Materyal .....	33
3.2. Yöntem.....	40
3.2.1. Termodinamik analizler .....	42
3.2.1.1. Enerji analizi .....	43
3.2.1.1.1. Kısılma vanası.....	45
3.2.1.1.2. Pompa.....	45
3.2.1.1.3. Isı değiştirici.....	46
3.2.1.1.4. Kazan.....	47
3.2.1.2. Entropi analizi .....	48
3.2.1.2.1. Kısılma vanası.....	49
3.2.1.2.2. Pompa.....	49
3.2.1.2.3. Isı değiştirici.....	50
3.2.1.2.4. Kazan.....	50
3.2.1.3. Ekserji analizi.....	51
3.2.1.3.1. Kısılma vanası.....	51
3.2.1.3.2. Pompa.....	52
3.2.1.3.3. Isı değiştirici.....	52
3.2.1.3.4. Kazan.....	52
3.2.1.4. Maliyet analizi.....	53
<b>4. ARAşTIRMA BULGULARI.....</b>	<b>57</b>
<b>5. SONUÇLAR .....</b>	<b>63</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>64</b>
<b>ÖZGEÇMİş.....</b>	<b>69</b>

## ŞEKİLLER LİSTESİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1. Güneş panelleri .....	10
Şekil 2.2. Rüzgâr türbinleri.....	11
Şekil 2.3. Türkiye'nin sıcak su kaynaklarının dağılımı .....	16
Şekil 2.4. Genelleştirilmiş biyokütle destekli jeotermal enerji santrali şeması. ....	18
Şekil 2.5. Kondensersiz kuru buhar çevrimli jeotermal elektrik santrali akış seması ....	20
Şekil 2.6. Kondenserli kuru buhar çevrimli jeotermal elektrik santrali akış seması.....	20
Şekil 2.7. Kombine tek püskürtmeli-binary çevrim jeotermal elektrik santrali.....	23
Şekil 2.8. İki fazlı jeotermal akışkandan elektrik üreten ORC .....	24
Şekil 2.9. Rotokawa jeotermal enerji santrali .....	25
Şekil 2.10. Rotokawa I hibrit jeotermal-biyokütle enerji santrali.....	26
Şekil 2.11. Tahıl kurutma sistemi .....	27
Şekil 2.12. Jeotermal Isıtılmalı Sera .....	29
Şekil 2.13. Sera altlarına yerleştirilen örnek bir boru sistemi.....	30
Şekil 2.14. Jeotermal enerjiden yararlanılan örnek bir sera.....	31
Şekil 2.15. Amerika'da jeotermal ile kar ve buz çözme tekniği.....	31
Şekil 2.16. Termal kaplıca .....	32
Şekil 2.17. Dünya'da doğrudan kullanımın kapasite dağılımı (MWt) .....	32
Şekil 3.1. Erzincan atık depolama sahası.....	34
Şekil 3.2. Erzincan ilinin geleceğe yönelik tahmini atık çöp miktarı .....	35
Şekil 3.3. Erzincan'ın aylara göre ısı dağılım grafiği .....	36
Şekil 3.4. Erzincan ili kurulu biyogaz toplama sistemi şematik gösterimi.....	37
Şekil 3.5. Erzincan ili kurulu atık deponi yerleşim çizimi.....	37
Şekil 3.6. Erzincan Ekşisu jeotermal kaynağının sıcaklık derinlik değişimi.....	39
Şekil 3.7. Erzincan jeotermal kaynağı .....	39
Şekil 3.8. Bu çalışmada tasarlanan sistemin şematik gösterimi .....	42
Şekil 3.9. Kısılma vanasının şematik gösterimi.....	45
Şekil 3.10. Pompaların şematik gösterimi .....	45
Şekil 3.11. Isı değiştirici şematik gösterimi.....	46
Şekil 3.12. Kazan şematik gösterimi .....	48
Şekil 4.1. Erzincan-Akyazı bölgesi biyogaz destekli jeotermal akışkan ile konut ve sera ısıtma uygulaması şematik gösterimi .....	57



## TABLolar LİSTESİ

Sayfa

<b>Tablo 2.1.</b> Jeotermal akışkanların sıcaklıklarına bağlı olarak kullanım alanları.....	17
<b>Tablo 2.2.</b> 2015 Orman Genel Müdürlüğü verileri ile Türkiye'nin orman potansiyeli	12
<b>Tablo 2.3.</b> 2018 Yılı itibari ile Türkiye tarıma dayalı enerji verileri.....	13
<b>Tablo 2.4.</b> Günlük atık çöp miktarına bağlı olarak elde edilen atık enerji potansiyeli ..	14
<b>Tablo 2.5.</b> 2017 TÜİK verileri ile Türkiye geneli hayvansal atık enerji potansiyeli.....	14
<b>Tablo 2.6.</b> Türkiye'de elektrik üretimine uygun jeotermal sahalar .....	19
<b>Tablo 2.7.</b> Şekil 2.10'daki sistemin ekipmanları ve görevleri.....	27
<b>Tablo 3.1.</b> Erzincan ilinin geçmişe yönelik nüfus tablosu .....	34
<b>Tablo 3.2.</b> Erzincan ili aylara göre günlük atık çöp miktarı.....	36
<b>Tablo 3.3.</b> Erzincan jeotermal kuyusunda yapılan ölçüm sonuçları.....	38
<b>Tablo 3.4.</b> Enerji ve ekserji kıyaslaması.....	43
<b>Tablo 3.5.</b> Sistem elemanlarının verimlerinin tablo halinde gösterimi .....	53
<b>Tablo 4.1.</b> Erzincan-Akyazı bölgesi biyogaz destekli jeotermal akışkan ile konut ve sera ısıtma sisteminin Termodinamik özellikleri .....	58
<b>Tablo 4.2.</b> Erzincan-Akyazı bölgesi biyogaz destekli jeotermal akışkan ile konut ve sera ısıtma sisteminin ve sistem elemanlarının toplam verimleri .....	58
<b>Tablo 4.3.</b> Erzincan-Akyazı bölgesi biyogaz destekli jeotermal akışkan ile konut ve sera ısıtma sisteminin Termodinamik analiz parametre sonuçları .....	59
<b>Tablo 4.4.</b> Biyogaz ve jeotermal kaynağın ısıtılacak alan ve konut sayısına katkısı ....	60
<b>Tablo 4.5.</b> Erzincan Biyogaz işletme maliyet tablosu .....	60
<b>Tablo 4.6.</b> Akyazı bölgesi konut ısıtması için 6 km ağ şebeke yapım maliyeti .....	61
<b>Tablo 4.7.</b> Erzincan jeotermal kaplıcanın ekonomik analizi .....	61
<b>Tablo 4.8.</b> Erzincan-Akyazı bölgesi uygulaması jeotermal tesisinin maliyet tablosu....	62
<b>Tablo 4.9.</b> Erzincan-Akyazı bölgesi jeotermal tesisinin uygulaması yıllık bilançosu ...	62

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

$A_{w,biyo}$	Biyogaz kullanılarak ısıtılacak alanı ifade etmektedir ( $m^2$ )
$A_{w/o,biyo}$	Biyogaz kullanılmadan ısıtılacak alanı ifade etmektedir ( $m^2$ )
$C_p$	Özgül ısı ( $kJ/kg K$ )
$e$	Özgül akış ekserjisi ( $kJ/kg$ )
$\dot{E}$	Birim zamandaki ekserji ( $kW$ )
$\dot{E}_{kv}$	Kısılma vanasındaki ekserji kaybı ( $kW$ )
$\dot{E}_{p1}$	1. Pompanın birim zamandaki ekserji kaybı ( $kW$ )
$\dot{E}_{p2}$	2. Pompanın birim zamandaki ekserji kaybı ( $kW$ )
$\dot{E}_{id}$	Isı değiştiricinin birim zamandaki ekserji kaybı ( $kW$ )
$\dot{E}_k$	Kazanın birim zamandaki ekserji kaybı ( $kW$ )
$\dot{E}_{biyo}$	Kazana giren biyogazın birim zamandaki ekserjisi ( $kW$ )
$s$	Özgül Entropi ( $kJ/kg K$ )
$\dot{S}$	Birim zamandaki Entropi ( $kW/K$ )
$\dot{S}_{\text{üretimi},kv}$	Kısılma vanası birim zamandaki entropi üretimi ( $kW/K$ )
$\dot{S}_{\text{üretimi},id}$	Isı değiştirici birim zamandaki entropi üretimi ( $kW/K$ )
$\dot{S}_{\text{üretimi},P1}$	Birinci pompadaki birim zamandaki entropi üretimi ( $kW/K$ )
$\dot{S}_{\text{üretimi},P2}$	İkinci pompadaki birim zamandaki entropi üretimi ( $kW/K$ )
$\dot{S}_{\text{üretimi},k}$	Kazandaki birim zamandaki entropi üretimi ( $kW/K$ )
$t$	Sıcaklık ( $^{\circ}C$ )
$T_C$	Jeotermalın kazana giriş sıcaklığı ( $K$ )
$T_H$	Jeotermalın kazandan çıkış sıcaklığı ( $K$ )
$T_0$	Dış ortam sıcaklığı ( $K$ )
$T_i$	İç ortam sıcaklığı ( $K$ )
$h$	Özgül entalpi ( $kJ/kg$ )
$L_{\text{boru}}$	Kullanılacak borunun uzunluğu ( $km$ )
$\dot{m}_j$	Jeotermal akışkanın kütleli debisi ( $kg/s$ )
$\dot{m}_w$	Sistemdeki dolaşacak olan suyun kütleli debisi ( $kg/s$ )

$\dot{m}_{biyo}$	Biyogazın kütleli debisi (kg/s)
$n_{toplama}$	Isıtılabilecek toplam konut sayısı (adet)
$\eta_I$	Termodinamiğin 1. yasa verimi
$\eta_{II}$	Termodinamiğin 2. yasa verimi
$\eta_{boru}$	Boru hattı verimi
$\eta_{hyd}$	Hidrolik verim
$\eta_y$	Biyogaz yanma verimi
$n_{w,biyo}$	Biyogaz kullanılarak ısıtılacak konut sayısı
$n_{w/o,biyo}$	Biyogaz kullanılmadan ısıtılacak konut sayısı
$P_{hyd}$	Pompa hidrolik basıncı (Pa)
$V$	Hız (m/s)
$v$	Özgül hacim ( $m^3/kg$ )
$\dot{W}_{100}$	TS 2164'e göre $100 m^2$ alanı ısıtmak için gerekli olan enerji (kW)
$\dot{W}_{kh}$	Kontrol hacimdeki birim zamandaki iş (kW)
$\dot{W}_T$	Türbin gücü (kW)
$W_{gerçek}$	Gerçek iş (kJ)
$W_{Tersinir}$	Tersinir iş (kJ)
$\dot{W}_{kayıp,P2}$	İkinci pompa mesafeden dolayı oluşacak kayıp iş (kW)
$\dot{Q}$	Güç (kW)
$\dot{Q}_{j,35^\circ C}$	$35^\circ C$ jeotermal akışkanın birim zamandaki sahip olduğu enerji (kW)
$\dot{Q}_{j,75^\circ C}$	$75^\circ C$ jeotermal akışkanın birim zamandaki sahip olduğu enerji (kW)
$\dot{Q}_{w,70^\circ C}$	$70^\circ C$ konut ısıtma suyunun birim zamandaki sahip olduğu enerji (kW)
$Q_{biyo}$	Biyogazın hacimsel debisi ( $m^3/s$ )
$\dot{Q}_{kh}$	Kontrol hacimdeki birim zamandaki ısı (kW)
$H_u$	Biyogazın alt ısı değeri ( $kW/m^3$ )
$J_{35}$	$35^\circ C$ Sıcaklıktaki ( $1kg/s$ ) jeotermalin enerjisi (kJ)

### Kısaltmalar

A	Soğutma suyu
ABD	Amerika Birleşik Devletleri

BM-SH	Biyokütle – Süper ısıtıcı
BT	Buhar türbini
C	Kondanser
CBS	Coğrafi bilgi sistemi
CP	Kondanser pompası
DA	Şiddetli buhar ayırıştırıcısı
DH	Bölgesel ısıtma
E	Evaporatör
EES	Mühendislik denklem çözücü
EDT	Elektriksel direnç tomografisi
EVTSC	Boşaltılmış tüp güneş kolektörleri
FEM	Sonlu elemanlar yöntemi
GSS	Kaplıcadaki günlük seans sayısı
HHV	Yüksek ısı değer
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı
KS	Kaplıcada bulunan kabin sayısı
MTA	Maden Tetkik ve Arama
ORC	Organik Rankine Çevrimi
P	Basınç göstergesi (kPa)
PH	Ön ısıtıcı
SASA	Sürekli akışlı sürekli açık sistem
SF	Kaplıca saatlik fiyatı
TCMB	Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası
JESDER	Jeotermal elektrik santral yatırımcıları derneği
YE	Yenilenebilir enerji
YK	Jeotermal kuyu isimleri

## 1. GİRİŞ

Enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği geçmişten bugüne dünya ülkelerinin üzerinde durduğu en önemli konulardan biridir. Dünya üzerinde bulunan ülkelerin tamamına yakını enerji ihtiyacını kömür, gaz ve petrol gibi fosil kökenli ve yenilenemeyen enerji kaynaklarından tedarik etmektedir. Üretilen enerji ile tüketilen enerji arasındaki fark ise giderek açılmaktadır. Bu enerji açığının artış hızını yavaşlatmak amacıyla mevcut kaynakların daha akılcı bir şekilde kullanılması, enerji tasarrufu sağlanması, mevcut üretim sahalarındaki üretiminin artırılması, ilave arama çalışmalarının yapılması, yeni sahalar keşfederek ekonomik görülen sahaların üretime açılması ve alternatif olarak temiz enerji kaynaklarının değerlendirilmesi planlanmalıdır (Tamyerli, 2007).

Yenilenemeyen enerji kaynaklarının da hızla tükenmesi, insanlığı maliyeti düşük ve çevreye yok denecek kadar az zararı olan yenilenebilir enerji kaynaklarını daha iyi ve çeşitli şekillerde kullanmaya itmiştir. Bunun sonucunda Türkiye kendi içerisinde var olan enerji kaynaklarını en iyi, ekonomik ve maksimum şekilde yararlanmayı sağlayacak şekilde değerlendirmek ve sadece fosil kökenli kaynakları değil diğer alternatif enerji kaynaklarını da kullanmak durumundadır. Ayrıca dünyada bilinen petrol rezervlerinin 40 yıl, doğalgazın 61 yıl ve kömürün ise 227 yıl ömrü olduğu tahmin edilmektedir. Türkiye'nin bilinen fosil yakıt rezervlerinin ömürleri ise petrol için 14 yıl, doğalgaz için 16 yıl ve kömür için 130 yıl olarak tahmin edilmektedir. Fosil yakıt rezervlerinin giderek azalması, artan doğa tahribatı ve çevre kirliliği, alternatif enerji kaynaklarına yönelmeyi zorunlu kılmaktadır (TMMOB, 2003).

Türkiye'de 2005 yılı sonu itibariyle 161.504,8 GWh'lik elektrik enerjisi üretiminin %69,09'unu fosil kökenli enerji kaynaklarından, %0,06'sını jeotermal enerji, %0,04'ünü rüzgâr enerjisi ve %30,77'sini hidrolik enerji gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlamaktadır. Türkiye'deki hava kirliliği ve enerji kaynaklı ekonomik problemler elektrik enerjisi üretimindeki %69,09'luk payla fosil kökenli yakıtların kullanımından kaynaklanmaktadır. Hidrolik enerji dışında, yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretiminin payı sadece %0,1 civarındadır ve yenilenebilir enerji kaynakları konusundaki eksikliği açıkça ortaya koymaktadır. Talep tahmin senaryoları ele alındığında ise 2020 yılında elektrik ihtiyacının %155-200 oranında artacağı öngörülmektedir. Buna göre,

problemlerin de katlanarak artacağı tahmin edilmektedir (Akkus vd., 2005 ; Lind ve Mroczek, 2013).

Ülkemizde var olan ve sıcaklığı 100°C dereceyi aşan birçok sıcak su kaynağı (jeotermal enerji) bulunmaktadır. Bu ülkemizin jeotermal enerji bakımından çok zengin ve önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir (Çetin vd., 2013). Jeotermal enerjinin günümüzde çok fazla kullanım alanı olduğu bilinmektedir. Bu kullanım alanlarının başında elektrik üretimi gelmektedir. Ayrıca bu kaynakların doğrudan veya dolaylı olarak faydalandığı çok çeşitli alanlar vardır. Bunlardan bazıları; ısıtma, soğutma, konservecilik, kurutma, termal tesisler, şehir ısıtması, kâğıt ve tekstil sanayisi ve kimyasal madde elde edimi olarak sıralanabilir. Ancak son yıllarda değeri hızla artan jeotermal enerjinin daha verimli kullanılabilmesi için daha uygun tesislerin yapılması büyük önem arz etmektedir.

Şili - Santiago havzasında yapılan bir çalışmada bölgesel ısıtma için düşük entalpiye sahip jeotermal kaynakların bölgesel ölçekte tahmin edilmesinin ve sonuçlarının değerlendirilmesi ile ilgilidir. Bu çalışmadan yola çıkarak yenilenebilir enerjinin geliştirilmesi için umut vadeden alanların nasıl tespit edileceği araştırılmıştır. Bu araştırma coğrafi bilgi tahmin sistemi (CBS) kullanılarak toprağın termal özellikleri ile hidrojeolojik parametrelerin karşılaştırılmasına dayanmaktadır. Jeotermal potansiyeli belirlemek için ve bir Şili standart evini ısıtmak için gereken enerjiye eşdeğer sabit bir enerjiyi karşılamak için ısı pompası ile birleştirilmiş toprak kaynaklı eşanjör (GSHE) kullanılmıştır (Muñoz vd., 2015).

Literatürde bulunan bir diğer çalışmada, düşük entalpili jeotermal kaynak bir ısı eşanjöründen geçirilerek, bölgesel ısıtmada kullanılmak için deneysel bir tesis üzerinde incelenmiş, MATLAB ortamında matematiksel bir model üzerinde bir uygulama yapılmış ve günlük kullanılabilir ısı miktarı başarıyla hesaplanmıştır (Carlini vd., 2012).

Willems vd. (2017) yaptıkları çalışmada, birden fazla komşu jeotermal sistemin birlikte kullanımını için jeotermal kaynakların birbirlerine olan gerekli mesafesi ve verimliliklerini olumsuz etkileyen etkenleri saptamayı ve olumsuzlukların neler olduğunu belirlemeyi amaçlamaktadır. Bu çalışma kapsamında, jeotermal kaynak üretim lisansı alabilmek için, jeotermalin üretim sıcaklığının reenjeksiyon durumundan hemen önceki sıcaklığının

ekonomik değerini yitirmiş olmasının göz önünde bulundurulması gerekliliği vurgulanmıştır. Aksi halde; komşu jeotermal kaynak sıcaklıkları basınç alanlarından etkilenerak sadece komşu çift jeotermal kaynakların verimliliklerini değil, aynı zamanda kaynak sıcaklıklarını ve üretim sürelerini olumsuz etkileyeceği belirtilmiştir. Modelleme temelli yapılmış olan çalışmada, temel ikili jeotermal kaynak tasarım parametreleri ile gerekli ikili jeotermal kaynak mesafeleri arasındaki boyutsuz ilişkiyi elde etmek için çok parametrelili bir analiz yapmışlardır. Enjektör ve üretim kuyusu arasındaki mesafe, farklı üretim oranlarına ve debilere sahip jeotermal kuyular, geçirimsiz tabaka kalınlığı ve üretim için gereken minimum kaynak sıcaklık değerleri kullanılarak kaynak verimliliğini olumsuz etkileyen faktörleri en aza indirmek ve verimi olumlu etkileyen faktörleri arttırmak amaçlanmıştır.

Bir diğer çalışmada, Güney İtalya bölgesinde 51 jeotermal kaynağın verileri kullanılarak jeolojik ve hidrojeolojik modeller elde edilmiştir. Bu modeller ile bir yeraltı suyu akış (yön ve hız) modeli geliştirilmiştir. Farklı on meteoroloji istasyonundan toplanan jeotermal kaynak kuyu verileri kullanılarak yeraltı suyunun yıllık sıcaklıkları modellenmiş, zemin yüzey sıcaklık kayıtları incelenmiş ve farklı derinliklerde sıcaklık Modelin sonuçlarını değerlendirmek için yapılan entegre jeofizik araştırmalarda elektriksel direnç tomografisi (EDT) ve öz potansiyel (ÖP) yöntemleri kullanılmıştır. (De Giorgi ve Leucci, 2015).

Katsifarakis vd. (2007) yaptıkları çalışmalarında, düşük sıcaklıklı jeotermal kaynak ile bölgesel ısıtma şemalarının optimizasyonu üzerine genetik algoritmaları uygulamışlardır. Özellikle jeotermal saha içindeki boru şebekesinin inşasının, jeotermal kaynağın pompalanması ve dağıtımından kaynaklanan maliyetlerin azaltılması araştırılmıştır. Ayrıca sondaj yapılması düşünölen yeni kuyuların sayısına karar vermek için bir teknik önerilmiş olup bu önerilen tekniğin kullanımının önemli ölçüde maliyeti azaltabileceği ve jeotermal enerjinin kullanımını teşvik edebileceği sonucuna varmışlardır.

Østergaard ve Lund (2011) yaptıkları çalışmada, Frederikshavn kasabasının enerji ihtiyacının ağırlıklı olarak fosil yakıtla karşılanması yerine bu ihtiyacın mevcut düşük sıcaklıklı jeotermal enerji gibi mevcut yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması için teknik bir çalışma yürötmüştür.

Bu çalışmada, enerji talebinin tüm yönleri, yıllık olarak ve saatlik bazda bir enerji sistemleri analiz modeli kullanılarak tasarlanmış ve analiz edilmiştir. Jeotermal enerjinin vakumlu bir ısı pompası ile birlikte kullanılması neticesinde, doğalgazla desteklenen bir (CHP) ısıtma ve güç sisteminin kullanımının ciddi bir şekilde azalacağı öngörülmüştür.

Atiz vd. (2019) yaptıkları çalışmada, düşük sıcaklıklı jeotermal kaynağın ve güneş enerjisine dayalı entegre bir sistemin 200–1000W/m<sup>2</sup> güneş ışınım aralığında Mühendislik Denklem Çözücü (EES) kullanılarak enerji, ekserji ve elektrik üretim performansını incelemiştir. Sistem 100m<sup>2</sup> yüzey alanına sahip vakum tüplü güneş kollektörlerini (EVTSC), Organik Rankine Çevrimini (ORC) ve düşük dereceli bir jeotermal kaynaktan oluşmaktadır. EVTSC'ler jeotermal kaynaktan gelen düşük sıcaklık dereceli suyun sıcaklığını arttırmak için kullanılır. Hesaplamalar sırasıyla Kula (63°C), Saraycık (74°C) ve Turgutlu'da (86°C) üç jeotermal kaynak bölgeleri için yapılmıştır. ORC'de çalışma sıvısı olarak n-heksan, n-pentan ve n-bütan seçilmiştir. Çalışma sıvısı seçiminin ORC performansını etkilediği belirlenmiştir. Ayrıca ORC'den çıkarılan atık ısı, hacim ısıtma için verimli bir şekilde kullanılması planlanmıştır. Sonuç olarak sistemin genel enerji ve ekserji verimliliği ve ORC'nin enerji üretimi, EVTSC'ler tarafından jeotermal kaynakların su sıcaklığının arttırılmasıyla ciddi şekilde etkilenmiştir. Sistemin maksimum toplam enerji ve ekserji verimliliği, Turgutlu'daki kaynak için n-bütan kullanılarak sırasıyla %6,92 ve %21,06 olarak hesaplanmıştır. Sistemin asgari toplam enerji ve ekserji verimliliği, Kula'daki kaynak için n-heksan kullanılarak sırasıyla %0,32 ve %2,19 olarak hesaplanmıştır. Maksimum ve minimum üretilen elektrik enerji miktarları, Turgutlu ve Kula'daki kaynaklar için sırasıyla 19,46kW ve 0,6168kW olarak hesaplanmıştır. Sistemin en iyi performansa sahip olan akışkanının n-bütan olduğu görülmüştür.

Mauro ve Grossman (2017) yaptıkları çalışmada, yıl boyunca sokak yüzey sıcaklıklarındaki dalgalanmaları azaltmak ve kış mevsiminde buz oluşumunu önlemek amacıyla toprağa yerleştirilen yüksek termal iletkenliğe sahip malzemeler yoluyla jeotermal kaynak ısısından faydalanmak ve tercih edilen bir yol oluşturmak için düşük entalpiye sahip jeotermal enerjiden yararlanmak temeline dayanmaktadır. Önerilen buzlanma önleme sisteminin performansını analiz etmek için ayrık sonlu elemanlar tekniği kullanılarak uzun vadeli dinamik simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Elde edilen



sayısal sonuçlar, belirli bir bölge için uygun termal özellikteki malzemelerin kullanılması ve tasarımının düzgün yapılması durumunda, önerilen sistemin sokak kar ve buz çözme yöntemi olarak etkili bir şekilde kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Tasarım parametrelerinin sokak ısıtma performansı üzerindeki etkilerini değerlendirmek için, sistemin ana geometrik özellikleri ve kullanılan malzemelerin termal özellikleri üzerine bir analiz sunulmuştur.

Erzurum ili için yapılan bir çalışmada; ısı pompası kullanılarak düşük sıcaklıklı jeotermal ısı kaynağının değerlendirilmesi ve R-22 (Freon-22) soğutucu akışkan ile çalışan bir ısı pompası (GHP) tasarlanmıştır. Jeotermal sağlık tesisi merkezlerinden atılan jeotermal suyu değerlendirmek için bir jeotermal ısı pompası kullanılarak 35°C sıcaklıkta jeotermal kaynak suyu sıcaklığını yerden ısıtma şebekesi için 45°C sıcaklıkta sıcak su tedarik edilmesi amaçlanmıştır (Kara ve Yüksel, 2001).

Yapılan bir diğer çalışmada; düşük sıcaklıklı jeotermal ısı kaynağının, rüzgar enerjisinin ve biyokütlenin bölgesel ısıtma (DH) sistemlerinin enerji ihtiyacının bir bölümünü karşılayabilmek amacıyla kullanılmasının, elektrik ve ısı enerjisinde sağlanacak tasarrufa ilave olarak endüstriyel yakıt kullanımını da azaltabileceğinin mevcut yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasıyla mümkün olabileceği gösterilmiştir (Alberg Østergaard vd., 2010).

Bu çalışmada 45 derecedeki düşük sıcaklıklı jeotermal kaynağın ısı pompası kullanılarak yüksek sıcaklıkta ısınma gereksinimi bulunan binalardaki ısı ekonomiklik analizi incelenmiştir. Bu amaçla ısı değiştiricili iki kademeli ısı pompası kullanılmıştır. Isı pompasının her bir kademesinde farklı akışkanlar kullanılmıştır. Araştırmada ayrıca karlılık katsayısı ve yatırımın kendini amorti edeceği süre hesaplanmıştır (Kulcar vd., 2008).

Bölgesel ısıtma sistemlerinde şebeke sıcaklık seviyelerinin değerlendirilmesinin basitleştirilmesinin uygulanması iki parametre kullanılarak yapılmıştır. Bu parametreler; şebeke sıcaklık seviyelerine dayalı geleneksel ekserji faktörleri ve referans sıcaklık olarak kullanılan dış ortam sıcaklığı ve yeni ekserji kullanım oranıdır. Bu iki parametre, şebeke sıcaklıklarının ısı dağıtımını için ne kadar ekserji içeriğine sahip olduğu ve sağlanan bu ekserji içeriğindeki ekserji taleplerinin oranlarıyla birlikte değerlendirilmiştir.

Araştırmada incelenen iki ülkede mevcut bölgesel ısıtma sistemlerinin yıllık ortalama ekserji kullanım oranlarının %15-18 civarında olduğu ve yakıtlardaki orijinal ekserji içeriğinin yüksek bir kısmının hali hazırda termik güç üretimi gibi diğer prosesler için birincil enerji kaynağı olarak kullanılabilmesini ortaya konulmaktadır. Bölgesel ısıtma teknolojilerinin verimleri önceki nesillerinde daha düşük olduğu, gelecekteki ekserji kullanım oranlarının yaklaşık olarak %9'a kadar artacağı öngörüldüğünden dolayı jeotermal ve güneş enerjisinin rekabet gücü, gelecekteki bölgesel ısıtma sistemlerinde artacağı öngörülmüştür. Mevcut ekserji içeriğinin üçte ikisinin, şebekelere sağlanan ısıdan binalardaki ısı taleplerine kadar olan ısı dağıtım zincirinde şebekelerde kaybolduğu vurgulanmıştır. Böylelikle ısı dağıtım zincirinde kaybolan ekserji jeotermal ve güneş enerjisinin kullanılmasıyla bugünkü duruma göre neredeyse dörtte üç oranında azalacağı ifade edilmektedir (Gong ve Werner, 2015).

Dalla Rosa vd. (2011), ısı kayıplarına odaklanarak düşük enerjili bölgesel ısıtma için boruların optimum tasarımı üzerine yapılan çalışmada, yüksek enerji verimli binalar ve düşük enerjili bölgesel ısıtma (DH) sistemleri arasındaki sinerji, enerji tasarrufu politikalarının ve yenilenebilir enerjiye (YE) dayalı enerji tedarik sistemlerinin optimum entegrasyonu için umut verici olabileceği belirtilmiştir. Düşük enerjili DH sistemlerinin optimum tasarımında anahtar parametreler; şebeke iletimi ve şebeke dağıtım hattındaki ısı kayıpları olduğu belirtilmiştir. Düşük ısı yoğunluklu alanlarda kullanılan bu teknolojilerde, DH ağlarının kullanımı potansiyel enerji tasarruflu ve uygun maliyetli çözümleri belirlemeye yardımcı olmaktadır. Kararlı hal ısı kaybı hesaplaması için teorilerin ve yöntemlerin gözden geçirilerek, boruların 2D modellenmesi ile ayrıntılı hesaplamalar sonlu elemanlar yöntemine (FEM) dayalı bilgisayar yazılımı ile yapılabileceği gösterilmiştir. Deneysel ölçümler, analitik formüller ve literatürden alınan veriler birbirleriyle karşılaştırılarak uygulanan model doğrulanmıştır. Yüksek derecede doğruluk elde edilmesi için poliüretan yalıtım köpüğünün sıcaklığa bağlı iletkenlik katsayısının etkisi de dikkate alınmıştır. Ayrıca toprak sıcaklığının yıl boyunca sisteme olan etkisi gösterilmiştir. Düşük enerjili uygulamalarda boruların optimum tasarımı için gerekli öneriler verilerek ısı kayıplarını azaltmak amacıyla yöntem önerileri sunulmuştur.

Yapılan deneysel bir deneysel çalışmada yapılan karşılaştırma neticesinde, enerji üretimi sadece jeotermal enerji ile olursa, kullanılan enerjinin üretim maliyeti 0,07US\$/kWh

olmaktadır. Şayet enerji üretimi kapasitenin %50 lik kısmını jeotermal enerji kullanarak geri kalan %50 kısmını ise a petrol yakıt türevlerinin kullanıldığı kazan sistemi ile desteklenecek şekilde üretim sistemi tasarlanarak enerji üretilirse, enerjinin üretim maliyeti 0,04US\$/kWh olduğu belirtilmiştir. Dolayısıyla; çok kaynaklı enerji üretiminin tek bir enerji kaynağı çeşidiyle enerji üretimine göre daha ucuz maliyetli olduğu ortaya konulmuştur (Popovski, 2006).

Enerji şebeke boru hattının uzunluğundan kaynaklanan kayıp ısı miktarı ve boru hattının verimi, boru hattı uzunluğuna bağlı bir ampirik bağıntıyı yaptığı deneysel bir çalışma yaparak elde edilmiştir. Yapılan çalışmada elde edilen boru hattı verimini  $\eta_{\text{boru}} = 1 - 0,003L_{\text{boru}}$  ampirik bağıntısıyla tanımlamıştır. Bu bağıntıda “ $\eta_{\text{boru}}$ ” boru hattı verimini, “ $L_{\text{boru}}$ ” ise kullanılan borunun uzunluğunu (km) cinsinden uzunluğunu ifade etmektedir (Zarrouk, 2011).

Yukarıdaki literatür çalışmalarının ışığında, önümüzdeki yıllarda ülkemizdeki enerji açığının giderek büyüyeceği tahmin edildiğinden, hava ve çevre kirliliğinin önüne geçmek ve dışa bağımlı olarak enerji ihtiyacımızı karşılamaktan kurtulmak öncelikli amaçlarımızdan biridir. Bu sebeple Erzincan ilinde kısıtlı olarak değerlendirilen düşük sıcaklıklı jeotermal kaynağın daha fazla ekonomiye kazandırılması için yapılması planlanan bu çalışma Erzincan’daki enerji potansiyelin daha verimli kullanılması konusunda yardımcı olacaktır. Bu çalışmanın başlangıcında enerji kaynakları ve çeşitlerinin üzerinde durulmuştur. Daha sonra jeotermal enerjinin kullanım alanları açıklanmıştır. Türkiye’deki biyokütle enerjisi çeşitlerine bakılıp aralarında bir kıyaslama yaparak en verimli ve ekonomik olanının Erzincan-Akyazı bölgesinde uygulanması planlanmaktadır. Ayrıca biyokütle destekli hibrit jeotermal enerji santralinin belli veriler ve kabuller kullanılarak bir modeli incelenecektir. Bu çalışmada, Erzincan-Akyazı bölgesindeki düşük sıcaklıklı jeotermal enerjinin Erzincan’da bulunan çöpten gaz üretim tesisinde üretilen biyogazı yakıt olarak kullanarak düşük sıcaklıklı jeotermalin sıcaklığını artırılması amaçlanmıştır. Sıcaklığı artan bu jeotermal kaynağının Erzincan-Akyazı bölgesinde bulunan konutların ısıtılmasında, sera ısıtılmasında ve yine aynı mevkide bulunan termal kaplıca için daha yüksek sıcaklıkta jeotermal kaynak elde edilmesi planlanmıştır. Biyogaz kullanılarak sıcaklığının artırılması planlanan Erzincan-Akyazı bölgesindeki jeotermal kaynak için tasarlanan tesisin her bir noktasındaki Termodinamik

büyükükler tablo haline getirilerek sistemin enerji, entropi, ekserji, maliyet analizleri yapılarak sistem elemanlarının ve sistemin toplamının birinci ve ikinci yasa verimleri belirlenecek ve sistemin uygulanabilirliğinin fizibıl olup olmadığı belirlenecektir.



## **2. KURAMSAL TEMELLER**

Enerji kaynağın tüketilme oranının, enerji kaynağının yeniden oluşma süreci arasındaki ilişkiye bağlı olarak enerji kaynakları yenilenebilen ve yenilenemeyen enerji kaynakları olarak iki başlık altında sınıflandırılır.

### **2.1. Yenilenemeyen Enerji Kaynakları**

Doğadaki enerji kaynakları içerisinde yenilenebilen enerji kaynakları mevcut olduğu gibi yenilenemeyen enerji kaynakları da mevcuttur. Bu kaynaklara her ne kadar yenilenemeyen olarak adlandırılrsa da doğada yenilenemeyen enerji türü bulunmamaktadır. Çünkü doğadaki enerji kaynakları uzun bir sürede olsa da kendini yeniler. Ancak bu sürenin oldukça uzun olması sebebiyle bu enerji kaynaklarına yenilenemeyen enerji kaynakları olarak adlandırılmaktadır. Bahsettiğimiz yenilenemeyen enerji kaynakları olarak adlandırılanlardan bazıları ise doğalgaz, petrol ve kömürdür.

Günümüzde yenilenemeyen enerji kaynaklarının oranı %95'in üzerindedir. Yaklaşık elli yıl sonra insanlar tarafından sıkça kullanılan doğal gaz petrol gibi fosil enerji kaynakların tükeneceği tahmin edilmektedir. Bu durum da rüzgâr ve güneş enerjisi gibi günümüzde kullanımı az olan yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talebin artacağı sonucunu beraberinde getirmektedir.

### **2.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları**

Yenilenebilir enerji, tabiatın kendi içerisindeki döngüsü sonucunda belli bir müddet gün sonunda aynı mevcut olabilen enerji kaynağını ifade etmektedir (Turan, 2006).

Yenilenebilir enerji kaynakları, sürekli olarak kendini yenileyen ve yenilenen doğal süreçlerden elde edilmektedir. Doğrudan güneş enerjisinden ya da yerin derinliklerinde oluşan ısıdan elde edilmektedir. Günümüzde yenilenebilir enerjilerin başlıca bilinenleri olan güneş, rüzgar, jeotermal, biyokütle gibi enerji kaynaklarına yönelmek her zamankinden daha fazla önem arz etmektedir sebebi ise fosil kökenli kaynakların ömrünün git gide azalmasıdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından bazıları şunlardır.

### 2.2.1. Güneş enerjisi

Güneş enerjisi, güneş çekirdeğinin içerisinde gerçekleşen füzyon reaksiyonları sırasında hidrojen gazını helyuma dönüşmesiyle meydana gelen çok güçlü bir enerji çeşididir. Güneş enerjisi dünyaya yayılan güneş ışınlarının güneş panelleri veya güneş pilleri aracılığıyla ısı ve elektrik enerjisine dönüştürülmesiyle elde edilir. Önceleri maliyeti yüksek olan bu enerji türü günümüzde daha düşük maliyetlerle elde edilerek kullanımı yaygınlaştırılmaktadır. Şekil 2.1’de Güneş tarlası olarak da adlandırılan güneş panelleri gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Güneş panelleri Google (2020)

### 2.2.2. Rüzgâr enerjisi

Rüzgâr enerjisi güneş ışınlarının dünyaya geliş açıları arasındaki farklar sayesinde sıcaklık farkları oluşur. Sıcaklık farkından dolayı oluşan basınç farkları ve basınç farklarıyla birlikte dünyanın da dönüşü ile ortaya çıkan hava akımlarından rüzgârlar oluşur. Oluşan bu rüzgârlardan rüzgâr türbinleri yardımı ile elektrik enerjisi elde edilebilir. Yani özüne bakılacak olunursa rüzgâr enerjisi aslında kinetik enerjiye dönüşmüş bir güneş enerjisidir (Turan, 2006). Aşağıda bulunan Şekil 2.2’de rüzgâr türbinlerinden oluşan rüzgârgülü tarlası gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Rüzgâr türbinleri Google (2020)

### 2.2.3. Hidrojen enerjisi

Hidrojen çoğunlukla farklı ham maddeler ve başka enerji kaynakları ile kullanılmakta ve üretiminde dönüştürme işleminden yararlanılmaktadır. Hidrojen enerjisi katalitiğin yüzeyinde ve içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanılmaktadır. Ancak hidrojen üretiminin çok maliyetli olması sebebi ile üretimi çok fazla sağlanmamaktadır.

### 2.2.4. Biyokütle enerjisi

Biyokütle yüz yıllık periyottan daha kısa sürede kendisini yenileyebilen karada ve suda yetişebilen ve yetiştirilme imkânı bulunan bitkiler, hayvan atıkları, orman ürünleri ve kentsel atıkları içeren tüm organik maddeleri ifade etmektedir. Biyokütle enerjisi, biyokütlesel atıkların yakılarak ya da başka işlemlerden geçirilerek elde edilen enerji türüdür.

#### 2.2.4.1. Ormansal biyokütle

Ormansal biyokütle orman ürünlerini ve atıklarını içerisinde bulunduran biyokütle kaynağı olarak da tanımlanabilir. Ormansal ürünlerin çok büyük bir bölümü odundan oluşur. Odun dünya üzerindeki bütün ülkeler için tarih boyunca son derece önemli bir yenilenebilir enerji kaynağı olmuştur. Ancak, doğal ormanların kesilerek odun üretiminin artması ile orman varlığımızın yok edilmesine sebep olacağı ve ayrıca ekolojik ve sosyal açıdan çok ciddi sorunlara da zemin hazırlayacağından dolayı; Küba gibi bazı ülkelerde odunun biyokütle olarak kullanılması belirli oranda sınırlandırılmıştır (Suarez, Beaton,

Luengo ve Felfli, 2003). Ormansal atıkların başlıca ürünleri şunlardır: talaş, ağaç kabuğu, yonga gibi. Bu atıklar genel olarak hiçbir şekilde değerlendirilmeden buldukları yerde çürümeye bırakılırlar. Tablo 2.2’de Türkiye’de bulunan orman potansiyeli gösterilmiştir.

**Tablo 2.1.** 2015 Orman Genel Müdürlüğü verileri ile Türkiye’nin orman potansiyeli (Orman Genel Müdürlüğü, 2019).

<b>Orman Potansiyeli</b>	<b>Kaynaklar (10<sup>3</sup> m<sup>3</sup> )</b>	<b>Senelik Büyüme ( 10<sup>3</sup> m<sup>3</sup> )</b>
Orman	1.566.128	47.207
Baltalık	45.646	-
<b>Toplam</b>	<b>1.611.774</b>	<b>47.207</b>

Ormansal biyokütleden dolayı oluşan yaklaşık enerji değeri 36.002.251 (GJ/yıl) olarak bilinmektedir.

#### **2.2.4.2. Tarımsal kökenli biyokütle**

Saplar, samanlar ve kabuklar gibi zirai kökenli yan mahsuller, tarımsal atıklar olarak adlandırılırlar. Tarımsal atıklar; hasat edildikten sonra tarlada kalan ürün atıklarından (pamuk sapları gibi) oluşabileceği gibi mahsul işleme sanayisinin bir diğer ürünü (pirinç kabuğu gibi) şeklinde de bulunabilirler (Demirbaş, A. ve Demirbaş, M., 2003). Genellikle herhangi bir enerji üretimi yapmak amacıyla kullanılmadıkları zamanlarda, hayvan besini olarak kullanmak niyetinde yakılabilir, toprağa gömülür veya depolanırlar. Fakat bu bahsettiğimiz atıklardan da muhtemel bir katı yakıt üretimi de yapılabilmektedir. Genel olarak enerji kaynağı olarak da yararlanılan tarımsal atıkları: mısır, buğday, arpa pirinç kabuğu, kestane kabuğu, palm yağı lifi, yerfıstığı kabuğu ve hububat sapı olarak sayabiliriz. (ABS Energy Research, 2004).

Tarımsal atıklar aslına bakıldığında doğa üzerinde çok bulunan, ucuz ve çevreye zararı olmayan enerji kaynakları olmalarından ötürü en umut verici enerji kaynakları arasında olduğu söylenebilir. Ancak çok yer kaplamaları ve heterojen bir yapıya sahip olmalarından dolayı, depolanma, ulaştırma ve kullanım adımlarında bir takım problemlere sebep olmaktadır. Bu sorunların aşılması amacıyla Briketleme Teknolojisinden yararlanılmaktadır (Wilaipon, 2007). Tablo 2.3’de Türkiye’de 2018 yılı



sonu itibari ile üretimi yapılan tarım faaliyetlerinin ve bu üretim sırasında oluşan atıklarının kullanılabilir enerji potansiyeli gösterilmiştir.

**Tablo 2.2.** 2018 Yılı itibari ile Türkiye tarıma dayalı enerji verileri

Ürün	Üretim Miktarı (Ton/yıl)	Atık Miktarı (Ton/yıl)	Kullanılabilir Atık (Ton/yıl)	Toplam Isıl Değer (GJ/yıl)	Isıl Değeri (GJ/yıl)
Mısır	5.700.000	12.821.535	7.692.921	237.198.398	31
Buğday	20.000.000	20.883.184	3.132.492	373.808.215	120
Pamuk	2.570.000	2.824.738	1.624.847	49.286.970	30
Arpa	7.000.000	7.534.233	1.130.244	131.850.075	116
Ay Çekirdeği	1.949.230	5.265.517	3.161.260	74.809.986	24
Çavdar	320.000	453.254	67.960	7.930.951	117
Yulaf	260.000	258.722	38.806	4.501.496	116
Fındık	515.000	2.234.881	1.787.905	33.970.195	19
Zeytin	1.500.497	1.274.353	969.960	19.495.570	20
Fıstık	240.000	125.059	9.613	182.647	19
Kestane	63.580	69.391	47.190	935.934	20

#### 2.2.4.3. Atık biyokütle

Atıklardan oluşan biyokütle kaynaklarının başlıcaları: Hayvansal atıklar, kentsel katı atıklar, biyokatılar, sanayi atıkları olarak sıralanabilir. Tavuk, sığır ve domuz gibi çiftlik hayvanlarının dışkılarını içeren atıklar hayvansal atıklardır. Bu dışkıların gübre olarak kullanımı, koku ve su kirliliği ile çevresel kirliliğe yol açmalarına ve atık yönetimi için yeni uygulamalara ihtiyaç duyulmasına kadar devam etmiştir. Bu atıklardan gaz yakıt üretimi de (Anaerobik sindirim yoluyla) mümkündür. Benzer şekilde, gaz yakıt imalatı sırasında biyokatı atıkları da anaerobik sindirim metodundan yararlanmak suretiyle gaz yakıt üretimi yapılabilmektedir. Sanayi tesislerinin atıklarının uzaklaştırılması ve yok edilmesi firmalar için ciddi bir problem olabilmektedir. Sıvı atıkların anaerobik sindirim ve fermentasyon yoluyla katı atıkların katı yakıtların ise; sırasıyla, sıvı ve gaz yakıtların üretimlerinde kullanılması mümkündür (ABS Energy Research, 2004). “Tablo 2.4” de

kişi başı günlük atılan çöp miktarı ve diğer çöplerin (sanayi ve kentsel atıklar) kullanılabilir enerji değerleri gösterilmiştir.

**Tablo 2.3.** Günlük atık çöp miktarına bağlı olarak elde edilen atık enerji potansiyeli (Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, 2019).

Türü	Enerji Miktarı
Kentsel Atık Miktarı	30.000.000 Ton /yıl
Kentsel Organik Atıkların Enerji Değerleri	92.820.979 GJ/yıl
Isıl değeri	0.323 GJ/ton

Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü tarafından yayınlanan BEPA (Biyokütle Enerjisi Potansiyel Atlası) verilerine göre biyokütle kaynaklı elektrik üretim santral sayısı 128 tanedir (Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, 2019). Tablo 2.5’de Türkiye’de 2017 yılı sonu itibari ile TÜİK verilerine bakılarak var olan hayvan sayısından kullanılabilir biyokütle enerjisi gösterilmiştir.

**Tablo 2.4.** 2017 TÜİK verileri ile Türkiye geneli hayvansal atık enerji potansiyeli

	Hayvan sayısı (bin adet)	Günlük atık miktarı (kg/gün)	Katı madde Miktarı (%)	Toplam katı Madde miktarı (ton/yıl)	Kullanılabilirlik (%)	Toplam kulla- nılabilir katı madde miktarı ton/vıl)	Toplam ısı kapasitesi (GJ/yıl)	Isıl değeri (GJ/ton)
Sığır, Manda	17.221	18.00	22	24.891.213	65	16.179.288	100.999.266	6.24
Kümes Hayvanı	346.674	0.08	25	2.530.716	99	2.505.408	28.436.446	11.35
Küçükbaş hayvan	46.117	2.00	25	8.438.282	13	1.096.977	4.980.273	4.54
At, Eşek, Katır	310	20.77	21	493.525	29	143.122	649.712	4.54

Yukarıda literatürdeki veriler yardımıyla oluşturduğumuz tablo, ulaşım, elde edilebilirlik ve nakliye paralarının da hesaba katılarak yapılan bir ton atığın değerlendirilmesi ile elde edilen ısı değer sonucunda; hayvancılığın yapıldığı bölgeler için kümes hayvanlarının tercih edilebileceği yönündedir çünkü verimlerinin diğer hayvansal atıklara göre yaklaşık iki kat daha yüksek olmasıdır. Tarıma dayalı bölgelerde ise buğday, arpa, çavdar ve yulafı

tercih edilmesidir. Tercih sebebi ise verimlerinin çok daha yüksek olmasıdır. Diğer ormansal ve kentsel atıkların verimlerinin düşük olması sebebiyle gerekmedikçe kullanılmaması gerektiği öngörülmektedir.

### **2.2.5. Biyogaz enerjisi**

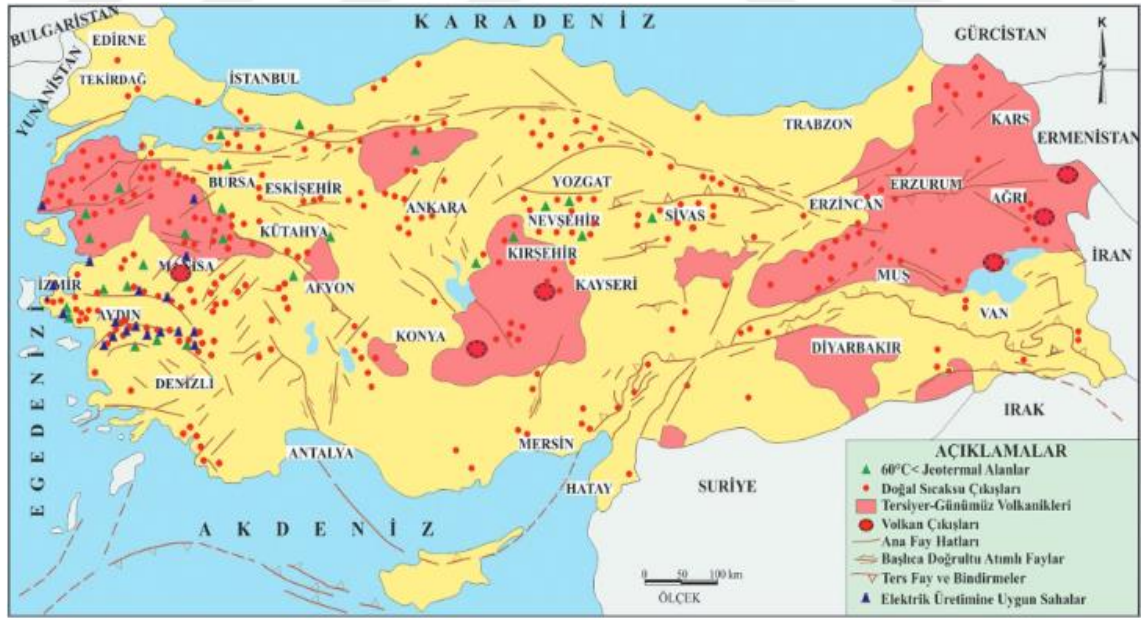
Hayvansal ve bitkisel atık maddelerin çürütülmesi ile ortaya çıkan metan gazının depolanması, arttırılması ve yakılması sonucunda metan gazının enerjiye dönüşümü sağlanabilmektedir. Yani biyogaz enerjisi biyokütlenin işlenmesi sonucunda ortaya çıkan bir enerji türüdür.

### **2.2.6. Jeotermal enerji**

Jeotermal enerji yeryüzünün doğal bir ısısıdır. Başlangıçta dünyanın içindeki kayalarda, sıcak akışkanlar (gaz ve su buharı) bulunmaktadır. Yeryüzüne geliş şekli ise doğal bir ısı akışı şeklindedir. Yani iki cismin sıcaklıkları eşit olana kadar ısı akışı sürekli devam eder. Bu ısı akışının kaynağı ise Dünya'mızın çok sıcak olduğunu bildiğimiz içyapısında meydana gelen fiziksel süreçlerdir. Bu fiziksel süreçlerden meydana gelen sıcaklık Dünya'nın kabuğunda yenilenmektedir. Bu özelliğinden dolayı bir yenilenebilir enerji türü sayılmaktadır (Barbier, 2002). Yeryüzüne yakın yerlerde bulunan jeotermal rezervuarlar tıpkı yerkürede bulunduğu şekilde kayalar ve akışkanın birleşiminden oluşmaktadır. İlk başta akışkanın ve kayaların sıcaklıkları aynıdır. Hacimsel olarak ise yaklaşık olarak kayaların %3-5'i akışkandır. Geriye kalan %95-97'lik kısmı ise kayadır. Buradan elde edilen enerji "ısı enerjisidir". Jeotermal santral sahası işletmesi aslında tabiri caizse bir ısı madenciliği olarak düşünülebilir. Oysaki jeotermal rezervuarlardaki enerjinin sadece %15'lik kısmı akışkandır. Geriye kalan %85'lik enerji ise kayalarda bulunmaktadır. Enerjinin daha çok bulunduğu yeri göz önüne alırsak kullanılan ve neredeyse soğumuş olan suların yeniden rezervuarlara basılıp kayalardan ısı soğurulması tekrar üretim için en iyi yöntemdir (Özdemir, 2011).

Jeotermal enerjinin ülkemizdeki tarihçesine bakacak olursak, ilk jeotermal araştırmalara 1960'lı yıllarda MTA tarafından başlanmıştır. Bu araştırmalar sırasında ise %95' i düşük ve orta entalpiye sahip 170 adet jeotermal enerji sahaları keşfedilmiştir. Bu jeotermal sahalar "Şekil 2.3"de gösterilmiştir. Fakat bu sahaların yalnızca 11 tanesi günümüz

teknolojik ve ekonomik imkânlarına elverişli olarak ideal elektrik enerjisi üretimine uygun durumdadır. Denizli - Kızıldere sahasındaki 20,4MWe'lik santralden sonra Aydın – Salavatlı jeotermal sahasında 7,9MWe'lik ikinci bir santral Mart 2006 itibariyle test üretimine başlamıştır. Jeotermal enerji potansiyelinin değerlendirilmesi maksatlı, elektrik üretimine uygun sahalara kurulacak santraller sonucunda; 2010 yılı için 500MWe, 2020 yılı için ise 1000MWe jeotermal elektrik enerjisi üretimi hedeflenmiştir. Fakat Jeotermal Elektrik Santral Yatırımcıları Deneği (JESDER) verilerine göre 2018 yılı için 347MWe olduğu saptanmış ve hedefin oldukça uzağında olduğumuzu görmekteyiz. Ülkemiz Avrupa'da bulunun ülkeler arasında en zengin jeotermal enerji kaynaklarına sahiptir. Fakat Türkiye'de jeotermal enerjinin elektrik üretimi alanında kullanımı zengin jeotermal enerji kaynaklarına sahip olmamızın tersine oldukça düşüktür. Ülkemizdeki kullanım oranıyla var olan jeotermal enerji potansiyelimizin ancak %3'üne yakın bir kısmından faydalanılmaktadır. Günümüz teknolojik imkânlar ile kuyu sıcaklıkları 80°C'nin üzerinde bulunan alanlarda elektrik üretimi yapılabilmektedir. Fakat elektrik üretimi yapmak için beklenen sıcaklık 110°C'nin üzerinde olduğundan daha düşük sıcaklıklarda elektrik üretilmesi ekonomik açıdan pek uygun görülmemektedir (Köse vd., 2004 ; TJD , 2019).



**Şekil 2.3.** Türkiye'nin sıcak su kaynaklarının dağılımı (Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü).

Aşağıda yer alan Tablo 2.5'de bazı jeotermal akışkanların sıcaklıklarına bağlı olarak kullanım alanları gösterilmektedir. Rezervuarlardan elde edilen jeotermal akışkandan

Japonya'da, İtalya'da, Amerika'da, Filipinlerde ve Meksika'da amonyum bikarbonat, ağır su (döteryum oksit), amonyum sülfat, borik asit, potasyum klorür gibi bazı kimyasal maddeler üretmektedirler (Rinehart, 1980).

**Tablo 2.5.** Jeotermal akışkanların sıcaklıklarına bağlı olarak kullanım alanları

Sıcaklık (°C)	Kullanıldığı Alan
170°C	Elektrik üretimi
160°C	Kereste ve balık kurutma
150°C	Bayer yöntemi ile alüminyum üretilmesi
140°C	Tarım mahsullerinin hızlı biçimde kurutulması.
130°C	Konvensiyel güç üretimi, şeker rafinasyonunda buharlaştırma
120°C	Tuz üretimi, Şeker sanayisinde kullanım
110°C	Buharlaştırma, yün yıkama ve kurutma işlemi
100°C	Meyve, sebze ve hayvan dışkısını kurutma
90°C	Alan ısıtılması
80°C	Lityum bromür ile absorpsiyonlu soğutma
70°C	Endüstri alanındaki işlem suyu
60°C	Bitki ve hayvan bakım bölgelerinin ısıtılması
50°C	Mantar üretme
40°C	Toprak ısıtma
30°C	Yüzme havuzları, turizm, sağlık amaçlı banyolar

Son zamanlarda alternatif enerji kaynakları arasında ön plana çıkmaya başlayan Jeotermal enerjinin günümüzde kullanım şekliyle doğrudan ve dolaylı olmak üzere ikiye ayrılabilir. Doğrudan kullanım jeotermal enerjinin hiçbir ek işleme gerek duymadan direk kullanılabilir olma (yüzme havuzları, toprak ısıtma, alan ısıtması) şeklinde tanımlayabiliriz. Dolaylı kullanım ise elektrik üretimi şeklindeki kullanımdır. Dolaylı kullanım denilmesinin sebebi ise jeotermal enerjiyi içinde bulunan korozyona sebep olan maddelerden dolayı direkt olarak türbine gönderip elektrik üretmiyor olmamızdır.

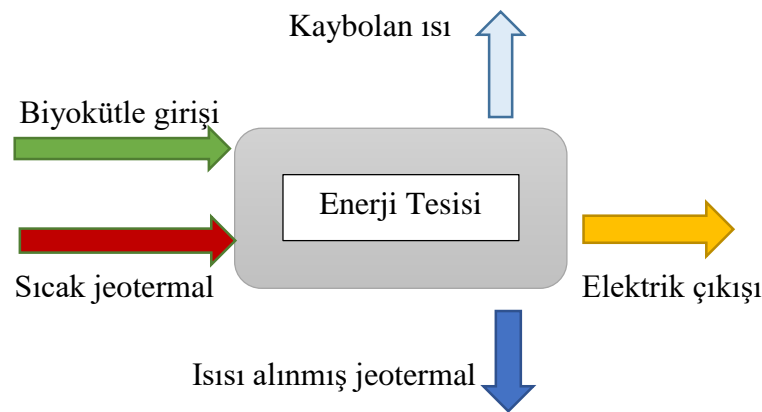
İki fazlı olarak bulunan jeotermal akışkanlarda (sıvı-buhar) verimi arttırmak için iki kademeli ayrıştırma sistemi ve çift giriş basıncına sahip olan bir çift türbin kullanılmaktadır. Diğer bir çeşidi ise atık ormancılık ürünü şeklindeki biyokütle, hava ile

yakılarak sıcak buhar akışkan elde edilir. Elde edilen bu akışkanı buhar türbinine göndererek elektrik elde edilebilir. Genellikle basınç altında sıcak sıvı olan jeotermalde tesise girer. Bu iki girişten gelen jeotermal ve biyokütle enerjisi etkileşime girerek elektrik üretimini artırır. Kullanım verimliliğine ekserji tarafından bakıldığında biyokütle ve jeotermal akışkan enerjisinden elde edilen enerjiler girdi, elde edilen elektrik ise çıktıdır. Kullanım verimliliği ise çıktı / girdi şeklinde olur. Ekserji tarafından sistem verimliliğine bakıldığında, tesis için ısıl verim Termodinamiksel olarak iyi tanımlanmamıştır çünkü jeotermal akışkan kapalı bir döngüde değil birçok işlemde geçer ve bu işlemler sonucunda mekanik kayıplar söz konusudur. Üretilen bu elektrik sistemden alınmalı ve ısısını kaybetmiş jeotermal akışkan ise sistemden boşaltılmalıdır (re-enjeksiyon) (DiPippo, R., 2012).

### 2.3. Jeotermal Enerji Kullanım Alanları

#### 2.3.1. Elektrik üretimi

Haznedeki akışkan sıcaklığı 150°C ve daha fazla olan tesislerden elektrik üretmek mümkündür. Son dönemde yaşanan teknolojik gelişmelere paralel olarak 80°C kadar düşük hazne sıcaklıklı jeotermal sulardan da elektrik üretimi yapılmaktadır. Alp kuşağında bulunan Yunanistan, İtalya, Tibet ile birlikte Türkiye’de jeotermal kaynaklardan elektrik üretim potansiyeline sahip bir ülkedir. Şekil 2.4’de biyokütle destekli jeotermal enerji santrallerinin basit bir çalışma prensibi gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Genelleştirilmiş biyokütle destekli jeotermal enerji santrali şeması.

Tablo 2.6’da Türkiye’de elektrik üretimine uygun jeotermal enerji sahaları sıcaklıkları ile birlikte gösterilmiştir.

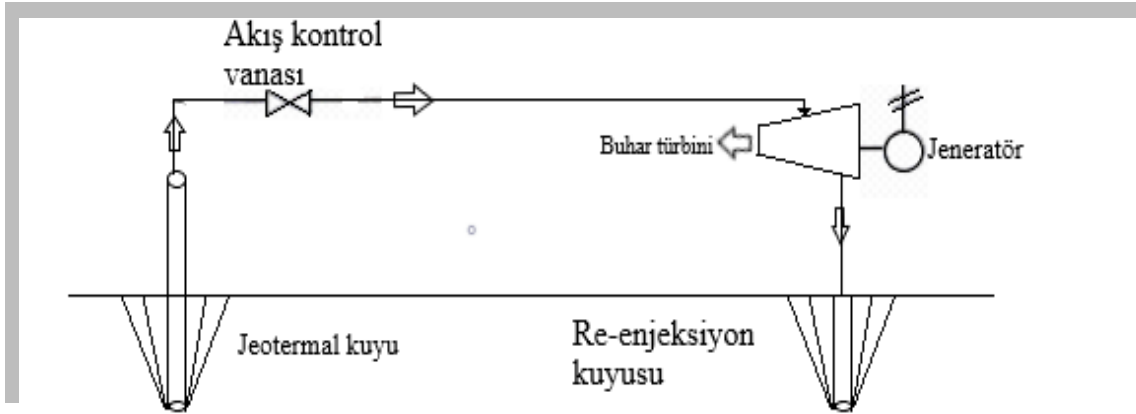
**Tablo 2.6.** Türkiye’de elektrik üretimine uygun jeotermal sahalar (Akkus vd., 2005; Arslan vd.,2005).

<b>Jeotermal Sahalarımız</b>	<b>Rezervuar Sıcaklığı (°C)</b>
Denizli- Kızıldere	242
Aydın – Germencik	232
Manisa- Salihli-Göbekli	182
Çanakkale-Tuzla	174
Aydın-Salavatlı	171
Kütahya-Simav	162
İzmir-Seferihisar	153
Manisa-Salihli-Caferbeyli	150
Aydın-Yılmazköy	142
İzmir-Balçova	136
İzmir-Dikili	130

Elektrik üretiminde kullanılan çevrimler aşağıda başlıklar halinde verilmiştir.

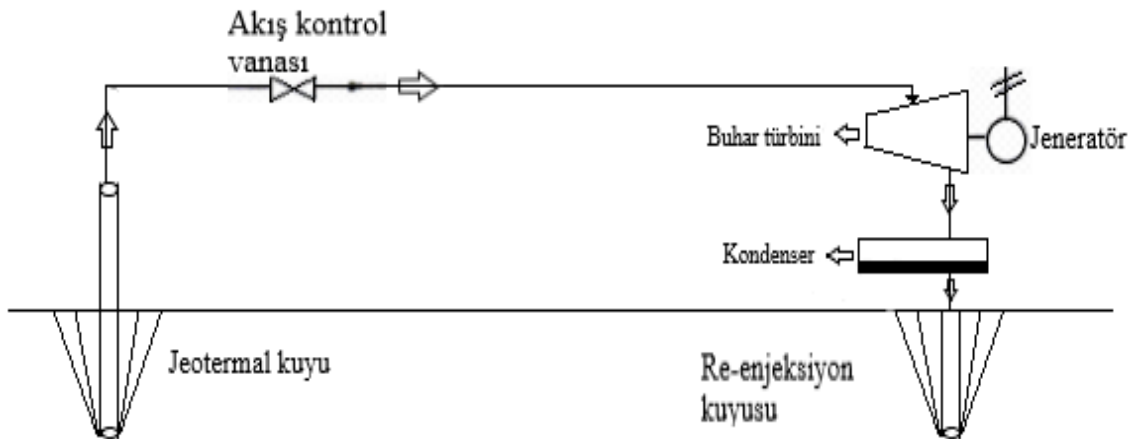
### **2.3.1.1. Kuru – buhar çevrimleri**

Sahip olduğumuz jeotermal santral çeşitleri arasında en kolay kullanımı olanı kuru buhar santralleridir. Bu şekilde çalışan jeotermal elektrik santralleri asıl olarak kızgın veya doymuş jeotermal buharın bulunduğu alanlarda uygulanabilir. Fakat Dünya üzerinde doymuş veya kızgın jeotermal akışkanın bulunduğu jeotermal bölgelerin sayısı ise azdır (Lund ve Freeston, 2001). Jeotermal enerji kaynağından çıkan buhar, kuru şeklindeki buhar veya hafif kızgın şeklinde bulunan buhar özelliklerinde ise direkt olarak buhar türbini ve jeneratör grubuna iletilerek elektrik üretilebilir. Dünya’da bu şeklindeki jeotermal yapıya sahip olan kaynaklara örnekler ise, İtalya-Larderello’ da ki ve ABD-The Geysers (Di Pippo, 1999). Şekil 2.5’de yukarıda anlatılan kondensersiz kuru buhar çevrimli jeotermal enerjiden elektrik üreten bir santralin çalışma şeması gösterilmiştir.



**Şekil 2.5.** Kondensersiz kuru buhar çevrimli jeotermal elektrik santrali akış şeması

Kondenserli kuru buhar çevriminde ise, türbin çıkışında bir kondenser vardır. Jeotermal buhar, türbinden geçirildikten hemen sonra bir kondensere girer. Kondenserde yoğuşan buharın enerjisi alınır daha sonra tekrar yeraltına enjekte edilir. Kondenserin yaptığı etki ile atmosfer basıncının altında bir basınç oluşturduğundan türbin çıkışında vakum oluşur. Buharın enerjisi alındığından var olan basıncı, sıcaklığı ve dolayısıyla entalpisi düşükten sonra türbinden ayrılır. Böylelikle buhardaki var olan ısıl enerjinin büyük bir kısmı güce dönüştürülmüş olur ve bu sebepten dolayı kondenserli kuru buhar çevrimleri kondensersiz kuru buhar çevrimlerine kıyasla aynı şartlar altında daha çok elektrik üretirler (Kanoglu ve Çengel, 1999). Şekil 2.6’da ise jeotermal enerjinin kondenserli kuru buhar çevrimi ile çalışan enerji santralinin akış şeması gösterilmiştir.



**Şekil 2.6.** Kondenserli kuru buhar çevrimli jeotermal elektrik santrali akış şeması

Kondensersiz direkt buhar çevrimli elektrik santrallerinde 1kWh elektrik enerjisi elde etmek için lazım olan buhar miktarı yaklaşık olarak 15 ila 25kg arasındadır. Böyle bir türbinin sahip olacağı güç üretim kapasitesi yaklaşık 20 ila 120MWe arasındadır. Örneği



olan İtalya'daki 20MWe kapasitesi bulunan bir standart modüler birim üzerinde denenmeye başlanmıştır. Buhar içerisinde bulunan yoğuşmayan gaz oranı çok yüksek ise (%50'den fazla) kondensersiz çevrim sistemin kullanılması gerekmektedir. Zira kondenserde yoğuşmayan bu gazları sistemden atmak uğruna büyük güçlere ihtiyaç vardır. Şayet buhardaki yoğuşmayan gaz içeriği %15'den daha az ise, kondenserli santrallerde 1kWh elektrik enerjisi üretimi yapabilmek için lazım olan buhar miktarı yaklaşık 6 ila 10kg arasındadır. Bu birimlerin özgül buhar kullanımı türbindeki giriş basıncından çok fazla etkilenir. Yani girişteki buhar basıncı düştükçe buhar harcaması artar. Örnek verecek olursak 15 ila 20bar arasındaki basınçlarda özgül buhar harcaması yaklaşık 6 kg/kWh olur. 5 ile 15bar arasındaki buhar harcaması ise 7-9kg/kWh olur. Daha az basınçlarda ise özgül buhar harcaması daha da artar (Kanoglu, 2005).

### **2.3.1.2 Tek ve çift püskürtmeli çevrimler**

Rezervuarlardan çıkarılan jeotermal akışkanın hepsinin buhar fazında olması genel bir durum değildir. Elde edilen jeotermal akışkan genel olarak doymuş sıvı–buhar fazındadır. Böyle durumlarda buhar oranı oldukça yüksekse buhar olan kısmı sıvı kısmından ayrıştırılır ve buhar türbine gönderilir geri kalan sıvı fazındaki jeotermal ise yer altına enjekte edilir. Buhar oranının az olduğu veya jeotermal akışkanın hepsinin sıvı fazında bulunduğu durumlarda ise püskürtmeli buhar çevrimlerinden yararlanılmaktadır. Püskürtme prosesi, kısılma vanalarının çalışma prensibine göre çalışır ve püskürtme havuzu diye adlandırılan bir mekânda meydana gelir. Jeotermal akışkan püskürtme prosesi sırasında entalpisinin değişmemesi fakat basıncının düşmesinden dolayı sıvının belli bir oranı buharlaşır. Ayrıca püskürtme prosesinden sonra oluşan sıcaklık eski sıcaklıktan daha düşüktür ve yeni sıcaklık ise yeni oluşan basınçtaki doyma sıcaklığıdır (Kanoglu, M., 2005). Püskürtme işlemi bir sabit entalpi prosesinin uygulanmasıdır. Proses sonucunda oluşan buharın kuruluk derecesi ise 0,10-0,50 arasındadır. Elde edilen buhardaki kuruluk derecesini değiştiren etkenler ise; kuyudaki akışkanın termofiziksel şartları, kuyunun boyutu ve basıncıdır (Köse vd., 2004).

### 2.3.1.3. Binary çevrim

Düşük olarak adlandırılan jeotermal enerjinin (genellikle 170°C'nin altı) ve sıvı oranı yüksek jeotermal kaynaklardan binary çevrim olarak isimlendirilen bir çevrimden yararlanılarak elektrik üretimi yapılır. Bu çevrim sırasında türbinde dolaşan diğer akışkan ise jeotermal buhar değil, binary akışkan diye adlandırılan ve kaynama sıcaklığı suyun var olan kaynama sıcaklığından çok daha az olan başka bir akışkandır.

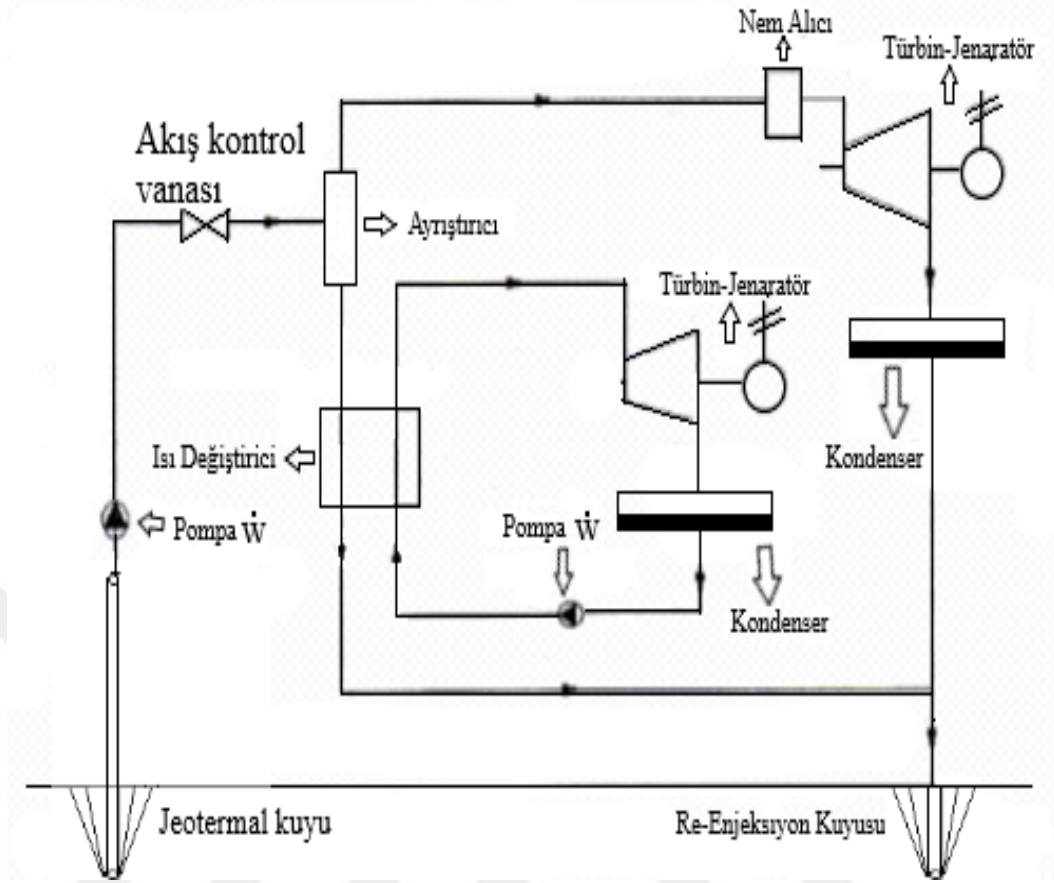
Çevrimin ısı kaynağını ise jeotermal akışkandan gelen ısı oluşur. Jeotermal santrallerde binary çevrimdeki akışkanlar genel olarak izobütan, izopentan, pentan, R-114 ve R-134A kullanılır. İkincil akışkan olarak izopentan ve izobütanın seçilmesinin diğer önemli avantajları aşağıda verilmektedir (Barbier,2002).

- Nispeten düşük kaynama noktasına sahiptirler,
- Nispeten yüksek ısıl kapasiteye sahiptirler,
- Güvenli akışkanlardır,
- Korozif ve zehirli değildirler.

Soğutucu akışkan olarak havanın seçilmesi çevre kirliliğine yol açmaz fakat yaz günleri sırasında çevrimin verimini düşürür (Kanoglu ve Çengel, 1999).

### 2.3.1.4. Kombine tek püskürtmeli Binary çevrimi

Kombine tek püskürtmeli-binary çevriminde ayrıştırıcıdan çıkan jeotermal akışkan bir ısı değiştiricisinden geçirilerek aynen binary çevriminde olduğu gibi uygun bir çevrim akışkanını buharlaştırmak için kullanılır. Böylece jeotermal akışkanın enerjisinden daha çok yararlanılması söz konusudur. Bu çevrim ilk olarak çift püskürtmeli çevrimin başka bir alternatifi olarak sunulmuştur. Sekil 2.7'de jeotermal enerji ile çalışan kombine tek püskürtmeli-binary çevrimi için basitleştirilmiş akış diyagramı verilmiştir.



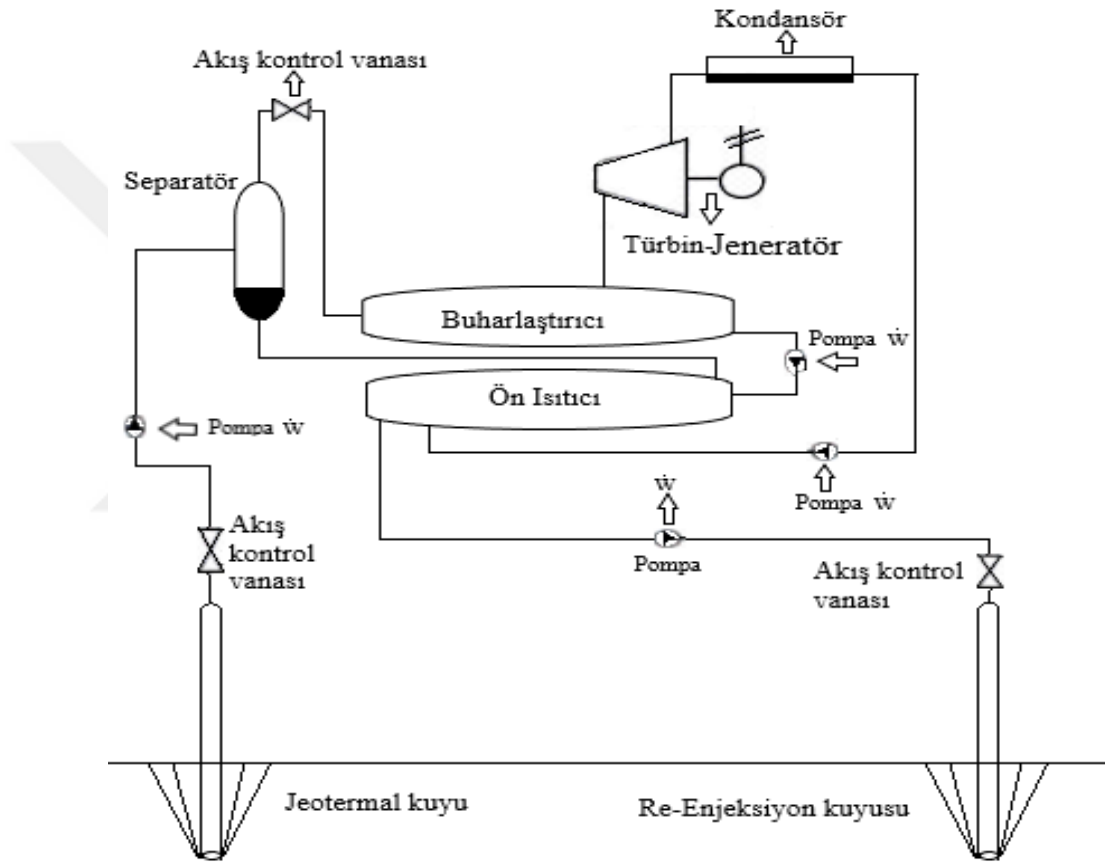
Şekil 2.7. Kombine tek püskürtmeli-binary çevrim jeotermal elektrik santrali

Şekil 2.7'deki gördüğümüz kombine bir çevrim sisteminde yüksek basınçlı olan buhar atmosferik çıkışlı yapıya sahip bir türbine (I. Türbin) iletilir. I. türbin hizasından iletilen düşük basınçlı buhar ise binary sistemin buharlaştırıcısındaki işlem ile yoğunlaştırılırken seçilen diğer çalışma sıvısından oluşan buhar ise diğer türbin'e yönlendirilir. Ek güç elde etmek için izlenen yol ise separatörde ayrıştırılan sıcak suyu kullanmaktır (Grassiani, ve Krieger, 2000). Ayrıca çift püskürtmeli sisteme göre, kombine sistemin yapım ve işletim masrafları daha düşüktür.

### 2.3.1.5. Bileşik püskürtmeli Binary çevrimi

Jeotermal elektrik üretimi sırasındaki gelişmeler ile birlikte özellikle son 10 yılda yaygınlaşmaya başlayan yeni bir çevrim birleşik püskürtmeli-binary çevrimidir. Bu çevrimin amacı hem binary, hem püskürtmeli çevrimlerin var olan avantajlarından aynı anda yararlanmaktır. Yüksek sıcaklıktaki jeotermal kaynaklar içinde kullanılabilen bu çevrim bu özelliğiyle çift püskürtmeli olarak adlandırılan çevrime ek bir seçenek

oluşturur. Çalışma prensibi ise püskürtme havuzunda püskürtülen jeotermalden oluşan buhar sayesinde ve bu buharın türbininden geçirilerek elektrik elde edilmesidir. Yoğuşmuş ve enerjisi alınmış jeotermal akışkan ise tekrar kullanılmak için yer altına yollar. Püskürtme havuzundan çıktıktan sonra jeotermal akışkan binary çevrimin ısı değiştiricisinden geçirilerek ısı enerjisini ikincil akışkana iletir ve tekrardan yerin altına gönderilir. Binary çevrim ise türbinden geçirilen ikincil akışkanla elektrik üretimi yapılarak tamamlanır ve çevrim sonlanır.



**Şekil 2.8.** İki fazlı jeotermal akışkandan elektrik üreten ORC

Organik Rankine çevrimi (ORC), Rankine çevrimi ile neredeyse aynı çalışmaya prensibine sahip fakat farklı çalışma sıvısı ve ısı kaynağı aralığı vardır. ORC organik bazlı çalışma sıvısı ve çalışma aralığı ve 80°C civarındaki kaynakları kullanır fakat Rankine çevriminde çalışma sıvısı olarak buhar kullanır ve yüksek sıcaklıklı ısı kaynaklarından (500°C) yararlanır (Yağlı vd., 2016).

Yeni yapılan bazı “binary” ünitelerinde çalışma sıvısı türbini döndürdükten sonra hava soğutmalı yapıya sahip olan kondansere gönderilerek yoğunur. Hava soğutmalı yapıya sahip olan kondansörlerin sıvı seçimi yapılırken organik çalışma sıvısı tercihi, düşük basınçlı olarak iletilen buharın kondansörde vakum yaratılmasında daha etkindir. Bunun sebebi ise çalışma sırasındaki yoğunlaşma ortamındaki pozitif basınca sahip olan çalışma sıvısı, düşük basınçlı olan buharla kıyasla az hacim kaplamasıdır. Bu durum sonucunda ise, hava soğutma sistemlerindeki ısı değiştirme ve boru yüzeyleri organik buhar için olması gerekenden çok daha küçük olmaktadır (Grassiani ve Krieger, 2000).

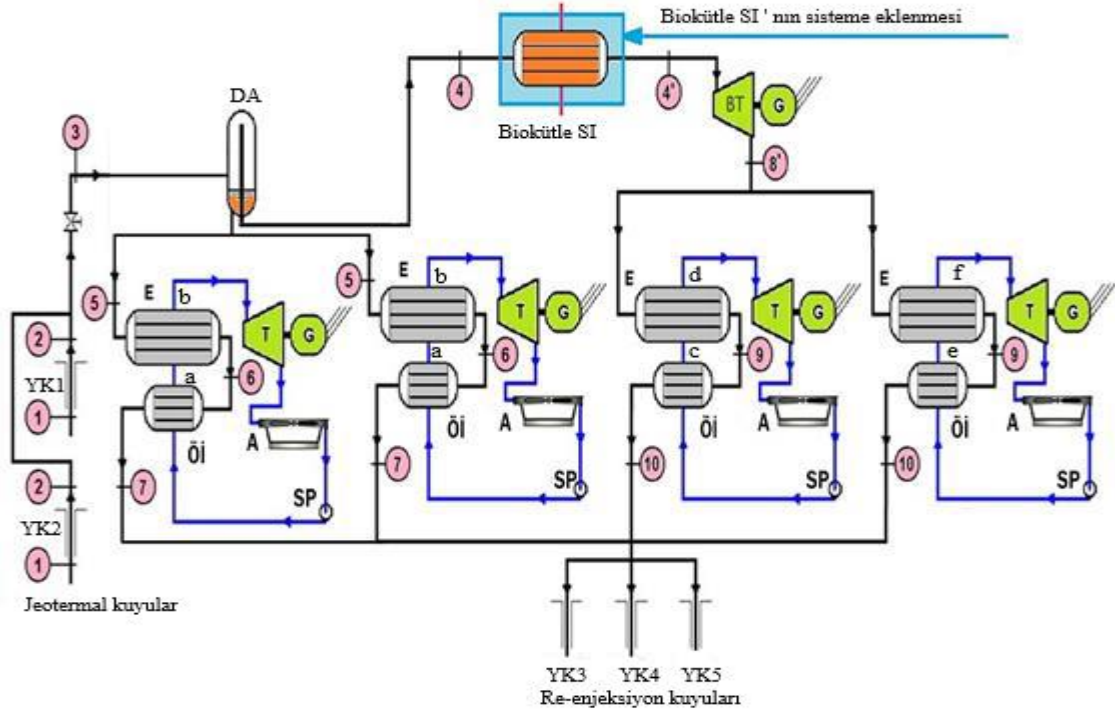
Hibrit bir jeotermal biyokütle tesisinin nasıl yapılandırılabilirliği ve gerçekleştirilebileceğinin basit bir örneği olarak, Yeni Zelanda'nın Kuzey Adası'ndaki Rotokawa'da ilk jeotermal tesisinin durumunu göz önüne alınıp sistem incelendiğinde aşağıdaki gibi olduğu gözlenmiştir. Şekil 2.9'da Rotokawa jeotermal enerji santralinin Google Earth ile çekilmiş bir görüntüsü bulunmaktadır.



**Şekil 2.9.** Rotokawa jeotermal enerji santrali Google Earth (2020)

Orijinal tesisin basitleştirilmiş bir akış diyagramını “Şekil 2.10”da göstermektedir. Rotokawa I, varsayımsal bir biyokütle ile çalışan süper ısıtıcının (BM-SH) ilavesiyle değiştirilmiş ve artırılmıştır (Legmann, 1999). Sadece buhar türbininin giriş ve çıkış durumları, orijinal tesise göre bu değişiklikten etkilenir. Biyokütle ile beslenen üniteden

aşırı ısınma nedeniyle örnek aldığımız tesisten daha fazla güç üretecektir. Bu tesisin Türkiye içinde uygulanabileceğini göz önüne alarak inceleyelim.



Şekil 2.10. Rotokawa I hibrit jeotermal-biyokütle enerji santrali (Legmann, 1999).

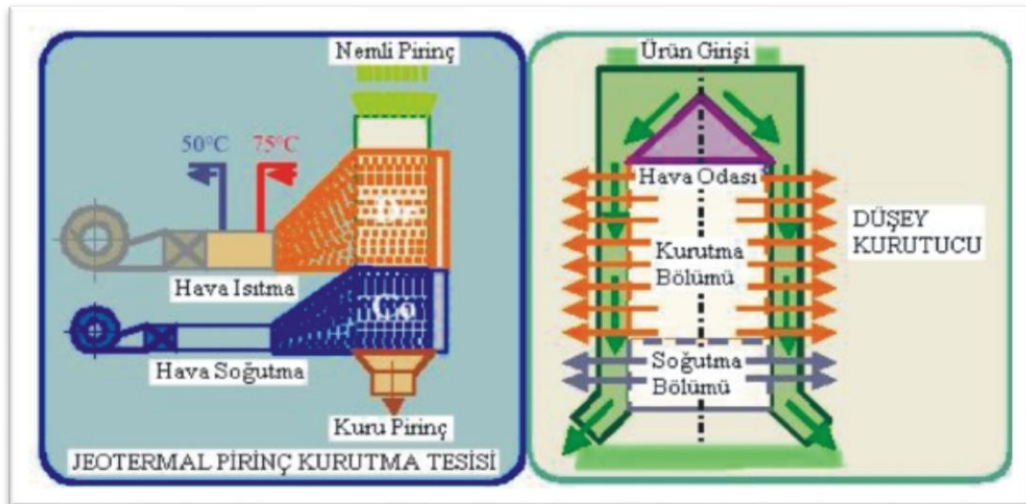
Şekil 2.10'da gösterilen sistemi anlatacak olursak YK1 ve YK2 9 diye isimlendirilen 2 kuyudan jeotermal kaynak girmektedir. Bu kaynağın sıvı-buhar fazında olduğu bilinmektedir. Daha sonra CS ismi verilen (ayırıştırıcı) gönderilerek doymuş sıvı ve buhar olarak ayrıştırılmaktadır. Burada buhar olan kısım tekrar BM-SI (biyokütle-süper ısıtıcı) ile ısısı artırılıp daha sonra BT (buhar türbini) ye gönderiliyor ve oradan tekrar evaporatörlere aktarılıyor. Enerjilerinden yararlandıktan sonra sıvı haline dönüştürülüp YK3, YK4, YK5 diye adlandırılan kuyulardan tekrar geri basılıyor ve sonuç olarak jeotermal enerji ve biyokütle enerjisi herhangi bir alanda kullanılacak duruma getiriliyor (elektrik-ısıtma vb.). Tablo 2.7'de ise Şekil 2.10'daki sistemin ekipmanları ve yine aynı ekipmanların görevleri açıklanmıştır.

**Tablo 2.7.** Şekil 2.10'daki sistemin ekipmanları ve görevleri

Ekipmanlar	Ekipman Açıklamaları	Ekipman İşlevleri
DA	Döngü ayırıştırıcı	Sıvı-Buhar fazlarını ayırştırmak
E	Evaporatör	Buharlaştırma görevini yapmak
BT	Buhar Türbini	Buhar enerjisinden yararlanmak
T	Türbin	Akışkan enerjisinden yararlanmak
A	Depo	Soğutucu akışkan depolamak
SP	Soğutma suyu Pompası	Soğutucu akışkanı pompalamak
BM-SH	Biyokütle Süper Isıtıcı	Jeotermalin enerjisini arttırmak
YK	Rezervuar	Jeotermal çıkış kaynağı
G	Generator	Enerji üretmek

### 2.3.2. Endüstriyel kullanımlar

Ülkemizde jeotermal enerjinin endüstriyel kullanım oranları oldukça düşüktür. Jeotermal enerjisinin endüstriyel alanda 'da pek çok şekilde kullanımı vardır. Bunlardan bazıları şunlardır; kâğıt işleme, sebze ve tahıl kurutma, atık su işlemleri. “Şekil 2.11” de uygulamada olan bir tahıl kurutma sisteminin çalışma şekli gösterilmiştir. Nemli veya ıslak mahsullerin kurutulmak için sistemin içerisine dökülerek jeotermal enerjiden gelen ısının havayı ısıtmasıyla ve ısınan bu havanın bir fan yardımıyla ürünleri kurutmakta değerlendirilmesi yapılmaktadır.



**Şekil 2.11.** Tahıl kurutma sistemi (Popovski, K., 1992)

### 2.3.3. Bölgesel ısıtma sistemleri

Jeotermal enerjiden yararlanmanın farklı bir yöntemi bina ve bölge ısıtmasıdır. Binaların, kentlerin ısıtılması ile suyun ısıtılmasında Jeotermal akışkandan yararlanılmaktadır. Ülkemizde 1983'ten beri kullanılan ısıtma sistemlerinde jeotermal enerji ile ısıtılan konut sayısında yılda ortalama olarak %23 oranında artış gözlenmiştir (Mertoğlu vd., 2000).

### 2.3.4. Sera uygulamaları

Ülkemiz tarımın özellikle de ekonomik değeri yüksek olan seracılığın yapılması için verimli topraklara sahiptir. Seraların ısıtılmasında kullanılabilecek en ucuz ısıtma sistemi jeotermal ısıtmadır.

Jeotermal rezervuarlardan elde edilen su genelde çok sıcak olduğundan soğuk su ile sıcaklığı dengelenerek suyun sıcaklığı yaklaşık 75-80°C'ye indirildikten sonra seralara gönderilir. Türkiye'de bulunan ve sıcaklığı genellikle 70°C ve üzerinde olan jeotermal kaynaklar seracılıkta kullanılır (Titiz, 2004). Hava sıcaklığının yükseldiği zamanlarda seralara gönderilen suyun sıcaklık derecesi daha fazla azaltılır ve havalandırmalar açılarak ortam sıcaklığı dengelenir. Havalandırmanın diğer bir önemi bitkiler için gerekli olan karbondioksitin sera içine girmesini sağlamaktır. Isıtmada kullanılan borular, seraların içine döşenen çelik izolasyonlu borulardır. Isıtmaya en çok ihtiyaç duyulan zaman en düşük sıcaklığın olduğu kış aylarıdır. Amaç sadece bitkiyi donmaktan korumak değil, aynı zamanda bitkinin gelişimini devam ettirebilmesi için gerekli sıcaklığı sağlamaktır. Ülkemizdeki durum ise biraz yanlış uygulanmakta, amaç bitkinin ideal sıcaklıkta büyümesini sağlamak değil donmasını engellemeye yöneliktir. Bu durumun sebebi ise ısıtma maliyetlerinin yüksek olmasından dolayıdır. Sıcaklığın birkaç gün bile 10-12°C altında kalması verimi ve ürün kalitesini olumsuz etkiler. Şekil 2.12'de jeotermal enerjinin sera ısıtmasında kullanıldığını gösteren örnek bir sera gösterilmiştir.





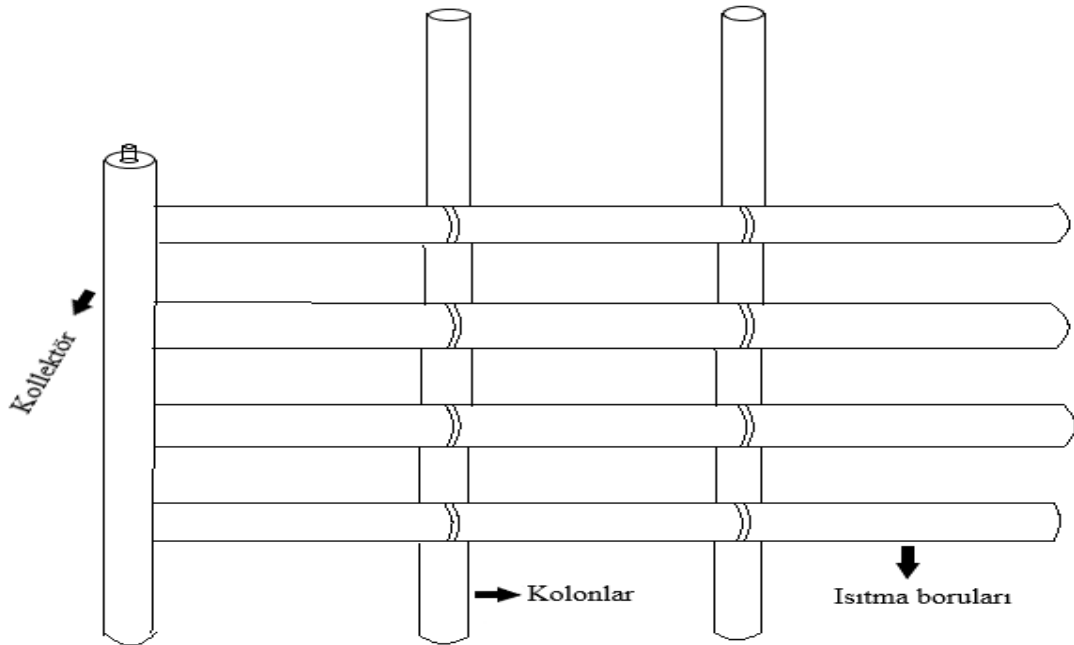
**Şekil 2.12.** Jeotermal Isıtımlı Sera Google (2020)

Güney Ege Kalkınma Ajansı tarafından hazırlanan bir rapora göre Türkiye’de 2811 dekar alanda jeotermal seracılık yapılmaktadır (Güney Ege Kalkınma Ajansı, 2012). Ege Bölgesinde bulunan kuyuların ülkemizde bulunan tüm jeotermal kuyuların %61,64’üne sahip olduğu görülmektedir. Akdeniz ve Ege Bölgesi’nin coğrafi konumundan dolayı iklim özelliklerinin iyi ve seracılığa elverişli olması, sera tarım alanlarının bu bölgelerde çok hızlı bir şekilde büyümesine etki yapmıştır. Bu bölgelere kıyasla sıcaklık ortalamalarının çok daha düşük olduğu diğer bölgelerde ise yüksek ısıtma giderleri sebebiyle seracılık daha az gelişmiştir. Fakat jeotermal kaynaklar ile birlikte, sıcaklık ortalamalarının düşük olduğu bölgelerde de ısıtma maliyetleri azaldığı için seracılık yapılabilir hale gelmiştir. Sıvı ve Gaz yakıtla ısıtılan seralar jeotermal ile ısıtılan seralardan çok daha maliyetlidir (Milivojevic ve Martinovic, 2003).

Seracılığın en büyük problemlerinden biri ısıtmadır. Seralarda sıcaklık göstergesinin uygun sistemlerden yararlanılarak istenilen değerlerde tutulması modern seracılığın en önemli şartlarından biridir. Sera içindeki iklimi oluşturan diğer etkenlerin de uygun şartlarda olması şartı ve büyütülen bitki için azami sıcaklığı aşmamak şartıyla, sera içindeki sıcaklık derecesinde oluşan her 10°C’lik artışın bitki büyümesine yaklaşık iki kat etki ettiği bilinmektedir (Yağcıoğlu, 2005). Ülkemiz şartlarına bakıldığında ısıtma giderlerinin fazla olması sera karlılığını etkileyen ciddi bir faktördür. Sera ısıtmasında yararlanılan yakıtların pahalılığı yetiştiriciyi ısıtma işlemi yapmadan yetiştiriciliğe yöneltmektedir. Seracılık işletmelerinde ısıtma giderleri, yetiştirme mevsimi ve konuma

bağlı olarak, toplam üretim giderlerinin yaklaşık %40-80'ini oluşturabilmektedir. Ülkemiz seralarında düzenli bir ısıtma yapılmamakta, sadece bitkileri dondan korumak amacıyla ısıtma uygulanmaktadır. Düzenli ısıtma yapılmaması, verim azalması, üretim türünde azalma, tarımsal mücadele için ilaç ve hormon kullanma çaresizliği gibi problemleri yanında sürüklemektedir (Kendirli ve Çakmak, 2010).

Sonuç olarak günümüzde neredeyse her mevsim iyi ve güzel sebze-meyve üretme arzusu seracılığı önemli tarımsal faaliyet alanlarından biri yapmıştır. Yetiştirilen mahsullerin kaliteli ve sağlıklı olması büyük önem arz etmektedir. Özellikle karasal iklim şartlarının egemen olduğu bölgelerde jeotermal seracılık çok elverişli ve ekonomik bir kaynaktır. Seraların jeotermal kaynaklarla ısıtılması teknik ve çevre ile ilgili gerekli önlemler alındığı takdirde, ısıtma giderlerini en aza indirerek ekonomik bir yetiştiricilik imkânı sağlayarak sera alanlarımızın artmasını da sağlayacaktır. Şekil 2.13'de jeotermal enerji ile sera ısıtmasında kullanılan örnek bir boru şebekesi sistemi gösterilmiştir. Bu boru sisteminde jeotermal su kollektör kısmından dağıtılarak ısıtma boruları aracılığıyla alan ısıtılması yapılır. Kolonlar ise ısıtma borularının hareket etmemesi için sisteme konulmuştur.



**Şekil 2.13.** Sera altlarına yerleştirilen şebeke borularının örnek sistemi

Şekil 2.14'te şebeke borularının gerçek bir uygulamada görüntüsü bulunmaktadır.



**Şekil 2.14.** Jeotermal enerjiden yararlanılan örnek bir sera Google (2020)

### **2.3.5. Kar ve buz çözme**

Yıl boyunca sokak sıcaklığı dalgalanmalarını azaltmak ve kış mevsiminde buz oluşumunu önlemek için düşük sıcaklıklı jeotermal enerjiden yararlanma fikri birçok defa gündeme gelmiş ve araştırılmaya devam edilmektedir. Yol yüzeylerinde kar ve buz çözme uygulamaları dünya üzerinde sınırlı ülkelerde yapılmaktadır bu ülkelerden bazıları Japonya, Arjantin, Amerika ve İzlanda'dır (Lund ve Freeston, 2000). Şekil 2.15'de Amerika'da düşük entapili olan jeotermal ile kar ve buz çözme uygulamasının bir örneği gösterilmiştir. Jeotermal su ısıtılacak zeminin altına yerleştirilen mavi ile gözüken borulardan geçirilerek yollarda buzlanmaya karşı bir tedbir olarak uygulanıyor.



**Şekil 2.15.** Amerika'da jeotermal ile kar ve buz çözme tekniği Google (2020)

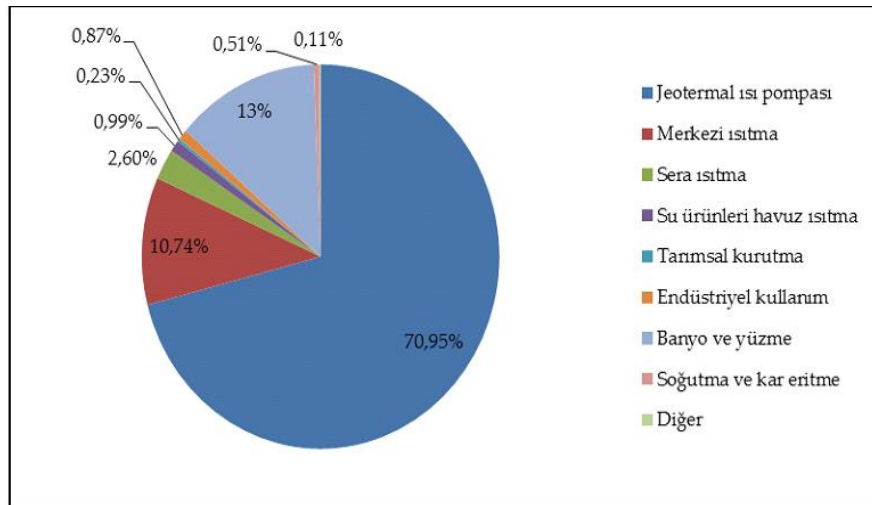
### 2.3.6. Sağlık alanında kullanım

Sağlık alanında kullanım çoğunluklu olarak banyo ve termal turizm (yüzme) şeklinde olmaktadır. Kaplıca tedavisi olarak da adlandırılan bu kullanımda etken enerjik unsur olan yeraltı sıcak maden suları yeryüzüne çıkarken belirli oranlarda gaz ve tuz yüklenirler bu nedenle çıkan su tedavi amaçlı olarak kullanılmaktadır. Şekil 2.16’da jeotermal enerjinin sağlık alanında kullanımına örnek bir termal kaplıca resmi gözükmektedir.



Şekil 2.16. Termal kaplıca Google (2020)

Şekil 2.17’de Dünya’da jeotermal enerjinin doğrudan kullanım uygulamalarının kurulu kapasite dağılımı aşağıdaki şekilde gözükmektedir;



Şekil 2.17. Dünya’da doğrudan kullanımın kapasite dağılımı (MWt) (Lund ve Boyd, 2015)

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

Organik atıklar depolama alanlarında bozulduğu zaman deponi gazına dönüşmektedir. Yani Türkiye'deki depolama alanlarında daha fazla miktarda küresel ısınmaya neden olan sera gazı metan oluşmaktadır. Karbondioksit göre yirmibir kat daha etkili olan sera gazı (metan) küresel ısınmaya neden olmaktadır. Ülkemizde de sera gazı kaynaklarından biri 'de çöp depolama alanlarıdır. Diğer taraftan metan gazı önemli bir enerji kaynağıdır. Düzenli depolama alanlarında oluşan deponi gazının da çoğu geri kazanılmamaktadır. Yani çöp depolama alanlarından önemli miktarda deponi gazı kontrolsüz olarak atmosfere salınmaktadır. Bu gazlarda hem küresel ısınmaya neden olmakta hem de önemli miktarda enerji kaynağı hava uçup gitmektedir. Deponi gazının kontrol edilmediği depolama alanları önemli bir sera gazı metan kaynağıdır. Bunun kontrol edilmesi gereklidir. Depolama alanlarında verilen organik maddelerin kademeli olarak azaltılmalı veya depolama alanları biyoreaktörlere dönüştürülmelidir. Organik maddesi yüksek olan çöplerin depolandığı alanlarda oluşan sızıntı suları evsel atık sulara göre 60 kat daha fazla kirlilik yüküne sahiptir. Sızıntı sularının mutlaka arıtılması gereklidir.

Ülkemizde 1980'li yıllarda alternatif enerji arayışları içinde gündeme gelen biyogaz yaygın olmamak üzere 2000 yılından itibaren bazı bölgelerimizde tezekten elde edilerek evsel kullanıma yönelik uygulamalarla gündeme girmiştir. İnsanlık tarihinin hiçbir döneminde enerji göz ardı edilerek gelişme olmamıştır. Her ne şekilde olursa olsun ilerlemenin temel gücü kesinlikle enerji olmuştur. Günümüzde enerji kalkınmışlığın bir göstergesi kabul edilmekte, ülkelerin gelişmişliği kişi başına düşen enerji miktarı ile ölçülmektedir.

Bu bağlamda, Erzincan'daki durumu göz önüne aldığımızda ilimizde bulunan biyogaz ve jeotermal tesisleri entegre ederek yani biyogazla düşük sıcaklıktaki jeotermal kaynağımızın sıcaklığını artırarak konut ve sera ısıtmasına kullanışlı hale getirmek amaçlanmıştır. Bu kaynakların kullanımı sırasında planlanan durumlardan bazıları şunlardır: çevre kirliliğini azaltmak, enerji bağımlılığımızı göz önünde bulundurarak boşa giden enerjimizi aktif hale getirmek, işsizliği azaltmak, kış aylarında zor bulunan ve pahalı olan meyve ve sebzelerin daha ekonomik bir duruma getirmek, ekonomiyi



canlandırmak. Kırsal kesimde yaşayanlar için yaşam şartlarının iyileşmesini sağlamak vb. birçok düşünce planlanmıştır. Şekil 3.1’de Erzincan’da bulunan çöp depolama alanının bir resmi gözükmektedir.

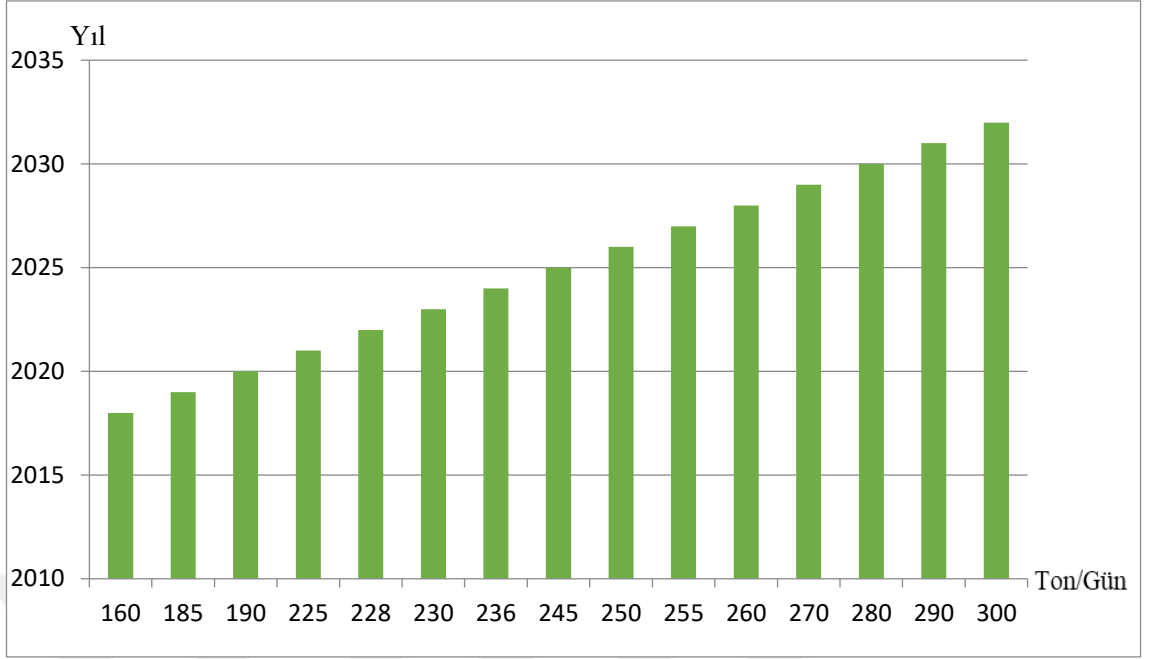


**Şekil 3.1.** Erzincan atık depolama sahası

Türkiye İstatistik Kurumu’nun verilerine dayanılarak ülkemizde kişi başı günlük atık üretim miktarının 1,1 kg olduğu gözlemlenmektedir. Bu bağlamda biz de Erzincan ili için bu parametreyi kullanabiliriz. Bu amaçla Erzincan ili için önümüzdeki yıllarda görülecek nüfus artış verilerine bakarak gelecek yıllardaki çöp miktarı hesaplanabilmektedir. Tablo 3.1’de Erzincan ili için geçmişe yönelik nüfus tablosu verilmiştir. Bu tablodan çıkaracağımız sonuç ise geçmişte elde edilen çöp miktarının oranını bulmak ve bu tahmini geleceğe yönelik çöp atığı tahmininde kullanmaktır. Geçmişte atılan çöp miktarına bağlı olarak gelecekte beklenen nüfus ile orantılı olarak tahmini çöp miktarı ise Şekil 3.2’de sıralı olarak verilmiştir.

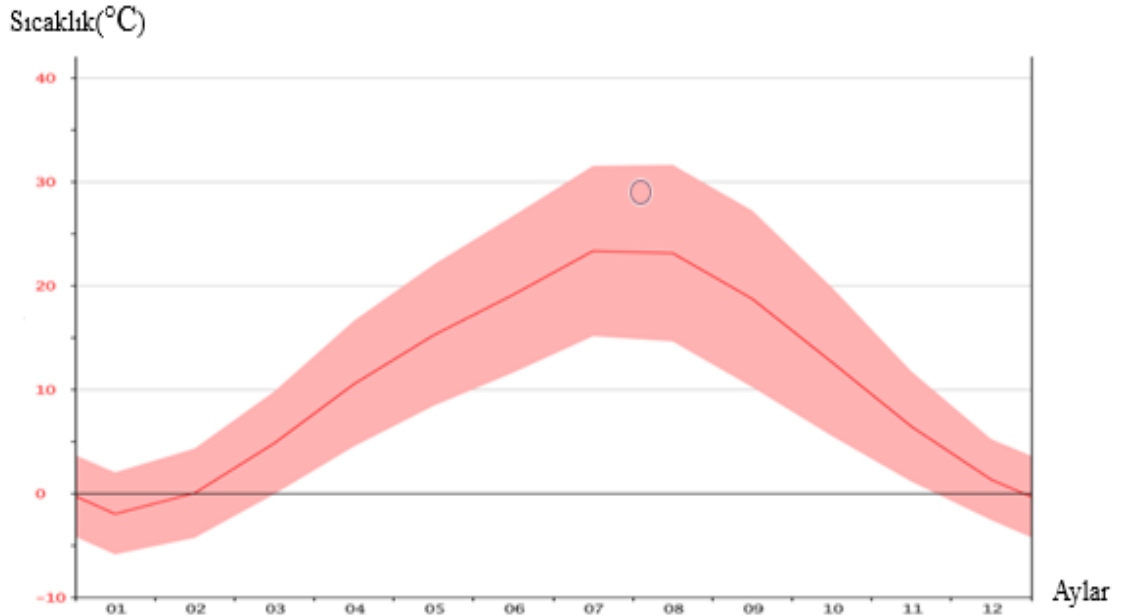
**Tablo 3.1.** Erzincan ilinin geçmişe yönelik nüfus tablosu (TÜİK, 2019).

Yıl	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Nüfus(Bin)	213	211	213	225	215	218	220	224	222	226	232	236



**Şekil 3.2.** Erzincan ilinin geleceğe yönelik tahmini atık çöp miktarı (Erzincan Belediyesi, Erkar Yenilenebilir Enerji A.Ş raporu)

Erzincan'da genel olarak mevsimsel dalgalanmalar çok olmadığından, özellikle tesisin bulunduğu bölge ılıman bir iklime sahiptir. Kış aylarında tesis bölgesinde sıcaklık aşırı düşük görülmemektedir ve maksimum yaz sıcaklıkları çoğunlukla 30°C civarındadır. Bu değerler Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınmış olup Erzincan ilinin yıllık hava sıcaklık durumu ile ilgili bize geniş bir bilgi kaynağı sunmaktadır. Sıcaklık ve yağışın çöpten enerji elde etme safhasında çok büyük bir rolü olduğu bilinmektedir. Bu durumdan dolayı Erzincan ilinin aylık sıcaklık dağılımı Şekil 3.3'de verilmiştir.



**Şekil 3.3.** Erzincan'ın aylara göre ısı dağılım grafiği

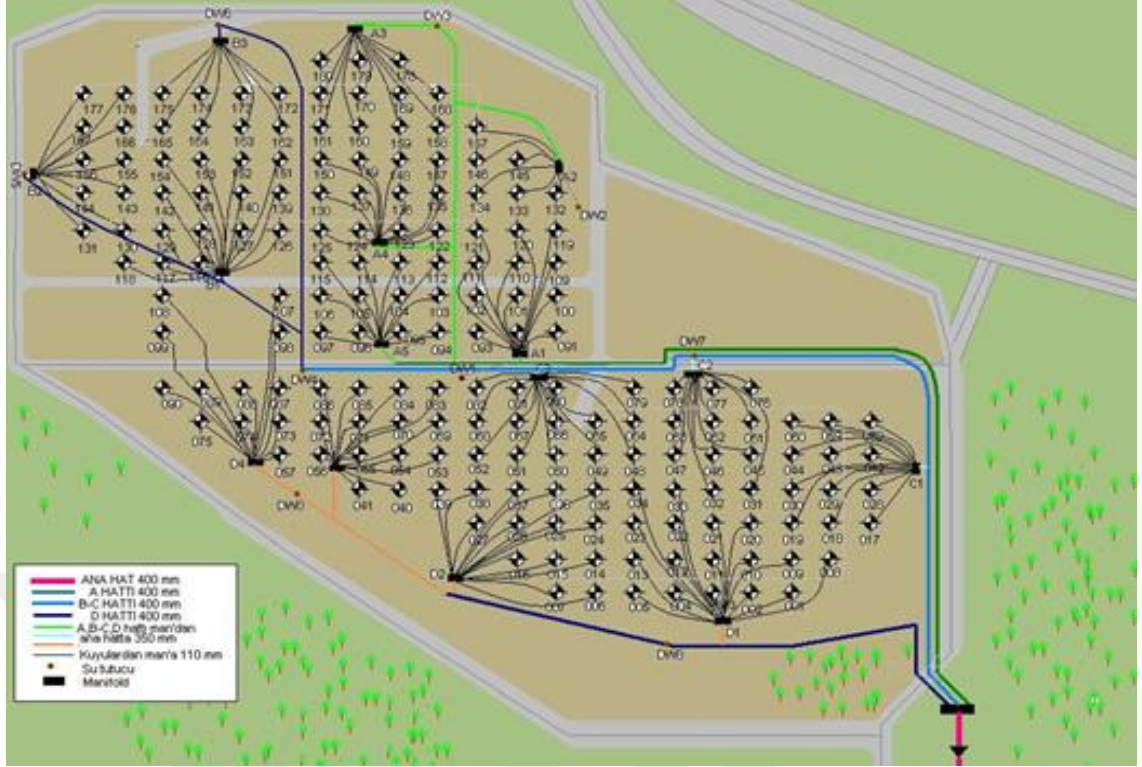
Bu bilgiler ışığında elde edeceğimiz sonuç ise çok düşük hava sıcaklık dereceleri gözlemlenmemekle birlikte sıcaklık değerlerinin 10°C'nin altına düştüğü mevsimsel geçiş süreçlerinde gaz oluşumunu istikrarlı tutmak ve enerji üretim kaybı yaşamamak için, deponi alanının üstü ve eğimli olan bölgeler geçirimsiz toprak dolguyla kapatılmaları gerekmektedir. Şekil 3.4'de Erzincan ilinde kurulu olan çöpten biyogaz üretme tesisinin biyogazı toplama şeması verilmiştir. Hemen altında verilen Şekil 3.5'de ise bu sistemin genel bir yerleşim düzeni gözükmektedir.

Tablo 3.2'de Erzincan ilinin belediyeden alınan güncel aylık atık çöp miktarı verilmiştir. Grafikteki bu değerlerden yararlanılarak üretilebilecek biyogaz miktarını hesaplama konusunda daha net bir yaklaşım yapabiliriz.

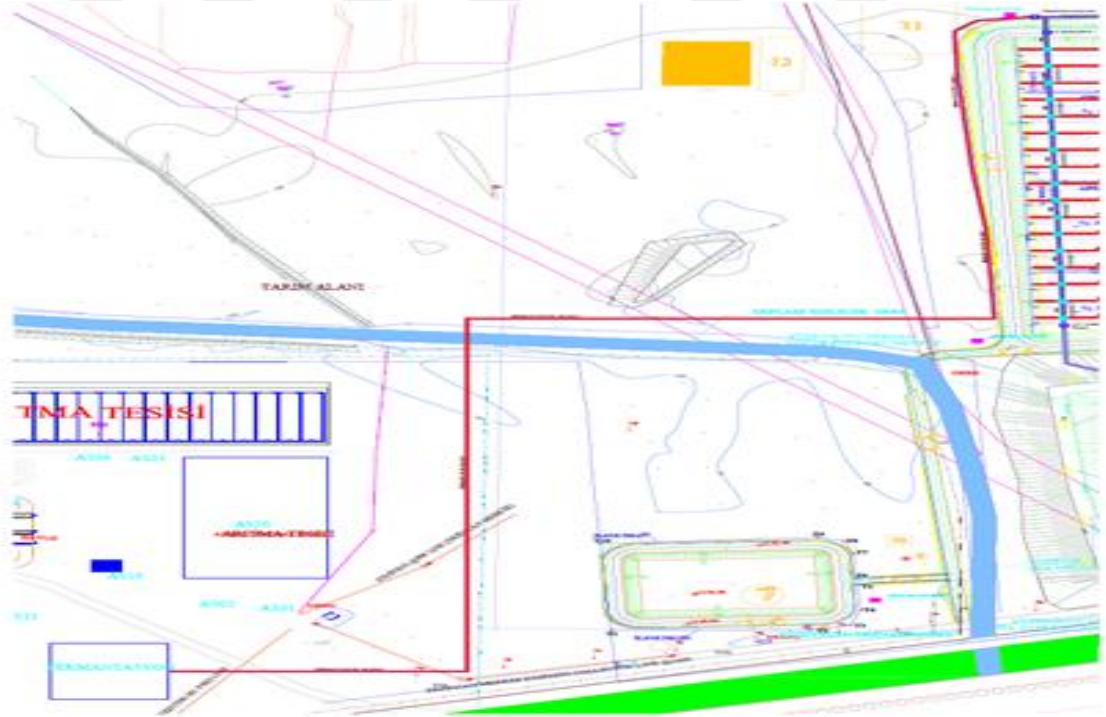
**Tablo 3.2.** Erzincan ili aylara göre günlük atık çöp miktarı (Erzincan Belediyesi, Erkar Yenilenebilir Enerji A.Ş Raporu)

Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haz.	Tem.	Ağus.	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Miktar (Ton/gün)	148	167	150	150	155	153	177	181	161	164	159	162





Şekil 3.4. Erzincan ili kurulu biyogaz toplama sistemi şematik gösterimi (Erzincan Belediyesi, Erkar Yenilenebilir Enerji A.Ş Raporu)

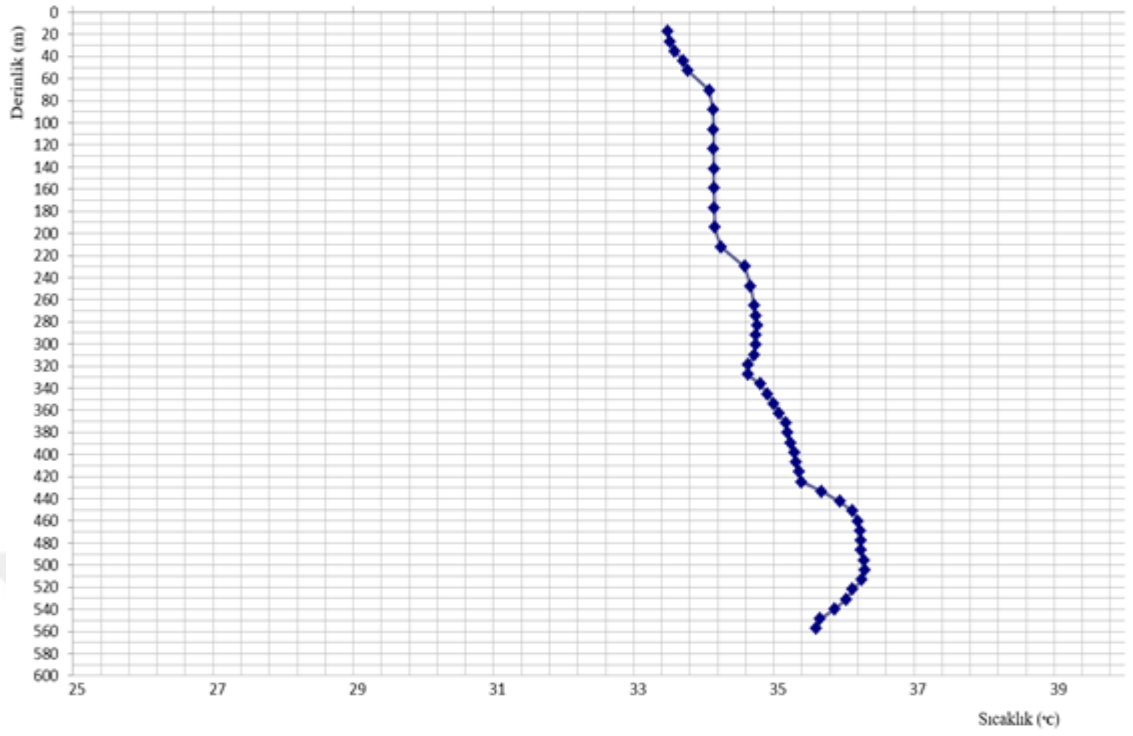


Şekil 3.5. Erzincan ili kurulu atık deponi yerleşim çizimi (Erzincan Belediyesi, Erkar Yenilenebilir Enerji A.Ş Raporu)

Tablo 3.3’de 2014 yılının 10. ayında her 10 m de bir 1’er dakika beklenecek statik sıcaklık-basınç profili Erzincan Belediyesi tarafından yapılmıştır. Ölçü alınırken ölçüm cihazı 540 m ye kadar verilen her derinlikte bir dakika bekletilerek ölçümler tamamlanmıştır.

**Tablo 3.3.** Erzincan jeotermal kuyusunda yapılan ölçüm sonuçları (Çelik. Ö, 2014).

Derinlik(m)	Basınç(bar)	Sıcaklık(°C)	Derinlik(m)	Basınç(bar)	Sıcaklık(°C)
18	0,797	33,489	398	37,410	35,291
27	1,189	33,518	407	38,298	35,319
35	1,648	33,589	416	39,181	35,357
44	2,174	33,713	425	40,037	35,400
53	2,776	33,778	434	40,928	35,683
71	4,368	34,082	442	41,809	35,946
88	6,147	34,135	451	42,691	36,128
106	7,899	34,140	460	43,570	36,202
124	9,658	34,143	469	44,459	36,228
142	11,450	34,145	478	45,333	36,241
159	13,249	34,149	487	46,207	36,246
177	15,094	34,153	496	47,088	36,288
195	16,762	34,156	504	47,971	36,296
212	18,573	34,244	513	48,845	36,251
230	20,358	34,588	522	49,729	36,126
248	22,207	34,672	531	50,611	36,031
265	24,092	34,721	540	51,481	35,875
274	24,956	34,750	549	52,354	35,656
283	25,859	34,764	558	53,506	35,606
292	26,769	34,749	442	41,809	35,946
301	27,637	34,744	451	42,691	36,128
310	28,555	34,722	460	43,570	36,202
319	29,474	34,637	469	44,459	36,228
327	30,350	34,630	478	45,333	36,241
336	31,225	34,808	487	46,207	36,246
345	32,117	34,914	496	47,088	36,288
354	33,024	34,999	504	47,971	36,296
363	33,906	35,074	513	48,845	36,251
372	34,768	35,171	522	49,729	36,126
381	35,664	35,193	531	50,611	36,031
389	36,536	35,246	540	51,481	35,875



**Şekil 3.6.** Erzincan Ekşisu jeotermal kaynağının sıcaklık derinlik değişimi (Çelik. Ö, 2014)



**Şekil 3.7.** Erzincan jeotermal kaynağı

Kuyu dibi sıcaklığı 35,6°C olarak ölçülmüştür. Kuyu içinde en yüksek sıcaklık 504m'de 36,29°C dir. Bu bilgilerden yola çıkılarak yapılan araştırma sonucunda sıcaklığın bir

miktar daha artırıldıktan sonra (70-75°C) konut ısıtma ve sera ısıtmada kullanılabileceği düşünülmüştür.

### 3.2. Yöntem

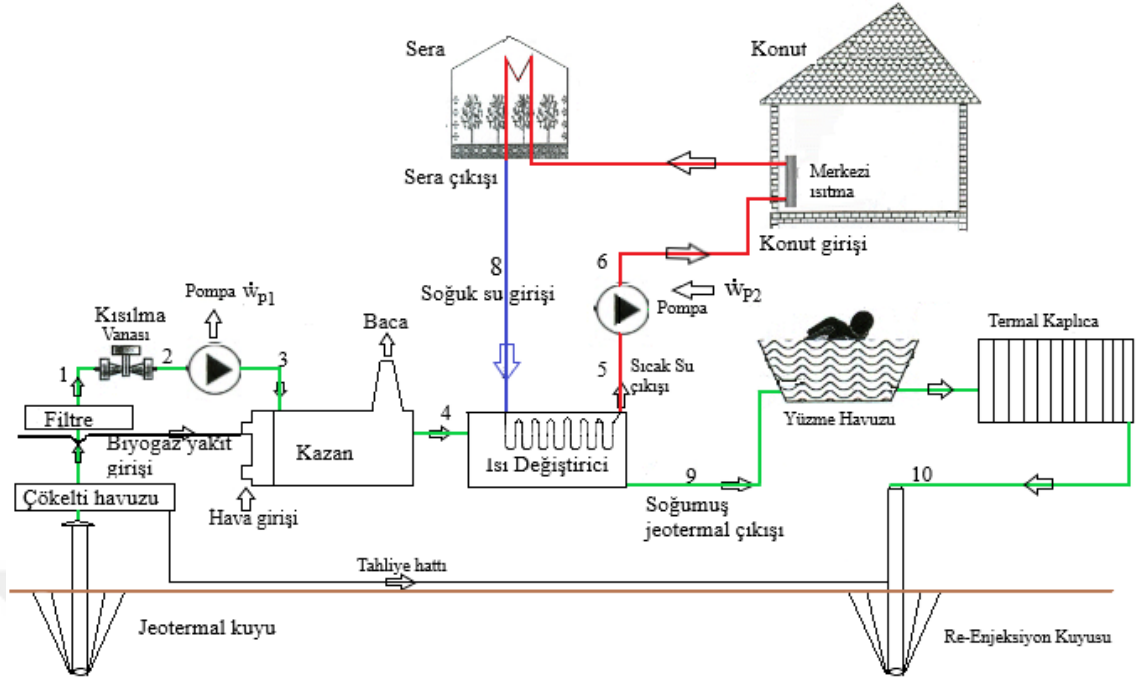
Erzincan katı atık deponi alanına gelebilecek tahmini çöp miktarı yukarıda bilgilerinize sunulmuştur. Bu bilgiler oluşturulurken daha önceki bilgiler yardımıyla nüfus ve nüfus artış planları kullanılmıştır. Kişi başına üretilen günlük çöp miktarı hesaplandığından Erzincan deponi alanına gelebilecek çöp miktarı da hesaplanmıştır. Ayrıca çöp miktarı hesaplanırken sadece Erzincan ili nüfusu hesaba katılmamıştır. Bölgenin tüm çöpü aynı tesiste toplanmamakla birlikte, şuan sahaya gelen çöp miktarını etkileyen en büyük parametrelerden birisi bölgede oluşan göç durumudur. Mevcut nüfus durumu hesaba katılırken oluşabilecek tekrar göç durumu hesaba katılmamış ve şu anki nüfus ve tonaj bilgileriyle hesaplama yapılmıştır. Sonuç olarak yapılan çöp tonaj hesapları bölgede yaşayan nüfus yoğunluğu ile alakalıdır. Dolayısıyla yaşanacak pozitif ve negatif göç dalgaları hesaba katılmamıştır. Gerekli görülmesi durumunda hesaplamalar tekrar yapılarak deponi işletme planları ve enerji üretim planlarında değişikliğe gidilebilecektir. Erzincan düzenli depolama alanında günümüz kantar verilerine bakıldığında birçok ilçe atıklarının hala tesise gelmemesi, Çevre ve Şehircilik Bakanlığının mevzuatı her geçen gün daha ciddiye alarak denetimlerini sıklaştırması ile gelecek atık miktarı ayrıca kapasite artışında ciddi bir faktördür. Ayrıca bölgede hayvancılığında sürekli artışı düşünüldüğünde gelebilecek atık miktarını ciddi oranlarda değiştirebileceği göz ardı edilmemelidir. Diğer yandan tesis ile aynı sınır içerisinde yer alan atık su arıtma tesisi ile; Erzincan Belediyesi açısından ekonomik olarak değerlendirilmesi sonucunda, atık su arıtma tesisine kurulacak fermantasyon tanklarıyla enerji üretim tesisine ekstra gaz gelmesi olası beklentiler içerisinde yer almaktadır. Bu koşullarda bölgede oluşabilecek nüfus artışı, gelecek yıllarda Erzincan il sınırları dahilinde yer alan ilçe atıkları, hayvancılığın artışı ile gelebilecek ekstra atıklar, atık su arıtma tesisi fermantasyon tanklarından gelecek gaz gibi temel ana unsurlar göz önünde bulundurulduğunda kapasitenin hızla artışı olası ve mümkün olabilecek bir tahmindir.

Erzincan'da uygulayacağımız yöntemi seçecek olursak, jeotermal kuyu sıcaklığımızın elektrik üretimi ve daha yüksek sıcaklıktaki işlemler içinde yeterli olmadığından daha

düşük sıcaklıkta yapılacak işlemlere baktıktan sonra bu noktadan itibaren diğer seçeneklerimiz olan konut ve sera ısıtmadaki kullanım şekline dönüyoruz. Düşük sıcaklıktaki jeotermalin dünya üzerinde nasıl kullanıldığını inceledikten sonra karar verdiğimiz yöntem jeotermalin var olan sıcaklığını ek bir kaynakla artırdıktan sonra konut ısıtmasında kullanılabilir hale getirmek olacaktır. Tasarlanması düşünülen sistemi daha önce uygulanmış benzer sistemlerden de yararlanılarak yeni bir sistem modellenip Erzincan'ın Akyazı bölgesine uygulamak için hazır hale getirmek planlanmaktadır. Bunları yaparken amacımız, kırsal kesimdeki ekili olmayan alanları azaltmak, kırsal kesimdeki ısınma sorununa bir çözüm üretmek, boşa giden enerjimizi verimli halde kullanmak ve çevre kirliliğini azaltmaktır.

Erzincan-Akyazı bölgesinde bulunan jeotermal kaynak kuyusundan artezyen yapılarak çıkarılan jeotermal kaynağın kaynak sıcaklığının 33,48°C ve kaynak basıncının 0,79bar basınçta olduğu "Tablo 3.3" de bilinmektedir. Jeotermal kuyudan elde edilen sıvının ilk olarak çökelti havuzu yardımı ile içinde bulunan gözle görülebilen maddelerin (çakıl, kum, kil vb.) sistem verimini negatif yönde etkileyecek ve ısı transferine engel olabilecek maddeler ayrıştırılır. Ayrıca filtre sistemi yardımı ile çökelti havuzunda ayrıştırılamayan maddeler (yosun, tortu vb.) bu kısımda ayrıştırılır. Akış kontrol vanası ile artezyen yapan jeotermal akışkanın akış hızı istenen düzeye ayarlanır. Sistemde dolaşan jeotermal akışkanın akış hızını kontrol etmek amacıyla pompadan yararlanır. Kazan, ısı değiştirici ve termal kaplıca hattındaki kayıpları önlemek amacıyla pompa elemanına ihtiyaç duyulmaktadır. Düşük sıcaklıklı bu jeotermal kaynağın sıcaklığı, yakıt olarak biyogazın kullanıldığı biyogaz brülör kazanında yakıt giriş kısmından biyogaz enjekte edilerek hava ile karışımı sağlanarak yanma gerçekleştirilmektedir ve jeotermal kaynağın sıcaklığı konut ısıtması için gerekli olan 75°C ye kadar yükseltilmektedir. Kazan çıkışındaki sıcaklığı yükselttilerek 75°C'ye çıkartılan jeotermal akışkan, bir ısı değiştirici içinden geçirilerek ısısını düşük sıcaklıktaki suya aktarmakta, daha sonra sırasıyla konut ve sera ısıtmasına destek olarak kullanılması amaçlanmaktadır. Şekil 3.8'de görüldüğü gibi; ısı değiştiricisinden geçen ve ısısını konut ısıtma suyuna veren düşük sıcaklıktaki jeotermal akışkan, ısı değiştirici çıkışından yüzme havuzu ve termal kaplıca da kullanılmak üzere gönderilmekte ve re-enjeksiyon yoluyla jeotermal re-enjeksiyon kuyusuna gönderilerek çevrim tamamlanmaktadır.





Şekil 3.8. Bu çalışmada tasarlanan sistemin şematik gösterimi

### 3.2.1. Termodinamik analizler

Enerji, bir sistemin iş yapabilme kapasitesi olarak tanımlanır. Termodinamik sistemlerde enerji sistem sınırlarından ısı yada iş yoluyla transfer edilir. Toplam enerji miktarında herhangi bir değişim meydana gelmez ancak enerji form değiştirebilir. Açık sistemler için termodinamiğin birinci kanununun ifadesi “Denk. 3.4” bağıntısı ile ifade edilmiştir. Termodinamiğin birinci kanunu Termodinamik çevrim gerçekleştiren prosesler için enerjinin korunumu kanunu olarak da bilinir. Proseslerin fiziksel olarak mümkün olup olmayacağı hakkında bilgi vermediği için Termodinamiğin birinci kanunu analizler için gereklidir ancak tek başına yeterli değildir.

Doğada kendiliğinden gerçekleşen olayların tek yönlü olarak geliştiği (tersinme) olduğu bilinmektedir. Termodinamiğin ikinci kanunu; bir sistemden elde edilebilecek maksimum teorik işin belirlenebilmesi, maksimum teorik işin elde edilmesini engelleyen faktörlerin miktarlarının belirlenebilmesi için oldukça önemlidir. Termodinamiğin ikinci kanunu kullanılarak, herhangi bir termometrik madde özelliklerine bağlı olmayan bağımsız sıcaklık skalasının belirlenmesini de tanımlar. Termodinamiğin ikinci kanunu analizlerinde, sistemdeki tersinmezliklerin belirlenebilmesi, entropi üretim terimlerinin hesaplanması amacıyla “Denk. 3.21” entropi bağıntısını kullanırken aynı zamanda

Clausius eşitsizliği ve Kelvin Planck ifadeleriyle de tanımlanır. Termodinamiğin ikinci kanununun Clausius eşitsizliği ifadesi ile bir soğutma makinesinin dışardan iş girişi almaksızın soğutma yapamayacağını ve performans katsayısının sonsuz olamayacağını ifade etmektedir. Kelvin Planck ifadesi ise, sadece tek bir ısı kaynağından enerji alarak çevresine net pozitif iş yapabilmenin mümkün olmayacağını ve bir ısı makinesinin verimin birden büyük olamayacağı ifade etmektedir.

Ekserji, herhangi bir sistemin çevresi ile denge durumuna ulaşmaya kadar (ölü durum), bu sistem ile çevresi arasında elde edilebilecek maksimum teorik iş olarak tanımlanır. "P<sub>0</sub>" basıncında ve "T<sub>0</sub>" sıcaklığında olan ve çevresiyle denge durumunda bulunan sistem için ölü durumdadır ifadesini kullanılır (Moran vd., 2015). Ekserji analizi eldeki kaynakların çok daha verimli kullanımı için önemlidir. Ekserji analizi sistem kayıplarının yerini, türünü ve miktarını belirlemede çok büyük bir etkidir. Elde edilen bu bilgiler ışığında kurulu sistemlerin verimlerini arttırmakta ve yeni yapılacak olan sistem tasarımlara yön verebilmektedir. Tablo 3.4'te enerji ve ekserji analizleri arasında karşılaştırma verilmiştir.

**Tablo 3.4.** Enerji ve ekserji kıyaslaması (Dincer vd., 2004).

<b>Enerji</b>	<b>Ekserji</b>
Termodinamiğin birinci yasası enerji ile ilgilidir.	Termodinamiğin ikinci yasası hem enerji ile hem de ekserji ile ilgilidir.
Enerji her zaman korunur; yoktan var, vardan yok edilemez.	Ekserji tersinir işlemlerde korunur fakat gerçek işlemlerde yıkılabilir.
Enerji miktarın ölçüsüdür.	Ekserji kalitenin ve miktarın ölçüsüdür.
Enerji bir hareket veya hareket üretme yeteneğidir.	Ekserji iştir veya iş yapabilme yeteneğidir.
Enerji değişikliği aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanabilir.	Ekserji kaybı aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanabilir.
$\Delta Q = \Delta U + \Delta W$ (kJ)	$X = T_0 \cdot S_{\text{üretimi}}$ (kJ)
Burada "ΔQ" sistemi ısıtmak için eklenen enerjiyi ifade eder, (kJ);	Burada "X" ekserji kaybını ifade eder, (kJ);
"ΔU" sistemdeki değişen enerjiyi ifade etmektedir, (kJ);	"T <sub>0</sub> " çevrenin sıcaklığını ifade eder, (K);
"ΔW" sistemden iş olarak çıkan enerjiyi ifade etmektedir, (kJ).	"S <sub>üretimi</sub> " ise sistemde oluşan ekserjiyi ifade eder, (kJ/K).

### 3.2.1.1. Enerji analizi

Sistemler için süreklilik denklemi yada diğer bir ifadeyle kütle korunumu kanunu aşağıda verilmiştir.

$$\frac{dm_{kh}}{dt} = \sum \dot{m}_g - \sum \dot{m}_\zeta \quad (3.1)$$

Sürekli akışlı sürekli açık sistemler (SASA) için,

$$\frac{dm_{kh}}{dt} = 0 \quad (3.2)$$

olduğundan dolayı sisteme giren ve çıkan kütleli debiler birbirine eşittir.

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_\zeta \quad (3.3)$$

Burada; " $\dot{m}_g$ " sisteme giren kütleli debiyi " $\dot{m}_\zeta$ " ise sistemden çıkan kütleli debiyi ifade etmektedir ve SASA için süreklilik denklemi olarak da bilinmektedir.

SASA için Termodinamiğin birinci kanunu aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\frac{dE_{kh}}{dt} = \sum \dot{Q}_{kh} - \sum \dot{W}_{kh} + \sum \dot{m}_g (h + V^2/2 + gz)_g + \sum \dot{m}_\zeta (h + V^2/2 + gz)_\zeta \quad (3.4)$$

Kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edildiğinde "Denk. 3.5" aşağıdaki bağıntı elde edilir.

$$\sum \dot{Q}_{kh} = \sum \dot{W}_{kh} \quad (3.5)$$

Burada; " $\dot{Q}_{kh}$ " ve " $\dot{W}_{kh}$ " ise sırasıyla kontrol hacimdeki birim zamandaki ısı ve işi göstermektedir.

Termodinamiğin birinci yasa veriminin genel ifadesi bir diğer adıyla ısı (termik) verim aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$\eta_I = \eta_{th} = \frac{\dot{w}_{net}}{\dot{Q}_g} \quad (3.6)$$



### 3.2.1.1.1. Kısılma vanası

Kısılma vanası yardımıyla jeotermal akışkanın debisi kontrol edilmektedir. Termodinamiğin birinci kanunu ifadesi sürekli akışlı sürekli açık sistemlerde kinetik ve potansiyel enerjiler ihmal edildiğinde kısılma vanasının giriş ve çıkış entalpilerinin birbirine eşit olduğu görülmektedir.

$$h_1 = h_2 \quad (3.7)$$

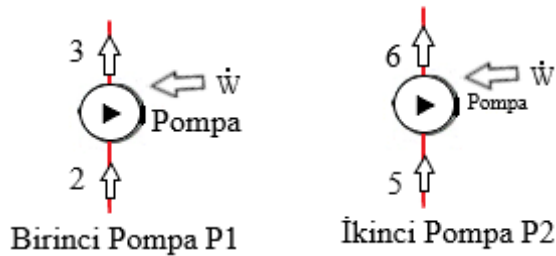
Bu nedenle kısılma vanaları sabit entalpi sistemleri olarak bilinmektedir.



Şekil 3.9. Kısılma vanasının şematik gösterimi

### 3.2.1.1.2. Pompa

Sistemde dolaşan jeotermal akışkanın ve suyun basınçlarını kontrol etmek amacıyla sistemde üç adet pompa kullanılmıştır. Birinci pompa ( $P_1$ ) den jeotermal akışkan, ikinci pompa ( $P_2$ ) den ise su geçmektedir. Enerji ihtiyacını biyogaz tesisinden üretilen elektrik enerjisinden, öz tüketimden, karşılayacak olan üçüncü pompa ( $P_3$ ) ise biyogazın kazana iletilmesi için kullanılan sirkülasyon pompasıdır ve hesaplamalara dahil edilmemiştir. Pompaların şematik gösterimi “Şekil 3.10” da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Pompaların şematik gösterimi

Pompaların giriş ve çıkışlarındaki basınç farkından yararlanılarak, pompalar için gerekli olan güç (kW) aşağıdaki bağıntılar kullanılarak elde edilir.

$$\dot{W}_{P1} = \dot{m}_j v_2 \Delta(P_1) \quad (3.8)$$

$$\dot{W}_{P2} = \dot{m}_w v_5 \Delta(P_2) \quad (3.9)$$

İkinci pompadaki mesafeden dolayı kaynaklanacak kayıpları hesaplamak için aşağıdaki bağıntı kullanılır.

$$\dot{W}_{\text{kayıp,P2}} = Q \Delta P_2 \quad (3.10)$$

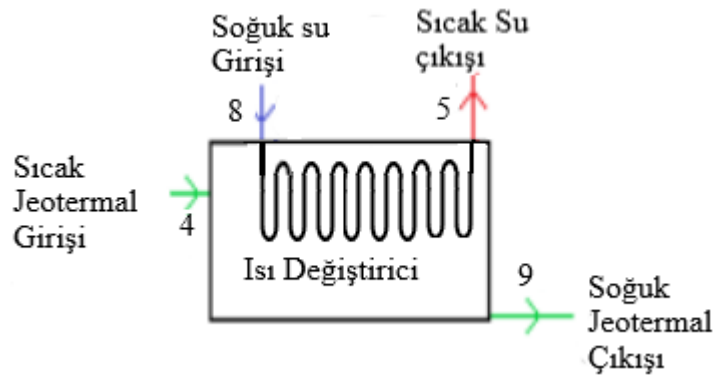
Pompaların birinci yasa verimini hesaplamak için aşağıdaki bağıntı tanımlanmıştır.

$$\eta_{l,P} = \frac{\eta_{\text{hyd}} P_{\text{hyd}}}{\dot{W}_g} \quad (3.11)$$

" $\eta_{\text{hyd}}$ " Pompanın hidrolik verimini (%85) ifade etmektedir.

### 3.2.1.1.3. Isı değiştirici

Isı değiştiricileri, genel olarak sıcak akışkanın ısısının soğuk akışkana transfer edildiği elemanlar olup, bu çalışmada tasarlanan sistemimizdeki görevi sıcak jeotermal akışkanın enerjisinin soğuk akışkan olan suya aktarılması ve bu enerjinin konut ısıtmasını desteklemesi ve müteakiben konut çıkışındaki daha düşük sıcaklıktaki akışkan ısısının ise sera ısıtmasında kullanımı amaçlanmaktadır.



Şekil 3.11. Isı değiştirici şematik gösterimi

$$\dot{m}_{j,g} = \dot{m}_{j,} \quad (3.12)$$

$$\dot{m}_{j_4} = \dot{m}_{j_9} = \dot{m}_j \quad (3.13)$$

Burada " $\dot{m}_{j4}$ " ve " $\dot{m}_{j9}$ " sırası ile giren sıcak ve soğuk jeotermalin kütleli debisini ifade etmektedir.

$$\dot{m}_8 = \dot{m}_5 = \dot{m}_w \quad (3.14)$$

Isı değiştiricisi, sürekli akışlı sürekli açık bir sistem olarak ele alınarak; enerji transferinin sadece akışkanlar arası sıcaklık farkından kaynaklandığı, herhangi bir ısı ve iş teriminin olmadığı; dolayısıyla enerji denklemindeki " $\dot{Q}_{kh}$ " ve " $\dot{W}_{kh}$ " teriminin sıfıra eşit olduğu ayrıca kinetik ve potansiyel enerji terimlerinin ihmal edildiği göz önünde bulundurulduğunda "Denk. 3.4" aşağıdaki hale dönüşür.

$$\dot{m}_j C_j (h_{j4} - h_{j9}) = \dot{m}_w C_w (h_5 - h_8) \quad (3.15)$$

Burada; " $\dot{m}_j$ " jeotermal kaynağın 35°C deki kütleli debisini, " $\dot{m}_w$ " ise konut ve sera ısıtma suyunun kütleli debisini göstermektedir. Ayrıca " $C_j$ " ve " $C_w$ " ise sırasıyla jeotermal kaynağın özgül ısısını ve konut ve seralarda kullanılan suyun özgül ısılarını belirtmektedir.

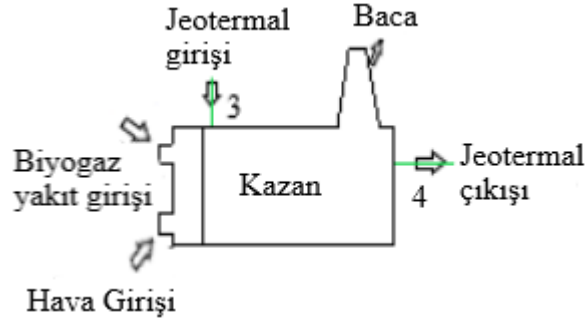
Özgül ısı değerleri  $C_j = 4,09 \text{ kJ/kgK}$  ve  $C_w = 4,18 \text{ kJ/kgK}$  olarak sabit değerler kabul edilmiş ve kullanılmıştır.

Isı değiştiricinin birinci yasa verimi aşağıdaki bağıntı ile ifade edilmektedir.

$$\eta_{I,1d} = \frac{\dot{m}_8 (h_c - h_g)}{\dot{m}_j (h_g - h_c)} = \frac{\dot{m}_w (h_5 - h_8)}{\dot{m}_j (h_4 - h_9)} \quad (3.16)$$

#### 3.2.1.1.4. Kazan

Biyokütle kullanılarak elde edilen biyogaz yakıt olarak biyogaz tesisinden alınarak kazan brülörlerinde yakılmakta, elde edilen ısı kazandan geçen jeotermal akışkanın sıcaklığını artırmak için kullanılmaktadır.



Şekil 3.12. Kazan şematik gösterimi

Kazanda yakılan biyogazın kazanda dolaşan jeotermal akışkana birim zamanda transfer ettiği enerji miktarı aşağıdaki bağıntıyla verilmiştir.

$$\dot{Q}_g = \dot{m}_j(h_4 - h_3) \quad (3.17)$$

Burada " $\dot{Q}_g$ " biyogazın yakılması sonucunda sisteme jeotermal akışkana aktarılan enerjiyi ifade etmektedir.

Kazana giren biyogazın birim zamanda sahip olduğu, ekserji, enerji miktarı,

$$\dot{E}_{biyo} = 4,184H_u Q_{biyo} \quad (3.18)$$

Bağıntısıyla verilmiştir. Burada " $H_u$ " biyogazın ısıl değerini ( $\text{kcal/m}^3$ ) cinsinden, " $Q_{biyo}$ " biyogazın hacimsel debisini ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) cinsinden ifade etmektedir.

Kazan verimi aşağıdaki bağıntıyla elde edilir.

$$\eta_{I,k} = \frac{\dot{Q}_g}{\dot{E}_{biyo}} = \frac{\dot{m}_j(h_4 - h_3)}{4,184H_u Q_{biyo}} \quad (3.19)$$

### 3.2.1.2. Entropi analizi

Termodinamiğin ikinci yasası genellikle içerisinde eşitsizliklerin yer aldığı ifadeleri içerir. Hal değişimlerinin herhangi bir yönde değil, sadece belirli tek bir yönde gerçekleşebileceğini ve bu hal değişiminin entropinin artışı ilkesi ile uyumlu olması gerekir. Yani hal değişimi sırasında entropi üretimi  $S_{\text{üretim}} \geq 0$  olmalıdır. Bu ilkeyi sağlamayan bir hal değişimi gerçekleşemez. Entropinin korunumu söz konusu değildir.

Entropi sadece ideal bir durum olan tersinir hal değişimleri sırasında korunur ve diğer bütün hal değişimleri sırasında artar. Tersinmezlikler mühendislik sistemlerinin verimlerini azaltır ve entropi üretimi sırasındaki tersinmezlikler verimi azaltır.

Herhangi bir hal değişimi için açık bir sistemin genel entropi bağıntısı aşığıda verilmiştir.

$$\frac{dS_{kh}}{dt} = \sum \frac{\dot{Q}_{kh}}{T_b} + \sum \dot{m}_g s_g - \sum \dot{m}_ç s_ç + \dot{S}_{üretimi} \quad (3.20)$$

Burada "s" özgül entropiyi (kJ/kgK), "T" ise sıcaklığı (K) cinsinden ifade etmektedir.

Sürekli akışlı hal değişimi için genel entropi dengesi eşitliği aşığıdaki bağıntı ile verilmiştir.

$$0 = \sum \frac{\dot{Q}}{T_b} + \sum \dot{m}_g s_g - \sum \dot{m}_ç s_ç + \dot{S}_{üretimi} \quad (3.21)$$

Termodinamiğin ikinci kanunu veriminin genel ifadesi aşığıdaki bağıntı ile verilmiştir.

$$\eta_{II} = \frac{W_{gerçek}}{W_{tersinir}} \quad (3.22)$$

Burada " $\eta_{II}$ " Termodinamiğin 2. yasa verimini, " $W_{gerçek}$ " gerçek işi, " $W_{Tersinir}$ " tersinir işi ifade etmektedir.

### 3.2.1.2.1. Kısılma vanası

Kısılma vanasında ısı kaybı ve/yada ısı transferi olmadığı varsayılarak, aynı zamanda kinetik ve potansiyel enerji değişimleri de ihmal edilmiştir.

Kısılma vanasındaki entropi üretimini hesaplamak için "Denk. 3.21" yeniden düzenlenerek aşığıdaki bağıntı elde edilmektedir.

$$\dot{S}_{üretimi,kv} = \dot{m}_j (s_2 - s_1) \quad (3.23)$$

### 3.2.1.2.2. Pompa

Pompalardaki entropi üretimini hesaplamak için "Denk. 3.21" yeniden düzenlenerek aşığıdaki bağıntılar elde edilmektedir.

$$\dot{S}_{\text{üretimi,P1}} = \dot{m}_j(s_3 - s_2) \quad (3.24)$$

$$\dot{S}_{\text{üretimi,P2}} = \dot{m}_w(s_6 - s_5) \quad (3.25)$$

Birinci pompanın ikinci kanun verimi ise aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır;

$$\eta_{II,P1} = 1 - \frac{\dot{S}_{\text{üretim}}}{h_3 - h_2} \quad (3.26)$$

İkinci pompanın ikinci kanun verimi ise aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır;

$$\eta_{II,P2} = 1 - \frac{\dot{S}_{\text{üretimi}}}{h_6 - h_5} \quad (3.27)$$

### 3.2.1.2.3. Isı değiştirici

Isı değiştirici entropi üretimini hesaplamak için “Denk. 3.21” yeniden düzenlenerek aşağıdaki bağıntı elde edilmektedir.

$$\dot{S}_{\text{üretimi,id}} = [\dot{m}_j(s_4 - s_9)] + [\dot{m}_w(s_5 - s_8)] \quad (3.28)$$

Burada  $\dot{m}_j$  ve  $\dot{m}_w$  sırasıyla jeotermal kaynağın ve konut ısıtma suyunun kütleli debisini göstermektedir. Isı değiştiricisi için ikinci yasa verimi hesaplanırken, soğuk akışkanın ekserjisindeki artışın, sıcak akışkanın ekserjisindeki azalmaya oranıyla aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$\eta_{II,id} = \frac{\dot{m}_{\text{soğuk}}(\dot{E}_f - \dot{E}_g)}{\dot{m}_{\text{sıcak}}(\dot{E}_g - \dot{E}_c)} = \frac{\dot{m}_{\text{soğuk}}(\dot{E}_5 - \dot{E}_8)}{\dot{m}_{\text{sıcak}}(\dot{E}_4 - \dot{E}_9)} \quad (3.29)$$

### 3.2.1.2.4. Kazan

Kazan sistemindeki entropi üretimini hesaplamak için “Denk. 3.21” yeniden düzenlenerek aşağıdaki bağıntı elde edilmektedir.

$$\dot{S}_{\text{üretimi,k}} = \dot{m}_j(s_4 - s_3) \quad (3.30)$$

Kazanın ikinci yasa verimi, kazanda sıcaklığı artırılan akışkanın ekserjisindeki artışın kazana sağlanan biyogazın ekserjisine oranı şeklinde aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\eta_{II,k} = \frac{\dot{E}_4 - \dot{E}_3}{\dot{E}_{biyo}} \quad (3.31)$$

### 3.2.1.3. Ekserji analizi

Fosil enerji kaynaklarının sınırlı olup rezervlerinin hızla azalıyor olması ve buna bağlı olarak da enerji maliyetlerinin hızla artmasından dolayı, ısıl güç sistemlerindeki enerji kayıplarının belirlenmesinde ekserji analizleri büyük önem taşımaktadır. Ekserji kayıplarının azaltılması, yani ekserji veriminin artması halinde; hal değişimlerinde gerçekleşecek olan tahribatlar, kaynak tüketimleri ve ekserji kayıpları ile emisyon salınımları ters orantılı olarak azalacaktır.

$$\frac{dE_{kh}}{dt} = \sum \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \dot{Q} - \sum \left(\dot{W}_{kh} - P_0 \frac{dV_{kh}}{dt}\right) + \sum \dot{m}_g e_g - \sum \dot{m}_c e_c - T_0 \dot{S}_{\text{üretimi}} \quad (3.32)$$

Burada; " $T_0 \dot{S}_{\text{üretimi}}$ " ifadesi ekserji tahribatı " $\dot{E}_{yıkımı}$ " terimini göstermektedir. Ayrıca özgül akış ekserjisi olarak bilinen " $e$ ", ise aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$e = (h - h_0) - T_0(s - s_0) + \frac{v^2}{2} + gz \quad (3.33)$$

#### 3.2.1.3.1. Kısılma vanası

Kısılma vanası ekserji tahribatı için; "Denk. 3.32" yeniden düzenlenerek aşağıdaki bağıntı ile elde edilmektedir.

$$\dot{E}_{yıkımı,1-2} = \dot{m}_j [(h_1 - h_2) - T_0(s_1 - s_2)] \quad (3.34)$$

Kısılma vanasının ekserji verimini hesaplamak için aşağıdaki bağıntı kullanılarak ekserji veriminin bir olduğu görülecektir.

$$\eta_{ex,kv} = 1 - \frac{\dot{E}_1 - \dot{E}_2}{\dot{E}_1 - \dot{E}_2} \quad (3.35)$$

### 3.2.1.3.2. Pompa

Sistemde iki adet pompa kullanılmakta olup, pompaların ekserji tahribatları aşağıdaki gibi elde edilmiştir. P1 Pompasının 2-3 noktaları arasındaki ekserji tahribatı için “Denk. 3.32” yeniden düzenlenerek aşağıdaki bağıntı ile elde edilmektedir.

$$\dot{E}_{yıkımı,P1} = \dot{m}_j[(h_3 - h_2) - T_0(s_3 - s_2)] \quad (3.36)$$

P2 Pompasının 5-6 noktaları arasındaki ekserji tahribatı ise aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$\dot{E}_{yıkımı,P2} = \dot{m}_8[(h_6 - h_5) - T_0(s_6 - s_5)] \quad (3.37)$$

### 3.2.1.3.3. Isı değiştirici

Isı değiştiricisindeki jeotermal akışkanın ekserji kaybını hesaplamak için “Denk. 3.32” yeniden düzenlenerek aşağıdaki bağıntı ile elde edilmektedir.

$$\dot{m}_j(\mathbf{e}_4 - \mathbf{e}_9) = \dot{m}_j[(h_{j4} - h_{j9}) - T_0(s_4 - s_9)] \quad (3.38)$$

Isı değiştiricisindeki suda ekserji kaybını hesaplamak için aşağıdaki bağıntı kullanılmıştır.

$$\dot{m}_w(\mathbf{e}_5 - \mathbf{e}_8) = \dot{m}_w[(h_5 - h_8) - T_0(s_5 - s_8)] \quad (3.39)$$

Isı değiştiricideki toplam ekserji kaybı, jeotermal akışkan ile suyun ekserji kayıplarının toplamına eşit olup toplam ekserji kaybı aşağıdaki bağıntı ile verilmiştir.

$$\sum \dot{E}_{yıkımı,ld} = \dot{m}_j(\mathbf{e}_4 - \mathbf{e}_9) + \dot{m}_w(\mathbf{e}_5 - \mathbf{e}_8) \quad (3.40)$$

Isı değiştiricinin ekserji verimi aşağıdaki bağıntı ile verilmiştir.

$$\eta_{ex,ld} = \frac{\dot{m}_w(\mathbf{e}_5 - \mathbf{e}_8)}{\dot{m}_j(\mathbf{e}_4 - \mathbf{e}_9)} \quad (3.41)$$

### 3.2.1.3.4. Kazan

Kazana yakıt olarak sağlanan biyogazın birim zamanda kazana sağladığı ekserji miktarı,



$$\dot{E}_{biyo} = 4,184H_u Q_{biyo} \quad (3.42)$$

Burada "H<sub>u</sub>" biyogazın ısı değeri (kcal/m<sup>3</sup>) cinsinden, "Q<sub>biyo</sub>" biyogazın hacimsel debisini (m<sup>3</sup>/s) cinsinden ifade etmektedir.

Kazandaki ısıtılan jeotermal akışkanın kazandığı birim zamandaki ekserji miktarı,

$$\dot{E}_{c,j} - \dot{E}_{g,j} = \dot{m}_j [(h_{j4} - h_{j3}) - T_0(s_4 - s_3)] \quad (3.43)$$

olduğu bilinmektedir. Kazandaki ekserji verimini ise aşağıdaki bağıntı ile elde etmek mümkündür.

$$\eta_{ex,k} = \frac{\dot{E}_{c,j} - \dot{E}_{g,j}}{\dot{E}_{biyo}} = \frac{\dot{m}_j [(h_{j4} - h_{j3}) - T_0(s_4 - s_3)]}{4,184H_u Q_{biyo}} \quad (3.44)$$

Bağıntısıyla verilmiş olup burada "Q" hacimsel debiyi (m<sup>3</sup>/s) cinsinden ifade etmektedir.

**Tablo 3.5.** Sistem elemanlarının verimlerinin tablo halinde gösterimi

	<b>Birinci Kanun Verimi</b>	<b>İkinci Kanun Verimi</b>
Pompa	$\eta_{I,P} = \frac{\eta_p^{Phyd}}{\dot{W}_g}$	$\eta_{II,P} = 1 - \frac{\dot{S}_{\text{üretim}}}{h_c - h_g}$
Kazan	$\eta_{I,k} = \frac{\dot{m}_j (h_4 - h_3)}{4,184H_u Q_{biyo}}$	$\eta_{II,k} = \frac{\dot{E}_4 - \dot{E}_3}{\dot{E}_{biyo}}$
Isı değiştirici	$\eta_{I,ld} = \frac{\dot{m}_g (h_5 - h_8)}{\dot{m}_j (h_4 - h_9)}$	$\eta_{II,ld} = \frac{\dot{m}_{soğuk} (\dot{E}_5 - \dot{E}_8)}{\dot{m}_{sıcak} (\dot{E}_4 - \dot{E}_9)}$

### 3.2.1.4. Maliyet analizi

Tasarlanan bu proje kapsamında; Erzincan-Akyazı bölgesindeki düşük sıcaklıklı jeotermal kaynağın sıcaklığını, kaynağa 9km mesafede bulunan çöpten biyogaz üretme tesisinde üretilen biyogazı yakıt olarak kullanan bir kazanda yakarak jeotermal akışkanın sıcaklığını artırmak, sıcaklığı artan bu jeotermal kaynağın ısısını bir ısı değiştirici vasıtasıyla suya aktarmak, Erzincan-Akyazı bölgesinde bulunan konutların ve seraların ısıtılmasında kullanmak, ısı değiştiriciden ısısını konut ısıtma suyuna aktararak sıcaklığı düşen jeotermalin sıcaklığının hala başlangıç jeotermal kaynak sıcaklığından yüksek

olması dolayısıyla bölgede bulunan termal kaplıca için daha yüksek sıcaklıkta jeotermal kaplıca suyu temin etmek amaçlanmıştır.

Tasarlanan ve uygulanmak istenen sistemin fizibil olup olmadığının, yatırım maliyetlerinin geri dönüş süresinin belirlenebilmesi, yatırımın rantabil olup olmadığına karar verilebilmesi için sistemin maliyet analizinin yapılması gerekmektedir.

Jeotermal kaynağın mevcut kaynak sıcaklığı ve sisteme giriş debisi kullanılarak, jeotermal kaynağın özgül ısısı  $C_{p,j} = 4,09 \text{ kJ/kgK}$  kabul edildiğinde; jeotermal kaynağın birim zamandaki sahip olduğu enerji miktarı (kW) cinsinden aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanır.

$$\dot{Q}_{j,35^\circ\text{C}} = \dot{m}_j C_{p,j} \Delta T \quad (3.45)$$

Burada; " $\dot{m}$ " kütleli debiyi (kg/s), " $C_{p,j}$ " jeotermal kaynağın özgül ısısını, " $\Delta T$ " jeotermal kaynak sıcaklığını göstermektedir.

Erzincan-Akyazı bölgesinde bulunan  $100\text{m}^2$  lik tip proje konutların iklim şartları ve coğrafi konumları itibarıyla her birinin Türk Standartları TS 2164 (1983)'e göre net alanın ısıtılması için  $8.484\text{kcal/h}$  yani  $\dot{W}_{100} = 9,85083\text{kW}$  değerinde bir güç gereksinimi bulunmaktadır.

Dolayısıyla; jeotermal kaynak sıcaklığı yeterli olmamasına rağmen, sadece mevcut jeotermal kaynağın enerjisi kullanılarak, biyogaz kullanılmadan, ısıtılacak maksimum konut sayısı;

$$n_{w/o,biyo} = \frac{\dot{Q}_j}{\dot{W}_{100}} \quad (3.46)$$

bağıntısıyla hesaplanır. Burada, " $\dot{W}_{100}$ " Erzincan şartlarında  $100\text{m}^2$  alanı ısıtmak için gerekli olan birim zamandaki enerjiyi (kW) cinsinden, " $\dot{Q}_j$ " ise jeotermal kaynağın birim zamandaki sahip olduğu enerji miktarı (kW) olarak ifade etmektedir.

Yada jeotermal kaynağın enerjisi kullanılarak, biyogaz kullanılmadan, ısıtılacak maksimum alan ( $\text{m}^2$ ) cinsinden aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$A_{w/o,biyo}=100 n_{w/o,biyo} \quad (3.47)$$

Burada; " $A_{w/o,biyo}$ " ise biyogaz kullanılmadan ısıtılabilir alanı ifade etmektedir.

Bu çalışmada tasarlanan ve jeotermal kaynak sıcaklığının biyogaz yakıt kullanılan kazan vasıtasıyla sıcaklığının 35°C den 75°C ye çıkarılması durumunda, sıcaklığı yükseltilmiş jeotermal kaynağın birim zamandaki sahip olduğu enerji miktarı (kW) cinsinden aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanır.

$$\dot{Q}_{j,75^\circ\text{C}} = \dot{m}_j C_{p,j} \Delta T \quad (3.48)$$

Dolayısıyla; biyogaz yakıt kullanılan kazanda tam yanma koşullarında hiçbir kaybın dikkate alınmadığı şartlar altında ve jeotermal sıcaklığı 75°C 'ye yükseltilen jeotermal akışkanın enerjisi ile ısıtılabilir maksimum konut sayısı ise;

$$n_{w,biyo} = \frac{\dot{Q}_{j,75^\circ\text{C}}}{\dot{W}_{100}} \quad (3.49)$$

bağıntısıyla hesaplanır.

Burada, " $\dot{W}_{100}$ " Erzincan şartlarında 100m<sup>2</sup> alanı ısıtmak için gerekli olan birim zamandaki enerjiyi (kW) cinsinden, " $\dot{Q}_{j,75^\circ\text{C}}$ " ise sıcaklığı 75°C olan ve jeotermal kaynağın birim zamandaki sahip olduğu enerji miktarı (kW) olarak ifade etmektedir.

Yada biyogaz yakıt kullanılan kazanda tam yanma koşullarında hiçbir kaybın dikkate alınmadığı şartlar altında ve jeotermal sıcaklığı 75°C 'ye yükseltilen jeotermal akışkanın enerjisi ile ısıtılabilir maksimum alan (m<sup>2</sup>) cinsinden aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$A_{w,biyo}=100 n_{w,biyo} \quad (3.50)$$

Burada; " $A_{w,biyo}$ " ise biyogaz kullanılarak ısıtılabilir alanı (m<sup>2</sup>) cinsinden ifade etmektedir.

Bu çalışmada tasarlanan ve jeotermal kaynak sıcaklığının biyogaz yakıt kullanılan kazan vasıtasıyla sıcaklığının 35°C den 75°C ye çıkarılması ve sıcaklığı yükseltilmiş jeotermal akışkan sıcaklığını ısı değiştirici kullanarak konut ısıtma suyuna aktarılması durumunda,

konut ısıtma suyunun birim zamandaki sahip olduğu enerji miktarı (kW) cinsinden aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanır.

$$\dot{Q}_{w,70^{\circ}\text{C}} = \dot{m}_w C_{p,w} \Delta T \quad (3.51)$$

Dolayısıyla; konut ısıtma suyu sıcaklığı 70°C olan akışkanın enerjisi ile ısıtılacak maksimum konut sayısı ise aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır;

$$n_{w,\text{biyo}} = \frac{\dot{Q}_{w,70^{\circ}\text{C}}}{\dot{W}_{100}} \quad (3.52)$$

Burada, " $\dot{W}_{100}$ " Erzincan şartlarında 100 m<sup>2</sup> alanı ısıtmak için gerekli olan birim zamandaki enerjiyi (kW) cinsinden, " $\dot{Q}_{w,70^{\circ}\text{C}}$ " ise sıcaklığı 70°C olan ve jeotermal kaynağın birim zamandaki sahip olduğu enerji miktarı (kW) olarak ifade etmektedir.

Yada konut ısıtma suyu sıcaklığı 70°C olan akışkanın enerjisi ile ısıtılacak maksimum konut alanı (m<sup>2</sup>) cinsinden aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$A_{w,\text{biyo}} = 100 n_{w,\text{biyo}} \quad (3.53)$$

Yukarıdaki bağıntılar kullanılarak yapılan hesaplamalar sayısal olarak aşağıda "Tablo 4.2" ve "Tablo 4.3" de özetlenmiştir.

$$\dot{E}_{\text{biyo}} = \frac{4.184 Q_{\text{biyo}} H_u}{3600} \eta_y \quad (3.54)$$

" $\dot{E}_{\text{biyo}}$ " biyogazın birim zamandaki sahip olduğu enerji miktarı (kW) cinsinden ifade etmektedir. " $\eta_y$ " biyogazın yanma verimini (%60) ifade etmektedir. " $Q_{\text{biyo}}$ " ise biyogazın birim saatteki hacimsel debisini (m<sup>3</sup>/h) cinsinden ifade etmektedir.

$$n_{\text{biyo}} = \frac{\dot{E}_{\text{biyo}}}{\dot{W}_{100}} \quad (3.55)$$

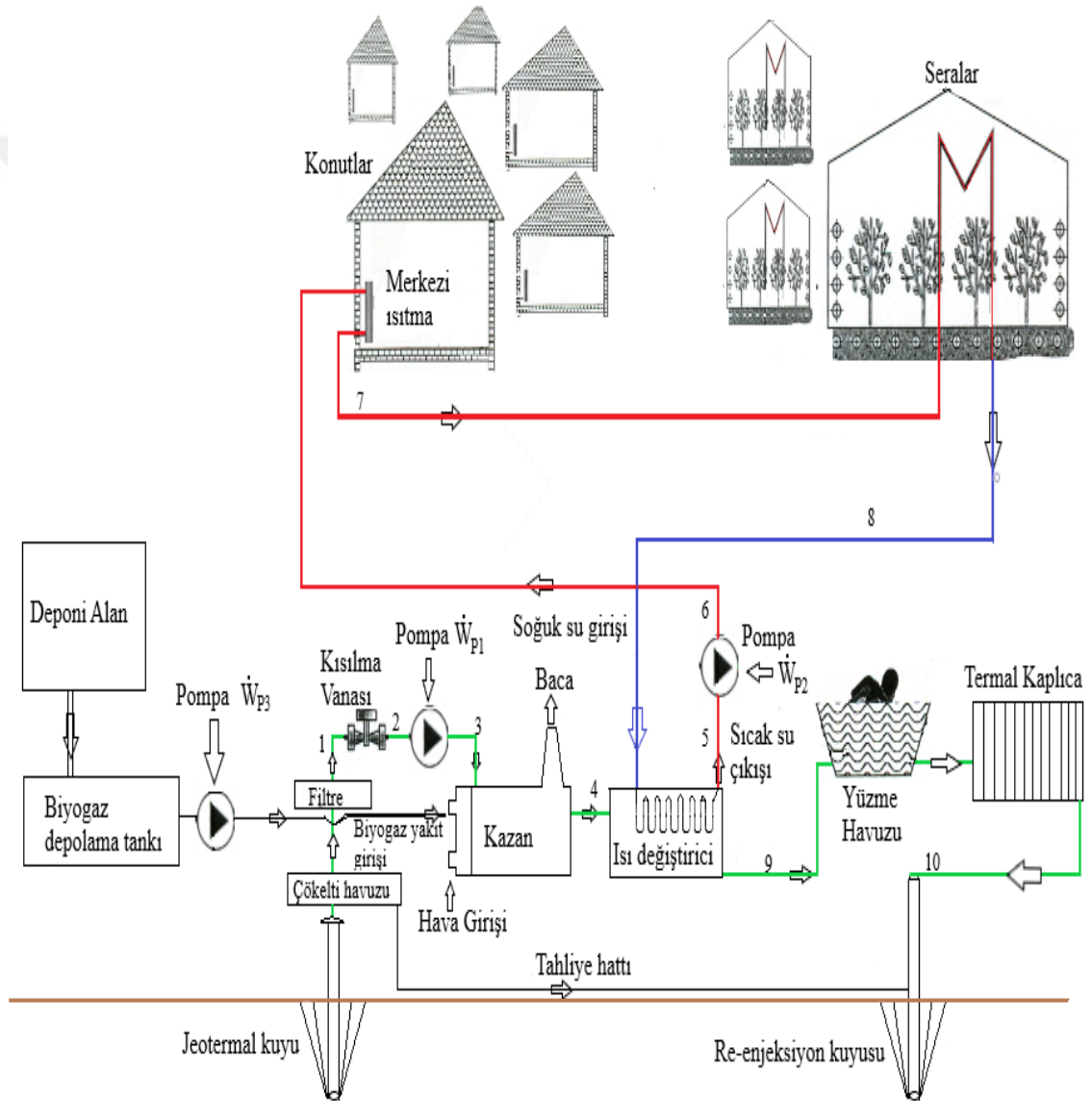
" $n_{\text{biyo}}$ " sadece biyogaz ile ısıtılacak 100 m<sup>2</sup> 'lik konut sayısını ifade etmektedir.

$$n_{\text{toplam}} = n_{w/o,\text{biyo}} + n_{\text{biyo}} \quad (3.56)$$

" $n_{\text{toplam}}$ " ise toplam ısıtılacak 100m<sup>2</sup>'lik konut sayısını ifade etmektedir.

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Çalışmada belirlenen hedefler doğrultusunda Erzincan-Akyazı bölgesinde uygulanması düşünülen sistem “Şekil 4.1”de gösterilmiştir. Bu sistemdeki amaç Erzincan’da çöpten üretilen biyogaz ile düşük ( $35^{\circ}\text{C}$ ) sıcaklıktaki jeotermal akışkanın sıcaklığını artırarak merkezi ısıtmada, seralarda, ayrıca kaplıca ve yüzme havuzlarında kullanılmasına uygun hale getirmektir.



**Şekil 4.1.** Erzincan-Akyazı bölgesi biyogaz destekli jeotermal akışkan ile konut ve sera ısıtma uygulaması şematik gösterimi

“Şekil 4.1” de görülmekte olan şeklin tüm durum noktalarının kütleli debi, sıcaklık, basınç, özgül entalpi ve özgül entropi değerleri “Tablo 4.1” de gösterilmiştir.

**Tablo 4.1.** Erzincan-Akyazı bölgesi biyogaz destekli jeotermal akışkan ile konut ve sera ısıtma sisteminin Termodinamik özellikleri

Durum Noktaları	Kütleli Debi (kg/s)	Sıcaklık (°C)	Basınç (MPa)	Özgül Entalpi (kJ/kg)	Özgül Entropi (kJ/kgK)
1	20,7	34	0,053	142,5	0,491
2	20,7	34	0,053	142,5	0,491
3	20,7	36	1,000	150,8	0,518
4	20,7	75	1,000	313,9	1,015
5	27,0	70	1,000	292,9	0,956
6	27,0	72	1,000	301,4	0,972
7	27,0	57	1,000	230,2	0,767
8	27,0	44	1,000	184,3	0,624
9	20,7	40	1,000	167,5	0,572
10	20,7	25	1,000	104,9	0,367

**Tablo 4.2.** Erzincan-Akyazı bölgesi biyogaz destekli jeotermal akışkan ile konut ve sera ısıtma sisteminin ve sistem elemanlarının toplam verimleri

Sistem elemanları	Birinci kanun verimi (% $\eta_I$ )	İkinci kanun verimi (% $\eta_{II}$ )
Pompa (P1)	83,9	93,40
Pompa (P2)	83,9	95,00
Kazan	73,9	7,11
Isı değiştirici	96,7	88,00
Sistem toplam verimi $\sum \eta$	50,3	5,55

“Tablo 4.2” de görüldüğü üzere sistemdeki en düşük verim kazanın ikinci kanun verimidir. Dolayısıyla sistem iyileştirmesi yapılmak istendiğinde kazan verimini etkileyen faktörlerin ele alınması gerekmektedir.

“Tablo 4.1” de gösterilen değerleri üçüncü bölümde sistem elemanları ve sistemin tamamı için yazdığımız bağıntılarda yerine koyacak olursak sistem elemanlarının ve sistemin tamamı için elde edeceğimiz değerler tablosu ise “Tablo 4.3” de gösterilmiştir.

**Tablo 4.3.** Erzincan-Akyazı bölgesi biyogaz destekli jeotermal akışkan ile konut ve sera ısıtma sisteminin Termodinamik analiz parametre sonuçları

<b>Analiz Parametreleri ve Sonuçları</b>		
<b>Parametreler</b>	<b>Birimler</b>	<b>Değerler</b>
$\eta_I$	(%)	50,30
$\eta_{II}$	(%)	5,55
$\eta_{ex,k}$	(%)	7,11
$\eta_{ex,ıd}$	(%)	70,20
$\eta_{ex,kv}$	(%)	99,00
$\dot{S}_{\text{üretimi},P1}$	(kW/K)	0,55
$\dot{S}_{\text{üretimi},P2}$	(kW/K)	0,43
$\dot{S}_{\text{üretimi},ıd}$	(kW/K)	18,13
$\dot{S}_{\text{üretimi},k}$	(kW/K)	10,28
$\dot{E}_{yıkımı,p1}$	(kW)	14,15
$\dot{E}_{yıkımı,p2}$	(kW)	66,42
$\dot{E}_{yıkımı,ıd}$	(kW)	576,30
$\dot{E}_{yıkımı,k}$	(kW)	298,49
$\dot{Q}_g$	(kW)	3.374,00
$\dot{W}_{P1}$	(kW)	22,08
$\dot{W}_{P2}$	(kW)	42,13
$\dot{m}_{biyo}$	(kg/s)	0,21

Erzincan’da aktif olarak çalışan çöpten gaz üreten tesisin ortalama günlük biyogaz üretim kapasitesi yaklaşık olarak 756m<sup>3</sup>/h tir. 1 m<sup>3</sup> biyogazın alt ısıl değeri (Hu) 4700-5700kcal arasında değiştii bilinmektedir. Biyogazın alt ısıl değeri 5200kcal/m<sup>3</sup> (21756kJ/ m<sup>3</sup>), yanma veriminin ise  $\eta_y = \%60$  olarak kabul edilmiş ve hesaplamalar yapılmıştır (Nalbant, 1984; Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, 2019). Biyogazın ısıl değeri kullanılarak hesaplamalar yapılırsa 756m<sup>3</sup> biyogaz ile birlikte jeotermal kullanılarak

ısıtılacak alanın 27.500m<sup>2</sup> den 57.500m<sup>2</sup> ye çıktığı görülmüştür. Konut sayısı ise 275 den 575'e yükselmiştir. Jeotermal kaynağın ısıtılacak konut sayısına katkısı 300 konut ve 30.000m<sup>2</sup> sera artışı şeklinde olduğu hesaplanmıştır.

**Tablo 4.4.** Biyogaz ve jeotermal kaynağın ısıtılacak alan ve konut sayısına katkısı

<b>Türü</b>	<b>Isıtılacak Alan (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Konut Sayısı (adet)</b>
Jeotermal destekli biyogaz (teorik)	86.000	859
Jeotermal destekli biyogaz	57.500	575
Sadece biyogaz kullanılarak	27.500	275
Jeotermal kaynağın katkısı	30.000	300

Jeotermale en yakın mahalle olan Akyazı bölgesinde yaklaşık 1000 konut bulunduğu göz önüne alınarak bu bölgenin ısıtılması için uygun olduğu düşünülmektedir. Erzincan'daki çöp gazından enerji üreten tesisin toplam maliyeti yaklaşık olarak on beş milyon TL dir. Bu tesis iki kısımdan oluşmaktadır. İlk kısım gaz üretim ve depolama ünitesidir. İkinci kısım ise bu gazdan elektrik enerjisi üretim kısmıdır. Birinci kısmın kurulum maliyeti yaklaşık yedi milyon TL'dir. İkinci kısım ise yaklaşık olarak sekiz milyon TL'dir. Saatte 756m<sup>3</sup> biyogazdan 1500kWh elektrik üretilmektedir. Elektriğin 1 kWh'ının tesisten satış fiyatı 0,35TL dir. Saatte 1500kWh ise bunu yıla çevirdiğimizde ve birim satış fiyatı ile çarptığımızda giderler, %18 katma değer vergisi düşülerek elde edilecek net kar miktarın 2.088.135TL/yıl olduğu hesaplanmıştır.

**Tablo 4.5.** Erzincan Biyogaz işletme maliyet tablosu

<b>Türü</b>	<b>Gider (TL*/yıl)</b>
Personel gideri	720.000
Personel SGK primi %15.5 (işveren payı)	111.600
İşveren işsizlik sigorta fonu %2	14.400
Belediye kira ücreti	1.000.000
Yedek parça ve ön görülemeyen giderler	190.000
<b>Toplam</b>	<b>2.036.000</b>

\* TCMB 25.07.2020 tarihli döviz kuru 1\$=6,83TL kullanılmıştır.

Jeotermalin ısıtılacak bölgeye nakli ve bu bölgeye ağ şebeke yapımı için gerekli boru uzunluğu yaklaşık 6km dir. Boru çapı (d) 100mm, et kalınlığı (t) 3mm olan boruların



metre birim fiyatı piyasa şartlarında 50TL olarak hesaplanmıştır. 6km lik şebekenin yapım maliyeti yaklaşık olarak ise aşağıdaki tablodaki gibi hesaplanmıştır;

**Tablo 4.6.** Akyazı bölgesi konut ısıtması için 6 km ağ şebeke yapım maliyeti

İşlem	Yol (m)	Birim Fiyat (TL*/m)	Tutar (TL*)
Boru Bedeli	6000	50	300.000
İzolasyon Bedeli	6000	5	30.000
Kazı ve Asfalt Bedelleri	6000	10	60.000
İşçilik Bedeli	6000	14	84.000
Ön görülemeyen giderler	-		71.000
<b>Toplam Gider</b>			<b>545.000</b>

\* TCMB 25.07.2020 tarihli döviz kuru 1\$=6,83TL kullanılmıştır.

Erzincan-Akyazı bölgesindeki jeotermal kaplıca ekonomik analizi aşındaki tabloda verilmiştir. Hesaplamalar yapılırken kaplıcanın bulunduğu konuma giderek yerinde edinilen bilgiye göre saatlik fiyatı (SF) 50TL, günlük seans sayısı (GSS) 12, var olan kabin sayısı (KS) 12 olmakla birlikte kaplıcanın sıcaklığının artırılması durumunda yılın her günü hizmet verilebileceği sadece bakım zamanlarında çalışamayacakları tespit edilmiştir.

**Tablo 4.7.** Erzincan jeotermal kaplıcanın ekonomik analizi

Türü	Gider (TL*/yıl)
Personel gideri	720.000
Personel SGK primi %15.5 (işveren payı)	111.600
İşveren işsizlik sigorta fonu %2	14.400
Belediyeye ödenecek kaplıca kira ücreti	1.000.000
Yedek parça ve ön görülemeyen giderler	120.000
<b>Toplam</b>	<b>1.966.000</b>

\* TCMB 25.07.2020 tarihli döviz kuru 1\$=6,83TL kullanılmıştır.

A grubu sera m<sup>2</sup> birim fiyatı 2020 yılı yapı tebliğinde yaklaşık birim maliyetleri 210TL/m<sup>2</sup> dir (Çevre Şehircilik Bakanlığı, 2020).

Erzincan iklim şartlarında 100m<sup>2</sup> büyüklüğünde bir konutun 2019 yılına ait yıllık ortalama ısıtma maliyeti Enerya Erzincan Gaz Dağıtım A.Ş. den edinilen bilgiye göre

2.400TL olduğu öğrenilmiştir. Erzincan ısıtma olmayan normal bir seradan tek dönem için sera üreticilerinden alınan bilgiye göre; 1000m<sup>2</sup> büyüklüğündeki bir sera alanından elde edilen yıllık net gelirin (gübre, personel, ilaç vb.) giderler düşüldükten sonra 20.000TL civarında olduğu öğrenilmiştir. Sera ısıtmasından dolayı yılda iki dönem ürün alma imkânı olduğundan 1000m<sup>2</sup> ısıtmalı sera alanından elde edilecek yıllık net gelirin yaklaşık olarak 40.000TL olacağı öngörülmektedir.

**Tablo 4.8.** Erzincan-Akyazı bölgesi jeotermal tesisinin maliyet tablosu

<b>İşin Türü</b>	<b>Yatırım Maliyeti (TL***)</b>
Biyogaz ve ısı santrali ilk tesis kurulumu	8.000.000**
Konut ısıtma için şebeke yapımı	545.000*
57.500 m <sup>2</sup> sera yapımı	12.075.000*
<b>Toplam</b>	<b>20.620.000</b>

\* TCMB 25.07.2020 tarihli döviz kuru 1\$=6,83TL kullanılmıştır.

\*\* TCMB 21.03.2019 tarihli döviz kuru 1\$=5,45 TL kullanılmıştır.

**Tablo 4.9.** Erzincan-Akyazı bölgesi jeotermal tesisinin uygulaması yıllık bilançosu

<b>İşin Türü</b>	<b>Gelir (TL*/yıl)</b>	<b>Gider (TL*/yıl)</b>	<b>Net kazanç (TL*/yıl)</b>
Biyogaz ve ısı santrali	-	-1.966.000	-1.966.000
Konut ısıtma	+1.380.000	-	+1.380.000
Sera	+2.300.000	-	+2.300.000
Kaplıca	+2.376.000	-1.084.000	+1.292.000
<b>Toplam</b>	<b>+6.056.000</b>	<b>-3.050.000</b>	<b>+3.006.000</b>

\* TCMB 25.07.2020 tarihli döviz kuru 1\$=6,83TL kullanılmıştır.

Tesisin kurulum maliyetini karşılaması ise yatırım maliyetinin elde edilecek net kazançla bölünmesiyle yaklaşık olarak 83 ay olarak hesaplanmıştır.

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Erzincan ilinde bulunan jeotermal kaynağın değerlendirilmesi konusunda yapılan araştırmada düşük sıcaklıktaki jeotermal akışkanın biyogaz yakılarak sıcaklığının artırılması ve sıcaklığı artırılan bu jeotermal kaynağın bir ısı değiştirici yardımı ile konut, sera ve jeotermal kaplıcada kullanılması planlanmıştır.

Bu çalışmanın sonucu olarak, Erzincan'da kurulu halde bulunan çöpten biyogaz üreten tesisin 756 m<sup>3</sup>/h gaz üretim kapasitesinin mevcut olduğu ve mevcut gazdan 275 konutun ısıtılacağı hesaplanmıştır. Yapılan enerji analizlerinin sonucunda biyogaz kullanılarak sıcaklığı artırılan jeotermal akışkanın kullanılmasıyla 300 daha fazla konutun ısıtılacağı, yani toplamda 575 konutun ısıtılacağı ve ayrıca konut ısıtma geri dönüş çıkışındaki suyun 57.500m<sup>2</sup> sera alanının ısıtılmasında kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Tasarlanan sistemin enerji, entropi, ekserji ve maliyet analizleri yapılmış, yapılan bu analizlerde sistem elemanlarının birinci ve ikinci yasa verimleri hesaplanmış ve ayrıca sistemin toplam birinci yasa verimi  $\eta_I = \%50,3$ , ikinci yasa verimi  $\eta_{II} = \%5,55$  olarak hesaplanmıştır. Yapılan maliyet analizi sonucunda ilk yatırım maliyetinin 20.620.000 TL, yıllık giderin 3.050.000TL/yıl, yıllık gelirin ise 6.056.000TL/yıl olduğu ve dolayısıyla yıllık net kazancın 3.006.000TL/yıl olduğu hesaplanmıştır. Kurulu olan biyogaz tesisinin mevcut haliyle ürettiği elektrik enerji satışından elde ettiği kazanç 2.085.135TL/yıl olarak öngörülmektedir. Bu çalışmada tasarlanan sistemin hayata geçirilmesi durumunda mevcut bilançoya göre 917.864TL/yıl daha fazla kar elde edilebileceği öngörülebilecektir. Dolayısıyla, yatırım maliyetinin güncel piyasa koşullarında (TCMB 25.07.2020 tarihli döviz kuru 1\$=6,83TL) yaklaşık olarak 83 ay sürecinde kendisini amorti edeceği ve daha sonraki süreçte kara geçeceği öngörülmektedir.

Erzincan ilinin jeotermal kaynak turizmi ve sera yatırımları için gelecekte yatırım yapılmaya uygun bir potansiyele sahip olduğu tesbit edilmiştir. Erzincan ilinin jeotermal kaynak turizmi ve sera yatırımları için gelecekte yatırım yapılmaya uygun bir potansiyele sahip olduğu öngörülmektedir. Ayrıca bu çalışma biyogazın kullanılmasında bir örnek oluşturacak ve benzer yatırım alternatiflerinin oluşmasını teşvik edecektir.

## KAYNAKLAR

- Akkus, İ., Akıllı, H., Ceyhan, S., Dilemre, A. ve Tekin, Z., (2005), “Türkiye jeotermal kaynakları envanteri”, *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü*, Ankara, s: 729.
- Alberg Østergaard, P., Mathiesen, B. V., Möller, B., and Lund, H. (2010) “A renewable energy scenario for Aalborg Municipality based on low-temperature geothermal heat, wind power and biomass”, *Energy*, 35(12), 4892-4901.
- Arslan, O., Köse, R., Acaroglu, M., Özgür, M.A. ve Yıldızay, H.D., (2005), “*Jeotermal Enerjinin Elektrik Üretiminde Çevreye Olan Olumlu Etkisi Ve Diğer Kaynaklar İle Mukayesesi*”, 4th International Advanced Technologies Symposium, Konya, s: 512-516.
- Atiz, A., Karakilcik, H., Erden, M. and Karakilcik, M. (2019) “Investigation energy, exergy and electricity production performance of an integrated system based on a low-temperature geothermal resource and solar energy”, *Energy Conversion and Management*, 195, 798-809.
- Barbier, E., (2002), “Geothermal energy technology and current status: An overview” *Renewable And Sustainable Energy Reviews* 6, Pergamon, 3-65.
- Bertani, R., (2005), “World geothermal power generation 2001-2005, International Geothermal Development”, *The International Journal of Geothermal Research and its Applications (Elsevier)*, Vol. 34, No.6, p: 651-690.
- Carlini, M., Castellucci, S., Allegrini, E. and Tucci, A. (2012), “Down-Hole Heat Exchangers: Modelling of a Low-Enthalpy Geothermal System for District Heating”, *Mathematical Problems in Engineering*, 1-11.
- Çetin, E., Hekim, M. and Özden, H., (2013), “*A Small Scale Geothermal Power Plant in Denizli-Turkey for Sustainable Energy Studies*”, 26th European Conference on Operational Research -EURO 2013.
- Çevre Şehircilik Bakanlığı, (16 Mart 2019), “Yapı Yaklaşık birim maliyetleri tebliğ”, *Resmî Gazete*, No: 30716.
- Dalla Rosa A., Li H. and Svendsen S. (2011) “Method for optimal design of pipes for low-energy district heating, with focus on heat losses”, *Energy*, 36(5), 2407-2418.
- De Giorgi, L. and Leucci, G., (2015), “Study of Shallow Low-Enthalpy Geothermal Resources Using Integrated Geophysical Methods”, *Acta Geophysica*, 63(1), 125-153.

- DiPippo, R., (2012) “*Geothermal Power Plants, 3rd. Ed.: Principles, Applications, Case Studies and Environmental Impact*, R. DiPippo, Chap. 5, Single-Flash Steam Power Plant”, **Butterworth-Heinemann**, Oxford, England.
- DiPippo, R.,( 1999 ), “Small geothermal power plants – design, performance and economics”, **GHC Bulletin**.
- Dupont Refrigerants,(2006), Dupont-Suva thermodynamics table and physical properties.
- Çelik, Ö. (2014) ,Erzincan Belediyesi, “Erzincan Belediyesi ne ait jte24/006 jeotermal kuyusu kuyu içi statik-sıcaklık basınç ölçümü ve yoğunlaşmayan gaz testi raporu” **G.S.E. Enerji Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi**, Erzincan,3-4.
- Erkar Yenilenebilir Enerji A.Ş raporu, Erzincan Belediyesi**, (2014) “Erzincan Katı Atık Deponi Alanının Atık Potansiyeli”, Erzincan.
- ETKB (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı),( 2006 ), “Türkiye’de yıllara göre birincil kaynaklardan yapılan genel enerji arzı”, [www.enerji.gov.tr](http://www.enerji.gov.tr)  
Son erişim tarihi: 05.01.2020.
- Gong M. and Werner S. (2015) “Exergy analysis of network temperature levels in Swedish and Danish district heating systems”, **Renewable Energy** , 84, 106-113.
- Grassiani, M. and Krieger, Z., ( 2000 ) “Advanced Power Plants for Use with Hot Dry Rock (HDR) and Enhanced Geothermal Technology. Proc.” **World Geothermal Congress 2000 Kyushu-Tohoku**, Japan, 3719-3723.
- Günerhan, H, (2011)“Jeotermal Enerjili Sera Isıtma Sistemleri” **X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi**, İzmir.
- Güney Ege Kalkınma Ajansı**. (2012). “Jeotermal Enerjinin Seracılıkta Kullanımının Önündeki Engellerin Tespiti Projesi”, Araştırma Raporu, Aydın.
- Yağlı, H., Koç Y., Koç, A., Görgülü, A. and Tandiroğlu, A., “Parametric optimization and exergetic analysis comparison of subcritical and supercritical organic Rankine cycle (ORC) for biogas fuelled combined heat and power (CHP) engine exhaust gas waste heat ”, **Energy** , (111), 923-932.
- Hekim M. ve Çetin E., (2018) , “Jeotermal Enerji Santrallerine Yönelik Termoelektrik Jeneratör Sistem Modellemesi” **Güç Sistemleri Konferansı** ,Ankara .
- Kanoglu, M. and Çengel, Y.A., (1999) , Improving the efficiency of on existing binary geothermal power plant, A Case Study, Transection of the ASME, **Journal of Energy Resources Technology**, 121(3).
- Kanoglu, M., (2005), “Jeotermal elektrik üretim sistemleri ve kojenerasyon, Jeotermal Enerji Seminer Kitabı”, **TESKOM 2005 VII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi**.

- Kara, Y. A. and Yuksel, B. (2001) "Evaluation of low temperature geothermal energy through the use of heat pump", *Energy Conversion and Management*, 42 (6), 773-781.
- Katsifarakis, K.L., Tselepidou, K., Konstantakos, N., Stamati, D., Mpletsa, E. and Tzanakis, I. (2007), "Optimization of low-enthalpy geothermal heating schemes by means of genetic algorithms", *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 1(4), 429-442.
- Kendirli, B. ve Çakmak B. (2010). "Yenilenebilir enerji kaynaklarının sera ısıtmasında kullanımı", *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 2(1), 95-103.
- Köse, R., Tugcu, A. ve Yamık, A., (2004), "*Kütahya'da jeotermal enerji kullanımının irdelenmesi*", II. Ulusal Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi Bildirisi Kitabı, Kütahya, 278-283.
- Kulcar B., Goricanec D. and Krope J. (2008) "Economy of exploiting heat from low-temperature geothermal sources using a heat pump", *Energy and Buildings*, 40 (3),323-329.
- Legmann, H., (1999) "*Rotokawa Geothermal Combined-cycle Power Plant*", *Bulletin d'Hydrogiologie*, No. 17, Centre d'Hydrogiologie, Universid de Neuchritel 425-431.
- Lind, L., Mroczek, S. and Bell, J., (2013). "*Energy Efficient – Rotokawa Geothermal Power Station*", *Case Study 15*, Wairakei Research Centre, Taupo, New Zealand.
- Lund, W.J. and Freeston, H.D., (2001), "*World-wide direct uses of geothermal energy*", *Geothermic*, 30, 29-68.
- Mauro, A. and Grossman, J. C. (2017) "*Streat-Heat: Controlling road temperature via low enthalpy geothermal energy*", *Applied Thermal Engineering*, 110,1653-1658.
- Mertoğlu, O., Canlan, A., Bakır, N., Dokuz, L. and Kaya, T., (2000), "*Geothermal Direct Use Application in Turkey: Technology and Economies*", *Proceedings World Geothermal Congress, Kyushu - Japan*, 3505-3510.
- Milivojevic, M. and Martinovic, M. (2003). "*Utilization of geotermal energy in Serbia*", *Proceedings of the International Geothermal Conference September*, (p. 37), Reykjavik.
- MMO (2005) Yayın No: E/2005/393-2, s: 289-299.
- Moran, M. J., Shapiro, H.N., Boettner, D.D. ve Bailey, M.B., (2015) Mühendislik Termodinamiğinin ilkeleri 7<sup>nd</sup> ., Akçayoğlu, A., *Palme Yayıncılık*, Ankara, 329-333
- Muñoz, M., Garat, P., Flores-Aqueveque, V., Vargas. G., Rebolledo. S., Sepúlveda., S., Daniele. L., Morata, D. and Parada, M. Á. (2015), "Estimating low-

enthalpy geothermal energy potential for district heating in Santiago basin–Chile (33.5 °S)”, *Renewable Energy*, 76 , 186-195.

Nalbant, M., (1984), “Biyogaz ve Kullanımı”, **2. Uluslar Arası Tarımsal Mekanizasyon ve Enerji Sempozyumu**, Ankara, 4-12.

Orman Genel Müdürlüğü “Türkiye Orman Verileri”, <https://www.ogm.gov.tr/>

Son erişim tarihi: 05.01.2020

Østergaard, P. A. and Lund, H. (2011) “A renewable energy system in Frederikshavn using low-temperature geothermal energy for district heating”, *Applied Energy*, 88(2), 479-487.

Özdemir M. Hilmi, (2011) “ Jeotermal Enerjiden Elektrik Üretimi ve Aydın-Salavatlı Sahası Elektrik Üretim Santrali ”, 9.

Popovski, K., (1992) “Geothermal rice drying unit in Kotchany, Macedonia”, *Geothermics*, 21(5), pp. 709-716.

Popovski, K., (2006) “Greenhouse heating”, Geothermal Energy Utilization and Technology, Edited by *M.H. Dickson & M. Fanelli, Earthscan*.

Popovski, K. and Popova, N, (1987) “Economy of geothermal energy use in agriculture”, *First FAO/CNRE Workshop on Geothermal Energy Use in Agriculture*, Skopje, Macedonia.

Tamyerli, U, (2007) “Jeotermal enerjiden elektrik üretilmesinin irdelenmesi Örnek çalışma Kütahya-simav jeotermal sahası”, Yüksek lisans tezi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü*, Kütahya.

Titiz, K.S. (2004). Modern Seracılık, *Antalya Sanayicileri ve İşadamları Derneği Yayını*, Antalya.

TJD (Türkiye Jeotermal Derneği), 2019, Türkiye’de jeotermal enerji. <http://www.jeotermalderneği.org.tr/>, Son erişim tarihi: 05.01.2020.

Turan, S. ( 2006 ). Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Konya.

TMMOB Yayın Kurulu, (2003), Önsöz bildirgesi, Günes enerjisi sistemleri sempozyumu ve sergisi bildiri kitabı, Günes Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, *TMMOB* Yayın No: E/2003/321, , Mersin.

Yağcıoğlu, A. (2005). “Sera Mekanizasyonu”, *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları* No:562. Bornova.

Zarrouk, S.J., (2011). “Geothermal energy technology In: Lecture”, *University of Auckland*

Willems, Cees J.L, Nick, Hamidreza M., Weltje, Gert J. and Bruhn, D. F. (2017) “An evaluation of interferences in heat production from low entalpy geothermal doublets systems” , *Energy* , 135, 500-512.





## ÖZGEÇMİŞ

1991 yılında Erzincan'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Erzincan'da tamamladı. 2009 yılında başladığı Gümüşhane Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünü 2015 yılında bitirdi. 2018 yılında Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Hala aynı yerde yüksek lisan eğitimine devam etmektedir.

