

T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI



**TÜRKİYE'NİN YENİLENEBİLİR ENERJİ POTANSİYELİNİN
TERMODİNAMİK ANALİZ YÖNTEMİ İLE İNCELENEREK,
YENİLENEBİLİR ENERJİ KULLANIMININ GELECEK
PROJEKSİYONLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hazırlayan
Mutlu ERDOĞAN

Tez Danışmanı
Doç.Dr. Zafer UTLU

İSTANBUL-2014

İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI



TÜRKİYE’NİN YENİLENEBİLİR ENERJİ POTANSİYELİNİN
TERMODİNAMİK ANALİZ YÖNTEMİ İLE İNCELENEREK,
YENİLENEBİLİR ENERJİ KULLANIMININ GELECEK
PROJEKSİYONLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hazırlayan
Mutlu ERDOĞAN

Tez Danışmanı
Doç.Dr. Zafer UTLU

İSTANBUL-2014



T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MÜDÜRLÜĞÜ'NE

Tez Onay Belgesi

Enstitümüz Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Makina Mühendisliği (Tezli) Yüksek Lisans Programı Y1113.080006 numaralı öğrencisi **Mutlu ERDOĞAN'** nın "TÜRKİYE'NİN YENİLENEBİLİR ENERJİ POTANSİYELİNİN TERMODİNAMİK ANALİZ YÖNTEMİ İLE İNCELENEREK, YENİLENEBİLİR ENERJİ KULLANIMININ GELECEK PROJESİYONLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ" adlı tez çalışması Enstitümüz Yönetim Kurulunun 18.07.2014 tarih ve 2014/12 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından **oybirliği / oyçokluğu** ile Yüksek Lisans Tezi olarak **kabul** edilmiştir.

Öğretim Üyesi Adı Soyadı

İmzası

Tez Savunma Tarihi : 31.07.2014

- 1) Tez Danışmanı : Doç. Dr. Zafer UTLU
2) Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Behiye YÜKSEL
3) Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Vedat ÖZYAZGAN

Not: Öğrencinin Tez savunmasında **Başarılı** olması halinde bu form **imzalanacaktır**. Aksi halde geçersizdir.

ÖN SÖZ

Yaşadığımız dünyada üretim, tüketim, konfor ve sürdürülebilir kalkınmanın için enerji en önemli bileşen haline gelmiştir. Her alanda yaygın olarak kullanılmaya devam eden fosil kaynakları tükenecek olması ve artan nüfusla birlikte enerji talebindeki artışlar nedeniyle dünyamızda mevcut yenilenebilir enerji kaynaklarının ortaya çıkartılması ve kullanıma sunulması gerekmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı tarafından yapılan çalışmalar,günümüzde uygulananenerji politikaları ve enerji arzının devam etmesi durumunda dünya birincil enerji talebinin 2030 yılına kadar%40 oranında artacağı beklenmekte ve bu yüzden enerji kaynaklarının çeşitliğinin artırılması büyük önem taşımaktadır.

Günümüzde ayrıca son derece önemli olan dünyadaki enerji kaynaklarının etkin bir şekilde kullanılmasında en öncelikli konuların başında yer almaktadır.Bu bakımdan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması ve verimliliği üzerine daha fazla çalışmaların yapılması enerji gereksinimlerinin karşılanması için son derece önem arz etmektedir. Bu yaptığım çalışmamın temel amacı yenilenebilir enerji kaynaklarının Türkiye’de kullanımının termodinamik olarak analiz edilmesi ve çıkan sonuçların değerlendirilmesi olacaktır.

Yukarıda bahsettiğim konular ışığında hazırlamış olduğum tezimindeve yüksek lisans eğitimim boyunca bilgisi ve tecrübesi ile çalışmalarına en büyük desteği sağlayan değerli hocam Doç.Dr. Zafer UTLU’ya, tez çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen değerli mesai arkadaşlarıma,eğitimin boyunca her zaman bana destek olananneme, babama,eşim Dr. Fatma ERDOĞAN ve biricik kızım Ela’ya sonsuz şükran ve teşekkürlerimi sunarım.

İSTANBUL-2014

Mutlu ERDOĞAN

İÇİNDEKİLER

ÖN SÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
SEMBOLLER.....	viii
YUNAN HARFLERİ.....	x
İNDİSLER.....	xi
TABLolar DİZİNİ.....	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiv
GRAFİKLER DİZİNİ.....	xv
GİRİŞ.....	1
BİRİNCİ BÖLÜM.....	5
LİTERATÜR TARAMASI.....	5
İKİNCİ BÖLÜM.....	12
YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI.....	12
2.1.YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ TANIMI.....	12
2.1.1. Yenilenebilir Enerjinin Önemi.....	12
2.1.2. Küresel İklim Değişikliği ve Çevresel Etkiler.....	12
2.2.YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ ÇEŞİTLERİ.....	13
2.2.1. Rüzgâr Enerjisi.....	13
2.2.1.1. Rüzgâr Enerjisine İlişkin Genel Açıklama.....	13
2.2.1.2 Rüzgâr Enerjisi Teknolojileri.....	14
2.2.1.3. Dünya Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli ve Kullanımı.....	15
2.2.1.4. Dünya Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli.....	15
2.2.2. Güneş Enerjisi.....	16
2.2.2.1. Güneş Enerjisi Teknolojileri.....	17
2.2.2.2. Güneş Enerjisi Isı Teknolojisi.....	17
2.2.2.3. Güneş Enerjisi Elektrik Teknolojisi.....	20
2.2.3. Hidrolik Enerji.....	22
2.2.3.1. Dünyanın Hidroelektrik Enerji Potansiyeli.....	22

2.2.3.2. Türkiye’de Hidroelektrik Enerjinin Tarihsel Gelişimi.....	22
2.2.3.3. Tanımlanması ve Sınıflandırılması	24
2.2.3.4. Olumlu ve Olumsuz Yönleri	24
2.2.4. Biokütle Enerjisi.....	26
2.2.4.1. Biokütle Enerjisine İlişkin Genel Açıklama.....	27
2.2.4.2. Biokütle Yetiştiriciliği	28
2.2.4.3. Biokütle Teknolojileri.....	28
2.2.4.4. Biyoenerji Teknolojisi.....	28
2.2.4.5. Biyoyakıt Teknolojisi	30
2.2.4.6. Dünya Biokütle Enerji Kullanımı	32
2.2.5. Jeotermal Enerji	33
2.2.5.1. Jeotermal Enerjinin Tanımı ve Tarihi.....	33
2.2.5.2. Jeotermal Enerji Kaynağının Mevcut Uygulama Yöntemler....	36
2.2.6. Dalga Enerjisi	37
2.2.6.1. Dalga Enerjisi İle Elektrik Üretimi.....	38
2.2.6.2. Deniz Dalgasının Enerjiye Dönüştürülmesi	38
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM.....	41
TÜRKİYE’NİN ENERJİ KULLANIM	41
3.1 ENERJİ KAVRAMI VE TÜRKİYE’NİN ENERJİ KAYNAKLARI.....	41
3.1.1. Enerji Kavramı.....	41
3.1.2. Enerji Kaynakları	42
3.1.2.1. Birincil Enerji Kaynakları.....	42
3.1.2.2. İkincil Enerji Kaynakları	44
3.2. TÜRKİYE’NİN FOSİL ENERJİ KAYNAKLARI.....	44
3.2.1. Kömür.....	45
3.2.1.1 Türkiye Kömür Üretimi ve Tüketimi.....	48
3.2.2. Petrol.....	49
3.2.3. Doğal Gaz	51
3.3. TÜRKİYE’NİN YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI.....	52
3.3.1. Rüzgâr Enerjisi	53
3.3.2. Güneş Enerjisi	55
3.3.3. Hidrolik Enerjisi.....	58

3.3.3.1 Türkiye'nin Hidrolik Enerjisi Potansiyeli	59
3.3.4. Jeotermal Enerjisi	60
3.3.5. Biomass Enerjisi	62
3.3.6. Dalga Enerjisi	64
3.4. TÜRKİYE'NİN ENERJİ DURUMUNA GENEL BAKIŞ	66
3.5. TÜRKİYE'NİN ENERJİ TALEBİNDEKİ GELİŞMELER.....	68
3.5.1. Türkiye'nin Enerji Sektörünün Yapısını Belirleyen Temel Veriler	71
3.5.2 Türkiye Enerji Sektörü ile İlgili Temel Tespitler	72
3.5.3. Enerji Talebi, Üretimi ve İthalatı.....	73
3.5.4. Elektrik Üretim-Tüketim Durumu.....	73
DÖRDÜNCÜ BÖLÜM	76
TÜRKİYE'NİN ENERJİ KAYNAKLARININ ENERJİ VE EKSERJİ KULLANIM VERİMLİLİKLERİNİN ANALİZİ.....	76
4.1. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Dünya'da Kullanımı	77
4.2. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye'de Kullanımı.....	78
4.3. TÜRKİYE'NİN YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ ENERJİ KULLANIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ	80
4.3.1. Çevrim ve Enerji Sektörü.....	80
4.3.2. Konut ve Hizmetler Sektörleri	84
4.3.3. Alan Isıtma	85
4.3.4. Su Isıtma	86
4.3.5. Mutfak Kullanımı.....	86
4.3.6. Sanayi ve Ulaştırma	90
4.4. TÜRKİYE'NİN ENERJİ GÖRÜNÜMÜNÜN GELECEK PROJEKSİYONLARI	90
BEŞİNCİ BÖLÜM.....	94
TERMODİNAMİK ANALİZ (FORMULASYONLAR).....	94
5.1. GENEL TERMODİNAMİK KAVRAMLAR.....	94
5.1.1. Sistem (Termodinamik Sistem)	94
5.1.2. Çevre.....	94
5.1.3. Sınır.....	94

5.1.4. Isı.....	94
5.1.5. İş.....	95
5.2. ENERJİNİN BİÇİMLERİ	95
5.2.1. Potansiyel Enerji	95
5.2.2. Kinetik Enerji	96
5.2.3. İç Enerji	96
5.2.4. Sistemin Toplam Enerjisi	96
5.3. ISIL DENGE	97
5.4. TERMODİNAMIĞIN BİRİNCİ YASASI	97
5.4.1. Kapalı Sistemler (Kontrol Kütlesi) İçin Termodinamiğin Birinci Yasası	97
5.5. TERMODİNAMIĞIN İKİNCİ YASASI.....	98
5.5.1. Isı Makinesinin Verimi.....	98
5.5.2. Tersinir Hal Değişimi	98
5.5.3. İçten Tersinir Hal Değişimleri.....	99
5.5.4. İçten Tersinir Adyabatik (İzantropik) Hal Değişimleri	99
5.5.5. Tersinmez Hal Değişimleri.....	99
5.5.6. Carnot Çevrimi	99
5.5.7. Ters Carnot Çevrimi	99
5.6. ENTROPİ.....	100
5.6.1. Entropinin Artışı İlkesi.....	101
5.6.1.1. Kapalı Sistemler (Kontrol Kütlesi) İçin Entropinin Artışı İlkesi.....	101
5.6.2. Entropi Transferi.....	102
5.6.2.1. Isı Yolu İle Entropi Transferi	102
5.6.2.2. İş İle Entropi Transferi	102
5.6.2.3. Kütle Akışı İle Entropi Transferi	102
5.6.2.4. Entropi Dengesi.....	102
5.6.3. Açık Sistemler (Kontrol Hacmi) İçin Entropi Dengesi.....	102
5.7. EKSERJİ (KULLANILANILIRLIK).....	103
5.7.1. Ölü Hal	103
5.7.2. Yararlı İş	103

5.7.3. Tersinir İş	103
5.7.4. Fiziksel Ekserji.....	104
5.7.5. Kimyasal Ekserji	104
5.7.6. Ekserji Transferi.....	104
5.7.6.1. Isı ile Ekserji Transferi	104
5.7.6.2. İş ile Ekserji Transferi	105
5.7.6.3. Kütle ile Ekserji Transferi.....	105
5.7.7. Ekserji Yıkımı	105
5.7.8. Ekserji Dengesi	105
5.8. ENERJİ VE EKSERJİ MODELLENMESİ	106
5.8.1. Genel İlişkiler	106
5.8.1.1 Kütle, Enerji, Entropi ve Ekserji Dengeleri	106
5.8.1.2 Ekserjetik Gelişme Potansiyeli	108
5.8.1.3 Termodinamik Parametreler	109
5.8.2. İkinci Kanun Verimi.....	109
ALTINCI BÖLÜM	111
YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ TERMODİNAMİK ANALİZİ	111
6.1. RÜZGÂR ENERJİSİ ANALİZİ	111
6.1.1. Enerji Analizi	111
6.1.2. Ekserji Analizi.....	113
6.1.3. Enerji ve Ekserji Verimlilikleri	114
6.1.4. Termodinamik Analizi Hesaplamaları.....	115
6.2. GÜNEŞ ENERJİSİNİN ANALİZİ	116
6.2.1 Güneş Enerjisi Analizi	116
6.2.2. Güneş Enerjili Su Isıtıcısı Sistemleri	117
6.2.3 Enerji Analizi	118
6.2.4 Ekseji Analizi.....	119
6.2.5. Termodinamik Analizi Hesaplamaları.....	120
6.3. JEOTERMAL ENERJİ ANALİZİ	121
6.3.1. Enerji Analizi.....	121
6.3.2. Ekseji Analizi.....	122

6.3.3. Termodinamik Analizi Hesaplamaları.....	124
YEDİNCİ BÖLÜM.....	126
PROJEKSİYONLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	126
SONUÇ.....	131
KAYNAKÇA	133
TÜRKÇE ÖZET SAYFASI	137
İNGİLİZCE ÖZET SAYFASI.....	138

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SEMBOLLER

A: Alan, m²

c: Özgül ısı, kJ/(kg·K)

c_p: Sabit basınçta özgül ısı, kJ/(kg·K)

c_v: Sabit hacimde özgül ısı, kJ/(kg·K)

e: Birim kütle için sistemin toplam enerjisi (Özgül enerji), kJ/kg

E: Sistem toplam enerjisi, kJ

\dot{E}_x : Ekserji, kJ

$\dot{E}_{xyıkım}$: Ekserji yıkımı, kJ

h: Özgül entalpi, kJ/kg

H: Toplam entalpi, kJ

\bar{h} : Bileşiğin mükemmel gaz varsayımıyla, belirtilen sıcaklık durumundaki entalpi değeri, kJ/kmol

\bar{h}_f^0 : Kimyasal bileşiğin 25 °C sıcaklık ve 1 atm basınçta formasyon entalpisi, kJ/kmol,

\bar{h}_o : Bileşiğin mükemmel gaz varsayımıyla, referans durumdaki (25 °C) entalpi değeri, kJ/kmol

i: Birim kütle başına tersinmezlik (Özgül tersinmezlik), kJ/kg

I: Toplam tersinmezlik, kJ

ke: Birim kütle için kinetik enerji (Özgül kinetik enerji), kJ/kg

KE: Toplam kinetik enerji, kJ

m: Kütle, kg

\dot{m} : Kütle debisi, kg/s M: Mol kütlesi, kg/kmol n: Mol miktarı, kmol

P: Basınç, kPa

P₀: Çevre basıncı, kPa

P_i: Kısmi basınç, kPa

pe: Sistemin birim kütlesi için potansiyel enerji (Özgül potansiyel enerji), kJ/kg

PE: Toplam potansiyel enerji, kJ

q : Birim kütle için ısı geçişi, kJ/kg

Q: Toplam ısı geçişi, kJ

Q: Birim zamanda ısı geçişi, kW

R: Gaz sabiti, kJ/(kg·K)

s: Özgül entropi, kJ/(kg·K)

s_{üretim}: Özgül entropi üretimi, kJ/(kg·K)

S: Toplam entropi, kJ/K

S_{üretim}: Toplam entropi üretimi, kJ/K

T: Sıcaklık, °C veya K

T₀: Çevre sıcaklığı, °C veya K

T_b: Yüksek sıcaklıktaki ısı enerjisi deposunun (cismin, kaynağın) sıcaklığı, K

T_L: Düşük sıcaklıktaki ısı enerjisi deposunun (cismin, kuyunun) sıcaklığı, K

u: Özgül iç enerji, kJ/kg

U: Toplam iç enerji, kJ

v: Özgül hacim, m³/kg

V: Toplam hacim, m³

w: Sistemin birim kütlesi için yapılanış, kJ/kg

W: Toplam iş, kJ

W_{tr}: Tersinir iş, kJ

YUNAN HARFLERİ

Δ : Miktarda sonlu değişim

ΔE : Sistemdeki toplam enerji değişimi, kJ

δH : Taşınan entalpi miktarı, kJ/kg

ΔS : Bir hal değişimi sırasında entropinin değişimi, kJ/K

η : Birinci yasa verimi, Enerji verimi

ε : İkinci yasa verimi, Ekserji verimi

ρ : Havanın yoğunluğu, kg/m³

ϕ : Yakıtın kimyasal ekserji faktörü

ω : Özgül nem veya mutlak nem, kg veya H₂O/kg kuru hava

İNDİSLER

a: Hava

b: Deneye ait başlangıç sıcaklığı

s: Deney süresi sonunda ulaşılan su sıcaklığı

fiz : Fiziksel

kim : Kimyasal

i: İç

o: Dış

H: Yüksek sıcaklıktaki enerji deposu

L: Düşük sıcaklıktaki enerji deposu

1: Başlangıç veya giriş hali

2: Son hal veya çıkış hali

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1: Dünyanın hidroelektrik enerji potansiyeli

Tablo 2: Enerji Kaynaklarının Sınıflandırılması

Tablo 3: Türkiye'nin Birincil Enerji Talebi

Tablo 4: Uluslararası Genel Kömür Sınıflaması

Tablo 5:2012 Yılı Kömür Sahalarına Ait Rezervler

Tablo 6:Türkiye'nin Linyit Rezervleri

Tablo 7:2005-2012 Yılları Arasında Rezerv Artışı Olan Bölgeler

Tablo 8: 2007-2012 Yılları Doğal Gaz Üretim Miktarları (milyon Sm³)

Tablo 9: Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Potansiyeli (MtEP)

Tablo 10:Türkiye'nin Toplam Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli (50 metre)

Tablo 11:Türkiye'de Bölgelere Göre Güneş Enerjisi Potansiyeli

Tablo 12: Türkiye'nin Ortalama Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Aylara Göre Güneşlen Süreleri

Tablo 13:Hidroelektrik Üretiminin Elektrik Üretimi İçinde Payı(GWh)

Tablo 14:İşletmedeki HES'ler, 2012

Tablo 15:Sahaların Elektrik Üretim Kapasiteleri (Trez>140 °C)

Tablo 16: Bölgesel Ortalama Dalga Yoğunluğu

Tablo 17: Türkiye'nin Elektrik Üretim Değerleri (Milyar kWh)

Tablo 18: 2012 Yılı Eylül Ayı Sonu İtibarı İle Kurulu Gücün Birincil Enerji Kaynaklarına Göre Dağılımı (MW-%)

Tablo 19: Kişi Başına Yıllık Elektrik Enerjisi Tüketimi 2012

Tablo 20: Elektrik Üretim-Tüketim Durumu

Tablo 21: 2012 Yılı Elektrik Enerjisi Genel Görünümü

Tablo 22: Türkiye'de Günümüzde ve Gelecekte Toplam Enerji

Tablo 23: Nüfus, Yenilenebilir Enerji ve Ekserji Üretimi ve Tüketimi Değerleri 2012

Tablo 24: Türkiye'nin Enerji ve Ekserji Üretim ve Tüketim Değerleri 2012

Tablo 25: Türkiye'nin Yenilenebilir ve Toplam Enerji Kaynaklarının Enerji ve Ekserji Üretim Değerleri 2012.

Tablo 26: 2012 Yılı Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Sektörlere Göre Kullanım Değerleri.

Tablo 27: Yenilenebilir Enerji ve Ekserjinin 2012 Yılı İçin Elektrik Üretiminde Kullanımı

Tablo 28: 2023 Yılı Yenilenebilir Enerji ve Ekserji Üretimi ve Tüketim Değerleri

Tablo 29: Türkiye'nin toplam enerji ve yenilenebilir enerjisinin 2012 yılındaki ekserji verimlilikleri

Tablo 30: 2023 Yılı Yenilenebilir Enerji ve Ekserji Üretimi ve Tüketim Değerleri

Tablo 31: Türkiye'nin 2023 yılı Enerji ve Ekserji üretim ve tüketim değerleri

Tablo 32: Türkiye'nin Yenilenebilir ve Toplam Enerji Kaynaklarının Enerji ve Ekserji Üretim Değerleri 2023.

Tablo 33: Güç-Rüzgâr Hızı

Tablo 34: Rüzgâr Enerjisi Verimlilik Tablosu

Tablo 35: Güneş Kolektörü Ölçüleri

Tablo 36: Güneş Enerjisi Verimlilik Tablosu

Tablo 37: Jeotermal Enerjisi Verimlilik Tablosu

Tablo 38: Türkiye'nin Öngörülen Gelecek Projeksiyonları

Tablo 39: Türkiye'nin Enerji Analizi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1:Farklı Tipteki Güneş Enerjisi Isı ve Elektrik Sistemleri

Şekil 2: Yer kabuğu içerisindeki derinlik-sıcaklık eğrisi

Şekil 3: Yerkürenin iç kısımları

Şekil 4: Gelişmiş Jeotermal Sistemler

Şekil 5: Dalga enerjisi sistemleri

Şekil 6: Dalga enerjisi için mevcut ve işlemler

Şekil 7: Türkiye'nin Kömür Havzaları 2009

Şekil 8: Türkiye geneli 50 m yükseklikteki ortalama yıllık rüzgâr hızları dağılımı

Şekil 9:Türkiye'nin Güneş Atlası

Şekil 10: Türkiye'nin Hidrolik Havzaları

Şekil 11: En Düşük Dalga Enerji Seviyeleri

Şekil 12:En Yüksek Dalga Enerji Seviyeleri

Şekil 13: Dünya Enerji Üretimi Yoğunluk Haritası

Şekil 14: Carnot çevriminin P-V diyagramı

Şekil 15: Ters Carnot çevriminin P-V diyagramı

Şekil 16:Rüzgâr Türbini Kesiti

Şekil 17: Rüzgâr türbininde hava akışı

Şekil 18: ENERCON E-82 E2 / 2,000 kW Rüzgâr Türbini

Şekil 19: Güneş Kolektörü

Şekil 20: Güneş Kolektörü Akış Şeması

Şekil 21: Tuzla Jeotermal Güç Santrali

Şekil 22: Tuzla Jeotermal Enerji Santrali Şematik Planı

GRAFİKLER DİZİNİ

Grafik 1:2012 Yılı Kaynak Ülkeler Bazında Türkiye'nin Doğal Gaz İthalatı

Grafik 2: Türkiye rüzgâr enerji santrallerinin kurulu gücü (MW)

Grafik 3: Türkiye rüzgâr enerji santrallerinin kurulu güç bakımından yıllara göre birikmiş dağılımı (MW)

Grafik 4: 2012 Elektrik Enerjisi Üretiminin Birincil Enerji Kaynaklarına Göre Dağılımı (%)

Grafik 5: Dünya Birincil Enerji Tüketimi Kaynaklar Bazında (%)

Grafik 6: 2012 Yılı Sonu İtibariyle Kurulu Gücün Kaynak Bazında Dağılımı

Grafik 7: 2012 Yılı Elektrik Üretiminin Kaynaklara Göre Dağılımı

Grafik 8: Türkiye'nin 2013 yılı projeksiyonu için Enerji Talebi

Grafik9: Güç-Hız grafiği

Grafik 10: ENERCON Rüzgâr Türbini Güç Eğrisi

GİRİŞ

Enerji ülkelerin sosyal zenginliği ve ekonomik gelişimi için önemli bir faktördür. Modern toplulukların var olabilmesi için enerjinin mutlaka kullanılması gereklidir. Günümüzde bir ulusun gelişmişlik düzeyi kişi başına tüketilen enerji miktarına göre değerlendirilir. Ekonomik gelişmeler ve toplumun ilerlemesi daha fazla enerji gereksinimi ihtiyaç duymasına rağmen fosil kaynaklı enerji kaynakları yakın gelecekte tükenecektir ve bu kaynaklar aynı zamanda çevremizi kirletmektedir [1]. Sınırlı olan fosil enerji kaynakları dünya enerji ihtiyacının önemli bir kısmını karşılamasına rağmen çevreye verdikleri zarar ve gelecek nesillerin enerji ihtiyaçları göz önüne alındığında yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi daha da artmıştır[2].Bu yüzden yenilenebilir enerji kaynakları, örneğin güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, hidroelektrik, biokütle ve jeotermal küresel enerji gereksinimini karşılayacak sürdürülebilir bir yoldur. Bu enerji kaynaklarının en büyük avantajı ilk, yerel, temiz ve aynı zamanda tükenmez enerji kaynakları olmasıdır [1].

Günümüzde büyük ekonomik gelişme ve hızla artan yaşam kalitesi sonucu olarak Türkiye’de enerji sektörünün her alanında hızlı bir talep artışı olduğu gözlemlenmektedir. Türkiye, gelişmekte olan ülkeler içerisinde enerji talep en hızlı arttığı ülke durumundadır” [3].

Ekonomik ve sosyal kalkınmanın sürdürülebilir olması için enerji, ekonominin en önemli unsuru olma özelliğini korumaktadır. Enerjide ithalat bağımlılık oranının yüzde 72 seviyesinde olduğu ülkemizde petrol ve doğalgazın neredeyse tümü, kömürün ise beşte biri ithal edilmektedir [3].

Türkiye’de enerji ihtiyacını yeterli bir şekilde karşılamak için oldukça sınırlı olan doğal kaynaklarımızı doğru olarak kullanmaya, yeni geliştirilen teknolojilerle enerji sağlamada çeşitlendirmeye ve mevcut teknolojilerin verimliliğini arttırmaya, alternatif enerji kaynaklarını değerlendirmeye yönelik çalışmalara büyük bir önem verilmektedir. Ayrıca, enerji arz güvenliğimizin

sağlanmasında toplumda enerji verimliliği bilincinin yerleştirilmesine ve geliştirilmesine de özel bir önem verilmektedir [3].

Petrol ve kömür gibi doğada sınırlı miktarda bulunan fosil yakıtlar hızla tükenmektedir. Aynı zamanda küresel ısınma ve iklim değişikliği, fosil enerji kaynaklarının kullanımının azaltılmasını zorunlu kılmakta ve sürekli artan enerji talebini karşılayabilmek için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını ve enerji verimliliğine yönelik çabaları arttırmak gerekmektedir.

Dünyada ve Türkiye’de enerjiye talebin artması ve gelecekte hızla devam edecek olması birçok kurum enerji ihtiyaçlarının gelecekte hakkında çalışma yapmasına neden olmaktadır. Bugünkü enerji ihtiyacı ile kıyaslandığında 2030 yılında enerji tüketiminin dünyada %60 ve Türkiye’de ise %100’den daha yüksek oranda artması beklenmektedir. Dünyada ve Türkiye’de nüfusun benzer olarak %1 oranında artması beklenmektedir. Artan nüfusun yanı sıra, dünyada gelişen ve büyüyen ekonomilerden gelen talep ve ülkemizde ise esas olarak şehirleşme ve sanayileşmeden kaynaklanan talep, söz konusu artışların temel nedenleri arasındadır.

Gelişmekte olan Türkiye’nin bir yandan nüfusu artarken diğer yandan da giderek enerjiye bağlı olarak yaşam kalitesi artmaktadır. Enerji kaynaklarımızı çeşitlendirmek ve kaynak teminikonusunda mümkün olduğunca dışa bağımlılığımızı minimizeetmek bakımından yenilenebilir enerji kaynaklarımızın kullanım oranlarının artırılması oldukça önemlidir. Ülkemizde birçok yenilenebilir enerji kaynağı mevcuttur ve bu yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretiminde çok daha fazla ve etkin olarak kullanılmalıdır [4].

Hidrolik, rüzgâr, güneş, jeotermal, biyokütle, biyogaz, dalga, yenilenebilir kaynaklardan üretilen ve dünya var oldukça kendisini yenileyen yani tükenmeyen enerji kaynaklarındandır. Yenilenebilir enerji kaynakları yeryüzünde çok geniş alanlarda bulunabilmektedir. Etkili

olarak kullanılmas durumunda talep edilen miktarda enerji ihtiyacını karşılayabilecek şekilde kullanılabilir [1].

Yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji üretiminde daha fazla rol oynaması ile hem daha temiz bir çevreye hem de daha az dışa bağımlılık sağlayacaktır. Türkiye’de mevcut olan yenilenebilir enerji kaynakları enerji üretimi sistemine bu bakımdan daha fazla dahil edilmelidir. Bu yapılırken kaynakların en etkin kullanılması yönünde yöntemler geliştirilerek atıl tesisler kurulmasından kaçınılmalıdır. Bu bakımdan yenilenebilir enerji kaynaklarımızın analizleri yapılmalı ve tesislerimizin de bu analizler çerçevesinde işletilmelidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının varlığı ne kadar önemliyse bu kaynakların kullanılması da aynı derecede önem taşımaktadır.

Bu çalışmanın temel amacı; Türkiye’nin yenilenebilir enerji kaynaklarının termodinamik analizinin yapılarak kullanılabilirliğinde doğru tespit edilmesidir. Ayrıca geleceğe yönelik projeksiyonlar belirlenecektir.

Birinci bölümde tezin hazırlanmasında kaynak olarak kullanılan çalışmaların taraması yer almaktadır.

İkinci bölümünde yenilenebilir enerji kaynaklarının ne demek olduğu ile başlayarak önemi ve etkileri ile devam etmektedir. Yine aynı bölümde yenilenebilir enerji olarak kabul edilen enerji kaynaklarından rüzgar, güneş, hidrolik enerji, biyokütle, jeotermal ve dalga enerjisi hakkında bilgiler sunulmuştur.

Üçüncü bölümde Türkiye’nin enerji kullanımı incelenmiştir. Bu incelemeye enerji tanımı, enerji kaynakları, birincil ve ikincil enerji kaynaklarının açıklamaları ile giriş yapılmıştır. Devamında Türkiye’nin fosil ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımları incelenmiştir. Bu kaynakların kullanım oranları ve mevcut durumlarından bahsedilmiştir. Türkiye’nin genel enerji durumu incelenerek Türkiye’nin enerji talebindeki gelişmelere yer

verilmiştir. Türkiye’de enerji kullanımı tüm sektörlere göre veriler ışığında gösterilmiş enerji tüketimi ve üretimi durumu anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde temel olarak kullanılacak termodinamik analiz yöntemlerine geçilmiştir. Genel termodinamik kavramlar ile birlikte enerji biçimleri, termik denge, termodinamiğin birinci ve ikinci kanunları hakkında bilgiler verilmiştir. Entropi ve ekserji konularına değinilerek enerji ve ekserji modellenmesi formüllerle desteklenerek anlatılmıştır.

Beşinci bölümde termodinamik analiz yöntemlerine göre yenilenebilir enerji kaynaklarının analizine geçilmiştir. İlk olarak rüzgâr enerjisinin termodinamik analizi yapılmıştır. Daha sonra güneş ve jeotermal enerjinin analizi yapılmıştır. Bu analizlerde her bir kaynak için Türkiye’den birer örnek tesis seçilmiştir. Analizde gerekli olan veriler toparlanarak (dış ortam sıcaklığı, ışıınım şiddeti, rüzgâr hızı vb.) enerji ve ekserji verimlilikleri bu örnek olarak seçilen tesisler için elde edilmiştir.

Altıncı bölümde, geride kalan bölümler ışığında yenilenebilir enerji ile ilgili gelecek projeksiyonlar değerlendirilmiştir. Türkiye için gelecekte enerji gereksinimleri göz önünde bulundurularak en uygun yatırımlarının neler olacağına dair projeksiyonlar tespit edilmiştir.

Sonuç bölümünde ise yapılan çalışmalardan elde edilen çıktılar irdelenmiştir.

BİRİNCİ BÖLÜM

LİTERATÜR TARAMASI

Bayram KILIÇ tarafından 2008 yılında yapılan çalışmada [5]; yenilenebilir enerji ile ilgili temel bilgiler verildikten sonra termodinamik analizin ayrıntılı bir şekilde irdelenmiştir. Termodinamik analiz yöntemi formüllerle desteklenmiştir. Aynı çalışmada güneş enerji sistemlerinden fotovoltaik sistemin dizaynının yapılışı ve bu dizayn yapılırken bölgede güneş enerjisi ile ilgili Türkiye'nin sahip olduğu potansiyel çeşitli tablolarla desteklenerek anlatılmıştır. Bu çalışmada Mardin iline ait veriler kullanılarak rüzgâr ve güneş enerjisinin durumu değerlendirmesi bu bölge için yapılmıştır. Her iki yenilenebilir enerji kaynağı kullanılarak elektrik enerjisi üretimi gerçekleştirilmiştir. Amortisman yıllara göre tespit edilerek bu bölge için rüzgâr ve güneş enerjisine dayalı sistemlere uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Bugün için rüzgâr ve güneş enerjisi yatırımlarının yüksek olmasına rağmen gelecek için enerji ihtiyacına yönelik talepleri destekleyecektir. Türkiye'nin sahip olduğu rüzgâr ve güneş enerjisi potansiyeli gelecek için önemli bir kaynak sağlayacağı vurgulanmıştır.

S.R. Park, A.K. Pandey, V.V. Tyagi, ve S.K. Tyagi tarafından 2013 yılında yapılan çalışmada [6]; Yenilenebilir enerji sistemlerinin enerji ve ekserji analiz yöntemleri ile incelenmesi ele alınmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının günlük yaşamda kullanılan uygulamalarda enerji ve termodinamiğin ikinci kanunu esas alınarak ekserji analizleri anlatılmıştır. Temel olarak Enerji ve ekserji analizleri arasındaki fark termodinamiğin birinci kanunu ve termodinamiğin ikinci kanunu ile kıyaslaması yapılmıştır. Yenilenebilir enerjinin temel kaynağı olan güneş enerjisi uygulamaları olarak güneş hava ısıtıcısı, güneş su ısıtıcısı, güneş yiyecek ısıtıcısı sistemlerinin enerji ve ekserji analizi yapılmış bunun yanında bir başka uygulaması olan fotovoltaik güneş sisteminin enerji ekserji değerlendirmesi yapılmıştır. Güneş enerjisi uygulamalarına ilave olarak biokütle yiyecek ısıtıcısının enerji ekserji analizi yapılmıştır. İki tip kolektör denenerek yapılan paralel çalışmalar

sonucunda düzlem yüzeyle kolektörde sabah ve öğlenden sonraki zamanlarda verimde düşmeler yapılan analizlerde saptanmıştır. Bu düşüşün nedeni araştırıldığında yüksek yansıma kayıpları ve düşük yoğunluktaki güneş ışınımından dolayı olduğu saptanmıştır. Fakat ikinci tip olarak seçilen silindirik kolektörde verim düşüşü daha az olmuştur. Biokütle enerji sistemi için enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Bu konuda yapılan çalışmada biokütle yüksek enerjili sıvı yakıtı dönüştürülme işlemi yapılmıştır. Bu işlem Bio-Crude olarak adlandırılmaktadır. Ekserji verimi bu proseste verim %86 gibi yüksek bir değere ulaşmıştır.

Sağlam, Mustafa ve Uyar, Tanay Sıdkı tarafından 2006 yılında yapılan çalışmada [7]; dalga enerjisini ve bu enerjinin Türkiye'de bulunan teknik potansiyeli konu alınmıştır. Bu çalışmada dalga enerjisinin kullanıldığı takdirde bol ve denize kıyısı olan ülkelerden uygulanabileceği vurgulanmıştır. Deniz dalgasının enerjiye dönüşümünün genel bir grafik ile anlatılmıştır. Türk Kıyı Rüzgârları ve Derin Dalga Atlası değerlerinden yararlanarak ortalama dalga belirgin yüksekliği (H) ve dalganın periyodu (T) değerleri ile minimum enerji akışı için aylık ortalama, maksimum enerji akışı için aylık ortalamalarının kullanılması ile Türk kara sularının hazır yaklaşık azami ve asgari Dalga Enerji seviyeleri verilmiştir. Bunun yanı sıra bölgesel ortalama dalga yoğunlukları çıkartılmıştır. Bunları neticesinde denizleri yenilenebilir enerjisinin en yüksek, bol, kullanımı serbest, yaygın dev enerji depoları olduğu göz önünde bulundurulması gerektiği vurgulanmıştır. Örnek uygulama olarak belirlenen Kalkan açıkları için yapılan analizlerde 6,6 kW/m–7,6 kW/m değerleri arasında olduğunu göstermektedir. Dalga yüksekliği 1,21 metreye periyodu ise 6,09 saniyeye ulaştığı gözlemlenmiştir. Dalga enerjisi için en uygun yerleri İstanbul Boğazının kuzeyi ile Ege Denizinin güneybatı kıyıları açıkları olan Marmaris ve Finike arasında kalan bölge olduğu tespit edildiği söylenmiştir. Dalga enerjisi için bu bölgelerin tercih edilmesi gerektiği enerji kullanılabilirliği için uygun olacağı değerlendirilmiştir.

Türkiye'nin bütünü için yapılan merkezi enerji planlamasının yanında her bir bölge için temel olarak bölgesel planlamaların yapılması ve her iki planlamanın koordineli yürütülmesi gerektiği vurgulanmıştır. Toplum nüfusunun genel olarak deniz kenarlarında yoğunlaşmasına neden olduğu özellikle bu bölgelerde dalga enerjisi önemli bir değer olarak değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Satman, Abdurrahman tarafından Jeotermal Enerji Seminerinde sunulmak üzere yaptığı çalışmada [8]; Türkiye'de bu konu ile ilgili olarak yaklaşık 280 bölgede jeotermal enerjinin mevcut olduğu ve bunlar içinde 25' yakın jeotermal bölge hali hazırda doğrudan amaçlı olarak veya elektrik üretiminde kullanıldığını belirtilmektedir. Belirlenmiş jeotermal bölgelerle alakalı olarak mevcut değerleri ışığında hesaplanmış jeotermal kapasite değerleri verilmektedir. Türkiye'nin 0-3 km derinlik aralıklarında jeotermal kaynak potansiyeli ve hidrotermal bölgelerin varlıkları hakkında veriler sunulmaktadır. Türkiye için 0 – 3 km derinlik aralığında geçerli jeotermal kaynak potansiyeli bu çalışmada ve üniversiteler tarafından araştırılmakta olan jeotermal potansiyeli belirleme çalışmasına sonuçlarına dayanılarak 2.0×10^{23} J ile 3.7×10^{23} J arasında değişmekte olduğundan bahsedilmiştir. Türkiye için jeotermal ısı kaynağı hakkında bilgiler verilerek mevcut çalışmalar arasında kıyaslamalar yapılmıştır. Aynı zamanda bu çalışmada, Mihçakan tarafından 2006 yılında geliştirilmiş olan Türkiye yer altı sıcaklık gradyanı dağılımı haritası kullanılarak Türkiye jeotermal potansiyeli tahmini çalışması gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar burada sunulmaktadır. Buradaki çalışmada jeotermal potansiyel tahmini yapılırken şimdiye kadar yapılan çalışmaların sonuçlarının birbirine çok yakın olduğu gözlemlenmektedir. Satman-Serpen-Korkmaz çalışması ile ilgili olarak Türkiye'de en ayrıntılı çalışmadır. Kapasite hesabı için çözüm yolları sunulmaktadır. Bununla birlikte yıllık olarak enerji kullanımı ifadeleri yer almaktadır. Genel sonuçlar için sıcaklığın 20°C 'nin üzerinde olması durumunda 276 alan ve oluşum için tanımlanmış hidrotermal kapasite 3700 MW_t olarak hesaplanmıştır. Bu değer çıkış sıcaklıklarının 40°C , 60°C ve 140

$^{\circ}\text{C}$ olması durumunda ise sırasıyla 2461, 1637 ve 385 MW_t olarak verilmektedir. Güç üretimine uygun sahalar, doğrudan kullanım için uygun sahalar ve değerlendirilmiş sonuç olarak Türkiye için tanımlanmış jeotermal kapasite 3700 MW_t olmasına rağmen, bunun kullanılmakta olan ortalama yıllık işletme kapasitesi yaklaşık 300 MW_t 'dir. 13 adet merkezi ısıtma sisteminde, yaklaşık 240 MW_t 'ı sera ısıtmada ve kalanı kaplıca termal turizmde olmak üzere toplam yaklaşık olarak 800 MW_t kullanıldığı tahmin edilmektedir. Hidrotermal sahalardan elektrik üretim potansiyeli, değişik varsayımlara bağlı olarak, en az 323 MW_e ve en çok 3600 MW_e olarak tahmin edildiği belirtilmiştir.

Hepbaşı, Arif tarafından 2006 yılında eksergetik analiz ve gelecekte yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi konulu çalışmada[9]; yenilenebilir enerji kaynakları için ekserji analizi ve değerlendirmesi ile birlikte gelecek için uygunluğu incelenmiştir. Ekserji ile sürdürülebilir gelişim arasında güçlü bir bağ olduğu vurgulanarak çalışmada enerji ve ekserji modellenmesi ile genel ilişkileri açıklanmıştır. Çevresel problemlerin çözümünün başarılı olarak çözülmesi için yenilenebilir enerji kaynaklarını ortaya çıkartılmasının en etkili ve en verimli çözüm olduğu vurgulanmıştır. Ekserji analizi formüllerle ayrıntılı olarak gösterilerek, yenilenebilir enerji kaynakları için değerlendirmeler ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Kütle, enerji, entropi ve ekserji arasındaki denge formüller ile desteklenmiştir. Analiz yapılırken yenilenebilir enerji kaynakları için örnek uygulamalarla yapılan değerlendirmeler örneklenmiş bunlar için ekserji verimlilikleri sunulmuştur. Güneş enerjisi sıcak su ısıtıcısı için yapılan çalışmada verim %0,77 bulunmuş bunun artırılmasına yönelik teklifler yapılmıştır. Ekserji analizinin sürdürülebilir gelişmişlik için ve performans değerlendirilmesinde çok verimli işlem olduğu vurgulanmıştır. Ekserji değerlendirmesi rüzgar enerji sistemlerinde enerji ve ekserji arasındaki ortalama farklılık düşük ve yüksek rüzgar hızlarında sırasıyla %40 ile %55 bulunmuştur. Bazı jeotermal sistemler için ekserji analizi ölü hal durumu ve değişik teknolojik sistemler için %16.3 ile %53.9 aralığında bulunmuştur.

Utlu, Zafer ve Hepbaşı, Arif tarafından 2006 yılında yaptıkları Yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji kullanım verimliliğini analizi konulu iki bölümde yayınlanan bir çalışmadır [10]. Birinci bölümde Enerji analiz metotları hakkında olmuştur. Birinci bölümde ki makalenin girişinde enerjinin ekonomi için en önemli bileşeni olduğu ve enerji politikalarının 1973 ve 1979' da meydana gelen petrol krizi ile önemli değişiklikler olduğunu belirtmiştir. Enerji güvenliği, çevreye etkisi ve enerji sektöründeki rekabetin enerji politikalarının belirlenmesin üç temel başlık olduğunun altı çizilmiştir.

Meteryal ve metodlar kısmında enerji ve ekserji analizinin dayandığı temel esasların açıklamaları yapılmıştır. Bu konuda yapılan daha önceki çalışmalar başlıklar altında belirtilmiştir. Enerji analizi ile ilgili kullanılan bağlantılar bir tablo halinde ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Daha Türkiye'nin 2010 yılına ait verilerden elde edilen enerji kullanımı ve tüketimi ile yenilenebilir enerji kullanımı ve tüketimi tablo halinde verilmiştir. Bu tablo daha sonra yenilenebilir enerji kaynaklarının ve fosil enerji kaynakları için her bir enerji kaynağının üretim ve tüketim değerleri ayrı ayrı gösterilmek suretiyle ayrıntılı olarak sunulmuştur. Böylece herhangi bir fosil enerji kaynağı veya yenilenebilir enerji kaynağının enerji üretim ve tüketim değerlerine ulaşılabilir. Bu çalışmada Türkiye'ye örnek model olarak seçilmiştir. Enerji projeksiyon değerleri 2010 yılı için alınmıştır. Enerji kaynaklarına göre bu kaynakların kullanım yüzdeleri her bir enerji kaynağı için ayrıntılı olarak tablo halinde gösterilmiştir. Bu tablonun hazırlanması için kullanılan bağlantılar tablo haline getirilerek kolay ulaşılabilirliği sağlanmıştır. Enerji kullanım veriminin yenilenebilir enerji kaynakları için değerlendirilmesi bölümünde sektörel olarak ayrı ayrı enerji kaynaklarının incelemesi yapılmıştır. Yenilenebilir enerji ile yenilenebilir enerjinde dahil olduğu toplam enerji kullanımları yüzdeler halinde verilmiş ve aralarında kıyaslamalar yapılarak değerlendirmelerde bulunulmuştur. Çıkan değerlerin nedeni hakkında dağıtım ve

taşıma nedenlerinden dolayı oluşan kayıplara bağlanmıştır. Türkiye'nin enerji verimliliğinin için büyük bir potansiyele sahip olduğu ve bu potansiyelin kullanılmasıyla çevresel emisyon değerlerinin düşürülebileceği ve enerji arz güvenliğinin arttırılabileceği belirtilmiştir. Bu makalede belirtilen bilgiler ışığında yenilenebilir enerji kullanımının verimli ve etkin kullanılmasıyla Türkiye'nin enerji konusunda büyük gelişmeler sağlanabileceği konusu vurgulanmıştır.

Utlu, Zafer ve Hepbaşı, Arif tarafından 2006 yapılan yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji kullanım verimi analizinin ikinci bölümü ekserji analizinin kapsamaktadır [11]. Başlangıçta ekserji ile ilgili temel tanımlar verilerek giriş yapılmış ve ekserji analizinin amaçları hakkında bilgiler verilmiştir ve ekserji analizinin amaçları hakkında bilgiler verilmiştir. İdeal proses ve gerçek proses arasındaki fark ekserjinin korunumu ile açıklanmıştır. Bu çalışmada konut, endüstri, kamu, ulaştırma ve tarım sektörlerinde kullanılan ekserji kullanım verimi tek tek gösterilmiştir. Bu makalede kullanılan metodolojinin uygulandığı örnek model Türkiye seçilmiştir. Ekserji ile ilgili bağlantılar tablo halinde ayrıntılı olarak verilmiştir. Ekserji veriminin enerji veriminden daha ziyade genel olarak sistemin performansını iyi bir şekilde anlamamıza yaradığı belirtilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının ekserji veriminin değerlendirildiği bölümde Türkiye'nin sektörleri ayrı ayrı incelenmiştir ve tablo halinde verilmiştir. 2010 yılı için yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyeli de tablo halinde verilmiştir. Enerji üretim ve tüketim değerleri tüm enerji kaynakları için yüzde değerleri hesaplanarak ayrıntılı olarak makalenin bu bölümünde verilmiştir. Türkiye'deki alt sektörlerin ekserji kullanımı yüzdeleri her bir sektör için ayrı ayrı çıkartılmıştır. Bu makalede ulaşılan öngörülerden biri olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının birincil kullanımının daha da artacağıdır. Enerji kayıplarının en yüksek olduğu yerlerin sıralaması yapılarak enerji ve ekserji verimliliklerinin karşılaştırmalı tablosu sektörler göre ayrıntılı olarak sunulmuştur. Bu çalışmada ekserji kullanımı enerji kullanımından daha kötü olduğu yani Türkiye'nin ekserji kullanımı verimliliğini geliştirmek için büyük bir

potansiyeye sahip olduğu vurgulanmıştır. 2001 ile 2010 yılı değerleri karşılaştırılarak değerlendirmelerde bulunulmuşsonu olarak ekserji veriminin iki kat artış olduğu tespit edilmiştir.

İKİNCİ BÖLÜM

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI

2.1. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ TANIMI

Yenilenebilir enerji birkaç şekilde tanımlayabiliriz. İlk tanımında doğal hayatta sürekli ve birbirini tamamlayacak biçimde ortaya çıkacak akımlardan elde edilecek enerjinin yenilenebilir enerji olduğu ifade edebiliriz. Diğer tanımında ise kullanıldıkça aynı miktarda kendini tamamlayan enerjidir diyebiliriz [12].

2.1.1. Yenilenebilir Enerjinin Önemi

Yenilenebilir enerjinin tarihsel süreç içindeki yolculuğu incelendiğinde, dönemsel gelişmelerin, yenilenebilir kaynakların kullanım seviyesindeki değişkenliğıoldukça artırdığı görülmektedir. Özellikle, 18. yüzyılın sonlarına doğru başlayan sanayileşme hareketi, yenilenebilir enerji için bir dönüm noktası olmuştur.

İçinde bulunduğumuz çağ, sanayileşme hareketinin hızla devam ettiği bir çağolmasına karşın, hareketin dayalı olduğu fosil enerji kaynakları, sistemin sürdürülebilirliğini hem insanlar hem de ekolojik yapı açısından artık mümkün olmamaktadır. 1970'li yıllardan itibaren dünyada yaşanan ekonomik, siyasi ve çevresel gelişmeler de bu durumu desteklemektedir. Bu açıdan, gelişmeleri ana hatları ile incelemek, yenilenebilir enerjinin neden tekrar gündemde olduğunun anlaşılmasında yararlı olacaktır.

2.1.2. Küresel İklim Değişikliği ve Çevresel Etkiler

Yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini artıran öğelerin basında, toplumların taşıdığı çevresel kaygılar gelmektedir. Küresel ısınma, iklim değişikliği, atmosfer kirliliği veya sera etkisi gibi değişik kelimelerle adlandırılacak bu kaygıların temelinde, büyük miktarlarda kullanılan fosil

yakıtların atmosfere bıraktıkları zararlı gazların artması yatmaktadır. Bunlardan küresel ısınma, yeryüzüsıcaklığının bu gazlar dolayısıyla (her 10 yılda 0,3 °C) artması anlamına gelmektedir. Bu gazlar arasında en önemli olanı ise karbondioksit gazıdır.

Ortaya çıkan bu tehlikenin farkında olan Birleşmiş Milletler, konuya ilişkin ilk ciddi adımı hazırladığı “İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi” ile atmıştır. Sözleşme, 1992 yılında, Brezilya'nın Rio şehrinde düzenlenen Çevre ve Kalkınma Konferansı'nda, 154 devlet başkanları ve üst düzey temsilcileri tarafından imzalanarak 1994'te yürürlüğe girmiştir. Sözleşmenin “Yükümlülükler” kısmında yer alan 2. maddesi ise, imza sahibi ülkelere, 2000 yılı başında sera gazı salınımlarının 1990 yılı seviyelerine indirilmesi yükümlülüğünü getirmiştir [13].

2.2. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ ÇEŞİTLERİ

2.2.1 Rüzgâr Enerjisi

Yenilenebilir enerji kaynaklarından ilk olarak rüzgâr enerjisini ele alacağız. Rüzgâr enerjisinden tarih boyunca, gemilerin hareket ettirilmesinden yel değirmenlerinin kullanılmasına kadar çeşitli şekillerde yararlanılmıştır. Günümüzde küresel elektrik tüketimindeki hızlı artışın karşılanabilmesinde rüzgâr enerjisi önemli bir seçenek olarak sunulmaktadır [13].

2.2.1.1. Rüzgâr Enerjisine İlişkin Genel Açıklama

Genel olarak rüzgâr; Güneş ısılarının, Dünya'nın değişken olan yüzeyinin farklı bölgelerde farklı ısıtması sonucu oluşan hava hareketleri olarak tanımlanmaktadır. Güneş ışınları, Dünya'yı doğrudan ısıtmak yerine, öncelikli olarak yüzüne ulaşarak yüzey katmanlarını ısıtmakta; bu katmanlardan atmosfere geri yansıyan ısılar ise havanın ısınmasına neden olmaktadır. Yeryüzü homojen bir yapıya sahip olmadığından (kara, deniz, çöl, orman, vb.) dolayı, absorbe edilen enerji miktarı konum ve zamana göre

değişmektedir. Bu durum, atmosfer basıncı, sıcaklığı veyoğunluğunda farklılıklar yaratmakta; ortaya çıkan kuvvetler sonucunda, hava biryerden diğer bir yere doğru hareket ederek “rüzgâr” denilen meteoroloji olayınıngerçekleşmesini sağlamaktadır.

Rüzgâr enerjisi ise; hareket halindeki havanın sahip olduğu enerjii (hareketenerjisi) ifade etmektedir. Rüzgâr enerjisi, Güneş'ten gelen enerjinin sadece %1'ini kullanmasına karşın ortaya çıkan enerji miktarı, dünyadaki tüm bitkilerin biyokütle enerjisine dönüşmüş olması durumunda ortaya çıkabilecek enerjimiktarından 50-100 kat daha fazla olmaktadır. Rüzgâr enerjisinden elde edilebilecekbu gücün, kullanılan teknolojiye bağlı olarak gelecek yıllarda daha da artması beklenmektedir [13].

2.2.1.2 Rüzgâr Enerjisi Teknolojileri

Rüzgâr enerjisinden, mekanik enerji ve elektrik enerjisi olmak üzere iki temelbicimde yararlanılmaktadır. “Klasik teknoloji” olarak da değerlendirilebilecekmekanik uygulamalarda, rüzgar enerjisi mekanik enerjiye çevrilmektedir. Milattanönceki yıllardan günümüze kadar, ev ve çiftliklerde hayvanların su gereksinimininsağlanması, arazilerin kurutulması, su pompalanması ile çeşitli ürünlerin kesim,bicim ve öğütme gibi işlemlerinde mekanik teknoloji kullanılmıştır.21. yüzyılda, rüzgâr enerjisi teknolojisi olarak ifade edilen çalışmalar, genelolarak elektrik enerjisi üretmek amacıyla gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle, rüzgârenerjisinden elektrik elde edilmesini, “çağdaş teknoloji” uygulamaları olarakdeğerlendirmek mümkündür.Rüzgâr türbinleri (wind turbines), bu teknoloji içindeki temel yapıyıoluşturmakta olup, havanın hareket enerjisini mekanik enerjiye dönüştürensistemlerdir. Ancak, rüzgâr türbinleriyle ilgili tanımlamalar, değişikkaynaklarda birbirleriyle çelişmektedir. Bu konudaki en genel tanımlamaya göre;pervane kanatları, pervane göbeği ve pervane milinden oluşan sisteme türbin denilmektedir [13].

2.2.1.3. Dünya Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli ve Kullanımı

Dünyada birçok ülke, kurum veya kuruluş, rüzgâr enerjisi potansiyelinden yararlanmaya yönelik araştırma ve yatırımlar yapmaktadır. Bu alanda geliştirilen sistemler ise, söz konusu uygulamalardan olumlu sonuçlar alınmasını ve rüzgâr enerjisi kullanımında ekonomik ölçütlerin yerine getirilmesini sağlamaktadır [13].

2.2.1.4. Dünya Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli

Dünya rüzgâr enerjisi potansiyeliyle ilgili olarak yerli ve yabancı çalışmalarda farklı rakamlara yer verilmektedir. Bu rakamların farklı oluşu, genel olarak rüzgâr potansiyeli kavramının değişik anlamlarda kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Bununla ilgili temel kavramlar ve bu kavramların anlamları şu şekildedir:

Meteorolojik (Kuramsal) Potansiyel: Mevcut rüzgâr kaynağına karşılık gelen potansiyeli ifade etmektedir.

Teknik Potansiyel: Mevcut teknoloji göz önüne alınarak (türbin gücü, türbin boyutları, türbin verimi vb.) hesaplanan potansiyeldir.

Ekonomik Potansiyel: Ekonomik olarak gerçekleştirilebilecek teknik potansiyeldir.

Rüzgâr potansiyelinin belirlenmesi konusunda yapılan çalışmalar ise, ağırlıklı olarak teknik potansiyel ve ekonomik potansiyel açısından değerlendirilmektedir.

Bu alanda yapılan en önemli araştırmalardan biri 1993 yılında, M. Grubb ve N. Meyer tarafından gerçekleştirilmiştir. Grubb ve Meyer, dünyanın rüzgâr enerjisi teknik potansiyelini, yaklaşık 53.000 TWh/yıl olarak öngörmüşlerdir. Ancak bu hesaplamada, belirli teknik özelliklere sahip ve sadece karada kurulu (onshore) rüzgâr enerji tesisleri temel alınmıştır [13].

2.2.2. Güneş Enerjisi

Güneş, yaydığı yüksek miktardaki ısı ve ışık enerjisi yoluyla, Dünyamızın hem ısınması hem de aydınlanmasında çok önemli bir işlevsahiptir. İnsanoğlu, Güneş'in bu özelliklerinden yararlanmakta gecikmiş olsa da,yürütülen çalışmalar gelecek için umut verici niteliktedir.

Güneş, 1,39 milyon km çapında ve Dünya'ya yaklaşık 150 milyon kmuzaklıkta olan, sıcak gazlardan (% 95 oranında hidrojen) meydana gelmiş birkütledir. Güneş enerjisi, Güneş'in çekirdeğinde yer alan ve hidrojen gazını helyumadönüştüren füzyon (parçalanma) tepkimesi sonucunda ortaya çıkan çok güçlü birenerji kaynağıdır. Bu tepkimede açığa çıkan enerji, ısınma yoluyla uzayayayılmaktadır. Bu enerjinin Dünya'ya gelen küçük bir bölümü, insanlığın bütünenerji gereksinimini fazlasıyla karşılayabilecek miktardadır.

Buna göre, Güneş ışınlarının yaklaşık % 30'u yansımalar nedeniyle atmosferegirmeden uzaya geri dönmektedir. Isınların geriye kalan % 70'i ise, atmosfertarafından alınarak tekrar uzayın derinliklerine doğru uzun dalga boylu ışınımalarhalinde yayılmaktadır. Yeryüzü, hayatın devam etmesine yetecek kadar ışınımı dengeli bir şekilde sürekli almakta ve yansıtmaktadır.

Yapılan ölçümlere göre; Güneş'ten Dünya'ya gelen ışınların yarattığı enerji, metrekare başına ortalama 1,35 kW; 10 metrekare alandan elde edilen güneş enerjisi ise 1 kW olmaktadır. Bu hesaplara göre, Dünya'ya gelen Güneş ışınlarının bir yıldayarattığı enerjinin, bilinen kömür rezervlerinden elde edilecek enerjinin yaklaşık 50katı olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.

Bununla birlikte, Güneş ışınlarının Dünya'ya ulaşması, coğrafi, mevsimsel ve günlük etkilere bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bu kısıtlar, Güneş enerjisine aralıklı, değişken, dağınık ve düşük yoğunluklu gibi temel nitelikler kazandırırken,çok büyük bir enerji kaynağı olma özelliğini ise değiştirmemektedir [13].

2.2.2.1. Güneş Enerjisi Teknolojileri

Güneş'ten yararlanarak enerjisini kullanılabilir hale getirmek için, Güneş'in atmosferin içine gönderdiği ışıkla birlikte ısının insanların gereksinimi olan elektrik ve ısı enerjileriyle birleştirmekle mümkün olmaktadır. Bunu gerçekleştirirken, Güneş'in yaydığı ısınların çeşitli yansıtma teknikleriyle bir nokta veya çizgiye odaklanması gerekmektedir. Bir toplayıcı (kolektör) yardımıyla yapılan işlemde enerji kaynağı odaklanmakta ve böylece 3.000 °C'ye kadar bir sıcaklığa ulaşılabilmektedir.

Temel olarak bu yaklaşımla değerlendirilen güneş enerjisinden, son 30 yıldır gerek doğrudan gerekse dolaylı elektrik enerjisi üretimi, sıcak su elde edilmesi, alan (hacim) ısıtma ve soğutma, sanayi kuruluşları için ısı enerjisi ve seraların ısıtılması gibi birçok konuda yararlanılmaktadır. Çalışmamın bu bölümünde, güneş enerjisi teknolojileri; "ısı teknolojisi" ve "elektrik teknolojisi" olmak üzere iki ana başlıkta altında ele alınacaktır [13].

2.2.2.2. Güneş Enerjisi Isı Teknolojisi

Güneş enerjisi ısı teknolojisinin temel işleyişinde öncelikle ısı enerjisi elde edilmekte; ardından bu ısı, doğrudan veya dolaylı olarak elektrik enerjisi üretiminde kullanılabilir. Isı sistemleri; erişilebilen sıcaklık dereceleri ve kullanılan toplama yöntemleri açısından birbirinden farklılık göstermektedir. Bunlardan düzlemsel güneş toplayıcıları; güneş enerjisini ısı olarak toplayan ve bu enerjiyi su veya hava gibi bir akışkana ısı olarak aktaran sistemler olup; genel olarak, konut ve iş yerlerinde sıcak su elde etmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu sistemlerde ulaşılan sıcaklık ise, yaklaşık 65-70°C düzeyinde olmaktadır. Bu tip toplayıcılar, basit yapıları ve düşük maliyetleri nedeniyle diğer toplayıcı tiplerine göre daha fazla tercih edilmektedir.

Dünyada kurulu olan çoğunluğu sıcak su elde edilendüzlemsel güneş toplayıcılarının kapsadıkları alanın 94 milyon m²'ye değerlendirilmektedir. Bu

konuda en fazla toplayıcıya sahip olan ülkeler sırasıyla Çin (%55), Japonya (%13), AB ülkeleri (%13) ve Türkiye (%10) gelmektedir.

Güneş enerjisinin düşük sıcaklıkta ısı yoluyla kullanıma dönüştürülmesine bir başka yolda güneş havuzlarıdır. Bu toplayıcılar, büyük çapta enerji toplamakapasitesine sahip olduğundan merkezi sistemler için uygun olmaktadır [13].



Şekil 1: Farklı tipteki güneş enerjisi ısı ve elektrik sistemleri [25].

Ortalama 5-6 metre derinlikteki suyla dolu havuzun siyah renkli zemini, güneş ısıyla, ortalama 70-80°C sıcaklıkta sıcak su elde edilmesini sağlanabilmektedir. Havuzda kullanılan tuz karışımı, yüksek sıcaklığın, havuzun alt tarafına doğru yönelmesine olanak vermekte; böylece ısı, alt tarafta kurulu sistem yardımıyla merkez sisteme aktarılabilir. Dünyada güneş havuzları ile ilgili önemli çalışmalar İsrail'de yürütülmektedir.

Bu alanda geliştirilen bir başka ısı sistemi de güneş ocakları olmaktadır. Güneş ocakları, çanak veya kutu şeklinde, içi yansıtıcı maddelerle kaplanmış sistemler olup, odak noktasında ısı enerjisi toplanarak yemek pişirilebilmektedir. Buyöntem, Hindistan ve Çin ile Afrika'nın bazı ülkelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Güneş enerjisiyle çalışan su arıtma sistemleri, asıl olarak derin olmayan bir havuzdan oluşmaktadır. Havuzun üzerine eğimli, hafif ve saydam cam yüzeyler kapatılmaktadır. Havuzda buharlaşan su ise, bu kapaklar üzerinde yoğunlaşarak toplanmaktadır. Bu tür sistemler, temiz su kaynağının bulunmadığı bazı yerleşim yerlerinde yıllardır kullanılmaktadır.

Güneş enerjisinin düşük sıcaklıktaki uygulamalarından bazıları da konut vesera ısıtma ile ürün kurutma uygulamalarında kullanılmaktadır. Burada belirtilen, aktif sistemlerin dışındaki pasif ısıtma sistemleridir. Çok çeşitli biçimleri olan bu sistemlerin uygulanması oldukça basittir.

Dünyada gittikçe yaygınlaşan sıfır veya düşük karbon salınımlı yapı uygulamalarını, güneş enerjisinin pasif olarak kullanımına örnek vermek mümkündür. Bunun için yerleşim alanlarının ve yapıların güneş mimarisine uygun olarak tasarlanması gerekmektedir. Böylece binaların ısı tutma kapasitesi kış mevsiminde artarken, yaz aylarında da düşmektedir.

Pasif sistemle yapı ısıtmada çeşitli mimari özelliklerden ve inşaat bileşenlerinden yararlanılarak hacim ısıtması yapılmaktadır. Burada güneş toplayıcı, yapının ayrılmaz bir parçası olmaktadır. Güneş'ten kazanılan enerji havaya aktarılarak, doğal veya doğal olmayan ısı yayımı (konveksiyon) akımıyla yapıya dağıtılmaktadır. Aktif ısıtma sisteminde ise toplayıcı, akışkan taşıyıcı hatlar, akışkan dolaşım sistemi, ısı deposu, ısıtıcı elemanlar, ısı pompası ve kontrol ünitesi gibi ısıtma donanımları yer almaktadır. Aktif sistemler yüksek maliyetli oluşunakarşın, pasif sistemler düşük maliyetli ve kolay uygulanabilir bir sistem olarak ön plana çıkmaktadır.

Ürün kurutma ve sera ısıtma uygulamaları ise güneş enerjisinin tarımalanındaki uygulamalarıdır. Bu tür sistemler pasif sistem olabileceği gibi havahareketini sağlayan aktif bileşenler de içerebilmektedir. Güneş enerjisi ısı sistemlerinden bir diğeri de güneşli soğutuculardır. Aktifve pasif sistemlerin olduğu güneşli soğutucuların kullanımı, özellikle iklimlendirmeve soğutma sistemlerinde yaşanan gelişmeler doğrultusunda önemli bir ilerlemegöstermektedir.Güneş enerjisinin en yüksek olduğu mevsimlerde daha fazla gereksinimduyulan bu tip sistemler, çevrenin korunması ve enerji tasarrufu konularında da katkısağlamaktadır. Ancak, ticari kullanımı, yapısının karmaşık olması nedeniyle ısıtmasistemlerine göre daha düşük seviyededir. Genelde yiyeceklerin saklanması için dondurucular ve binasoğutma gibi uygulama alanları bulunan güneşe dayalı soğutma sistemlerinin;Amsterdam, Barcelona, Lisbon ve Stockholm gibi gelişmiş Avrupa kentlerindeki kullanımı hızla yaygınlaşmaktadır.İfade edilen tüm bu sistemler, düşük sıcaklıktaki (100°C ' den az) güneşenerjisi üretiminde kullanılmaktadır. Bunların dışında, orta (100°C - 350°C) ve yüksek(350°C ' den fazla) sıcaklıktaki güneş enerjisi ısı uygulamalarında; Silindirik paraboliksistemler, çanak/motor sistemleri, güneş bacası ve merkezi alıcı(güneş güç kuleleri-heliostatlar) gibi sistemler kullanılmaktadır. Bu sistemlerdenağırlıklı olarak, ısı enerjisinden elektrik enerjisi üretiminde yararlanılmaktadır [13].

2.2.2.3. Güneş Enerjisi Elektrik Teknolojisi

Bir önceki bölümde ifade edilen ısı yoluyla elektrik enerjisi üretimteknolojisi, güneş enerjisinden dolaylı olarak elektrik üreten sistemlerde kullanılıp;güneş pili (fotovoltaik-PV) teknolojisinden ise, doğrudan elektrik üretimini sağlayan sistemlerde yararlanılmaktadır.

Yapısal olarak güneş pillerinin tanımını yüzeylerine gelen Güneş ısınlarını doğrudanelektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken maddelerdir olarak yapabiliriz. Yüze olarak kare, dikdörtgenveya daire şeklinde olabilen güneş pillerinin alanı 100 cm^2 ,kalınlığı ise 0,2-0,4 mm arasında olmaktadır.

Çalışma sistemi fotovoltaik çalışma prensibinedayanmaktadır.Böylece güneş pillerinin üzerine ışık düştüğündeher bir uçtaelektrik geriliminin oluşmakta ve elektrik enerjisinin oluşması bu şekilde olmaktadır.

Güneş pillerinden elde edilecek verimlilik ise kullanılan ham maddeye bağlıolarak değişmektedir. Güneş pillerinin piyasaya ilk çıkışından günümüze kadargecen yaklaşık 40 yıllık zaman diliminde, teknolojik olarak önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Söz konusu dönemde üretilmiş ve çeşitli kullanım alanları bularakticari ortama girmiş olan güneş pili sistemlerinden başlıcaları; tek kristalli, çokkristalli veya amorf yapıda olan; Si (silicon), GaAs (gallium arsenide), CIS (indiumdiselenide) ve CdTe (cadmium telloride) gibi kimyasal maddelerden üretilen sistemlerdir. Bu sistemlerde ortalama verimlilik oranı % 5 ile % 30 arasındadeğişmektedir. Son yıllarda, laboratuvarlarda geliştirilmiş olan çok katlı(TANDEM) güneş pilleriyle % 33 oranında verimlilik sağlanırken, kuramsal olarak %40 düzeyinde bir verimlilik seviyesine ulaşılması beklenmektedir [13].

Güneş pillerinin kullanım alanları ise, kurulan sistemin şebekeden bağımsızolup olmamasına göre değişmektedir. Şebekeden bağımsız kullanım alanları bina içi ve dışı aydınlatmalarının yanı sıraçevrelerinde yerleşim alanının bulunmadığı bölgelerde bulunan yangın gözlem istasyonları, ormangözetleme kuleleri, deniz fenerleri, telefon iletişim sistemleri, elektrik şebekesinin ulaşmadığı kırsal yörelerdeki elektrikgereksiniminin karşılanması, tarımsal amaçlı sulama, park, bahçe, otoyolaydınlatması ve trafik sinyalizasyonu gibi alanlar kullanılmaktadır.

Güneş pillerinin şebekeye bağlanması sonucunda elde edilen enerji günümüzde oldukça önemli boyutlara ulaşmıştır. Binlerce güneş pilinin birbirinebağlanması ile oluşturulan tesisler, şebekelerin 2 MW seviyesine kadar elektrikenerjisi üretmesini sağlamaktadır.

Sonuç olarak; güneş enerjisi ısı (doğrudan ısı ve dolaylı elektrik) ve elektrikteknolojileri, basit ve düşük maliyetli sistemlerden, karmaşık ve yüksek maliyetlisistemlere kadar uzanmakta olan geniş bir ürün yelpazesinde uygulanmaktadır. Güneş'in tüm bu ürünlerin ana maddesi olduğu dikkate alındığında, önemli bir enerjipotansiyelinden daha fazla yararlanmak için mevcut kullanım alanları kadarkullanım seviyesinin de yaygınlaşması gerekmektedir [13].

2.2.3. Hidrolik Enerji

Suyun mevcut potansiyel enerjisinin geliştirilen sistemlerle kinetik enerjiye dönüştürülmesiyleelde edilenenerjiye hidrolik enerji denilmektedir. Belli bir seviyede tutulan suyun kanallar yardımıyla daha düşük seviyeye indirilmesiyle açığa çıkan kinetik enerjinin türbinlerindönmesini sağlamasıyla elektrik enerjisi elde edilmektedir. Hidrolik enerjinin varlığı akarsu ve nehirlerle dolayısıyla yağışlara bağlıdır. Bundan dolayı, hidrolik enerji, iklim şartlarındaki değişimlerden etkilenen bir enerji türüdür.Bunun yanında hidroelektrik santraller, diğer enerji kaynakları ile karşılaştırıldığında en düşük işletme maliyetine, enuzun işletme ömrüne ve en yüksek verime sahiptir.

2.2.3.1. Dünyadaki Hidroelektrik Enerji Potansiyeli

Dünyada hali hazırda kullanılmayı bekleyen keşfedilmemiş büyük potansiyel bulunmaktadır. Avrupa ve Kuzey Amerika'da uygun hidroelektrik alanların büyük çoğunluğukullanıma geçirilmesinerağmen, gelişmekte olan ülkelerde mevcut önemli hidroelektrik potansiyel hala kullanıma başlanmamıştır.

2.2.3.2. Türkiye'de Hidroelektrik Enerjinin Tarihsel Gelişimi

Anadolu topraklarındasuyun sahip olduğu enerjiden ilk olarak Hititler zamanında kullanılmıştır. MÖ 1300 yılında kullanılan baraj bu dönemde inşa edilmiştir.Daha sonra suyun bu gücünden faydalanan Urartular tarafından MÖ. 1000 yılındaVan ilimizde iki önemli hidrolik inşa etmiştir. Günümüzde hala bu sistemin bazı bölümleri kullanılmaktadır.Bir başka barajı olan Dara

barajı Mardin ili yakınlarında altıncı yüzyılda kurulmuştur. Bu baraj dünyadaki ilk ince kemer tipli baraj olma özelliğiyle de ayrı bir öneme sahiptir. Osmanlılar zamanında ise suyun sahip olduğu potansiyel enerji etkin bir şekilde kullanılmıştır. İstanbul'da inşa edilen sutaşıma sistemlerinin ve barajların bazıları hala kullanımdadır. 1923 yılında Türkiye Cumhuriyeti'nin kuruluşundan sonra Ankara için içmesuyu temini amacıyla 1930 ve 1936 yılları arasında yapılmış olan Çubuk-1 barajı kullanıma açılmıştır. İlk hidroelektrik üretim Cumhuriyet öncesi dönemde tarihler 1902 yılını gösterdiğinde Tarsus'ta küçük ölçekli hidroelektrik santral ile başlamıştır. Daha büyük kapasiteli santral ise 1913 yılında İstanbul'da inşa edilmiştir. Hidroelektrik enerji ile çalışan aydınlatma ve elektrik şebekesi ilk kez Ödemiş'te 1933 yılında kurulmuştur. Türkiye Cumhuriyeti ilk kurulduğu dönemdeki toplam kurulu kapasitesi 29.66 MW ve bu dönemdeki yıllık üretimi miktarı 45 GWh seviyesinde kalmaktaydı. Bu dönemlerde İstanbul, Adapazarı ve Tarsus'ta elektrik enerjisi elde edilebilmekteydi. Modern Türkiye'nin barajları, yalnızca sulama ve hidroelektrik üretimi için değil aynı zamanda şehirlerdeki nüfusün içme suyunu da karşılamaktadır [14].

Tablo 1: Dünyanın hidroelektrik enerji potansiyeli [26]

Bölge	Brüt Hidroelektrik Enerji Potansiyeli (GWh/yıl)	Teknik Hidroelektrik Enerji Potansiyeli (GWh/yıl)	Teknik ve Ekonomik Hidroelektrik Enerji Potansiyeli (GWh/yıl)
Afrika	4.000.000	1.665.000	1.000.000
Asya	19.000.000	6.800.000	3.600.000
Avustralya / Okyanusya	600.000	270.000	105.000
Avrupa	3.150.000	1.225.000	800.000
Kuzey ve Orta Amerika	6.000.000	1.500.000	1.100.000
Güney Amerika	7.400.000	2.600.000	2.300.000
Dünya	40.150.000	14.060.000	8.905.000
Türkiye	433.000	216.000	127.820
Türkiye/Dünya (%)	1,07	1,54	1,84

2.2.3.3. Tanımlanması ve Sınıflandırılması

Çevrim ünitesi bir veya daha çok ise ve jeneratörlerin toplam kurulu gücü 10 MW'tan küçük olan santrallere küçük hidroelektrik santraller denilmektedir. Bu özelliğe sahip hidroelektrik santralleri sınıflandırması değişik kriterlere göre yapmak mümkündür. Ülkelere göre özellikler farklı olması dolayısıyla farklı sınıflandırma sistemleri kullanılmaktadır.

Sınıflandırmada şu kriterler göz önüne alınabilir.

- Su ekonomisine göre sınıflandırma
- Enerji ekonomisine göre sınıflandırma
- Teknik özellikler yönünden sınıflandırma
- Topoğrafik durumlar yönünden sınıflandırma

Küçük hidroelektrik santrallerin sınıflandırması çeşitli ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de santral kurulu gücüne göre yapılmaktadır. Türkiye'de sınıflandırma sistemi olarak Birleşmiş Milletler Endüstriyi Geliştirme Organizasyonu (United Nations Industrial Development Organization, UNIDO)'nun belirlediği değerler kabul edilmiştir. Buna göre;

- 100 kW gücü altı mikro,
- 101-1000 kW güçleri arasında mini,
- 1001-10000 kW güçleri arasında küçük hidroelektrik

santraller olarak kabul edilmiştir [14].

2.2.3.4. Olumlu ve Olumsuz Yönleri

Küçük hidroelektrik santraller mevcut şebekeyi besleyen büyük hidroelektrik santrallerin bir alternatifi değil tamamlayıcılarıdır. Türkiye açısından bu santrallerin üstünlükleri ve zayıf yönlerini aşağıdaki gibidir.

Faydalı Yönleri:

- Ulaşımı ve ana sistemden beslenmesinde zorluklar bulunan kırsal bölgelerin enerji ihtiyacını karşılar.
- Kırsal bölgelerin yakıt bulma ve taşıma sorunlarına çözüm getirir.

- Küçük hidroelektrik santrallerin türbin-jeneratör gruplarının tipleştirilerek standart hale getirilmelerikolaydır, bu durum mekanik ekipmanı ucuzlatır.
- Bakım ve işletme sorunları en aza inecektir. Türbin-jeneratör ve transformatörün bir blok halindeve otomatik işler şekilde yapılmasıyla aynı bölgedeki çok sayıda santral bir tek teknisyentarafından kontrol edilebilecektir. Bunun sonucu olarak işletme maliyeti azalacaktır.
- Yakıtlı santrallere göre enerji üretimi işletme maliyeti düşüktür ve işletme sürecinde karbonsalınımı yapmaz.
- Küçük hidroelektrik santrallerde üretilen enerji genellikle bölgede kullanıldığı için uzun iletimşebekelerine ihtiyaç duyulmaz. Bu durum büyük oranda enerji kayıplarını engellemektedir.
- Su türbinleri yapımı ile ilgili endüstri kurma çalışmaları günümüzde son aşamaya ulaşmıştır.Mini, mikro ve hatta küçük hidroelektrik tesislerin mekanik aksamının tümü kendi endüstriyeltesislerimizde imal edilebilir. Küçük kapasiteli ünitelerin imal edilmesi, bu konuda bilgi birikiminiarttırır ve yakın bir gelecekte daha büyük kapasiteli ünitelerin imalatlarının yerli endüstri ile yapılması sağlar.
- Bakımları kolay, ucuz ve hizmet süreleri ise uzundur.

Zayıf Yönleri:

- Sel kontrolü, içme ve kullanma suyu sağlamak gibi ek işlevleri yoktur.
- Üretilen kWh enerji başına etütler için yapılan harcama masrafları fazladır.
- 1kW kurulu güç için gerekli yatırım maliyeti büyük santrallerden yüksektir.
- Küçük hidroelektrik santrallerin işletme giderleri büyük santrallere göre fazladır. Ancak türbin,jeneratör ve transformatörde standardizasyona gidilmesi, üretilen kWh enerji başına işletme ve personel maliyetlerini azaltacaktır.

- Ülkemizde bu konuda yetişmiş teknik eleman sıkıntısı vardır. Bu da uygulamalarda çevresel ve ekonomik açıdan problemler ortaya çıkarmaktadır.
- Depolama özellikleri olmadığından enerji üretimi akıma bağlıdır. Bu sebepten dolayı küçük hidroelektrik santrallerin verimleri düşüktür.
- Üretim devamı sistemin teknolojik özelliklerine bakım ve işletme politikalarına bağlıdır.
- Akarsudaki su rejimini azaltmakta, akarsu çevresindeki fauna, flora ve dolayısıyla insan yaşamı olumsuz etkilemektedir.
- İnşaat aşamasında, akarsu yatağı ve çevresinde birçok sorunlarla karşılaşılır [14].

2.2.4. Biyokütle Enerjisi

Biyokütle enerji kaynağı ana bileşenleri karbohidrat bileşikleri olan bitkisel ve hayvansal kökenli tüm maddelerdir. Biyokütle enerjisi ise bu kaynaklardan üretilen enerji olarak tanımlanmaktadır. Yeşil bitkilerin güneş enerjisini fotosentez yoluyla doğrudan kimyasal enerjiye dönüştürerek depolanması sonucu bitkisel biyokütle oluşmaktadır. Fotosentez yoluyla enerji içeriği yaklaşık olarak 3×10^{21} J/yıl olan organik madde oluşmaktadır. Buda dünya enerji tüketiminin 10 katı daha yüksek enerjiye karşılık gelmektedir [10].

Biyokütle enerji teknolojisi kapsamında olan odun (enerji ormanları, ağaç artıkları), yağlı tohum bitkileri (ayçiçek, kolza, soya, aspir, pamuk, v.b), karbohidrat bitkileri (patates, buğday, mısır, pancar, v.b), elyaf bitkileri (keten, kenaf, kenevir, sorgum, vb.), bitkisel artıklar (dal, sap, saman, kök, kabuk v.b), hayvansal atıklar ile şehirsal ve endüstriyel atıklar değerlendirilmektedir. Fiziksel süreçler (boyut küçültme-kırma ve öğütme, kurutma, filtrasyon, ekstraksiyon ve biriktirme) ve dönüşüm süreçleri (biyokimyasal ve termokimyasal süreçler) ile biyokütleden pek çok sıvı, katı veya gaz biyoyakıt elde edilmektedir [10].

Biyokütle (Biomass) enerjisi, diğer yenilenebilir enerji kaynakları gibi yerli ve çevreye duyarlı bir başka kaynaktır. Biyokütle enerjisini diğerlerinden ayıran temel fark ise, enerji kaynağının sadece doğada bulunan ögelerden oluşmaması, aynı zamanda yetiştirme tekniğiyle yeni kaynakların yaratılarak mevcut potansiyelini geliştirilebilmesidir. Bu şekilde, biyokütle enerjisi ekosistem açısından yenilenebilir ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı olmaktadır [13].

2.2.4.1. Biyokütle Enerjisine İlişkin Genel Açıklama

“Biyokütle”, enerji kaynağı olarak yararlanılabilen biyolojik kaynaklı maddeleri ifade etmek için kullanılan geniş kapsamlı bir terimdir. Kaynağı odun, tarımsal ürün, yosun ve diğer bitkiler olabileceği gibi tarım ürünlerinden ve ormanlardan elde edilen artık maddeler de biokütle olarak sayılmaktadır. Biyokütle enerjisi bu kaynaklardan elde edilen enerjiye olarak tanımlanmaktadır.

Biyokütle enerji kaynakları; ısıtma, yakıt ve elektrik enerjisi üretimi gibibirçok amaçla kullanılabilir. Bioenerji terimi, biokütle kullanılarak elektrik veya ısı üreten sistemleri, biyoyakıt terimi ise, biokütleyle elde edilen katı, sıvı ve gaz yakıtları ifade etmek için kullanılmaktadır.

Biyokütle enerji kaynaklarını, klasik ve modern kaynaklar olmak üzere iki grupta toplamak mümkündür. Klasik biyokütle enerji kaynaklarını ormanlardan sağlanan yakacak odun ile yine yakacak olarak kullanılan bitki ve hayvanatıklarından (özellikle tezekten) oluşmaktadır. Enerji kullanımının temel özelliği, gelişmişine doğru uzanan çeşitli yakma araçlarıyla ısı enerjisinin üretilmesi klasik biokütle enerji denir.

Günümüzde modern sayılabilecek biyokütle enerji kaynakları, enerji ormancılığı ürünleri ile orman ve ağaç endüstrisi atıkları, enerji tarımı ürünleri, tarım kesiminin bitkisel artıkları ve hayvansal atıkları, kentsel atıklar ve tarımsal endüstri atıkları biçiminde sıralanmaktadır. Bu kaynaklardan, ağırlıklı

olarak taşıtlar için biyoyakıt elde edilirken, söz konusu biyoyakıtlardan ısı veya elektrik enerjisi üretiminde de yararlanılması mümkün olmaktadır [13].

2.2.4.2. Biyokütle Yetiştiriciliği

Biyokütle yetiştiriciliği enerji ormancılığı ve enerji tarımı yöntemleri kullanılarak biyoyakıt ham maddesinin elde edilmesinin temel maksadıdır. Ormancılık ve tarımda yaygın biyokütle yetiştiriciliğinde, bitkilerin güneş enerjisini fotosentez yoluyla bünyelerinde depolayarak yatması ve böylece hızlı fotosentezle büyüyen bitkilerin yetiştirilmesi asıl amacını oluşturmaktadır [13].

2.2.4.3. Biyokütle Teknolojileri

Klasik ve çağdaş biyokütle enerji kaynaklarının, doğrudan yakma, termokimyasal (piroliz ve gazlaştırma), biyokimyasal (havasız çürütme ve mayalanma) ve fizikokimyasal (esterifikasyon) dönüşüm süreçlerinden geçmesiyle çeşitli biyo-ürünler elde edilmektedir. Bu ürünler ve biyokütle teknolojileri; “biyoenerji (ısı ve elektrik)” ve “biyoyakıt (biyomotorin, biyoetanol, biyogaz vb.)” teknolojileri olmak üzere iki ana başlıkta incelenmektedir [13].

2.2.4.4. Biyoenerji Teknolojisi

Biyoenerji enerji kaynakları, uzun yıllardır ısı enerjisi (ısıtma, pişirme vb. alanlarda) elde edilmesinde kullanılmaktadır. Buna karşın, yeni yöntemlerle birlikte sadece ısı değil, elektrik enerjisi üretiminde de biyokütleden yararlanılması mümkün hale gelmiştir. Bu yöntemlerden başlıcaları şu şekildedir:

Doğrudan Yakma: Biyokütlelerin ısı enerjisi için doğrudan yakılarak üretilmesi, bilinen en eski yöntem olmakla birlikte, son yıllarda verimi arttırmak ve ısı enerjisinden elektrik enerjisi elde etmek için yeni yakma sistemleri geliştirilmektedir. Özellikle, biyokütle ile kömürün bir arada

kullanıldığı (birlikte yakma) termiksantrollerde, % 45' in üzerindeki verimlilik oranıyla elektrik üretiminde ticari bir seviyeye ulaşılmıştır.

Bununla birlikte, ısı ve elektrik enerjilerinin aynı sistemde üretildiği birleşik-ısı-güç (kojenerasyon) sistemlerinde ise, toplam verimlilik (ısı+elektrik) oranı % 70-90 seviyesindedir. Bu nedenle, birleşik ısı-güç sistemi, biyokütlerden ısı ve elektrik üretiminde en üst seviyede verimlilik sağlayan çağdaş bir sistem olarak değerlendirilmektedir.

Doğrudan yakma yönteminde, hemen her türlü biyokütle kaynağını kullanma olanağı yoktur. Fakat nem oranı arttıkça oluşması değeriazalacağından, ağırlıklı olarak odun, sap, saman, talaş vb. katı biyokütler doğrudan yakma yöntemiyle değerlendirilmektedir.

Gazlaştırma (Gazifikasyon): Gazlaştırma yöntemi de, katı biyokütlerden ısı ve elektrik enerjisi elde edilmesini sağlayan termokimyasal bir yöntemdir. Gazlaştırma, karbon içeren katı biyokütlerin yüksek sıcaklıkta (650 °C ile 850 °C arasında) bozulması sonucu yanıcı gaz elde etme işlemi olarak tanımlanmaktadır. Bu işlem sırasında biyokütle, yakıt hücresine kontrollü olarak hava verilerek yakılmakta ve açığa çıkan ürünler arasında hidrojen, metan gibi yanabilir gazların yanı sıra karbonmonoksit, karbondioksit ve azot gibi gazlar da bulunmaktadır.

Gazlaştırma yöntemiyle elde edilen gaz karışımı ise, ısı ve buhar üretmek için yakılabilmekte veya elektrik üretmek için gaz türbinlerinde kullanılabilir. Ancak, gaz türbinlerinde elektrik üretimini sağlayan biyokütle gazlaştırma sistemi henüz deneme aşamasında olup, ticari anlamda tam olarak hizmet veren bir tesis bulunmamaktadır. Bu sistemin, yakın bir gelecekte geleneksel sistemlerle rekabete dâhil olabileceği düşünülmektedir.

Havasız (Anaerobik) Çürütme: Havasız çürütme kısaca; biyokütle içindeki bakterilerin oksijensiz bırakılmasını sağlayan biyokimyasal bir yöntem

olaraktanımlanmaktadır. Bu işlemin sonucunda, temel olarak metan gazı ve karbondioksitten meydana gelen biyogaz elde edilmektedir. Organik kentsel atık, kanalizasyon çamuru ve hayvansal atık gibi yüksek nem oranına sahip yaş biyokütleler, biyogaz üretimi için en elverişli ham maddelerdir.

Havasız çürütme yöntemi sonucu ortaya çıkan biyogaz, ısı ve elektrik enerjisi üretiminde (birleşik ısı-güç sistemi) kullanılmakta; doğal gazla birleştirildiğinde taşılarda yakıt (biyometanol) olarak değerlendirilmektedir. Yapısı itibarıyla biyogaz, doğaya salınan karbon miktarının azaltılmasında önemli bir yakıt seçeneği olmaktadır [13].

2.2.4.5. Biyoyakıt Teknolojisi

Biyoyakıtlar; yaygın olarak tarımsal biyokütlelerden değişik yöntemlerle üretilen, özellikleri standartlaştırılmış ve ticari özelliği olan yakıtları ifade etmektedir. Bu yakıtlardan biyogaza daha önce değinilmiş olduğundan, çalışmanın bu bölümünde; dünyadaki toplam biyoyakıt üretimi içindeki payları % 90' in üzerinde olan sıvı yakıtların (biyoetanol ve biyomotorin) dönüşüm süreçleri incelenmektedir.

Mayalanma (Fermantasyon): Biyoyakıt teknolojisinde mayalanma, özellikle seker, nişasta veya selüloz açısından zengin olan enerji bitkilerine (şeker pancarı, mısır, şeker kamışı, patates vd.), cam, kayın gibi ağaçlara ve kentsel atıklara uygulanan bir yöntemdir. Bu yöntem, biyokütlenin yapısındaki sınırları, yakılabilir bir sıvı olan alkole dönüştürmektedir.

Mayalanma yöntemiyle ilgili genel uygulama, biyokütledeki şeker ve nişastanın, su ve mayayla karıştırılarak bozulması temeline dayanmaktadır. Bu işlemden sonra, ham petrol, butanol ve etanol gibi ürünler eşdeğerinde kimyasal maddeler ortaya çıkmaktadır.

Selüloz içerikli biyokütlelerin mayalanması ise biraz daha uzun bir süreç olması karşın, bu biyokütlelerden daha büyük miktarda alkol elde edilmektedir. Buna göre; selüloz içerikli biyokütleler, öncelikle hidroliz (asit veya enzimatik hidroliz) yöntemiyle mayalanabilir şekerlere dönüştürülmekte (parçalanmakta); dahasonra, ortaya çıkan bu şekerler mayalanarak alkol üretilmektedir.

Mayalanma yöntemi sonucu üretilen başlıca yakıt ise biyoetanol olup; biyoyakıt, dünyadaki toplam biyoyakıt üretiminde en yüksek paya (> % 90) sahiptir. Biyoetanol, benzinle karıştırılarak kullanılabilen alternatif bir yakıt türü olmakla birlikte, karışımdaki oranı % 5 (E5) ile % 85 (E85) arasında değişmektedir. Bu teknolojinin kullanımı, özellikle yeni nesil benzinli taşıtlarda hızla yaygınlaşmaktadır.

Esterifikasyon: Biyoyakıt teknolojisinde esterifikasyon, aspir, soya, ayçiçeği, pamuk ve kanola (kolza) gibi yağlı tohum bitkilerine hayvansal yağlara veya yemeklerde kullanılan kızartma yağlarına uygulanmakta olan bir yöntemdir. Bu yöntemin temelinde; söz konusu biyokütlelerdeki yağların, metanol veya başka bir alkol türü ile gliserin gibi çözücü (katalizör) bir maddenin tepkimeye girmesi yatmaktadır.

Bu tepkimenin sonucunda, petrol kökenli motorinden ayrı bir motorin türü olan biyomotorin (biyodizel) ortaya çıkmaktadır. Motorininin değerine çok yakın olan biyomotorin aynı zamanda motorinden daha yüksek alevlenme noktasına sahiptir. Bu özellik, biyomotorini, kullanma-taşıma-depolanma özellikleri açısından daha güvenli bir yakıt yapmaktadır.

Saf halde veya her oranda petrol kökenli motorinle karıştırılan biyomotorin taşıtlarda yakıt olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, biyomotorinin sahip olduğu özellikler, alternatif yakıtın dizel motorlar dışında, ısıtıcı veya kalorifer yakıtı olarak kullanımına da olanak sağlamaktadır.

Ayrıca, biyomotorinden;seralarda, maden ocaklarında ve savunma endüstrisinde yararlanılması da mümkünolmaktadır.

Biyomotorin, çevresel etkileri açısından değerlendirildiğinde ise, fosil kökenlimotorine karşı önemli bir üstünlüğe sahiptir. Yakıtın kullanımı sırasında üretilenkarbondioksit miktarı, karışımdaki biyomotorin oranına göre değişmekle birlikte,fosil kökenli motorinle karşılaştırıldığında % 40-60 oranında daha az olmaktadır.Biyomotorin ham maddesinin, kullanılmış bitkisel yağlar veya hayvansal yağlarolması durumunda, doğaya bırakılan karbon miktarının daha da düştüğügözlemlenmiştir.

Sonuç olarak; biyokütle teknolojileri, sera gazlarının yarattığı küresel ısınmasorunu için önemli bir seçenek haline gelmiştir. Toplumların bu konuyla ilgiliduyarlılığı da, özellikle otomotiv sektörü ve yakıt endüstrisinde yenilenebilir bir enerji kaynağı olan biyokütleye yönelikçalışmaların artmasına neden olmaktadır [30].

2.2.4.6. Dünya Biokütle Enerji Kullanımı

Günümüzde biokütle enerjisi, dünya birincil enerji tüketiminin yaklaşık %10 ile % 13'ünü karşılamakta olup tüm yenilenebilir enerji kaynaklarıarasında ilk sırada bulunmaktadır. Araştırmalar göstermektedir ki, biyokütlekullanımının büyük bir çoğunluğu, ısınma ve yemek pişirme amaçlı klasik biokütlelerde yoğunlaşmakta ve az gelişmiş-gelişmekte olan ülkeler tarafındangerçekleştirilmektedir. Bunun temel nedenleri; söz konusu ülkelerdeki hızlı nüfusartışı ve fosil kaynakların bu artışı karşılayacak seviyede olmayışıdır.

Ulaştırma alanında biyomotorin ve biyoetanol kullanımı birçokülke tarafından teşvik edilmektedir. Biyoyakıtlardan elektrik üretimi sağlanmasıkonusunda ise, özellikle AB ülkelerinin yoğun çalışmaları devam etmektedir. İkincinesil yenilenebilir yakıt olarak adlandırılan biyoyakıtların karayolu taşımacılığındakullanılan tüm yakıtlar içindeki payının, 2050 yılında

% 13'e yükselmesi; biyoyakıt kullanımıyla doğaya bırakılan karbon miktarının da % 6 oranında azalması beklenmektedir [13].

2.2.5. Jeotermal Enerji

2.2.5.1. Jeotermal Enerjinin Tanımı ve Tarihi

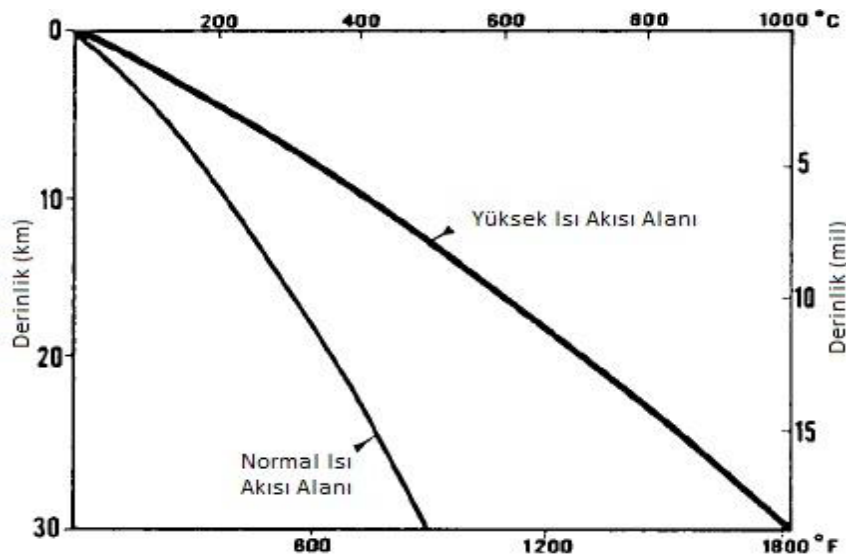
Yeraltı ısı olarak ifade edilen jeotermal kaynak, yer kabuğunun derinliklerinde oluşan ısı enerjisinden meydana gelen ve çeşitli kimyasallar içeren sıcak su, buhar ve gazlardan meydana gelmektedir. Doğrudan veya dolaylı olarak bu kaynaklardan faydalanılması ise jeotermal enerji olarak tanımlanabilir.

Fosil yakıtlara göre çok daha az hava kirliliğine neden olmasından dolayı çevre dostu bir enerji kaynağıdır. Jeotermal kaynakların elektriksel güç üretiminde ve doğrudan ısıtma uygulamalarında kullanılmasıyla enerji temini sağlanır. Ayrıca binalarda ve endüstride jeotermal ısı pompalarının kullanılması ile de elektrik ve doğalgaz tasarrufu sağlanmaktadır.

Yerkabuğunda muhtemelen dünyanın enerji ihtiyacının büyük bir bölümünü karşılayabilecek yeterli miktarda ısı mevcuttur. Yeryüzünün ısı içeriği olan çekirdeğin sıcaklığı, yeryüzünün kabuğu olan mantodan çok daha yüksektir ve bu derinliklere inmek imkânsızdır. Yeryüzünün derinliklerindeki radyoaktif maddelerin mevcut miktarı hakkında doğrudan bilgiye sahip olunmadığı ve bunun gibi birçok belirsizlikler nedeniyle, yeryüzünün toplam ısı potansiyelini değerlendirmek kolay değildir. Ayrıca toprağın derinliklerindeki maddelerin fiziksel özelliklerinin bilinmemesinin yanı sıra yüzeydeki özellikleri ile farklılıklar olabileceği değerlendirilmektedir.

Jeotermal gradyen, yerkabuğunun derinliği ile sıcaklığın artışını ifade eder. Modern teknoloji ile ulaşılabilir sondaj derinliklerinde, jeotermal gradyen ortalama 2,5-3°C/100 m.'dir. Örneğin, yıllık ortalama dış hava sıcaklığının 15°C olduğu varsayıldığında zemin seviyesinin ilk birkaç metre derinliğinde de

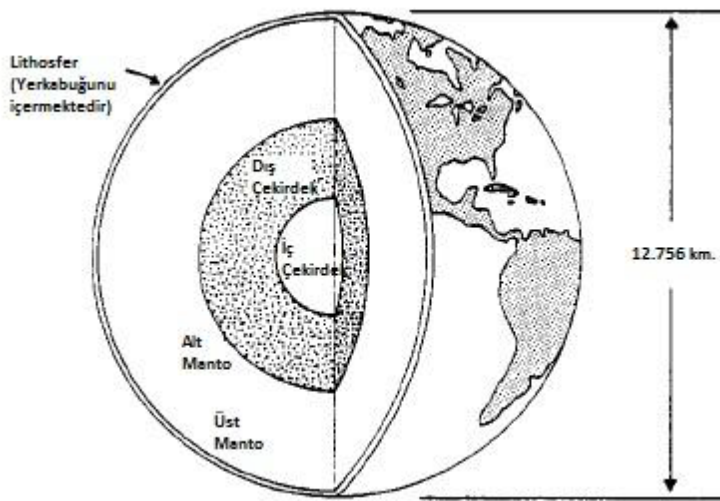
bu sıcaklık aynıdır. 2000 m. derinliğe inildiğinde sıcaklık 65°-75°C değerine, 3000 m. derinliğinde ise 90°-105°C civarına ulaşır. Ayrıca ortalama jeotermal gradyen değeri 1°C/100 m'den daha düşük olan ya da bu değerden on kat daha fazla olan geniş alanlar da mevcuttur. İlk birkaç on kilometre için yerküre sıcaklığının derinlikle arttığı kesin olmakla beraber merkeze kadar sabit bir sıcaklık artışına sahip olduğu varsayılır. Buna göre, yerkabuğu içerisindeki sıcaklığın derinliğe göre değişimi şekil 2'de sunulmaktadır [15].



Şekil 2: Yerkabuğu içerisindeki derinlik-sıcaklık eğrisi [28].

İç kısımları sıcak olan yerküreden dışa doğru kararlı bir ısı akışı ve yüzeyden uzaya sürekli olarak ışınım ile ısı kaybı mevcuttur. Yüzeyden olan ısı akışının değeri 82 mW/m²'dir. Yerkürenin yüzey alanı 5,1x10¹⁴ m² olarak alınır, ısı kaybı miktarı da 42 milyon MWe olarak hesaplanır. Mevcut sondaj teknolojisinin durumu ve yerkabuğunun derinliklerine nüfuz etmenin imkânsız olması, kabuğun ısıl içeriğini belirlemeyi zorlaştırır. Dünyadaki en derin kuyu 12860 m derinliğinde Rusya'nın Kola yarımadasındadır. İkinci derin kuyu ise 10658 m derinliğinde ve İngiltere'de Wytch çiftliğinde bulunmaktadır. Yerkürenin şematik kesiti şekil 3'te gösterilmektedir. Yer kabuğu diye adlandırılan üst tabakadan ve bu yer kabuğunun altında bulunan manto adlı kısmın üst bölgesinden meydana gelen litosfer, yüzeyden yaklaşık 100 km. derinliğe sahiptir. Litosfer tabakası katı kayalardan meydana

gelmiştir. Yüksek sıcaklığa ve basınca sahip manto ise çok viskoz bir sıvı gibi davranarak, gerilme altında çok yavaş bir biçimde kayar. Ana bileşeni silika (SiO_2) olan yer kabuğu ve manto tabakalarında, en yüksek silika konsantrasyonuna kıtasal kabuk sahiptir. Dış ve iç çekirdek ise demir-nikel-bakır karışımından meydana gelmektedir. Dış çekirdekte bu karışım sıvı halden, iç çekirdekte ise katı halden oluşmaktadır



Şekil 3: Yerkürenin iç kısımları [28]

Jeotermal kaynaklar, sahip oldukları büyük miktardaki ısının yüzeye verimli bir şekilde taşınabilmesi için aracı bir akışkana ihtiyaç duyarlar. Doğada bu ihtiyacı karşılayabilecek, yüksek ısı kapasitesine ve yüksek buharlaşma gizli ısısına sahip olan su, ideal bir ısı transfer akışkanıdır. Suyun yoğunluğu ve viskozitesi sıcaklık arttıkça azalmaktadır. Dolayısıyla yerkabuğunun derinliklerinde ısınan su, kayaların içinde bulunan soğuk sudan daha hafiftir ve kaldırma kuvvetine maruz kalır. Böylece yeteri kadar ısınan su kaya içerisindeki akışa karşı olan direnci yenerek yukarı doğru ilerler ve yerini daha soğuk olan su alır. Böylece ısı kaynağı ile yer altı suyu arasında doğal taşınım meydana gelmiş olur. Jeotermal kaynakların ekonomik açıdan en önemli türlerinin oluşumu bu taşınım sayesinde oluşur ve bunlara taşınımsal hidrotermal kaynaklar adı verilir.

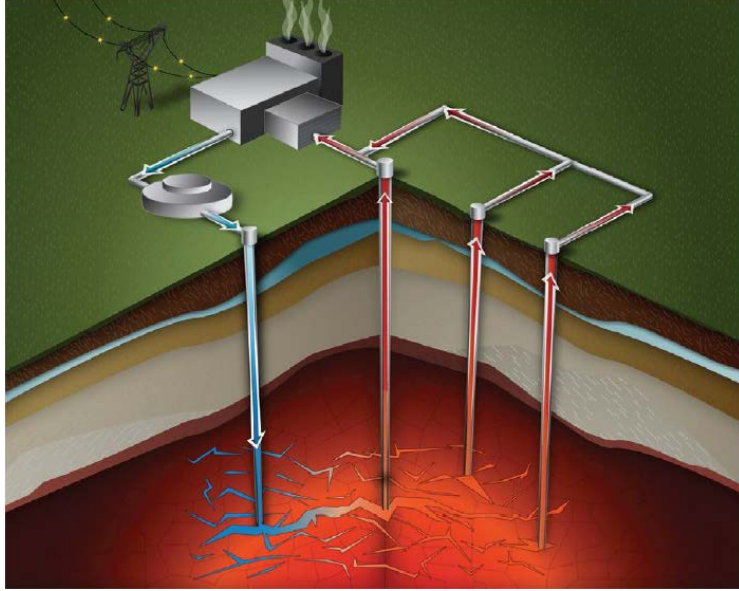
Jeotermal kaynaklar ve sıcaklıkları genel olarak şu şekilde sıralanırsa; düşük sıcaklıklar ($<90^{\circ}\text{C}$), orta seviyedeki sıcaklıklar ($90^{\circ}\text{C}-150^{\circ}\text{C}$) ve yüksek sıcaklıklar ($>150^{\circ}\text{C}$) olmak üzere üç gruba ayrılır [15].

2.2.5.2. Jeotermal Enerji Kaynağının Mevcut Uygulama Yöntemleri

Elektrik üreten diğer santraller gibi jeotermal enerji santralleri de ısı enerjisini elektrik enerjisine dönüştürür. Yeryüzü kabuğunun altındaki ısıdan yararlanmanın bir çeşidi de Gelişmiş Jeotermal Sistemlerdir. Gelişmiş Jeotermal Sistemler, verimsiz jeotermal kaynaklardan ekonomik miktarda ısı elde etmek amacıyla oluşturulan rezervuarlarda kullanılmak için tasarlanmıştır. Birçok bakımdan Gelişmiş Jeotermal Sistemler, sıcak kuru kayalardan faydalanılan sistemlere göre çok az farklılık gösterir (şekil 4). Düşük geçirgenliğe sahip olan sıcak kayaların içerisindeki kırıklarda bir ağ oluşturacak şekilde kuyu delinir. İkinci bir kuyu ise çatlaklı kaya hacmi ile kesişerek iyi bir sirkülasyon döngüsü sağlayacak şekilde delinir. Bir kuyudan aşağı doğru pompalanan suyun, döngü yoluyla diğer kuyudan elde edilmesinden önce kırık ağ üzerinden akıtılıp, ısıtılması sağlanır. Isıl enerjiye sahip olan suyun elektrik üretimi için yüzeye çıkarılmasından sonra işlemin tekrarlanması amacıyla ilk kuyuya tekrar enjekte edilir. Gelişmiş Jeotermal Sistemlerin kullanıldığı rezervuarlar genişletilip çoğaltılarak birden fazla kuyuya ve sirkülasyon döngüsüne sahip olabilir.

Şekil 4'te görüldüğü gibi yeraltında ısınan jeotermal akışkan üretim kuyusundan yeryüzüne ulaşır ve bu enerji santralde kullanılır. Üretim kuyusundan elde edilen akışkanın fazı ve özelliklerine bağlı olarak, yüzeyde kullanılacak tesisin türü seçilir. Jeotermal akışkan olarak suyun kullanıldığı düşünülürse, yüzeyde kurulacak tesisin türünün belirlenmesinde buharlaşımı (kuru ve sıcak buhar olup olmadığı), üretim kuyusundan çıkış sıcaklığı ve basıncı, akışkan içerisindeki çözünmüş gazların miktarı vb. faktörler etkilidir. Çevre duyarlılığı ve meteorolojik koşullar nedeniyle de akışkan olarak suyun kullanımı tesisin tasarımını etkilemektedir. Tesislerdeki

en büyük amaç ise ekonomik bir şekilde mümkün olan maksimum gücü elde etmektir.



Şekil 4: Gelişmiş Jeotermal Sistemler [15]

Jeotermal enerji kaynaklı santraller akışkanın sıcaklığına, basıncına (veya fazına) ve mineral içeriğine göre; kuru buharlı, flaşlı ve ikili santraller olmak üzere üç kategoriye ayrılabilir [15].

2.2.6. Dalga Enerjisi

Güneşten gelen ışınların yeryüzünü yükseltmelerinden dolayı ısınmasında farklılık olması sonucu oluşan rüzgârların deniz yüzeyinde esmesi ile meydana gelen deniz dalgalarındaki gücün diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre etkisinin 10-15 defa daha yoğun ve etkin olduğu değerlendirilmiştir. Kullanılması durumunda özellikle denizlere kıyısı bulunan ülkenin enerji ihtiyacına önemli katkılar sağlayacağı beklenmektedir.

Dalga enerjisi özellikle son zamanlarda elektrik üretimi elde etmek için kullanılan bir yöntemdir. Yenilenebilir bir enerji kaynağı olan dalga enerjisi, birtakım büyük göllerde ve özellikle denizlerden elde edilmektedir. Dalgaların

potansiyeli elektrik üretimi etkileyen en önemli koşullardan biri olmaktadır [31].

2.2.6.1. Dalga Enerjisi İle Elektrik Üretimi

Dalga enerjisi ile elektrik üretimi Archimedes prensibine dayanmaktadır. Bunun yanında üretim esnasında yer çekimi ile Archimedes prensibi arasında meydana gelen güç temel alınır. Dalgaların özel olarak konumlandırılmış olan pervanelere vurması ile potansiyel enerji depolanır ve bunun ardından dalgalardan devamlı alınan enerji depolanan enerji ile aynı dengede tutularak lineer elektrik enerjisi meydana getirilir. Son olarak yapılması gereken ise lineer elektrik enerjisinin günümüzde kullanılan yöntemlerle elektrik enerjisine çevrilmesi olmaktadır [16].

Yaklaşık olarak günlük güneş enerjisi akışı bulunduğu yere göre değişim gösterse de metre başına enerji miktarı 100 W'dır. Örnek olarak güneş enerjisinin kullanılan yüzeyleri olarak, ideal şartlarda 10 metrekarelik bir alandan 1 kW elektrik üretimi elde edilir. Rüzgâr enerjisi kullanılarak yine aynı miktarda elektrik üretimi için 2 metrekare yer gereklidir. Dalga gücü için ise bu alan sadece 1 metrekaredir. Ayrıca büyük denizlerde ve okyanuslarda bu gücün sadece ve sadece yüzde biri günümüzde dünya enerji talebinin yaklaşık beş katından fazlasını karşılayabilecek potansiyele sahiptir [7].

2.2.6.2. Deniz Dalgasının Enerjiye Dönüştürülmesi

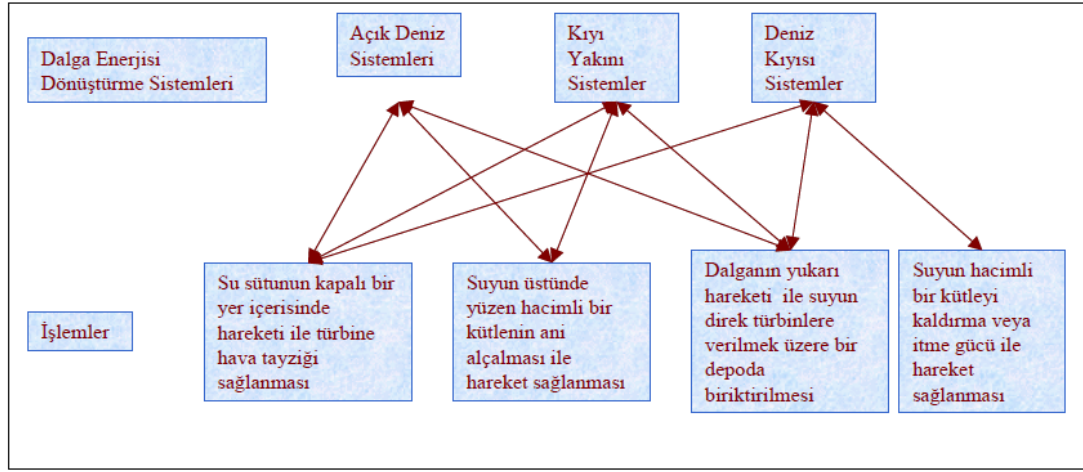
Dalga enerjisinin avantajı öncelikle temiz ve yenilenebilir bir enerji olmasıdır. Kıyı bölgelere elektrik üretimi sağlanacağından uzun iletim hatlarına gerek duyulmamaktadır. Denizlerde yer alan balık neslinin çoğalmasına yardımcı olmakta ve ekolojik dengenin kurulmasında etken rol oynamaktadır. Deniz üzerine kurulmasından dolayı toprak arazileri işgal etmemektedir. Bu da tarımsal arazilerin kullanılmasını engellemektedir. Sürekli ve kaliteli bir elektrik üretimi sağlaması yanında ucuz bir enerji çeşididir. Bunun yanında gürültü açısından herhangi bir sorun teşkil etmemektedir [16].

Enerjinin kaynaklarının her zaman bol ve tükenmez olması arayışları sonucunda fosil kaynaklı yakıtlara bağımlılığı, asit yağmurlarını, küresel ısınma gibi her türlü kirliliği dolaylı olarak göz önüne alınmasını gerektirir. Sürekli elektrik olmadığı uzak alanlara elektrik sağlanması, denizlerde yapılacak başka çalışmalarda potansiyel teknolojinin kullanımına olanak tanınması, tuzlu suyun tatlı suya çevrilip ihtiyaç bulunan bölgeye taşınması ve kıyıların korunması gibi alanlara yeni bir yaklaşım getirmektedir [7].

Deniz dalgasının kullanılmasında bazı sınırlamalar da bulunmaktadır. Dalga boylarının her yerde farklı olması ve bu sebeple farklı dalga boyutlarının kullanılması amacıyla belirli bir dizayn oluşturulamamıştır. Gemi rotalarının geçtiği yollar, balık avlanma sahaları, su altı kabloları ve askeri tatbikatlar gibi kısıtlamalar büyük dalga enerjisi projelerine başlamadan önce dikkate alınması gereken hususlardır. Şekil 5'de şematik olarak örnek bir dalga enerji sistemi gösterilmiştir. [7].



Şekil 5: Dalga enerjisi sistemleri [7]



Şekil 6: Dalga enerjisi için mevcut işlemler [28]

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

TÜRKİYE’NİN ENERJİ KULLANIMI

3.1 ENERJİ KAVRAMI VE TÜRKİYE’NİN ENERJİ KAYNAKLARI

Enerji günümüz toplumlarında önemli bir yere sahiptir. Enerji ekonomik gelişmişliğin ve sosyal refahın en önemli göstergelerinden birisidir. Yüzyıllar boyunca pek çok uygarlığın, toprak kazanmak kadar enerji kaynaklarına sahip olmak için verdikleri mücadelenin temelinde yine aynı enerji gerçekleri yer almaktadır. Çalışmanın bu bölümünde enerji, söz konusu önemine temel oluşturması amacıyla öncelikle kavramsal olarak değerlendirilecek; daha sonra ise kaynaklar açısından tek tek sınıflandırılarak termodinamik analiz yöntemi ile incelenecektir.

3.1.1. Enerji Kavramı

Dünya ve ardından insanoğlunun varoluşundan bugüne kadar geçen zamanda enerji varlığı, yaşamın her alanında gözle görülen etkiler bırakmıştır. Bu etkilerin temelinde enerjinin, değişik şekillere dönüşebilen yapısı bulunmaktadır. Enerjinin değişken niteliği ise, kavramsal olarak ifade edilmesinde daha soyut bir yaklaşıma gerekli kılmaktadır. Bu açıdan değerlendirildiğinde enerji, bir varlık değil kuramsal (teorik) bir kavramdır. Bu özelliği sayesinde de birçok olay ifade edilebilmektedir. Kelimenin kökeni Yunanca “en (iç)” ile “ergon (iş)” kelimelerinin bir araya gelmesine dayanan enerjinin teknik tanımı ise; iş yapabilme yeteneğini, yani bir cismin kendisine direnç gösteren bir kuvvete karşın hareketini ifade etmektedir. Bir başka tanım ise ünlü Alman Matematikçi Leibnitz’e aittir. Leibnitz enerjiyi, canlı kuvvet olarak ifade etmiş ve hareket halindeki bir insanın hızı ile ağırlığı arasında matematiksel bir ilişki kurarak açıklamıştır [13].

3.1.2. Enerji Kaynakları

Dünya üzerinde yer alan birçok enerji kaynağı her gün insanlara değişik biçimlerde hizmet etmektedir. Genel olarak ısıtma, soğutma, taşıma veya elektrikenerjisi üretme amaçlı olarak (konutta, sanayide vd.) kullanılan bu kaynaklarla ilgili yapılan araştırmalarda ortak bir sınıflandırma biçimi bulunmamaktadır. Bu nedenle enerji kaynaklarının basit bir sınıflandırmasını, kaynaklar arasındaki yapısal farklılıkları göz önünde bulundurarak Tablo 2'deki biçimde yapmak mümkündür [13].

Tablo 2: Enerji Kaynaklarının Sınıflandırılması [13]

ENERJİ KAYNAKLARI	
1) Birincil Enerji Kaynakları 1.1) Yenilenemeyen Enerji Kaynakları 1.1.1) Fosil Kaynaklar (Kömür, Doğal gaz, Petrol) 1.1.2) Nükleer Enerji 1.2) Yenilenebilir Enerji Kaynakları 1.2.1) Geleneksel Kaynaklar (Hidroelektrik, Klasik Biyokütle) 1.2.2) Yeni Kaynaklar (Güneş, Rüzgâr, Jeotermal, Gelgit, Dalga, Çağdaş Biyokütle)	2) İkincil Enerji Kaynakları 2.1) Elektrik Enerjisi 2.2) Hidrojen Enerjisi

3.1.2.1. Birincil Enerji Kaynakları

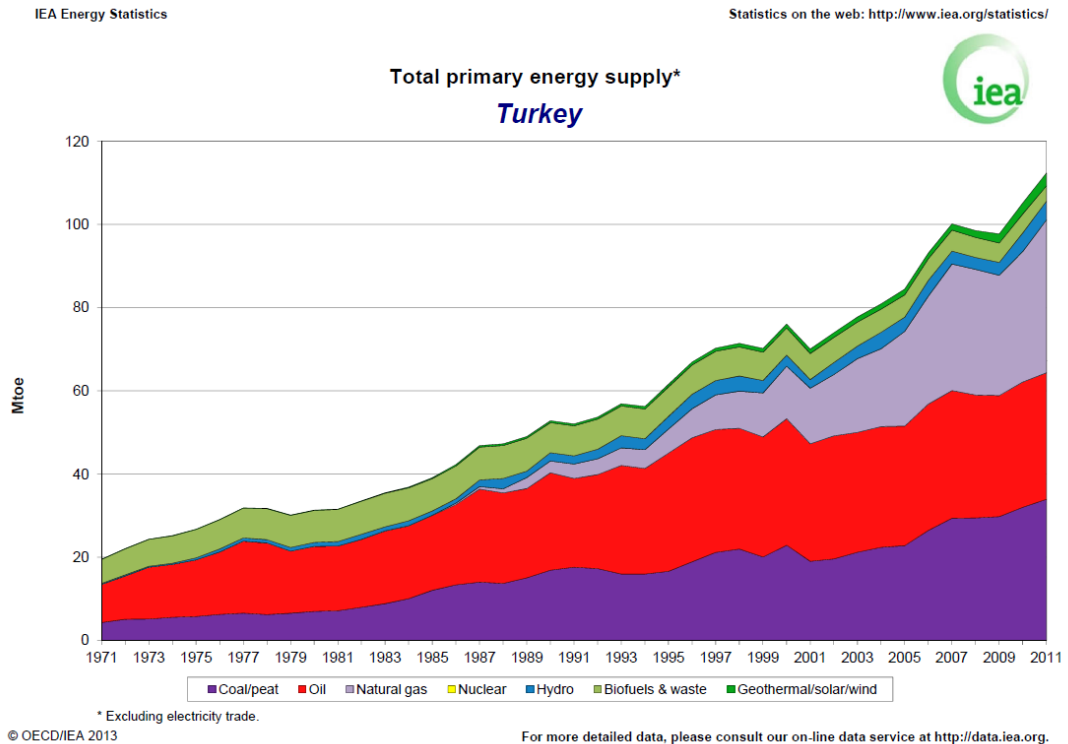
Birincil enerji tanımı olarak mevcut doğal kaynaklardan elde edilen enerji şeklinde yapılabilir. Bu enerjiyi oluşturan kaynaklar arada işlem görmeden kullanıldıkları gibi ikincil enerjiye dönüştürülerek de

kullanılmaktadır. Birincil enerji kaynakları olarak yenilenebilir ve yenilenemeyen kaynaklar olarak ayrılır.

Yenilenemeyen enerji kaynakları da temel olarak iki çeşittir. Bunlar; kömür, doğal gaz ve petrol gibi fosil kaynaklar ile nükleer enerjiden oluşmaktadır. Bu kaynaklar, rezervleri sınırlı olduğu için yenilenemeyen kaynaklar olarak adlandırılmaktadır.

Birincil enerji kaynaklarının diğeri ise yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Yenilenemeyen kaynaklar gibi tükenmeyerek, sürekli kendini yenileme özelliğine sahip oldukları için yenilenebilir enerji kaynakları olarak adlandırılmaktadır. Bu kaynaklar; geleneksel (hidroelektrik ve klasik biyokütle odun, bitki ve hayvan atıkları ve evsel atıklar) ve yeni (güneş, rüzgâr, dalga, gelgit, jeotermal ve çağdaş biyokütle-enerji ormanları ve enerji tarımı) enerji kaynaklarından oluşmaktadır [13].

Tablo 3: Türkiye'nin Birincil Enerji Talebi [17]



3.1.2.2. İkincil Enerji Kaynakları

İkincil enerji kısaca birincil enerji kaynaklarının fiziksel değişimi içeren dönüştürülmesi sonucu elde edilen bir enerji türüdür. Kısaca, bu tür birenerjinin ortaya çıkması için birincil enerji kaynaklarına gereksinim bulunmaktadır. Bunun sağlanabilmesi ise, termik ve nükleer santraller, petrol rafinerileri vd. gibi büyük oranda bilim ve teknolojiye yararlanılan altyapı yatırımlarını gerekliliktedir. Bu şekilde meydana gelen ikincil enerji kaynaklarının başında ise elektrik ve hidrojen enerjileri gelmektedir. Bu kaynakların en önemli işlevi; oluşan enerjinin taşınabilmesi ve daha sonra kullanılabilmesi olanak sağlamasıdır. Bu yüzden söz konusu kaynaklar, enerji aktarıcıları olarak da bilinmektedir. Özellikle, hidrojeni bir enerji kaynağı olarak değil, bir enerji türü veya taşıyıcısı olarak nitelendirmek daha doğru bir yaklaşımdır. Bunun nedeni, hidrojenin tek başına değil, aralarında yenilenebilir enerji kaynaklarının da olduğu birincil enerji kaynaklarıyla bütünleştiğinde kalıcı birenerji sistemi oluşturmasıdır [13].

3.2. TÜRKİYE'NİN FOSİL ENERJİ KAYNAKLARI

Mineral yakıtlar olarak bilinen fosil yakıtlar hidrokarbon içeren kömür, petrol ve doğalgaz gibi enerji kaynaklarıdır. Yaşamını yitirmiş olan canlı organizmaların aradan geçen milyonlarca yıl boyunca, oksijensiz ortamda çözülmesi ile meydana gelmektedir. Fosil kaynaklı yakıtların belli işlemlerden sonra tüketilmesinden sonra atmosfere salınan gazlar çevre kirliliğinin yanı sıra oluşturdukları sera etkisi sonucu iklim değişikliği ve küresel ısınma neden olmaktadır. Günümüzde yaklaşık olarak 31 milyar ton olan karbondioksit gazı emisyonu gelecekte 2030 yılında 43 milyar ton seviyelerine gelmesi beklenmektedir. Karbondioksit ve diğer sera gazlarının emisyonundaki bu yükselişin sonucu olarak küresel ısınma başta olmak üzere iklim değişikliği ve vazgeçilmez olan su kaynakları ve doğa tahribatı açısından tehlike arz etmektedir [18].

3.2.1. Kömür

Yanabilen sedimanter kaya ve maden olan kömür, katı fosil yakıttır. Siyah, koyu gri, kahverengi-siyah renkli parlak veya mat olabilir. Genellikle oksijen, karbon ve hidrojen den meydana gelen az miktarda kükürt ve azot içerir. Diğer içerikleri ise inorganik bileşikler ve mineral maddelerdir. Kömürleşme için gerekli süre, 400 milyon yıl ile 15 milyon yıl arasında değişir. Yaşlı kömürler daha yüksek kalorili ve kaliteli olmaktadır.

Kömürler yataklanma, nem içeriği, kül ve uçucu madde içeriği, sabit karbon miktarı, kömürleşme süreci, kükürt ve mineral madde içeriklerinin yanı sıra jeolojik, petrografik, fiziksel, kimyasal ve termik özellikler yönünden çok çeşitlilik gösterirler. Budurum birçok ülkede kömürlerin birbirine benzer özellikler ve yakın değerler temelinde sınıflandırılmasını zorunlu kılmıştır [20].

a) Sert kömürler; külsüz ve ıslak olarak 5700 kcal/kg'in üzerinde bir değere sahiptir. Bu gruba giren kömürler kalorifik değer, koklaşma ve uçucu madde içeriği özelliklerine göre alt sınıflara ayrılırlar.

b) Kahverengi kömürler; ıslak ve külsüz olarak 5700 kcal/kg'in altında bir değere sahiptir. Kalorifik ve toplam nem içeriği gibi değere göre alt sınıflara ayrılırlar. Uluslararası Genel Kömür Sınıflaması Tablo 4'tedir.

Tablo 4: Uluslararası Genel Kömür Sınıflaması [20]

TAŞ KÖMÜRÜ(SERT KÖMÜRLER) 5700 kcal/kg'dan yüksek	KAHVERENGİ KÖMÜRLER 5700 kcal/kg'dan düşük
1. KOKLAŞABİLİR KÖMÜRLER (Yüksek fırınlarda kullanıma uygun kok üretimine izin veren kalitede) 2. KOKLAŞMAYAN KÖMÜRLER a) Bitümlü Kömürler b) Antrasit	1. ALT BİTÜMLÜ KÖMÜRLER (4,165 – 5,700 kcal/kg arasında kalorifik değerde olup koklaşma özelliği göstermez) 2. LİNYİT (4,165 kcal/kg'in altında kalorifik değerde olup koklaşma özelliği göstermez)

Türkiye'de sınırlı olarak bulunan petrol ve doğal gaz rezervi bulunmaktadır. Ancak buna karşılık 515 milyon tonu görünür olmak üzere

yaklaşık olarak 1,3 milyar ton taşkömürü ve 12,2 milyar ton görünür rezerv niteliğinde toplam 13,4 milyar ton linyit rezervi bulunmaktadır.

Zonguldak bölgesinde çıkarılmakta olan taşkömürü bitümlü kömür kategorisindedir ve ısı değeri 6200-7200 kcal/kg arasında değişmektedir. Türkiye'de bulunan taşkömürü Türkiye Taş Kömürü Kurumu (TTK) tarafından işletilmekte olup 2012 yılı rezerv miktarı Tablo 5'te görülebilir.

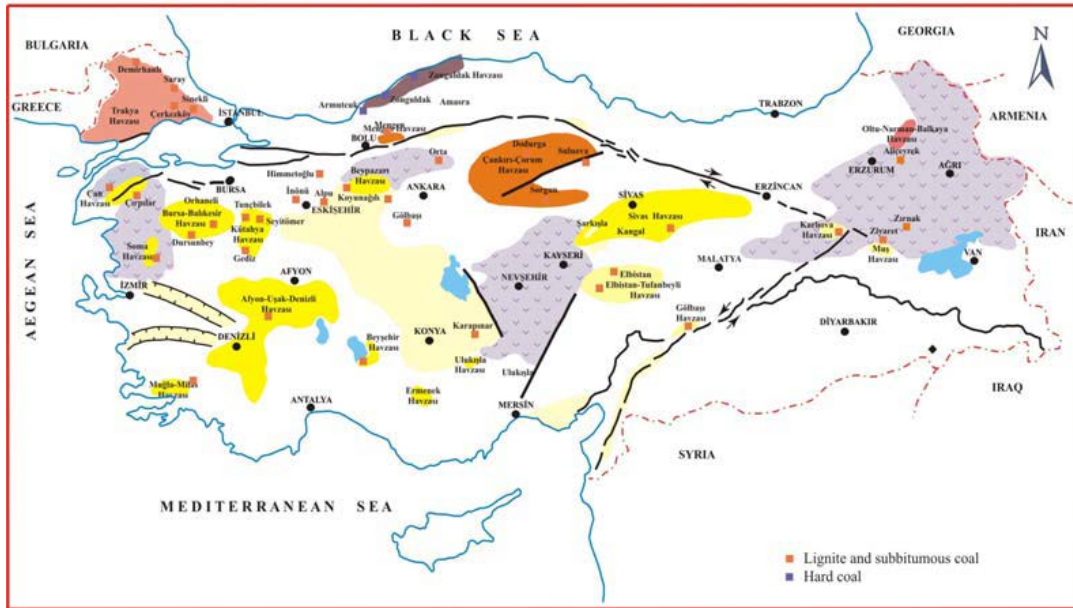
Türkiye'de bulunan taşkömürü rezervi 2011 yılı sonu itibari ile toplam olarak 1 milyar 316 milyon ton seviyesindedir. Linyit potansiyeli henüz tam olarak belirlenmiş değildir. Taşkömürü rezervleri Türkiye Kömür İşletmeleri tarafından işletilmektedir. Linyit rezervleri ise Elektrik Üretim Anonim Şirketi, Türkiye Kömür İşletmeleri ve özel sektör tarafından işletilmektedir. Türkiye linyit rezervi 2005-2008 yılları arasında EÜAŞ tarafından desteklenen ve Maden Tetkik Arama (MTA) tarafından uygulanan Afşin-Elbistan Linyit Havzasında linyit aramaları ile diğer havzalarda TKİ tarafından desteklenen ve MTA tarafından yapılan arama çalışmaları sonucunda önemli ölçüde artırılmıştır. Linyit rezervleri hemen her bölgede görülebilmektedir. Kırtan fazla ilde linyit rezervlerine rastlanılmaktadır. Linyit rezervlerinin %20'si TKİ, %57'si EÜAŞ, %11'i MTA ve %12'si ise özel sektörelindedir.

Tablo 5: 2012 Yılı Kömür Sahalarına Ait Rezervler

Yeri		REZEVLER					
İl	Müessesesi	Hazır	Görünür	Muhtemel	Mümkün	Toplam	AİD kcal/kg
Bartın	Amasra	391	170.401	115052	121535	407.379	5450-6050
Zonguldak	Armutçuk	1.654	8.046	15.860	7.883	33.442	6050-7050
	Kozlu	2.557	66.745	40.539	47.975	158.816	6400-6950
	Üzülmüş	1.081	135.795	94.342	74.020	305.238	6400-6950
	Karadon	2.452	133.810	159162	117034	412.458	6200-6950
TOPLAM		8.135	514.797	424.955	368.447	1.316.333	

Türkiye'nin sahip olduğu linyit üretim miktarları açısından küçümsenmeyecek düzeyde olmasına rağmen taşkömüründe seviye olarak düşüktür. Türkiye'de bulunan linyit miktarı dünya linyit rezervinin yaklaşık %1,6'sını oluşturmaktadır. Linyit rezervi bakımından 12,4 milyar ton seviyesindedir ve bunun işletilebilir rezerv miktarı ise 3,9 milyar ton düzeyindedir. Bu linyit rezervlerinin önemli bir kısmı ısıl değeri düşüktür ve termik santrallerde kullanılmaktadır. Linyit rezervinin yaklaşık %46'sı Afşin-Elbistan bölgesinden çıkartılmaktadır. Zonguldak ve civarı en önemli taşkömürü rezervlerine sahiptir. Taşkömürü rezervi 1,322 milyar ton ve buna karşılık görünür rezerv yaklaşık olarak 519 milyon tondur [19].

Coal Deposits in Turkey, 2009



Şekil 7: Türkiye'nin Kömür Havzaları 2009

Linyit kömürünün ısıl değerleri 1000-5000 kcal/kg arasındadır. Linyit rezervlerinin yaklaşık %68'i düşük kalorili olup %23,5'i 2000-3000 kcal/kg arasında, %3,4'ü 4000 kcal/kg üzerinde ısıl değerinde %5,1'i 3000-4000 kcal/kg arasındadır [19].

Tablo 6: Türkiye'nin Linyit Rezervleri

2012 YILI TÜRKİYE, KAMU SEKTÖRÜ(EÜAŞ,TKİ, MTA) LİNYİT REZERVLERİ						
YERİ		REZERVLER(1000 Ton)				Alt Isıl Değ. (AID) kcal/kg
İL	İLÇE	Görünür	Muhtemel	Mümkün	Toplam	
Adana	Tufanbeyli	323.329	-	-	323.329	1298
Ankara	Beypazarı	255.882	105.000	-	360.882	2399-2839
Afyon	Dinar*	423.383	105.629	-	529.012	1351
Balıkesir	Balya	967	4.569	-	5.536	500-3500
Bingöl	Karlıova	88.662	-	-	88.662	1460
Bolu	Göynük	37.012	1.000	-	38.012	2340
Bursa	Keles	29.924	-	-	29.924	1900
Bursa	Keles-Dav.	17.557	19.945	1.560	39.062	2340
Bursa	Orhaneli	37.470	-	-	37.470	2500
Çanakkale	Çan	77.195	-	-	77.195	3000
Çorum	Alpagut	19.195	4.042	-	23.237	3150
Çorum	Osmancık	6.575	7.430	-	14.005	1470
Eskişehir	Alpu*	700.000	100.000	-	800.000	2100
İstanbul	Çatalca	228.457	51.772	-	280.229	1894-2086
Kırklareli	Vize*	100.000	20.000	-	120.000	1400-2300
K.Maraş	Elbistan**	4.360.106	-	-	4.360.106	1031-1201
K.Maraş	Elbistan	515.055	-	-	515.055	950-1115
Konya	Beyşehir	81.011	-	-	81.011	1110-1150
Konya	Ilgın	19.567	974	-	20.541	2180-2250
Konya	Karapınar*	1.832.816	-	-	1.832.816	1320
Kütahya	Seyitömer	176.058	-	-	176.058	1800-2080
Kütahya	Tavşanlı	268.897	-	-	268.897	2560
Malatya	Yazıhan*	2.473	7.476	6.237	16.186	1934
Manisa	Soma	741.833	11.000	-	752.833	2080-3340
Muğla	Milas	259.400	-	-	259.400	1642-2279
Muğla	Yatağan	153.198	-	-	153.198	1903-2692
Tekirdağ	Çerkezköy	23.845	106.494	-	130.339	2060
Tekirdağ	Merkez	160.585	50.933	2.964	214.482	2183-2865
Tekirdağ	Saray	23.581	105.570	-	129.151	2080
Sivas	Kangal	93.683	-	-	93.683	1207-1494
KAMU TOPLAMI		11.057.716	701.834	10.761	11.770.311	
ÖZEL SEKTÖR		1.094.189	362.122	138.617	1.594.928	
TÜRKİYE TOPLAMI		12.151.905	1.063.956	149.378	13.365.239	

Kaynak: MTA 2012, TKİ 2012,ETKB 2011

*MTA tarafından rezerv çalışmaları devam eden sahalar.

**En büyük rezerv artışı olarak, EÜAŞ' a bağlı Elbistan Linyit havzasının büyük bölümünde MTA'nın yaptığı etüt ve sondajlardan sonra havzanın toplam görünür rezervi 4,4 milyar tona yükselmiştir. Havzada, MTA'nın etüt ve değerlendirme yapmadığı diğer bölümlerinde TKİ'nin yaptığı değerlendirmelerle birlikte Havzanın görünür rezervi yaklaşık 5 milyar ton olup bu miktar tabloya yansıtılmamıştır.

3.2.1.1 Türkiye Kömür Üretimi ve Tüketimi

Birincil enerji tüketimi 2012 yılında 119 milyon tep ve bu tüketimin içinde kömürün payı %31 olmuştur.Miktar olarak da 2012 yılında 1,3 milyon ton taşkömürü ve 84 milyon ton linyit üretilmiştir.

Özellikle Ankara-Beypazarı, Sivas-Kangal, K.Maraş-Elbistan bölgelerinde üretilen linyit kömürü sadece termik santrallerde elektrik üretimi amacıyla kullanılmaktadır.

Zonguldak havzasında taşkömürü ise yılda yaklaşık 2 milyon ton civarında üretilir ve elektrik üretimi ile ısınma ve sanayi sektöründe kullanılmaktadır.

2013 yılında kömüre dayalı 12.563 MW santral gücü kurulu olup toplamın %20'sidir. Tamamen yerli kömüre odaklı 8.515 MW kurulu güç kapasitesinde (%13,3) ve ithal kömüre odaklı 4.048 MW kurulu güç ise (%6.3) şeklindedir. Kömüre dayalı santrallerin 2013 yılında 61,5 TWh brüt elektrik üretilmiştir. Elektrik üretimi içerisindeki payı %25,7 bu değer toplam değerlerin çeyreğine karşılık gelmektedir.

Enerji üretiminde 2005 yılından başlayarak yerli kaynaklara önem verilmesi ile dışa bağımlılığın azaltılması hedefleri çerçevesinde nüfus artışı ve sanayileşmeye paralel olarak artan enerji talebinin karşılanması maksadıyla yeni kömür sahalarının keşfedilmesi ve mevcut sahaların geliştirilmesi çalışmalarına hız verilmiştir. Sondaj miktarı son beş yılda kömür aramalarında beş kat artmış 2005-2012 yılları arasında yaklaşık 5,8 Milyar ton rezerv artışı sağlanmıştır.

3.2.2. Petrol

Karbondan ve hidrojen oluşan ve içerisinde kükürt, oksijen ve nitrojen bulunan çok karmaşık bir bileşime petrol adı verilir. Petrol katı, sıvı ve gaz halde bulunabilir. Doğal gazın ve ham petrolün temel bileşenleri karbon ve hidrojen olduğu için bunlar Hidrokarbon olarak da adlandırılırlar.

Tablo 7: 2005-2012 yılları arasında kömür rezervinde artış olan Bölgeler [20]

Saha	Rezerv (Milyon Ton)
Konya Karapınar	1.832
Afşin Elbistan	1.300
Eskişehir-Alpu	777
Afyon-Dinar	545
Elbistan	515
Tekirdağ-Çerkezköy	495
Manisa-Soma	205
Pınarhisar-Vize	140
Malatya	17
Toplam	5.826

Petrolündünyadaki rezerv ömrünün mevcut enerji kaynaklarına, ispatlanmış rezervleri bakılarak ve yıllık üretim miktarları açısından değerlendirildiğinde yaklaşık olarak 44 yıl olacağı beklenmektedir. Dünyanın başlıca enerji kaynağı olan petrol, 2012 yılı itibariyle enerji talebinin %34,6'sını karşılayabilmiştir.

Türkiye petrol rezervleri 2009 sonu itibariyle 44,3 milyon ton, 2008 yılı üretimi 2,2 milyon ton, 2008 yılı tüketimi 27,8 milyon tondur. 2009 yılı üretim miktarı ise 2,4 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Petrol arama çalışmalarının başladığı tarihten günümüze kadar ham petrol üretimi 132,5 milyon ton olmuştur.

Türkiye'de petrol ve petrol ürünlerine dayalı termik santrallerinin 2012 yılı sonu itibariyle yaklaşık olarak 2.300 MW kurulu gücü sahiptir. Toplam kurulu gücümüzün %5,5'lik bölümüne denk gelmektedir. Petrole dayalı santrallerin 2012 yılında üretilen elektrik enerjisi miktarı 7.519 GWh'dir. Türkiye'de yeraltı enerji kaynaklarının yapılmaya başladığı günden günümüze kadar 2012 yılı sonu itibariyle 1.424 petrol arama kuyusu ve 1.808 petrol

Üretim kuyusu ile yapılan sondaj çalışmaları sonucunda 102 petrol sahası ve 23 doğal gaz sahası bulunmuştur.

3.2.3. Doğal Gaz

Doğal gaz, kokusuz ve renksiz, havadan hafif bir gazdır. Yer altı kaynaklarından olup genellikle petrolün bulunduğu yerlerdedir. Yüzeye ıkarılışı petrolle benzer olup daha sonra büyük boru hatları ile taşınır.

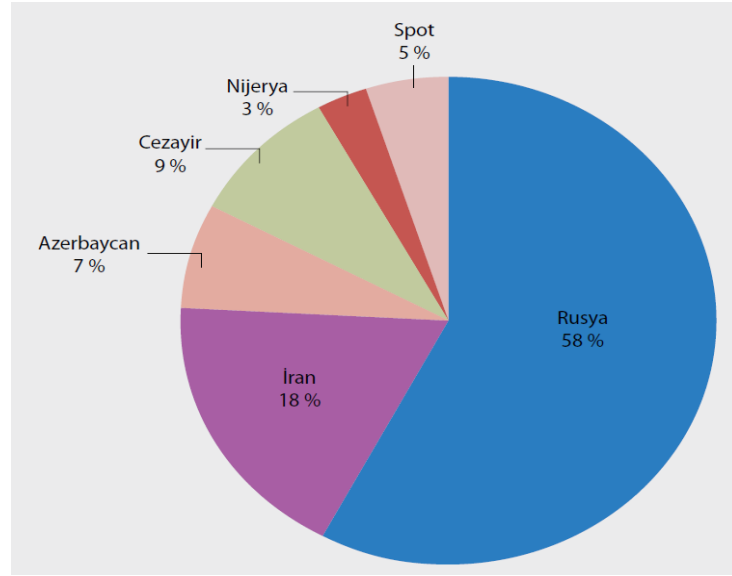
Orta Doğu lkelerinde Doğal gaz rezervlerinin 76 trilyon metreküpü (%41) bulunmaktadır. Daha sonra sırasıyla Rusya 59 trilyon metreküpü (%33), eski Sovyet lkelerinde 31 trilyon metreküpü (%17) ve Afrika/Asya lkelerinde bulunmaktadır.

Doğalgaz rezervimiz 2012 yılı sonu itibari ile üretilbilir miktarı 632 milyar m³tr. Doğalgaza dayalı elektrik enerjisi üretiminde kurulu gücümüz 14.576 MW ve bu miktar toplam kurulu gücümüzün 32,7'sini karşılamaktadır.

Tablo 8: Doğal Gaz retim Miktarları (milyon Sm³) [21]

Yıllar	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Miktar milyar m ³	874	969	684	682	759	632

Türkiye'de doğal gaz tüketim 2012 yılında 48.500.000.000 Sm³ olarak tahmin edilmiştir. 2012 yılına ilişkin gerçekleşen tüketim küçük sapmalarda sonucunda ise 45.241.762.899 Sm³ olarak bulunur. Bu Tüketimin %26'sını olan 11.762.858.353 Sm³ ısıtma sistemlerinde kullanılmıştır. Türkiye'de doğal gaz abone miktarı 2012 yılında 11 milyon 620 bin'e yükselmiştir.



Grafik 1:2012 Yılı Kaynak Ülkeler Bazında Türkiye'nin Doğal Gaz İthalatı [21]

3.3. TÜRKİYE'NİN YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI

Yenilenebilir enerji kaynakları enerjisinin doğrudan yada dolaylı olarak Güneş'ten sağlanmakta ve böylece sürekli olarak güneşin var olduğu sürece hiç bitmeyecektir. Potansiyeli olan ve teknolojik gelişmeler doğrultusunda son yıllarda yararlanılan enerji kaynakları olarak bitmeyen ve eksilmeyen kaynaklar yenilenebilir enerji kaynakları olarak ifade edilir. Yenilenebilir enerji terimini de, doğal ortamda sürekli ve tekrarlı biçimde ortaya çıkan akımlardan elde edilen veya kullanıldıkça aynı oranda beslenen enerji olarak tanımlamak mümkündür. Türkiye'de, yenilenebilir enerjiye yönelik resmi bir ifadenin, 2005 yılında yürürlüğe giren "5346 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun" da belirtilmektedir. Buna göre yenilenebilir enerji kaynakları olarak güneş, jeotermal, hidrolik, rüzgâr, biyogaz, biokütle, akıntı, dalga ve gelgit gibi fosil kaynaklardan farklı enerji kaynaklarıdır. Yukarıda belirtilenlere ek olarak rezervuar alanı 15 kilometre karenin (km^2) altında olan hidroelektrik tesisler ile nehir veya kanal tipi santraller yenilenebilir enerji kaynakları arasına dâhil edilmiştir [2].

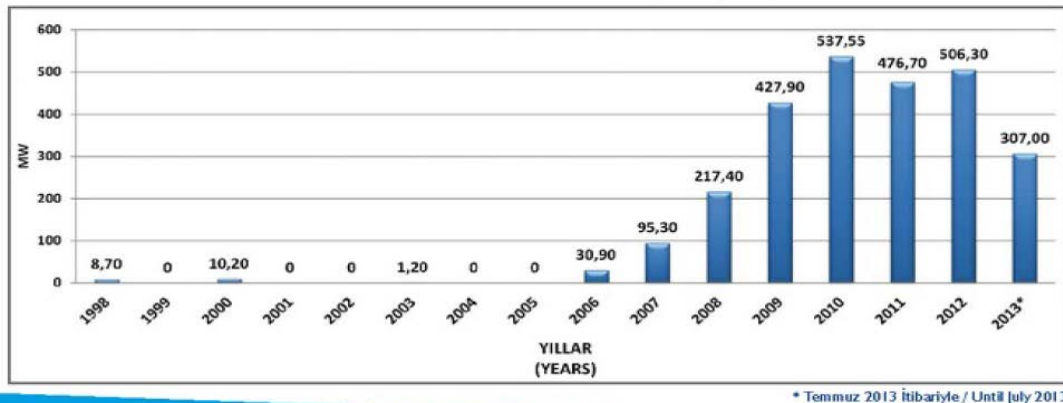
Tablo 9: Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Potansiyeli (MtEP) [22]

Enerji Kaynağı	Kullanım Amacı	Doğal Kapasite	Teknik Kapasite	Ekonomik Kapasite
Güneş Enerjisi	Elektrik (kWh)	977.000	6.105	305
	Termal (MtEP)	80.000	500	25
Hidrolik Enerji	Elektrik (kWh)	430	215	124.5
Rüzgâr Enerjisi (Kara)	Elektrik (kWh)	400	110	50
Rüzgâr Enerjisi (Deniz)	Elektrik (kWh)	-	180	-
Dalga Enerjisi	Elektrik (kWh)	150	18	-
Jeotermal Enerji	Elektrik (10 ⁹ kWh)	-	-	1.4
	Termal (MtEP)	31.500	7.500	2.843
Biomass Enerji	Elektrik (kWh)	120	50	32

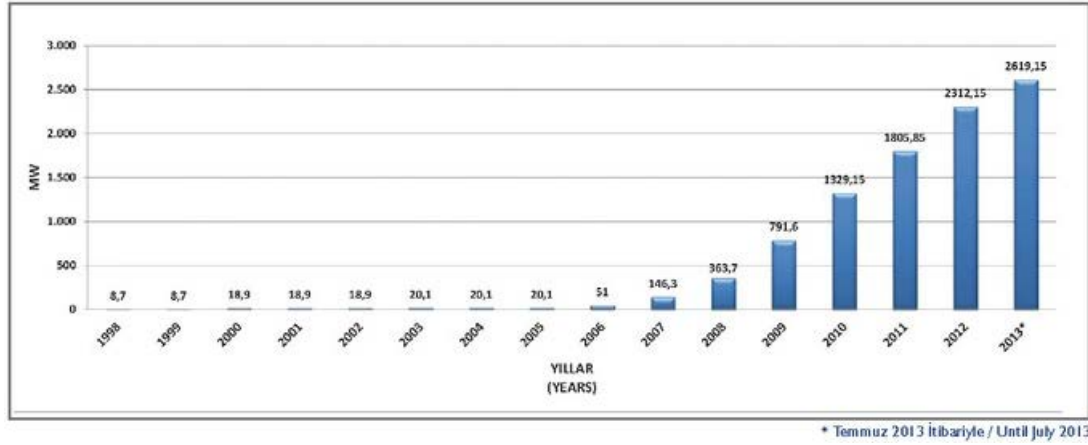
3.3.1. Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr enerjisi, güneş tarafından havanın sıcaklıklarının her yerde aynı olamamasından dolayı hava kütlelerinin yer değiştirmesiyle sonucunda meydana gelir. Yeryüzüne güneş tarafından gönderilen ışınlar sonucunda oluşan enerjinin %1-2'si rüzgâr enerjisine dönüşmektedir [19].

Hava akımını da aynı su akışı gibi rüzgâr türbinleri vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Çevre için zararlı kabul edilen gaz salınımının rüzgâr türbinlerinde olmadığından iklim değişikliğini ve enerji geleceğimizde büyük öneme sahiptir. Enerji güvenliği açısından geleneksel güç santrallerine nazaran yakıt maliyet giderleri ve uzun dönemli yakıt fiyatı risklerini azaltan ve politik, ekonomik ve tedarik riskleri bakımından dışa bağımlılığı azaltan yerli kaynaktır [19].



Grafik 2: Türkiye rüzgâr enerji santrallerinin kurulu gücü (MW)[23].

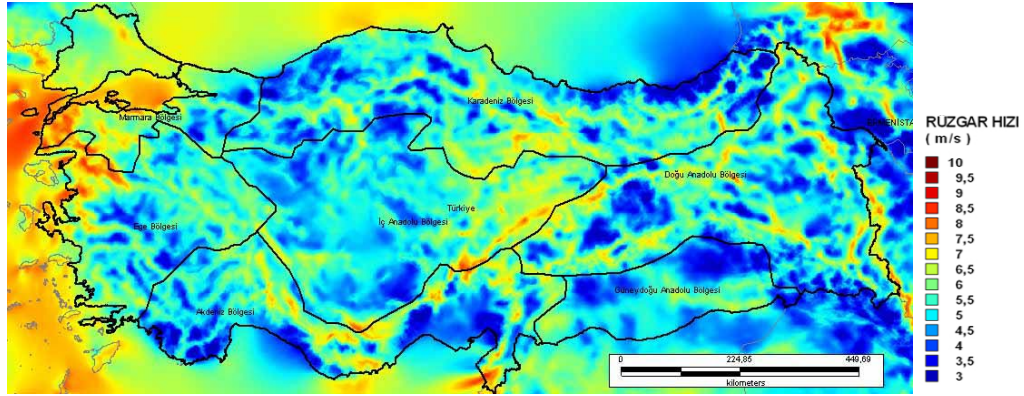


Grafik 3: Türkiye rüzgâr enerji santrallerinin kurulu güç bakımından yıllara göre birikmiş dağılımı (MW) [23].

Tablo 10: Türkiye'nin Toplam Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli (50 metre) [22]

Bölge	Yıllık Ortalama Rüzgâr Yoğunluğu (W/m ²)	Yıllık Ortalama Rüzgâr Hızı (m/s)
G.Doğu Anadolu	29.33	2.69
Akdeniz	21.36	2.45
İç Anadolu	20.14	2.46
Ege	23.47	2.65
Doğu Anadolu	13.19	2.12
Marmara	51.91	3.29
Karadeniz	21.31	2.38
Türkiye Ortalaması	25.81	2.57

Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası 2007 yılında oluşturulmuştur. Türkiye'de bu çalışma sonucunda yıllık rüzgâr hızı 8,5 m/s ve üzerinde olan bölgelerde en az 5.000 MW, 7,0 m/s'nin üzerindeki bölgelerde ise en az 48.000 MW rüzgâr enerjisi potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir. [5].



Şekil 8: Türkiye geneli 50 m yükseklikteki ortalama yıllık rüzgâr hızları dağılımı [4]

3.3.2. Güneş Enerjisi

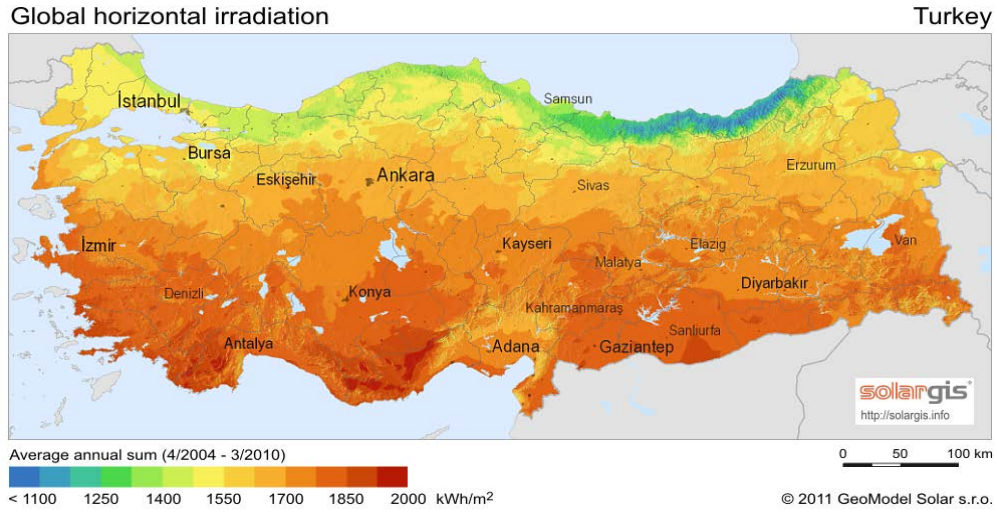
Coğrafi konumu itibariyle Türkiye sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli bakımından dünyadaki birçok ülkeye kıyasla avantajlıdır. Dünyamızda güneşten yaklaşık olarak saniyede 170 milyon MW enerji gelmektedir. Türkiye'nin enerji üretiminin yıllık 100 milyon MW olduğu göz önüne alınırsa bir saniyede dünyaya gelen güneş enerjisinin Türkiye'de üretilen enerjinin 1.700 katı olduğu görülebilir. 1966-1982 yıllarında Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğündeki kayıtlı olan ölçümlere göre ısıtım şiddeti ve güneşlenme süresi yıllık ortalama olarak toplamı sırasıyla $1.311 \text{ kWh/m}^2\text{-yıl}$ ve 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat) ve ortalama toplam ısıtım şiddeti (günlük toplam $3,6 \text{ kWh/m}^2$) olduğu bulunmuştur. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli olarak 110 gün gibi yüksek bir sahiptir. Bu sahip olunan kapasitenin kullanılabilmesi için gerekli yatırımların yapılması halinde yılda birim metre karesinden ortalama olarak 1.100 kWh 'lik değerinde güneş enerjisi üretebilir durumdadır. Tablo 11'de Türkiye'de Güneş Enerjisi Potansiyelinin bölgelere göre dağılımı verilmiştir. Tablo 10'de ise Türkiye güneşlenme süresi değerleri ve güneş enerji potansiyelinin aylara göre çizelgesi vardır.

Tablo 11: Türkiye’de Bölgelere Göre Güneş Enerjisi Potansiyeli [22]

Bölge	Güneş Enerjisi kWh/m ² .yıl	Yıllık Güneşlenme Ortalama h/yıl	Aylık Güneşlenme Maksimum h/ay	Aylık Güneşlenme Maksimum h/ay
G.Doğu Anadolu	1491.2	3016	407	126
Akdeniz	1452.7	2923	360	101
İç Anadolu	1432.6	2712	381	98
Ege	1406.6	2726	371	96
Doğu Anadolu	1398.4	2693	373	165
Marmara	1144.2	2528	351	87
Karadeniz	1086.3	1966	273	82

Ülkemizde 2012 yılı itibari ile toplam kurulu güneş kolektör alanı yaklaşık 18.640.000 m² olarak hesaplanmıştır. Yıllık düzlemsel güneş kolektörü üretimi 1.164.000 m², vakum tüplü kolektör ise 57.600 m² olarak hesap edilmiştir. Üretilen düzlemsel kolektörlerin %50’si, vakum tüplü kolektörlerin tamamı ülke içerisinde kullanıldığı bilinmektedir. 2012 yılında güneş kolektörleri ile yaklaşık olarak 768.000 TEP (Ton Eşdeğer Petrol) ısı enerjisi üretilmiştir. Üretilen ısı enerjisinin, 2012 yılı için konutlarda kullanım miktarı 500.000 TEP, endüstriyel amaçlı kullanım miktarı 268.000 TEP olarak hesaplanmıştır.

Ülkemizde hâlihazırda kurulmuş olan, genellikle kamununsahip olduğu kurumlarda bulunan araştırma amaçlı kullanılan fotovoltaik güneş elektriği sistemleri ve küçük güçlerin karşılanması için kurulu olan güç 3,5 MW ulaşmıştır [19].



Şekil 9: Türkiye'nin güneşlenme haritası [11]

Elektrik üretimi için EPDK'na yapılan başvuruların toplamına bakıldığında kurulacak olan PV santrallerinin 600 MW gücüne ulaşması beklenmektedir. İlerleyen yıllarda bu kapasitenin katlanarak artması ve Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının 2023 yılı için öngörmüş olduğu 3000 MW kapasiteye ulaşması beklenmektedir.

Tablo 12: Türkiye'nin ortalama güneş enerjisi potansiyeli ve aylara göre güneşlenme süreleri [22]

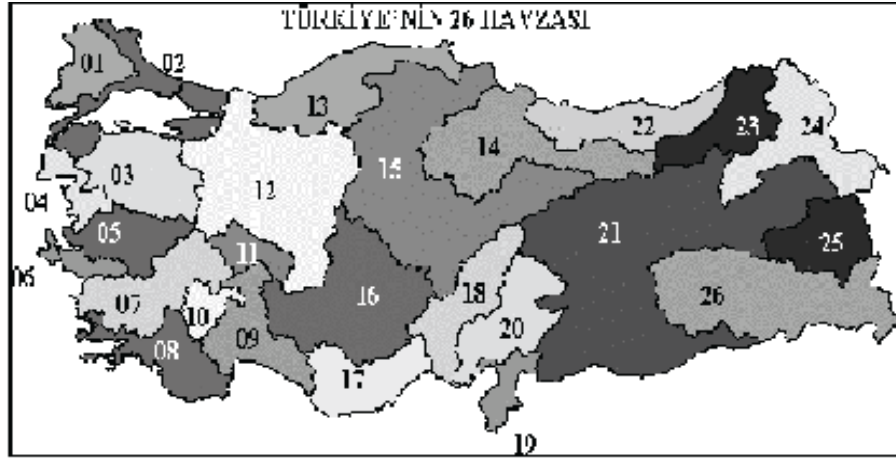
Bölge	Toplam Aylık Güneş Enerjisi kcal/cm ² .ay	Toplam Aylık Güneş Enerjisi kWh/m ² .ay	Güneşlenme süresi h/ay
Ocak	4.45	51.75	103.0
Şubat	5.44	63.27	115.0
Mart	8.31	96.65	165.0
Nisan	10.51	122.23	197.0
Mayıs	13.23	153.86	273.0
Haziran	14.51	168.75	325.0
Temmuz	15.08	175.38	365.0
Ağustos	13.62	158.40	343.0
Eylül	10.60	123.28	280.0
Ekim	7.73	89.90	214.0
Kasım	5.23	60.82	157.0
Aralık	4.03	46.87	103.0
Toplam	112.74	1311	2640
Ortalama	308.0 kcal/cm ² -gün	3.6 kWh/m ² -gün	7.2 h/gün

3.3.3. Hidrolik Enerjisi

Hidroelektrik enerji santralleri diğer enerji kaynakları içerisinde düşük potansiyel risk taşımaları ve çevre dostu olmaları nedeniyle ön plana çıkmaktadır. Elektrik üretebilen hidrolik tesisler çevreye temiz, yenilenebilir yakıt gideri olmayan, yüksek verimli, enerji fiyatlarında açısından önemli rolü olan, uzun ömürlü, işletme gideri çok düşük dışa ve en önemlisi dışa bağımlılığı olmayan yerli bir enerji kaynağıdır.

Türkiye’de yıllık yağış yüksekliği mevsimlere ve bölgelere göre çok farklılık göstermektedir. Doğu Karadeniz bölgesinde 2500-3000 mm iken İç Anadolu’da 250-300 mm arasındadır. Yağış miktarı 643 mm ile yılda yaklaşık olarak 501 milyar m³ su miktarından gelmektedir. Bu sudan 274 milyar m³’ü su yüzeyleri ve toprak bitkilerden buharlaşma ile atmosfere geri gitmekte 69 milyar m³’lük kısmı yeraltı sularını karışmakta, 158 milyar m³’lük kısmı da akarsular vasıtasıyla denizler ve kapalı havzalardaki göller dolmaktadır. Yeraltı suyunu destekleyen 69 milyar m³’lük sudan 28 milyar m³’ü kaynaklar yoluyla yerüstü suyuna tekrar katılmaktadır. Komşu ülke topraklarından başlayarak ülkemiz topraklarına ulaşan yılda yaklaşık 7 milyar m³ su ile brüt yerüstü suyu miktarı 193(158+28+7) milyar m³ seviyesine gelmektedir. Türkiye’nin tüketilebilir yeraltı ve yerüstü su kaynağı yılda yaklaşık olarak 110 milyar m³ seviyesindedir [11].

Türkiye’de hidrolojik havzasında sayısı 26 adet ile büyüklükleri farklı olan nehirlerin yıllık olarak yaklaşık 193 (186 + 7) milyar m³ yeryüzü suyundan hidroelektrik enerji potansiyelinin belirlenmesi için “ekonomik yapılabilir potansiyel”, “teorik potansiyel” ve “teknik yapılabilir potansiyel” olarak üç değişik değerlendirilmesi gerekmektedir [14].



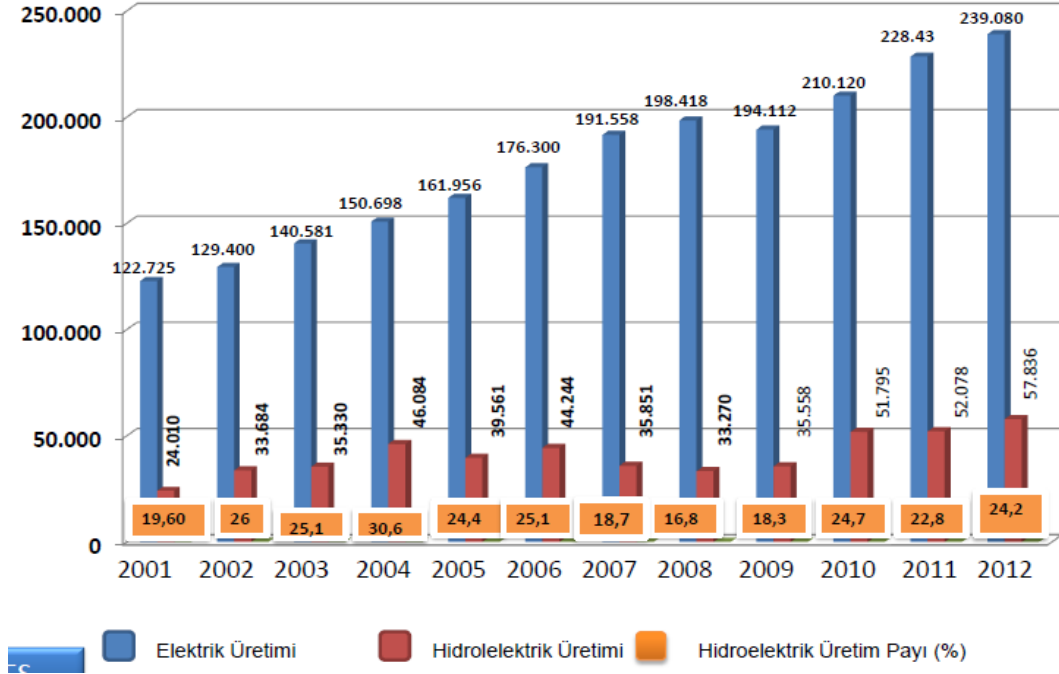
Şekil 10: Türkiye'nin Hidrolik Havzaları [11]

3.3.3.1 Türkiye'nin Hidrolik Enerjisi Potansiyeli

Türkiye'de ekonomik yapılabilir hidroelektrik enerji potansiyeli 170 TWh/yıl, teorik hidroelektrik enerji potansiyeli 433 TWh/yıl ve teknik hidroelektrik enerji potansiyeli 216 TWh/yıl olarak tespit edilmiştir. Bu değerler ışığında Türkiye'de teknik yapılabilir HES potansiyelin içinde ekonomik yapılabilir HES potansiyeli %60 civarındadır. Bu oran Avrupa'da %76'dır. Türkiye'de HES kapasitesi 2012 sonu itibariyle kurulu gücü 19619,70 MW'dir.

Türkiye hidroelektrik üretimin elektrik üretimi içindeki oranı 1980'lerde %60'lar dolaylarında iken 90'lı yıllardan elektrik üretiminde doğal gazın kullanılmaya başlanması sonucu oran tersine döndürülmüştür. Doğru oluşturulmayan politikalar neticesinde herhangi bir planlamadan yoksun olarak yapılması müsaade edilen ve teşvik edilen doğal gaz santrallerinin artmasıyla bu oran %17'lere kadar gerilemiştir.

Tablo 13: Hidroelektrik Üretiminin Elektrik Üretimi İçinde Payı(GWh) [23]



“Elektrik Piyasasında Üretim Faaliyetinde Bulunmak Üzere Su Kullanım Hakkı Anlaşması imzalanmasına ilişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik” 4628 sayılı Kanun kapsamında çıkarılmış ve 2003 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Türkiye’de bu kanundan önce ve sonra geliştirilerek işletmeye alınmış Hidroelektrik projelerin durumu Tablo 14’de verilmiştir.

3.3.4. Jeotermal Enerjisi

Günümüzde jeotermal elektrik santrallerinde SO_x , CO_2 , NO_x , gazlarının emisyonu çok az olduğundan temiz bir enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir. Jeotermal kaynaklardan doğrudan veya dolaylı her türlü yararlanmayı içermektedir. Düşük ($20-70^\circ C$) sıcaklıklı bölgeler öncelikle ısıtma olmak üzere, sanayide kimyasal madde elde etmede kullanılmaktadır. Yüksek sıcaklıklı ($150^\circ C$ 'den yüksek) ve orta sıcaklıklı ($70-150^\circ C$) sahalar ise elektrik üretiminin ile birlikte reenjeksiyon durumları şartları uygun olması durumunda entegre bir şekilde ısıtmada da kullanılabilir.

Tablo 14: İşletmedeki HES'ler, 2012 [24]

STATÜSÜ	Adet	Kurulu Güç (MW)
DSİ veya diğer kuruluşlar tarafından geliştirilerek işletilmek üzere EÜAŞ'a devredilmiş olan HES Projeleri	106	11 679
Yap İşlet Devret (YID) Kapsamındaki HES projeleri	18	970
İşletme Hakkı Devri Kapsamında Özel Sektöre verilmiş olan Projeler (İHD)	10	682
Daha önce başlanmış ancak 2003'ten sonra lisans alarak işletmeye alınmış projeler (Serbest Üretici)	23	260
4628 Kapsamında Özel Sektör Tarafından Geliştirilerek İşletmeye Alınmış Projeler	165	3 668
TOPLAM	322	17 259

Alp-Himalaya kuşağı üzerinde bulunan Türkiye, oldukça yüksek jeotermal potansiyele sahiptir. Jeotermal potansiyel olarak 31.500 MW güç bulunmaktadır. Potansiyel olarak Batı Anadolu(%77,9) ile yoğun bölgedir.

Tablo 15: Sahaların Elektrik Üretim Kapasiteleri (T rez>140 °C) [8]

Bölgeler	Üretim Debisi (kg/s)	Sıcaklık (°C)	Kapasite (MWt) T çıkış=140 °C	Kapasite (MWt) T çıkış=130 °C	Kapasite (MWt) T çıkış=40 °C	Kapasite (MWt) T çıkış=20 °C
Kızıldere	250	217	79.2	89.5	182.1	202.7
Salavatlı	454	157.5	32.7	51.3	219.3	256.7
Germencik	765	220	251.9	283.4	566.8	629.8
Tuzla	120	160	9.9	14.8	59.3	69.2
Simav	223	145	4.6	13.8	96.4	114.7
Seferihisar	264	144	4.4	15.3	112.9	134.6
İmamköy	40	142	0.3	2.0	16.8	20.1
Kavaklıdere	6.5	215	2.0	2.3	4.7	5.2
Ceferbeyli	6.5	155	0.4	0.7	3.1	3.6
Toplam			385	473	1261	1436

MTA tarafından bu güne kadar potansiyelin %13'ü (4.000 MW)'lık kısmı kullanım için hazır hale getirilmiştir [3].

Türkiyeteorik potansiyel olarak 31.500 MWt ileJeotermal kaynaklar yönünden zengin konumda gösterilebilir. 1990 yıllardagöz ardı edilenjeotermal enerji arama çalışmaları son yıllarda hızlandırılarak, 40 yılın sonunda görünür hale getirilen jeotermal kaynak ısı kapasitesi 3.100 MWt iken, son 8 yılda (2004 yılından itibaren) yaklaşık yüzde 54 seviyesine kadar çıkmıştır.Bu değer doğal yollarla meydana gelen yüzeye çıkışlar ile birlikte 4.809 MWt'e seviyesine gelmektedir. Toplam jeotermal amaçlı olarak 544 kuyunun 196 adedi 1962yılına dayanmaktadır. Doğrudan kullanım olarak jeotermal enerjiden sera ısıtması,merkezi ısıtma ve termal turizmde kullanılmaktadır.Türkiye'de 19 sahada seracılık (2,83 milyon m², 506 MWt),19 yerleşim bölgesinde merkezi konut ısıtması (889.443 konut eşdeğeri, 805 MWt) ve 350 adet termal tesiste tedavi ve termal turizm amaçlı yararlanılmaktadır [25].

Türkiye'de jeotermal enerjiden; 19 yerleşim alanında merkezi konut ısıtmasında (89.443 konut eşdeğeri, 805 MWt), 19 sahada seracılıkta (2.97 milyon m², 507 MWt) ve 350 adet termal tesiste tedavi ve termal turizm amaçlı kullanılmaktadır.

3.3.5. Biomass Enerjisi

Türkiye'de Biyokütle enerjisi klasik yöntemle dayalı olarak büyük çoğunlukla ticari olmayanyakıt biçiminde kullanılmakta olupbuda yerli enerji üretiminin yaklaşık olarak dörtte birini denk gelmektedir. Klasik biyokütle enerji üretimi olan odun ile hayvan ve bitki atıklarınınEnerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan planlara göre 2020 yılında 7530 Btep olması beklenmektedir[26].

Çevre kirliliği ve ülke ekonomisi bakımından modern biyokütle enerjisinin kullanımına geçilmesi önem taşımaktadır. Çoğu ülkedegünümüzde kendi ekolojik koşullarına göre en ekonomik ve en uygun tarımsal ürünlerden alternatif enerji kaynağı sağlamaktadır. Türkiye'de bakıldığındapotansiyel olarakyeterli ekolojik yapının mevcut olduğu

ülkelerden birisidir.biyokütle materyal üretimi açısından Türkiye, alan kullanılabilirliği ve güneşlenme , iklim koşulları ile su kaynakları bakımından uygun özellikleresahiptir. Enerji bitkileri tarımından ve enerji ormancılığından modern biyokütle teknikleri kapsamında yararlanılması gerekmektedir. Çöp termiksantırları biyokütle enerji kapsamında yaygınlaştırılmalıdır.

Enerji ormancılığı yönünden Türkiye'de hızlı büyüyen ve ekonomik değeri yüksek yerli ağaç türleri olarak, titrek kavak,akkavak, meşe,kızılağaç, kızıl çam, dişbudak, fıstıkçamı, karaçam,selvi ve sedir ağaçlarını saymak mümkündür. Türkiye şartlarında üretilebilecek dış kaynaklı ağaçlar arasında ise papulus, pinus pinaster,okaliptüs, acaciacynophilla,euramericanagibi ağaç cinslerini saymak mümkündür. Söğüt ve kavakgibi fazla su isteyen ağaçların yanında, kurak alanlarda da yetiştirilebilecek ağaçlarında önemle dikkate alınması gerekir.Türkiye'de enerji ormancılığı için uygun olan toplam alanın % 85 alan uygulama için beklemek birlikte % 15'i değerlendirilmiş durumdadır[26].

Enerji planlaması enerji bitkileri tarımı ve tarımsal üretim planlaması Modern biyokütle kapsamında birlikte ele alınmalıdır. Türkiye'de gıda üretimi dışında fotosentezle kazanılabilecek enerjiye ve kültürel yetiştiriciliği biyokütle enerjisinin brüt potansiyeli teorik olarak 135-150 Mtep/yıl olarak hesaplanmaktadır.Bununla birlikte kayıplar düşüldükten çıkarıldıktan sonra net değerin 90 Mtep/yıl olacağı beklenmektedir. Fakat yıl boyuncatüm yetiştiricilik alanlarının yalnızca biyokütle yakıt üretim amacıyla kullanılması mümkün değildir.Maksimum değer olarak en üst düzeydeki yetiştiriciliğe göre teknik potansiyel 40 Mtep/yıl seviyesinde bulunmaktadır. Ekonomiklikte göz önüne alınmasıyla değeri, Türkiye'nin ekonomik biyokütle enerji potansiyeli 25 Mtep/yıl olarak alınabilir [26].

Tarımın ön planda olduğu Türkiye'de ürün atıklarının ve tarımsal atıkların bakımından bol kaynakları sahiptir. Türkiye, OECD ülkeleri arasında 9.5 milyon ton petrol eşdeğeriyle (Mtoe) ürün atıkları

enerji potansiyelinde ile dördüncü sırada yer alır. Türkiye'de hububat bitkilerinin katı atık miktarı 39.2-52.3 milyon ton, mısır için 3.8-4.8 milyon ton, şeker pancarı için 1.3-1.5 milyon ton ve patates için de 522-617 bin ton kadardır. Bu atıklar çeşitli biçimlerde işlenerek biyokütle yakıt olarak kullanılabilir. Ayrıca, yağlı tohum bitkileri ve zeytincilik atıkları da önemli biyokütle hammaddeleridir. İlkel biçimde kullanılmakta iseler de, biyokütle yakıt üretimine gidilmemektedir. Biyoetanol üretiminde, üretim fazlası buğday, nişasta ve selülozik atıkların da kullanımı gereklidir [26].

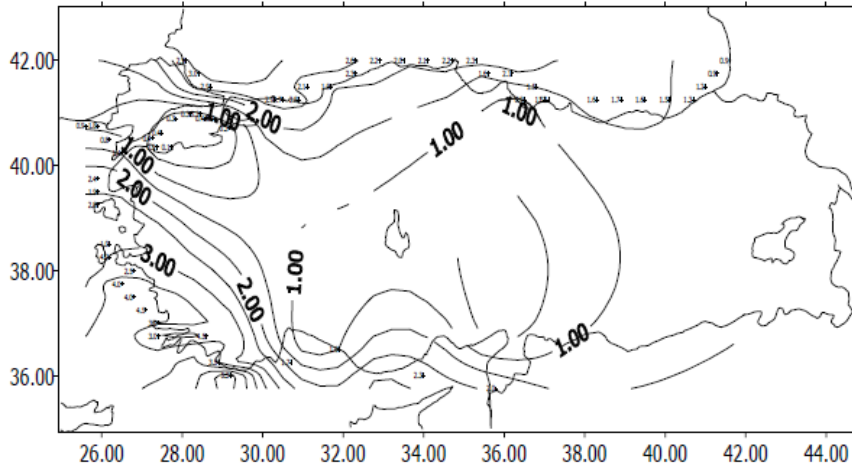
Türkiye'nin 1,5-2 Mtoe; 2,5-4 milyar m³ biyogaz üretim potansiyeline karşılık beklenen üretimi 25 milyon kWh tahmin edilmektedir. Gübregazından %85'i ile katı atık düzenli depolama sahası gazları toplam biyogaz potansiyelini oluşturur. Gübre gazı %50 ile küçükbaş hayvanlardan, %43 ile büyükbaş hayvanlardan ve %7 ile kümes hayvanlarından sağlanmaktadır. Türkiye biyogaz potansiyelinin kullanılmasının, organik gübre üretimi atık kaynaklı çevre kirliliğini azaltma, yeşil elektrik eldesi ve AB uyum süreci bakımından ülke olarak yararları açıktır. Çöpten ve Hayvan gübrelerinden biyogazın elde edilmesi özellikle çiftçilerde, yerel yönetimlerde ve özel sektörde bulunmaktadır. Düzenli depolanan çöplerle birlikte elektrik üretiminin de değerlendirilmesi göz ardı edilmemelidir. 65 bin ton endüstriyel ve evsel çöpün günlük olarak ayrıştırılması ve depolanması ile meydana gelen anaerobik fermantasyonu sonucunda %40 ila %60 oranında metan içeren çöpgazı üretimi sağlanabilir. Belediyelerin bu konuda araştırmalar yaptıkları bilinmektedir. Hayvansal ve bitkisel atıkların organik kökenli olması nedeniyle doğrudan tarım topraklarına gübre olarak verilmesi verimsiz bir şekilde yakılmasının yerine biyogaz üretimi için anaerobik fermantasyon ile %40-%70 metan içerikli tesislerin faaliyete geçirilmesi yararlı olacaktır [26].

3.3.6. Dalga Enerjisi

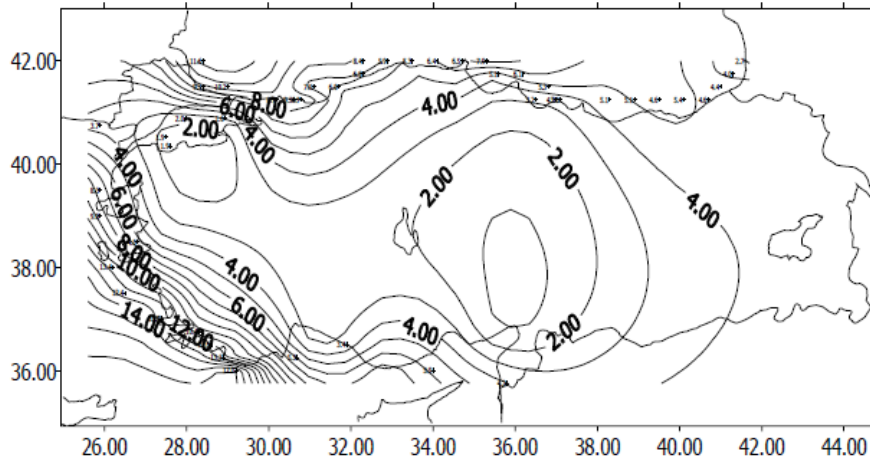
Yeryüzüne güneşten gelen ışınların yüzeyleri farklı noktalardan ulaşması nedeniyle yüzeylerin farklı ısınması sonucu meydana gelen

rüzgarların deniz üzerinde esmesi ile deniz yüzeyinde oluşan dalgalardaki enerjinin diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına kıyasla devamlılığının daha uzun sürdüğü tespit edilmiştir. Bu devamlılık rakamsal olarak ifade edilirse 10 ile 15 arasında bir değer kadar daha fazladır. Dalga enerjisinden faydalanılırsa denizlere kıyaslı olan ülkenin tarafından bol ve rahatlıkla elde edilebilir yenilenebilir enerji kaynağıdır.

Türkiye’de hazırlanan “Türk Kıyı Rüzgârları ve Derin Dalga Atlası” verilerinden çıkan sonuca göre yaklaşık belirgin dalga periyodu (T) ve dalga yüksekliği (H) değerleri ile enerji akışı içinen az ve en çok aylık ortalama değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak denizlerimizde kullanıma hazır yaklaşık azami ve asgari dalga enerjiseviyeleri Şekil 11 ve 12’de gösterilmiştir [7]



Şekil 11: En Düşük Dalga Enerji Seviyeleri [7]



Şekil 12:En Yüksek Dalga Enerji Seviyeleri [7]

Türkiye’de bulunan denizlere göre Karadeniz’inde daha dalgalı olduğu iddialarına karşılık, güneybatı Anadolu’dan esen hava akımlarının hâkim olduğu Akdeniz ve Ege Denizi üzerindeki rüzgâr potansiyeli 4-17 kW/m’lik yıllık ortalama dalga enerjisinde artışa sebep olur. İzmir-Antalya arası dalga enerjisinden yararlanmak, için en uygun yer veya daha fazla ayrıntıya girilirse Dalaman-Finike arasına bulunan denizler dalga enerjisine en uygun yerdir. Ortalama dalgaların bölgesel yoğunlukları aşağıdadır;

Tablo 16: Bölgesel Ortalama Dalga Yoğunluğu [7]

Bölgeler	Güç
Akdeniz	2.59-8.26 kWh/m
İzmir-Antalya	3.91-12.05 kWh/m
Ege Denizi	2.86-8.75 kWh/m
Karadeniz	1.96-4.22 kWh/m
Marmara Denizi	0.31-0.69 kWh/m

3.4. TÜRKİYE’NİN ENERJİ DURUMUNA GENEL BAKIŞ

Türkiye dünyanın 17.büyük ekonomisine sahiptir ve aynı zamanda dinamik ve gelişmekte olan bir ülkedir. Enerji stratejisi Türkiye’de ekonomi üzerine herhangi bir olumsuz etkisi olmadan tatmin edici bir büyüme amaçlanmaktadır [25].

Türkiye Cumhuriyet’i 1923 yılında kurulduğunda nüfusu sadece 12 milyon iken, 2012 sonu itibarıyla bu sayı 75.627.384’e ulaşmıştır. Elektrik üretimi kurulu gücümüz 33 MW, kişi başına elektrik tüketimi ise 3.3 kWh, toplam elektrik tüketimi 45 GWh ve kişi başına elektrik üretimi 3.6 kWh’dir

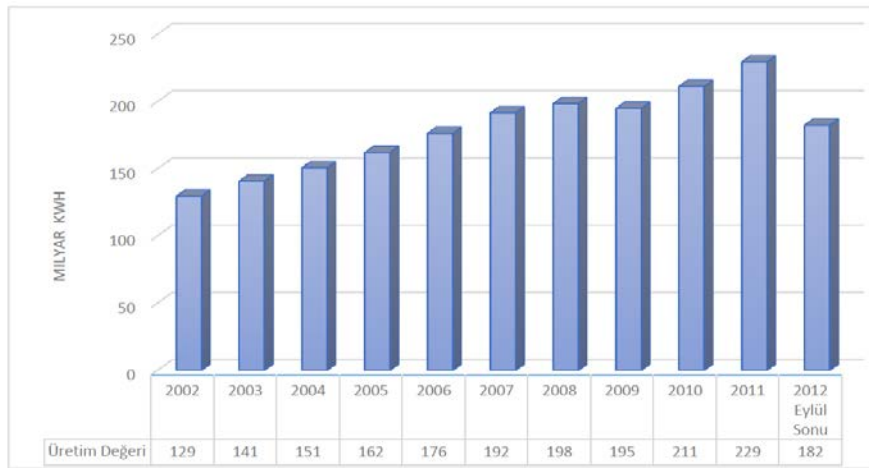
Türkiye’nin yüksek büyüme verilerinin içerisinde uzun yıllardır yıllık elektrik enerjisi tüketim artışı yaklaşık yüzde 7-8 düzeyindedir. Elektrik üretimi 2002 yılında 129 milyar kWh gerçekleşirken 2011 yılı sonunda 230 milyar kWh’e çıkmıştır [25].

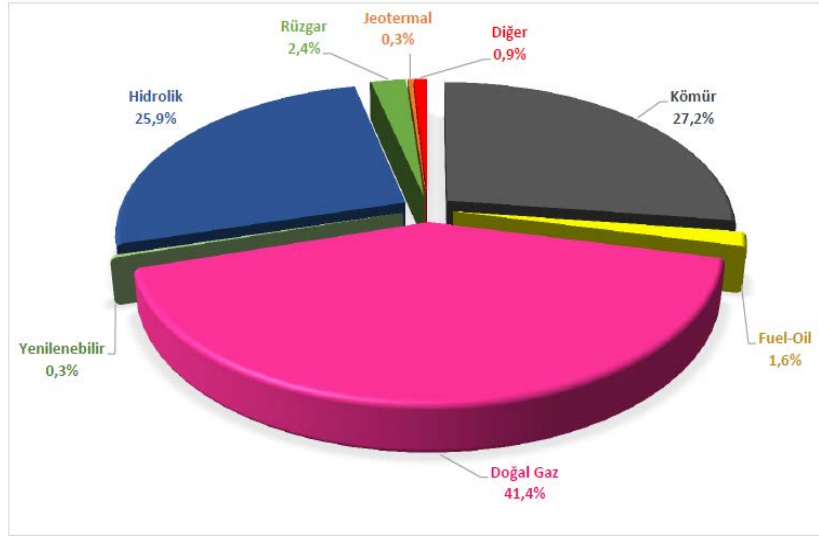
Geçtiğimiz yıllarda, elektrik enerjisi talebi;

- 2009 yılı içinde 29.870 MW,
- 2010 yılı içinde 33.392 MW,
- 2011 yılı içinde 36.122 MW,
- 2012 yılı içinde 39.045 MW olmuştur.

Elektrik enerjisi kurulu gücü 2002 yılında 31.846 MW seviyesindeyken 2012 yılında yüzde 75 artışla bu değer 55.633 MW'a çıkmıştır. İşletmeye alınan santraller 2011 yılında elektrik enerjisi kurulu gücünü 3.387 MW'lık seviyeye çıkartmıştır. Türkiye'de elektrik üretim santrallerinin 2002 yılında 300 olan sayısı, 2011 yılı sonunda 643'e, 2012 yılı Ekim ayı sonunda ise 743'e yükselmiştir. Kapasite artışı 2012 yılı içerisinde 2.874 MW'lık seviyede olmuştur [3].

Tablo 17: Türkiye'nin Elektrik Üretim Değerleri (Milyar kWh) [3]



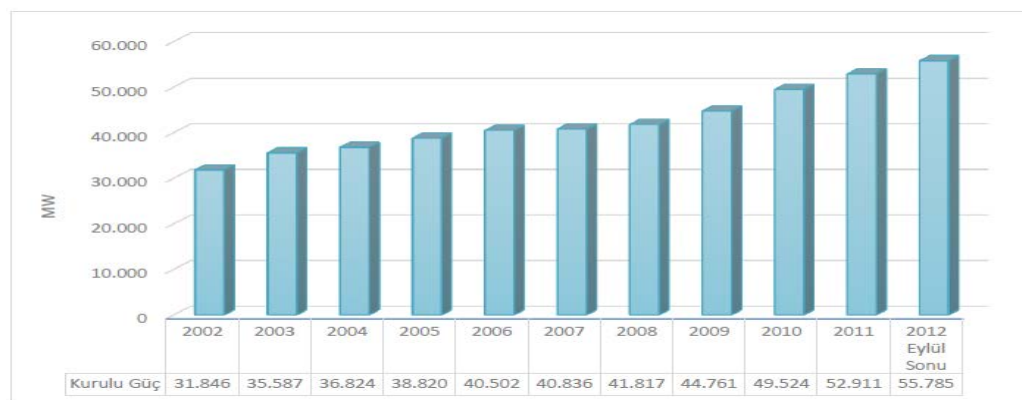


Grafik 4: 2012 Yılı Elektrik Enerjisi Üretiminin Birincil Enerji Kaynaklarına Göre Dağılımı (%) [3]

3.5. TÜRKİYE’İN ENERJİ TALEBİNDEKİ GELİŞMELER

Nüfusu ve yüzölçümü bakımından Türkiye dünyada önemli bir yerdedir. Nüfusu 2012 yılında 76.667.864 iken 2023 yılında 84.247.088 olması beklenmektedir. Buna göre 2012 yılının tamamında Türkiye ekonomisinin % 2,2 oranında büyümüş olmuştur. 2010 yılında % 9,2 ve 2011 yılında % 8,8’lik büyüme oranlarından sonra 2012 yılındaki % 2,2’lik büyüme oranı gerçekleşmiştir.

Tablo 18: 2012 Kurulu Gücün Birincil Enerji Kaynaklarına Göre Dağılımı (MW-%) [3]



2012 yılında GSYH cari fiyatlarla 1.416,8 milyar TL hesaplanmıştır. Bu tutarı 2012 yılının ortalama dolar kuru olan 1,8019'a bölersek karşımıza dolar cinsinden 786,3 milyar dolarlık bir GSYH çıkıyor. Aynı yıl kişi başına düşen milli gelir 10.505 dolar olarak bulunmuştur. 2009'da 103.500 MTEP'e düşen Türkiye'nin enerji tüketimi 2012 yılında 119.5 MTEP olarak gerçekleşmiştir. Elektrik üretimi 2012 yılında, bir önceki yıla göre % 8,78 artışla 228.431 milyar kWh'ye, tüketim ise % 8,19 artışla 229.344 milyar kWh olarak bulunmuştur [25].

Elektrik enerjisi özellikle insan yaşamında şüphesiz birinci önceliğe sahiptir. Konutlarda ve bazı sanayi kolları yeri doldurulamaz bir unsurdur. Yaşam seviyesinin devam ettirilmesi için de günlük hayatın birçok bölümünde vazgeçilmezdir. Enerjisiz bir yaşam, günümüz koşullarında neredeyse olası değildir. Gelişen teknoloji ve artan enerji açığı bütün ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de yeni enerji kaynakları üzerinde daha fazla düşünülmesini ve hızlı bir şekilde alternatiflerin üretilmesini gerekli hale getirmiştir.

Tablo 19: Kişi Başına Yıllık Elektrik Enerjisi Tüketimi 2012 [25]

Ülkeler	Kişi Başına Tüketim (kWh)
Türkiye	3.099
ABD	12.322
Gelişmiş Ülkeler Ort.	8.900
Dünya Ortalaması	2.500

Küresel ısınma ve iklim değişiklerine sebep olan fosil yakıtlarının oluşturduğu sera gazları ve diğer yandan nükleer enerji kaynaklarının çevresel, ekonomik açıdan yüksek maliyetli ve toplumsal kaygıların olması ülkelerin yenilenebilir ve yerli ve kaynaklara yönelmesine ve daha aktif kullanımına yönelimleri artmıştır. Çağdaş gereksinimlerden dolayı özellikle teknolojik gelişmeye bağlı olarak meydana gelen, enerji üretimiyle ilgili bilimsel araştırmalar, alternatif ve daha kullanışlı enerji kaynaklarına yönelmiştir. Günümüzde doğal dengelerin korunması ve sürdürülebilirliğin

sağlanması için yenilenebilir veyerli enerji kaynaklarının işlenmesi ve kullanılmasının önemi önemli oranda artmaktadır [25].

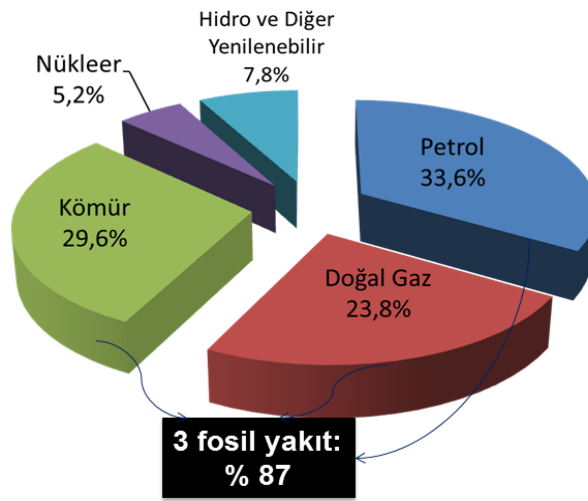
Enerjiyi güvenilir, temiz, ucuz, kesintisizve çeşitlendirilmiş kaynaklariverimli kullanmak önemlidir. Ancakşimdiye kadar yaralandığımız birçok enerji çevrimyönteminin insanlara ve çevreye verdiği zarar ciddi boyutlara varmıştır. Ülkeler yurttaşları ve dünya halklarının daha ferah bir dünya sunabilmeleri maksadıyla yenilenebilir veyerli enerji kaynaklarından daha fazla enerji üretmeye yönelmeleri gerekmektedir. Bu nedenle doğalkaynakların olan güneş, rüzgâr, hidrolik gibi yenilenebilir enerjikaynakları kullanılmalıdır. Enerjiye güvenilir,yeterli, ucuz ve sürdürülebilir ulaşılması temel bir insan hakkıdır. Enerji sorununun çözümü için Dünya genelinde çözümler geliştirilmesi ve işbirliğinin artması için Dünya Enerji Konseyi (WEC) ve Birleşmiş Milletlere tarafından gerekli adımlaratılmalıdır.

Dünya birincil enerji ticari olarak tüketimi 2012 yılında, 2011 yılına göre % 5.6 artarak 12.000 milyon TEPseviyesinde olmuştur. Amerika Birleşik Devletleri'ni enerji bakımından Çin, % 11 oranında büyüme ile geride bırakarak dünya enerjیتüketiminde % 20.3 payla en yüksek tüketime sahip ülke durumuna gelmiştir. Fosil kaynaklardan olan Petrol % 33.6 ile tüketimde enbüyük orana sahip olup, bir önceki yıla göre % 3.1 artışla 2010 yılında günlük 87.4 milyonvarile üretim seviyesinde olmuştur.

1970'den bu yana ortalama % 29,6 oranıyla kömür tüketimde en büyük paya sahip olmuştur. %7.6 artış gösteren kömür tüketiminde bir önceki yıla göre Çin % 48.2 payı oluşturmuştur. Her yıl daha da artan Doğal gaz talebi bir enerji kaynağı olarak 1984'ten beri en yüksek oranla % 7.6 artmış ve küresel doğalgaz LNG ticaretinde ise % 22.6 ve ticaretinde % 10.1 artış olmuştur.

Birincil enerji tüketimi içinde 2010 yılında küresel hidrolik dışındaki yenilenebilir enerji ancak % 1.8 payalmıştır. Bununla birlikte yenilenebilir

enerjiden elektrik üretimi bir önceki yıla göre % 15.5 artmıştır. Bu yükselişteki en büyük neden % 22.7 oranında artan rüzgar enerjisi üretimi olmuştur. ABD ve Çin'intoplama bu artışın % 70'ini gerçekleştirmiştir. Biyoyakıt üretimi % 13.1 ve hidrolik enerji üretimi % 5.3 bir önceki yıla göre artmıştır. Birincil enerji tüketimi içinde % 5.2 pay alan nükleer enerji üretimi ise bir önceki yıla göre % 2 artış göstermiştir [25].



Grafik 5: Dünya Birincil Enerji Tüketimi Kaynaklar Bazında (%) [27]

Dünya Enerji Konseyi Fukushima kazasının sonuçlarını araştırması sonucunda nükleer üretimde önde gelen ülkelerin (Japonya hariç) nükleer projeksiyonlarında değişiklik olmayacağı tespit edilmiştir. Halen devam eden toplam 61 nükleer projenin büyük çoğunluğunu yürüten Çin, Rusya ve Kore, nükleerle ilgili planlarında değişiklik olmamıştır. Fakat nükleere bağımlı az olan İsviçre, İtalya, Almanya ve Japonya gibi diğer ülkeler nükleerle ilgili planlarını değiştirmiştir. Yapılacak elektrik santralleri için bir diğer araştırmada yeni tercih sırasına olarak sırasıyla doğal gaz, kömür ve yenilenebilir enerjinin gelmektedir [25].

3.5.1. Türkiye'nin Enerji Sektörünün Yapısını Belirleyen Temel Veriler

Türkiye Avrupa'nın altıncı büyük ekonomisi ve altıncı büyük elektrik piyasası durumundadır. 2012'da ithal enerji bağımlılığı % 71.5 olan Türkiye'nin yıllık enerji talep artışı 1990'dan başlayarak % 4.6 olarak

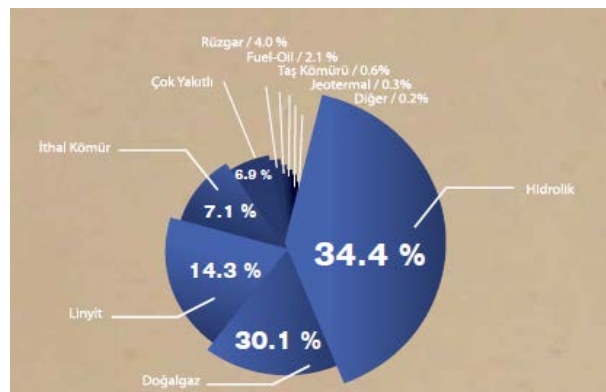
gerçekleşmiştir. Avrupa Birliği'nin yıllık talep artış oranı ise aynı dönemde % 1.6 olarak gerçekleşmiştir. Türkiye'ningeleceğe yönelik birincil enerjide yıllık artışı beklentisi % 4'tür. 2023 yılı projeksiyonu olarak elektriktalep artışı ise yüksek senaryoya göre % 7.5, düşük senaryoya göre % 6.7 olarak beklenmektedir. 2023 yılı enerji kaynaklarının dağılımı ilerleyen bölümlerde ayrıntılı olarak anlatılacaktır. 2023 yılındaki bu artışlara denk gelen enerji kaynaklarının dağılımı ve yüzdeleri gelecekte oluşacak enerji ihtiyaçları göz önüne alınarak tablolar halinde yine ilerleyen sayfalarda gösterilecektir. Gelecekte enerji ihtiyacının karşılanabilmesi için 15 yıldaki yatırım ihtiyacını 100 milyar dolar olarak tahmin edilmektedir. EPDK 2010–2030 dönemi için ihtiyacını duyulan yatırımların ise 230–275 milyar dolar olarak tahmin etmektedir [25].

3.5.2 Türkiye Enerji Sektörü ile İlgili Temel Tespitler

2000–2010 arasında Türkiye'nin birincil enerji üretimi % 34.6 artışla 81.2 milyon TEP'den 109.3 milyon TEP'e ulaşmıştır.

Birincil enerji tüketimi 2012 yılı için Türkiye'de toplam 119,5 MTEP olarak gerçekleşmiştir. Tüketimin % 89,3'lük kısmını fosil yakıtlar oluşturmaktadır.

2000–2012 arasında elektrik kurulu gücü % 94.6 artışla, 27 264 MW'den 53 051 MW'ye yükselmiştir. Aynı dönemde elektrik tüketimi 128.3 milyar kWh'den, % 78.8 artışla 229.3 milyar kWh'ye varmıştır.



Grafik 6: 2012 Yılı Sonu İtibariyle Kurulu Gücün Kaynak Bazında Dağılımı [3]

3.5.3. Enerji Talebi, Üretimi ve İthalatı

2009 yılındayerli kaynaklardan enerji üretimi 30,328 MTEP olarak gerçekleşmiş, 2010'da ise 32,493 MTEP'eyükselmiştir. Üretimin % 49,3'ünü linyit ve az miktarda asfaltit oluşturmuştur. Hidrolik ve diğer yenilenebilir kaynaklarından yapılan üretim, yerli üretimin % 21,9'unu oluşturmakta Taş kömürü üretiminin toplam üretim içindeki payı % 4,6 ve toplam enerji talebinin % 6,5'ini teşkil etmektedir. Katı olmayan fosil yakıtlardan olan petrol ve doğal gaz yerli üretim içinde % 10,1 gibi düşük bir paya sahiptirler. Ticari olmayan odun ve bitkinin yerli üretimdeki payı % 14'le petrol ve doğal gaz toplamını aşmaktadır [27].

3.5.4. Elektrik Üretim-Tüketim Durumu

Toplam elektrik enerjisi üretimi 2012 yılında Türkiye'de 239,1 milyar kWh olarak; yurtiçi toplam elektrik enerjisi talebi (brüt talep) ise 241,9 milyar kWh olmuştur. 2012 yılı elektrik enerjisi talebi 2011 yılına karşılık % 5,1 oranında yükselmiştir [27].

Tablo 20: Elektrik Üretim-Tüketim Durumu [27]

	Birim	2010	2011	2010-2011 % Değişim	2012	2011-2012 % Değişim
Kurulu Güç	MW	49.524	52.911	6,8%	57.058	7,8%
Üretim	GWh	211.208	229.395	8,6%	239.080	4,2%
İthalat	GWh	1.144	4.556	298,3%	5.820	27,7%
İthalat	GWh	1.918	3.645	90,1%	2.953	-19,0%
Tüketim	GWh	210.434	230.306	9,4%	241.947	5,1%

2012 yılında önceki yıla kıyasla elektrik enerjisi ithalatı %27,7 oranında artmış, ihracat ise %19 oranında azalmıştır. Elektrik enerjisi ihracatının, elektrik enerjisi üretimine oranı %1,2; elektrik enerjisi ithalatının brüt talebe oranı ise %2,4 düzeyinde gerçekleşmiştir. Elektrik enerjisinin 2012 yılındaki genel görünümü Tablo 20'de verilmiştir [27].

Tüketim verileri aylık ve 12 aylık hareketli ortalamalar bazında incelendiğinde brüt elektrik enerjisi talebindeki daralmanın 2010 yılı itibariyle tamamen bittiği ve 2011yılıınınözellikle ilkve son çeyreklerde bir önceki yıla göre tüketim artışının çok yüksekgerçekleştiği fakat 2012 yılında bu yükselişte bir azalma yaşandığı görülmektedir. 1990'lı yıllarda yıllık ortalama %8,5 olan yıllık brüt elektrik enerjisi ihtiyacı yükseliş hızı, yaşanan ekonomik krizlerin etkisi ile 2000'li yıllarda %5,7'ye düşmüştür.

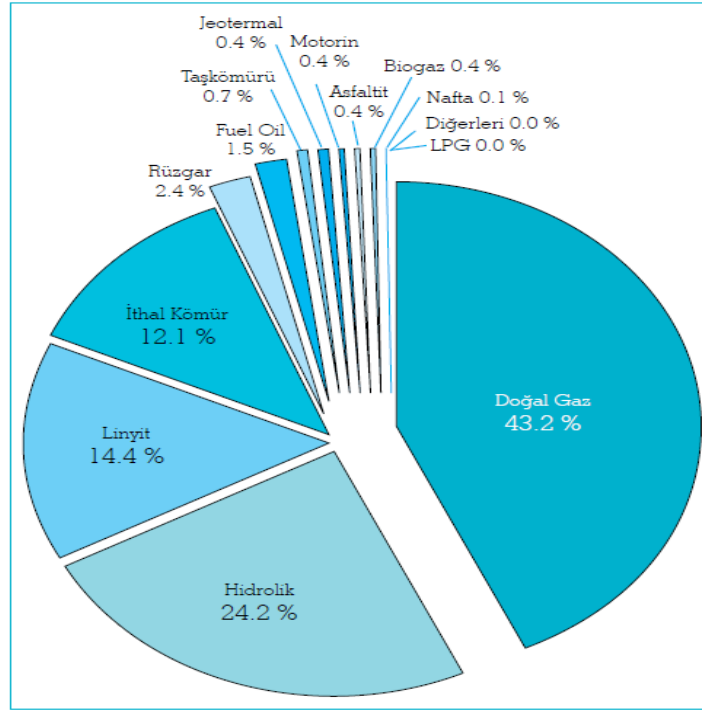
Tablo 21: 2012 Yılı Elektrik Enerjisi Genel Görünümü [27].

AYLAR	Üretim (GWh)	İthalat (GWh)	İhracat (GWh)	Tüketim (GWh)
OCAK	21.437	388	466	21.359
ŞUBAT	19.924	388	307	20.005
MART	20.654	415	384	20.685
NİSAN	18.161	311	238	18.233
MAYIS	18.772	396	163	19.004
HAZ.	19.859	426	227	20.058
TEM.	22.574	596	342	22.828
AĞUST.	21.339	522	262	21.600
EYLÜL	19.583	535	535	19.902
EKİM	17.760	509	118	18.151
KASIM	18.584	595	93	19.086
ARALIK	20.432	739	137	21.035
TOPLAM	239.080	5.820	2.953	241.947

Tablo 22: Türkiye'de Günümüzde ve Gelecekte Toplam Enerji

Kaynak	1990	2000	2005	2010	2020	2030
Kömür ve Linyit	16.94	23.32	35.46	39.70	107.57	198.34
Petrol	23.61	31.08	40.01	51.17	71.89	102.38
Doğal Gaz	2.86	12.63	42.21	49.58	74.51	126.25
Biomass ve Çöp	7.21	6.56	5.33	4.42	3.93	3.75
Nükleer Enerji	-	-	-	-	7.30	14.60
Hidrolik	1.99	2.66	4.16	5.34	10.00	10.00
Jeotermal	0.43	0.68	1.89	0.97	1.71	3.64
Güneş/Rüzgâr	0.03	0.27	0.22	1.05	2.27	4.28
Toplam Birincil Enerji Tüketimi	53.01	77.49	129.63	152.22	279.18	463.24

2012 yılında elektrik enerjisi üretiminin sırasıyla %43,2'si doğal gazdan; %24,2'si hidrolik kaynaklardan; %14,4'ü linyitten; %12,1'i ithal kömürden; %1,5'i fuel-oil'den; %2,4'ü rüzgârdan ve %2,2'si ise diğer kaynaklardan üretilmiştir (Grafik 7).[27]



Grafik 7: 2012 Yılı Elektrik Üretiminin Kaynaklara Göre Dağılımı [27]

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

TÜRKİYE'NİN YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ ENERJİ VE EKSERJİ KULLANIM VERİMLİLİKLERİNİN ANALİZİ

Enerji ekonomik gelişmişliğin önemli bir bileşeni ve aynı zamanda toplumun yaşam kalitesinin gelişmesinde öncüdür. Özellikle 1970'li yıllarda yaşanan enerji krizinden beri enerji politikalarında önemli değişikliklerin başlangıcı olmuştur. Günümüzde enerji politikalarının belirlenmesinde üç temel politika vardır. Bunlar enerji arz güvenliği, çevreye etkisi ve enerji piyasasındaki özellikle elektrik ve gaz sektörlerinde rekabet ortamıdır [28].

Gelişmekte olan ülkeler dünya nüfusunun yaklaşık olarak %80'ini oluşturmakta ise de dünya enerji piyasasındaki enerji tüketimleri %30 seviyesinde kalmaktadır. Enerji tüketimi nüfus yoğunluğu ve yaşam standartlarının artışı ile birlikte artmaktadır. Bu artış ile birlikte enerji ihtiyacının yayılması enerji için yeni yollar arayışının ortaya çıkmasını sağlamıştır. Sürdürülebilir gelişimi için yenilenebilir enerjinin kullanımının artmasının önünü açmıştır. Bu bölümde enerjinin her türlü kullanılmasında temel olarak sürdürülebilir kalkınma ve gelecek nesillere daha iyi bir çevre sağlamaktır. Burada belirtilen ekserji ve enerji arasında, ekserji ve çevre arasında, enerji ve sürdürülebilir gelişim arasında ve enerji politikaları ile ekserji arasında bağlantı vardır. Ekserji ve ekserjinin kullanılmasının gerektiren çeşitli yolları bulunmaktadır. Çevre üzerine enerji kaynaklarının kullanımının etkisini en iyi açıklayan bir yoldur. Enerji sistemlerinin analizi ve dizaynı için termodinamiğin ikinci kanunu ile birlikte enerji prensiplerinin korunumu ve kütlelerin korunumu içeren etkili bir metottur. Enerji kaynaklarının kullanımının daha etkin kullanılması, kayıp ve kaçakların belirlenmesi, kurulacak tesisin kapasitesi, tesis için en uygun yerin seçimi amacıyla sürdürülebilir bir tekniktir. Sistemlerde var olan verimsizliklerin düşürülmesi sayesinde daha etkili enerji sistemlerinin oluşturulması için bir yoldur.

Sürdürülebilir gelişimini sağlayan önemli bir bileşenidir. Enerji politikalarının belirlenmesinde önemli bir role sahiptir.

Ekserji enerjinin bir biçimidir veya değişime sebep olan kullanılabilirlik veya kalitenin bir ölçüsüdür. Ekserji maksimum iş olarak tanımlanır. Ekserji sadece ideal süreçler boyunca kullanılır fakat gerçek süreçlerde tersinmezlikten dolayı yıkama uğramaktadır. Ekserjinin konseptinde insanın tüm yaşam alanı bileşenleri limitsiz miktarda tamamen serbest olarak kullanılabilmesi farz edilmektedir. Ancak herhangi bir parametre örneğin sıcaklık, basınç gibi hiçbir zaman çevreyle eşit duruma gelmeyecek olan büyüklükler vardır. Bu durum sistemin iş yapma potansiyeli olarak ölçülebilir ve buda ekserji olarak ifade edilen iş yapabilme kabiliyetidir.

Ekserji analizinin ana amacı kimyasal veya termal proseslerin hataların büyüklüğünün sayısal bir şekilde hesaplanması ve sebeplerinin tespit edilmesi için yapılır. Ekserji analizi prosesin etkinliğinin termodinamik olarak etkisinin ve farklı termodinamik faktörlerin karşılaştırılmasının önemi ile prosesin iyileştirilmesinin en etkili yollarının anlaşılmasına liderlik etmektedir.

Termodinamik analizde enerji analizi (ϵ_1) ve ekserji analizi (ϵ_2) arasındaki farkın anlaşılması önemlidir. Ekserji analizi her zaman sistemin performansının daha iyi anlaşılması sağlamaktadır [28].

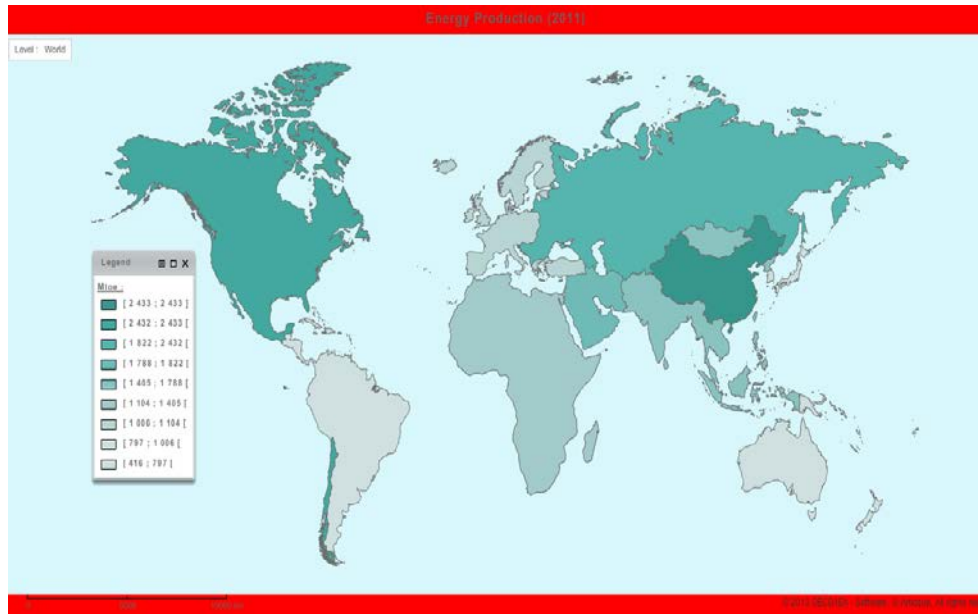
4.1 YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ DÜNYA'DA KULLANIMI

Dünyada toplam birincil enerji arzı 2011 yılında 552,741.336 (PJ) değeri olmuştur. Bunun 3 566 TWh'ı hidrolik kaynaklardan sağlanmıştır. Enerji yaşamımızda hayati bir kavram olarak yer almakta ve enerjiye olan ihtiyaç da gün geçtikçe artmaktadır. 2008 ve 2038 yılları arasında enerjitetiminin %35 artacağı, dünyanın toplam enerji kullanımının ise 2008 yılında 532.803 229 5 PJ iken 2020 de 653.079 602 1 PJ ve 2035 yılında ise 812.393 043 PJ'e ulaşması beklenmektedir. Enerji tüketiminde büyüme çoğunlukla OECD ülkeleri dışında gerçekleşmektedir. 1990 ve 2035 yıllarını kapsayan bir

çalışmaya göre OECD ülkelerinde enerji tüketiminin %18 artması beklenirken OECD ülkeleri dışında bu oran %85 olarak beklenmektedir.

4.2.YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ TÜRKİYE'DE KULLANIMI

Türkiye'de 2012 yılında toplam birincil enerji arzı 5028.053 (PJ) olmuştur. Bu enerji arzının 501.243 (PJ)'ü yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmış bu değerde toplam enerji arzının %9.968'ini oluşturmaktadır.



Şekil 13: Dünya Enerji Üretimi Yoğunluk Haritası

Türkiye üç kıtanın birleşme noktasında yer almakta ve Avrupa ile Asya'nın kavşak noktasını oluşturmaktadır. 783,562 km²'lik yüzölçümüyle dünyanın 34. büyük ülkesi olup, söz konusu toprakların %35'i tarımsal alan, %27'si orman, %18'i otlak ve meradır; %20'si ise diğer kullanımlara ayrılmıştır. Karasuları, yüzölçümünün %1,6'sını kapsayan ülkenin 8.333 km uzunluğundaki kıyı hattı turizm için son derece elverişli koşullar yaratmaktadır. Dağ sıraları Karadeniz ile Akdeniz kıyılarına paraleldir. Türkiye'nin batı kısımlarındaki ılıman güneyde ise Akdeniz iklimi görülmekte, sert kışlardan sıcak ve kuru yazlara kadar farklılık gösteren bölgesel veya mevsimsel değişimler gözlenebilmektedir. 2011 yılının Mart ayında Japonya'da yaşanan deprem ve ardından yaşanan tsunami felaketi sonrası Fukuşima nükleer tesislerindeki sızıntıya nedeniyle gelecek için farklı

sonuçlar doğurmuştur. Dünyada nükleer enerji dahafazla sorgulanmaya başlanmış ve nükleer enerji kullanan ülkeler gelecek hesaplarını gözden geçirerek alternatif enerji kaynakları arayışları başlamışlardır.

Türkiye'nin toplam nüfusu 1990 yılında 56,5 milyondan 2012 yılında 76,5 milyona ulaşmış, nüfustaki bu artışla birlikte, şehirleşme oranı 1990 yılındaki %52,9 seviyesinden 2012 yılı sonunda %75,5 seviyesine geçmiştir. Ülkede 2101 belediye vardır ve nüfusun %45'i şehirlerde yaşamaktadır. 2002-2012 yıllarında en hızlı büyüyen ekonomilerden birine sahiptir.

Türkiye 76.667.864 nüfusu ile 800,000 km² yüzölçümüne sahip büyük bir bölümü Asya kıtasında yer almaktadır. Çanakkale boğazı ve İstanbul boğazı ile bölünen kuzey batı bölümü Avrupa kıtasında yer almaktadır.

Türkiye'de birincil enerji talebi 2012 yılında 119,5 milyon TEP olarak gerçekleşmiştir. Birincil enerji talebi içerisinde doğal gazın payı yüzde 32, kömürün payı yüzde 31, petrolün payı yüzde 26, hidrolik enerjinin payı yüzde 4 ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının payı yüzde 7'dir. Birincil enerji talebimizin sektörlere göre dağılımı incelendiğinde; yüzde 27'sinin sanayi, yüzde 26'sının konut ve hizmet sektörü, yüzde 14'ü ulaştırma ve yüzde 24 çevrim sektöründe kullanılmıştır.

Bu bölümde Türkiye'nin nüfus değerleri, toplam enerji ve ekserji üretim ve tüketim değerleri ile yenilenebilir enerji ve ekserji üretim değerleri verilmiştir. Bu değerler Tablo 23'de gösterilmiştir.

Yenilenebilir enerjinin Türkiye'de kullanımının ayrıntılı olarak incelenmesinde enerji ve ekserji girdileri 2012 yılı enerji kaynaklarına göre Tablo 24'de gösterilmiştir. Bu tablodan da görülebileceği gibi toplam enerji ve ekserji girdileri sırasıyla 5065,83 ve 4900,21 PJ'dür. Toplam enerjinin % 36'sı ülke kaynaklarıyla karşılanmış geri kalan kısmı ithal edilmiştir. Toplam 15 enerji kaynağı mevcuttur. Bunlardan % 30,88 ile doğal gaz en büyük paya

sahiptir. Daha sonra % 25,8 ile petrol, %16,79 ile taş kömürü, %12,75 ile linyit ve %4,11 ile hidrolik enerji sıralanmaktadır. Yenilenebilir enerjinin üretimdeki toplam miktarı %10,83'nü oluşturmaktadır. Yenilenebilir toplam enerji değeri 552,53 PJ toplam ekserji değeri ise 477,64 PJ'dür. Bu miktarların dağılımı Tablo 3'te gösterilmiştir. Bu tabloda da gösterildiği gibi yenilenebilir enerjide hidrolik enerjinin payı %41,56 ile en büyük paya sahiptir. Odun kaynağı %19,63, jeotermal ısı kaynağı % 12,22, atık kaynağı %9,31, jeotermal %6,45, güneş %6,41 ve rüzgâr % 4,20 ile takip etmektedir.

Tablo 23: Nüfus, Yenilenebilir Enerji ve Ekserji Üretimi ve Tüketimi

Değerleri 2012

Nüfus	Toplam enerji tüketimi (PJ)	Toplam ekserji tüketimi (PJ)	Toplam enerji üretimi (PJ)	Toplam ekserji üretimi (PJ)	Yenilenebilir enerji üretimi (PJ)	Yenilenebilir ekserji üretimi (PJ)
76.667.864	5063,83	4900,21	1380,91	1349,68	552,53	477,64

4.3 TÜRKİYE'NİN YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ ENERJİ KULLANIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ

2012 yılında Türkiye'de yenilenebilir enerjinin sektörler göre kullanımı Tablo 26'da gösterilmiş ve %57,15'si çevrim ve enerji sektöründe kullanılmıştır. Konut ve hizmetler sektöründe %30,21, sanayi sektörü %11,31 ve tarım sektörü %2.89 ile takip etmiştir. Ulaştırma sektöründe yenilenebilir enerji olarak %0,17 ile sadece biyoyakıt kullanılmıştır. Yenilenebilir enerji ve ekserji kullanımının 2012 yılı için sektörlere göre değerlendirilmesi bundan sonraki bölümde başlıklar altında anlatılmıştır.

4.3.1 Çevrim ve Enerji Sektörü

Türkiye hidrolik ve fosil kaynakları iki ana elektrik üretim kaynağı olarak kullanılmaktadır. Fosil kaynakları olarak büyük oranda doğalgaz daha sonra petrol ve kömür kaynakları takip etmektedir. Elektrik üretimi özellikle

Tablo 24: Türkiye'nin Enerji ve Ekserji Üretim ve Tüketim Değerleri 2012

Enerji Türü	Toe	Enerji (Ekserji)	Üretim		Tüketim	
			(PJ)	(%)	(PJ)	(%)
Taş Kömürü	0.61	Enerji	45,84	3,32	850,59	16,79
	1.03	(Ekserji)	(47,21)	(3,49)	(876,10)	(17,88)
Linyit	0.21	Enerji	642,88	46,55	646,15	12,75
	1.04	(Ekserji)	(688,60)	(51,02)	(672,00)	(13,71)
Kok	0.72	Enerji	0	0	11,51	0,22
	1.04	(Ekserji)	(0)	(0)	(11,97)	(0,24)
Petro Kok	0.76	Enerji	0	0	117,23	2,31
	1.04	(Ekserji)	(0)	(0)	(121,92)	(2,49)
Hay. ve Bit. Art.	0.23	Enerji	46,68	3,38	44,17	0,87
	1.05	(Ekserji)	(49,01)	(3,63)	(46,38)	(0,94)
Asfaltit	0.43	Enerji	23,74	1,72	19,12	0,37
	0.97	(Ekserji)	(23,02)	(1,70)	(10,23)	(0,21)
Petrol	1.05	Enerji	93,78	6,79	1306,49	25,80
	0.99	(Ekserji)	(92,84)	(6,87)	(1293,42)	(26,40)
Doğal Gaz	0.91	Enerji	22,15	1,60	1564,73	30,88
	0.92	(Ekserji)	(20,37)	(1,51)	(1439,55)	(29,37)
Odun	0.30	Enerji	98,4	7,12	98,4	1,93
	1.05	(Ekserji)	(103,31)	(7,65)	(103,31)	(2,10)
Biokütle	0.23	Enerji	0,962	0,02	0,962	0,02
	1.05	(Ekserji)	(1,01)	(0,02)	(1,01)	(0,03)
Hidrolik Enerji	0.086	Enerji	208,33	15,08	208,33	4,11
	1.00	(Ekserji)	(208,33)	(15,43)	(208,33)	(4,25)
Jeotermal	0.86	Enerji	32,36	2,34	32,36	0,64
	1.00	(Ekserji)	(32,36)	(2,40)	(32,36)	(0,66)
Jeotermal Isı	0.86	Enerji	112,54	8,15	112,54	2,22
	0.29	(Ekserji)	(32,63)	(2,41)	(32,63)	(0,66)
Güneş	0.86	Enerji	32,15	2,32	32,15	0,63
	0.93	(Ekserji)	(29,89)	(2,21)	(29,90)	(0,59)
Rüzgar	0.086	Enerji	21,10	1,52	21,10	0,41
	1.00	(Ekserji)	(21,10)	(1,56)	(21,10)	(0,43)
Toplam		Enerji	1380,91	100	5065,83	100
		(Ekserji)	(1349,68)	(100)	(4900,21)	(100)

2005 yılından sonra yenilenebilir enerji kaynaklarının katkısı artmıştır. Son yıllarda özellikle jeotermal ve rüzgâr enerjisi yatırımları büyük ivme kazanmıştır. Çevrim ve enerji sektörünün 2012 yılına ait elektrik üretim verileri enerji için 2154,94 PJ ve ekserji için 2116,60 PJ olarak bulunmuştur.

Bu değerler ayrıntılı olarak Tablo 27’de kaynaklar bazında gösterilmiştir. Elektrik üretiminin %85,41’i fosil kaynaklardan geri kalan kısmın %11.48’i hidrolik, %1.78’i jeotermal ve %1.16’sı rüzgâr enerjisi oluşturmaktadır.

Birinci ve ikinci kanuna göre yenilenebilir enerji verimi ve ekserji verimi (ϵ_1 ve ϵ_2) çevrim ve enerji sektörünün için aşağıdaki denklemler yoluyla hesaplanmaktadır [28].

$$\epsilon_1 = (W_{dış} / \delta H) 100 \quad (1)$$

$$\epsilon_2 = (W_{dış} / W_{giriş}) 100 \quad (2)$$

Bundan sonra verileri kullanarak 2012 yılına ait çevrim ve enerji sektörünün verimlilikleri sırasıyla yenilenebilir enerji için $\epsilon_1 = 100$ ve $\epsilon_2 = 100$ ve toplam kaynaklar bazında ise $\epsilon_1 = 84,09$ ve $\epsilon_2 = 83,80$ olarak bulunur.

Tablo 25: Türkiye’nin Yenilenebilir ve Toplam Enerji Kaynaklarının Enerji ve Ekserji Üretim Değerleri 2012.

Yenilenebilir Enerji Kaynağı	Enerji (Ekserji)	Yenilenebilir Enerji Üretimi (PJ)	Toplam Yenilenebilir Üretim İçinde(%)	Toplam Üretim İçinde(%)	Toplam Tüketim İçinde(%)
Hay. ve Bit. Art.	Enerji (Ekserji)	46.68 (49.01)	9.31 (10.59)	3,38 (3,63)	0,87 (0,94)
Odun	Enerji (Ekserji)	98.4 (103.31)	19.63 (22.32)	7,12 (7,65)	1,93 (2,10)
Biokütle	Enerji (Ekserji)	0.962 (1.01)	0.19 (0.21)	0,02 (0,02)	0,02 (0,03)
Hidrolik Enerji	Enerji (Ekserji)	208.33 (208.33)	41.56 (45.01)	15,08 (15,43)	4,11 (4,25)
Jeotermal	Enerji (Ekserji)	32.36 (32.36)	6.45 (6.99)	2,34 (2,40)	0,64 (0,66)
Jeotermal Isı	Enerji (Ekserji)	112.54 (32.63)	12.22 (3.54)	8,15 (2,41)	2,22 (0,66)
Güneş	Enerji (Ekserji)	32.15 (29.89)	6.41 (6.45)	2,32 (2,21)	0,63 (0,59)
Rüzgâr	Enerji (Ekserji)	21.10 (21.10)	4.20 (4.55)	1,52 (1,56)	0,41 (0,49)
Toplam	Enerji (Ekserji)	552,53 (477,64)	100 (100)	39,93 (35,31)	10,83 (9,72)

Burada verimlilikler arasında belirgin farkın olmadığı görülmektedir. Çevrim ve enerji sektöründe tüm birinci ve ikinci kanunun verimlilikleri değerlendirildiğinde dağıtım ve iletimden kaynaklanan kayıpların dahil edilmesi gerekmektedir. İletimden ve dağıtımdan kaynaklı kayıpları sırasıyla %22,43 ve 22,65 olduğundan bu değerler ışığında yeni yüzdeler yenilenebilir enerji için $\varepsilon_1 = 77,57$ ve $\varepsilon_2 = 77,35$ ve tüm kaynaklar için %61,66 ve %61,15 olarak bulunur.

Tablo 26: 2012 Yılı Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Sektörlere Göre Kullanım Değerleri.

Sektörler	Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Dağılımı									
	Hay. ve Bit. Art.	Odun	Jeo.	Jeo. Isı	Biyk	Hid.	Güneş	Rüzgâr	Toplam (PJ)	Sektörel Dağılım (%)
Konut ve Hizmetler	8,83	91,9		96,54			20,93		218,2	39,49
Sanayi	(9,27)	(96,5)		(27,99)			(19,46)		(153,22)	(34,24)
Ulaştırma					0,96		11,22		62,50	11,31
Tarım				16	(1,01)		(10,43)		(25,30)	(5,65)
Çevrim ve Enerji	2,51	0,21	32,36	4,64		208,33	21,1		264,51	47,87
Enerji	(2,63)	(0,22)	(32,36)			(208,33)	(21,1)		(264,64)	(59,13)
Enerji Dışı	35,33	6,28							41,61	7,53
	(37,10)	(6,6)							(43,7)	(9,76)
Toplam									552,5	
									(447,5)	

4.3.2 Konut ve Hizmetler Sektörler

Bu sektör toplumun konut ve hizmetler alanını kapsamaktadır. 2012 yılı için enerji ve ekserji tüketiminde özel uygulamalarını içermektedir. Konut ve hizmet sektörünün 2012 yılında toplam enerjinin %26'sı bu sektörde tüketilmiştir. Bu tüketimin 96,54 PJ ile jeotermal enerji ve 91,9 PJ ile de katı formu oluşturan biomass enerji (odun) takip etmektedir.

Özellikle rüzgâr enerjisinin gelişimi özel sektörün yatırımlarının artmasıyla büyük ivme kazanmıştır. Jeotermal kaynakların kullanımı yeni tesislerin eklenmesiyle elektrik üretimi 849,4 MWh değerine ulaşılmıştır.

Tablo 27: Yenilenebilir Enerji ve Ekserjinin 2012 Yılı İçin Elektrik Üretiminde Kullanımı.

Yenilenebilir Enerji Kaynağı	Giren Enerji (PJ)	Yüzde		Elektrik		
		K ^x	S ^{xx}	(PJ)	(%)	ε ₁ (ε ₂)
Odun	0,21 (0,22)	0,011 (0,083)	0,023 (0,001)	0,21	0,8	100
Hay. ve Bit. Art.	2,51 (2,63)	0,14 (0,99)	0,28 (0,29)	2,51	0,95	100
Hidrolik	208,33 (208,33)	100 (100)	11,49 (13,70)	208,33	78,75	100
Jeotermal	32,36 (32,36)	100 (100)	1,78 (2,13)	32,36	12,23	100
Rüzgâr	21,1 (21,1)	100 (100)	1,16 (1,38)	21,1	7,97	100
Yenilenebilir	264,51	64,85	14,73	264,51	14,59	100
Toplamı	(264,64)	(63,90)	(17,5)			
Toplam	2154,94			1812,21		84,09
(Tüm Kaynaklar)	(2116,60)			(1773,75)		83,80

^x, Kaynaklar

^{xx}, Sektörel

4.3.3 Alan Isıtması

Türkiye'nin nüfusuna bağlı olarak her bir bölge için alan ısıtması belirlenmelidir. Alan ısıtması coğrafi koşullar göz önünde bulundurularak 2011 yılı için belirlenmiştir. Türkiye'de 2011 yılı itibariyle yapılan çalışmaya göre hane sayısı 19 481 678 olup burada oturanların ortalama sayısı ise 3,8'dir. Isıtmada kullanılan sistemlerin dağılımı ise Oturduğu konutta soba ile ısınan hane halklarının oranı %57,1'dir. Bu oranın %41 ise katı yakıtlı yani kömür ve odun yakıtlı soba geri kalanını ise doğal gaz sobaları oluşturmaktadır. Kat kaloriferi ile ısınanların oranı %25,6, merkezi kalorifer sistemiyle ısınanların oranı %11,4, klima, elektrikli ısıtıcı ve diğer araç ve sistemlerle ısınanların oranı ise %5,9'dur. Soba ile ısınanların oranı görüldüğü gibi en fazla yüzdeye sahip olup yarısından fazlasını oluşturmaktadır. Isıl verimlilikleri olarak bakıldığında kömürün %45 odunun ise %35'e sahiptirler. İkinci kanuna verimliliğine göre alan ısıtmasında aşağıdaki denklem kullanılır.

$$\epsilon_2 = (\epsilon_1/q_f) \{1 - [T_0/T_2 - T_0] \ln (T_2/T_0)\} \quad (3)$$

Burada ϵ_1 birinci kanun verimini, q_f yakıt faktörünü, T_0 referans sıcaklığını ve T_2 ise alan ısıtmada kullanılan ekipmanın sıcaklığıdır. Enerjinin % 35'i konutlardaki alan ısıtmasında kullanılmıştır. Kullanılan yakıt için yakıt faktörü $q_f = 0,99$, ısıtma sistemini sıcaklığı 50°C ve çevre sıcaklığı 20°C olarak alınacaktır. Buradan (3) numaralı denklem kullanılarak gerekli işlemler yapılırsa birinci kanun verimleri farz ve kabul edilen değerlerden ikinci kanun verimine ulaşılmış olunur.

Tüm birinci kanun ve ikinci kanun verimleri her bir bileşen için örneğin, alan ısıtması, mutfak kullanımı ve bunun gibi bileşenler için aşağıdaki denklem kullanılmalıdır.

$$\epsilon_1 = [(a_1 \cdot \epsilon_1) + (a_2 \cdot \epsilon_2) + (a_3 \cdot \epsilon_3)] / 100 \quad (4a)$$

$$\epsilon_2 = [(a_1 \cdot \epsilon_1) + (a_2 \cdot \epsilon_2) + (a_3 \cdot \epsilon_3)] / 100 \quad (4b)$$

Burada a her bir enerji kaynağı için toplam yenilenebilir enerji payını göstermektedir. Bu değerler Tablo 27'den alınmaktadır. Alan ısıtması için uygun değerlerin 4a ve 4b denklemlerinde yerine konmasıyla 2012 yılı için $\epsilon_{1 \text{ alan}} = \%38,87$ ve $\epsilon_{2 \text{ alan}} = \%2,66$ değerleri elde edilmiş olur.

4.3.4 Su Isıtma

2012 yılında yakıtların yaklaşık olarak %22,55'i doğrudan su ısıtmasında kullanılmıştır. Kullanılan ısıtma sistemlerinin dağılımına bakıldığında sırasıyla soba, güneş panelli ısıtma sistemleri, elektrikli termosifon ve doğal gazlı kombi ve şofbenler gelmektedir. Doğal gaz ve mutfak gazı ile ısıtma %67,38, güneş kolektörü %15,96, termosifon %12,38 ve merkezi olarak su ısıtma %2,054 olmuştur. İkinci kanuna göre verim hesabı (3) numaralı denklem vasıtasıyla hesaplanırken suyun sıcaklığı 60 °C ve çevre sıcaklığı olarak 20 °C ve q_f yakıt faktörünü 0,99 olarak kabul edilmektedir. Değerler formülde kullanılarak tüm enerji kaynakları için ϵ_2 değerini %3,1 ile %10,8 arasında hesaplanır. Güneş kolektörü atık ve odun için sırasıyla ϵ_2 değerleri %4,5, %3,1 ve %3,4 olarak hesaplanır. Türkiye'nin güneş enerji potansiyelinin çok yüksek olmasına karşılık, gerçekte güneş enerjisi kullanımı belli bölgelerle sınırlı kalmıştır.

4.3.5 Mutfak Kullanımı

Mutfakta yapılan faaliyetlerde özellikle doğal gaz, tüp gaz, odun vb. enerji kaynakları kullanılmaktadır. Bu kaynakların %31,6'lık kısmı direk mutfaklarda kullanılmaktadır. Birinci kanun verimi için pişirme sıcaklığı 120°C ve çevre sıcaklığı 20 °C olarak alınmıştır. İkinci kanun verimi aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanır.

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_1 [1-(T_0/T_2)] \quad (5)$$

Bu denklemimiz kullanılarak ve tahminler ışığında ikinci kanunun yakıtlar için değeri %4,1 ile %17,2 olarak bulunur. Tüm birinci ($\varepsilon_{1rc,mu}$) ve ikinci ($\varepsilon_{2rc,mu}$) verimlilikleri (4a) ve (4b) denklemleri kullanılarak % 21,14 ve %4,33 olarak hesaplanabilir[29].

Tablo 28: Türkiye'nin toplam enerji ve yenilenebilir enerjisinin 2012 yılındaki enerji verimlilikleri

Alt Sektörler	Konut ve Hizmetler																	
	Alan Isıtma				Su Isıtma				Mutfak Kullanımı		Toplam		Sanayi		Çevrim ve Enerji		Toplam	
	PJ	ϵ_1	PJ	ϵ_1	PJ	ϵ_1	PJ	ϵ_1	PJ	ϵ_1	PJ	ϵ_1	PJ	ϵ_1	PJ	ϵ_1		
Hay ve Bit. Atık	8,83	35						8,83	35					2,51	23,67	11,34	38,87	
Oduun	60,12	40	30	30	4,13	22		91,9	36,25					0,21	2,5	92,11	29,23	
Jeotermal					30,00	3,90								32,36	10,07	32,36	21,14	
Jeotermal Isı	96,54	55						96,54	55							96,54	52,73	
Biokütle																		
Hidrolik														208,33	100	208,33	100	
Güneş			20,93	4,2				20,93	30	11,22	4,5					32,15	4,25	
Rüzgâr														21,1	3,9	21,1	3,9	
Yenilen. Toplam																		
Toplam	165,49	3,05	50,93	3,91	4,13	4,5	218,2	41,31	11,22	4,5	264,51	90,45	493,93	44,3				

Tablo 29: Türkiye'nin toplam enerji ve yenilenebilir enerjisinin 2012 yılındaki ekserji verimlilikleri

Alt Sektörler	Konut ve Hizmetler													
	Alan Isıtma		Su Isıtma		Mutfak Kullanımı		Toplam		Sanayi		Çevrim ve Enerji		Toplam	
	PJ	ϵ_2	PJ	ϵ_2	PJ	ϵ_2	PJ	ϵ_2	PJ	ϵ_2	PJ	ϵ_2	PJ	ϵ_2
Hay ve Bit. Atık	9,27	2,5					9,27	2,5			2,64	23,67	11,91	9,51
Odun	63,13	2,5	31,5	3,4	4,54	4,5	98,96	2,86			0,22	2,5	99,17	2,86
Jeotermal											32,36	10,07	32,36	10,07
Jeotermal Isı	28	5,33					28	5,33					28	5,33
Biokütle														
Hidrolik											208,33	100	208,33	100
Güneş			19,46	4,2			19,46	4,2	11,22	4,5			30,68	4,25
Rüzgâr											21,1	3,9	21,1	3,9
Yenilen. Toplam														
Toplam	100,40	3,05	50,96	3,91	4,54	4,5	155,693,45		11,22	4,5	264,91	90,45	431,55	25,22

Birinci ve ikinci kanun verimliliklerinin tüm konut ve hizmetler sektörü için yazmaya çalışırsak aşağıdaki denklemi bulmuş oluruz.

$$\epsilon_{1kh} = [(r_a * \epsilon_{1a}) + (r_s * \epsilon_{1s}) + (r_m * \epsilon_{1m})] / (r_a + r_s + r_m) \quad (6)$$

$$\epsilon_{2kh} = [(r_a * \epsilon_{2a}) + (r_s * \epsilon_{2s}) + (r_m * \epsilon_{2m})] / (r_a + r_s + r_m) \quad (7)$$

Burada (r) konut ve hizmetler sektöründe yenilenebilir enerjinin kullanımını göstermektedir[28].

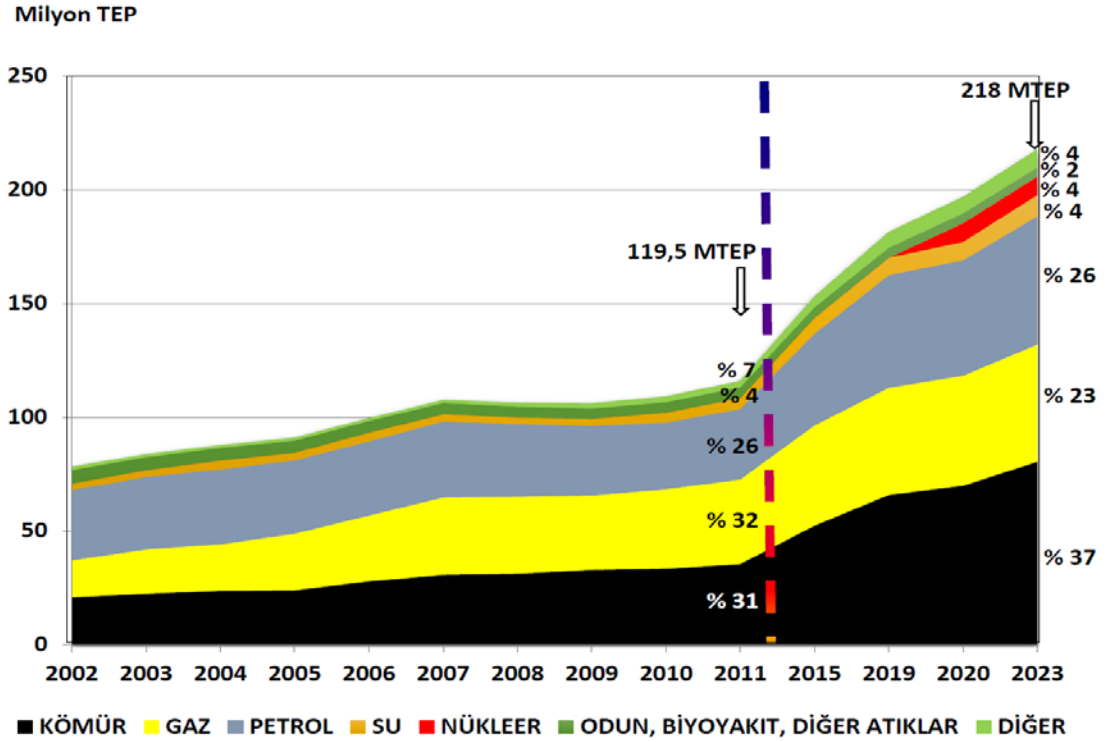
İlgili veriler (6) ve (7) numaralı denklemlerde yerlerine konulduğunda yenilenebilir enerjinin bu sektörde kullanım verimini $\epsilon_{1kh} = \%38,44$ ve $\epsilon_{2kh} = \%2,75$ olarak buluruz.

4.3.6 Sanayi ve Ulaştırma

Türkiye'nin toplam enerji ihtiyacı içinde sanayi sektörünün payı %18,65 olmuştur. Bunun içinde 268 bin TEP yani 11,220 PJ'lük enerji harcanmıştır. Enerji ve ekserji verimleri sırasıyla %30 ve %3,90 dır. Ulaştırma sektöründe yenilenebilir enerji kullanımı bulunmamaktadır[28].

4.4 TÜRKİYE'NİN ENERJİ GÖRÜNÜMÜNÜN GELECEK PROJEKSİYONLARI

2023 ile Türkiye hedeflerine varabilme yolunda öncelikli adımın enerji olduğu, her geçen gün daha da belirginleşiyor. 2023'te hedeflenen 500 milyar \$'lık ihracatı ve 2 trilyon \$ milli gelir hedeflenmektedir. Türkiye'de 2012 yılında birincil enerji arzı 119,5 milyon TEP iken 2023 yılında birincil enerji talebimizin yüzde 90 oranında artarak 218 milyon TEP'e ulaşacaktır [3].



Grafik 8: Türkiye'nin 2013 yılı projeksiyonu için Enerji Talebi[3]

Tablo 30: 2023 Yılı Yenilenebilir Enerji ve Ekserji Üretimi ve Tüketim Değerleri

Nüfus	Toplam enerji tüketimi (PJ)	Toplam ekserji tüketimi (PJ)	Toplam enerji üretimi (PJ)	Toplam ekserji üretimi (PJ)	Yenilenebilir enerji üretimi (PJ)	Yenilenebilir ekserji üretimi (PJ)
84.247.088	9161,26	8995,88	2979,7	2942,76	930,35	845,30

Tablo 31: Türkiye'nin 2023 yılı Enerji ve Ekserji üretim ve tüketim değerleri

Enerji Türü	Toe	Enerji (Ekserji)	Üretim		Tüketim	
			(PJ)	(%)	(PJ)	(%)
Taş Kömürü	0.61	Enerji	101,45	3,40	1881,38	20,53
	1.03	(Ekserji)	(104,44)	(3,55)	(1937,82)	(21,54)
Linyit	0.21	Enerji	1334,32	44,78	1334,32	14,56
	1.04	(Ekserji)	(1384,7)	(47,05)	(1384,7)	(15,39)
Kok	0.72	Enerji	0	0	11,05	0,12
	1.04	(Ekserji)	(0)	(0)	(11,49)	(0,12)
Petro Kok	0.76	Enerji	0	0	127,81	1,40
	1.04	(Ekserji)	(0)	(0)	(132,92)	(1,47)
Hay. ve Bit. Art.	0.23	Enerji	44,17	1,48	44,17	0,48
	1.05	(Ekserji)	(46,38)	(1,57)	(46,38)	(0,51)
Asfaltit	0.43	Enerji	32,5	1,09	32,50	0,35
	0.97	(Ekserji)	(31,52)	(1,07)	(31,52)	(0,35)
Petrol	1.05	Enerji	185,81	6,23	2376,51	25,94
	0.99	(Ekserji)	(183,95)	(6,25)	(2352,74)	(26,15)
Doğal Gaz	0.91	Enerji	30,19	1,01	2099,26	22,91
	0.92	(Ekserji)	(27,77)	(0,94)	(1931,31)	(21,46)
Odun	0.30	Enerji	104,29	3,5	104,29	1,13
	1.05	(Ekserji)	(109,5)	(3,72)	(109,50)	(1,21)
Biokütle	0.23	Enerji	5,44	0,02	5,44	0,06
	1.05	(Ekserji)	(5,72)	(0,02)	(5,72)	(0,063)
Hidrolik Enerji	0.086	Enerji	376	12,61	379	4,13
	1.00	(Ekserji)	(376)	(12,77)	(379)	(4,21)
Jeotermal	0.86	Enerji	78,80	2,64	78,80	0,86
	1.00	(Ekserji)	(78,80)	(2,67)	(78,80)	(0,88)
Jeotermal Isı	0.86	Enerji	118,72	3,98	118,72	1,30
	0.29	(Ekserji)	(34,42)	(1,16)	(34,42)	(0,40)
Güneş	0.86	Enerji	120,66	4,04	120,66	1,31
	0.93	(Ekserji)	(112,21)	(3,81)	(112,21)	(1,23)
Rüzgar	0.086	Enerji	82,27	2,76	82,27	0,91
	1.00	(Ekserji)	(82,27)	(2,79)	(82,27)	(0,89)
Nükleer	0.086	Enerji	365,08	12,25	365,08	4,0
	1.00	(Ekserji)	(365,08)	(12,40)	(365,08)	(4,05)
Toplam		Enerji	2979,7	100	9161,26	100
		(Ekserji)	(2942,76)	(100)	(8995,88)	(100)

Türkiye'de yenilenebilir ve toplam enerji tüketimleri Tablo 28 ve tablo 29'da gösterilmiştir. 2023 yılında toplam yenilenebilir enerji tüketim ve üretim değerleri sırasıyla 9161,26 PJ ve 930,35 PJ olarak hesaplanmıştır.

Tablo 32: Türkiye'nin Yenilenebilir ve Toplam Enerji Kaynaklarının Enerji ve Ekserji Üretim Değerleri 2023.

Yenilenebilir Enerji Kaynağı	Enerji (Ekserji)	Yenilenebilir Enerji Üretimi (PJ)	Toplam Yenilenebilir Üretim İçinde(%)	Toplam Üretim İçinde(%)	Toplam Tüketim İçinde(%)
Hay. ve Bit. Art.	Enerji (Ekserji)	44,17 (46,38)	4,74 (5,48)	1,48 (1,57)	0,48 (0,51)
Odun	Enerji (Ekserji)	104,29 (109,5)	11,29 (12,95)	3,5 (3,72)	1,13 (1,21)
Biokütle	Enerji (Ekserji)	5,44 (5,72)	0,58 (0,67)	0,02 (0,02)	0,06 (0,063)
Hidrolik Enerji	Enerji (Ekserji)	376 (376)	40,41 (44,48)	12,61 (12,77)	4,13 (4,21)
Jeotermal	Enerji (Ekserji)	78,80 (78,80)	8,46 (9,32)	2,64 (2,67)	0,86 (0,88)
Jeotermal Isı	Enerji (Ekserji)	118,72 (34,42)	12,76 (4,07)	3,94 (1,16)	1,30 (0,40)
Güneş	Enerji (Ekserji)	120,66 (112,21)	12,96 (13,27)	4,04 (3,81)	1,31 (1,23)
Rüzgâr	Enerji (Ekserji)	82,27 (82,27)	8,84 (9,73)	2,76 (2,79)	0,91 (0,89)
Toplam	Enerji (Ekserji)	930,35 (845,30)	100 (100)	30,99 (28,51)	10,18 (9,39)

BEŞİNCİ BÖLÜM

TERMODİNAMİK ANALİZ (FORMULASYONLAR)

5.1. GENEL TERMODİNAMİK KAVRAMLAR

Tezin ilerleyen kısımlarında yapılacak hesaplama ve analizlerin dahaiyi anlaşılabilmesi için termodinamiğin genel kavramları aşağıda açıklanmıştır.

5.1.1. Sistem (Termodinamik Sistem)

Sistem, belirli bir kütle, olay veya olayların incelenmek üzere göz önüne alınan ve çevresinden belirlenmiş bir sınır ile ayrılmış olan bir bölgeyi belirtmektedir.

5.1.2. Çevre

Sistem sınırları dışında kalan bölgeye sistemin çevresi denilmektedir.

5.1.3. Sınır

Sistemi çevresinden ayıran gerçek veya sanal yüzeye sınır denilmektedir. Matematik olarak sanal sınırın kalınlığı sıfır olarak kabul edilmektedir, dolayısıyla kütlesi ve hacmi yoktur.

5.1.4. Isı

Isı, iki sistem arasındaki sıcaklık farkından dolayı gerçekleşen bir hal değişimi sırasındaki enerji geçiştir Q ile gösterilir birimi kJ veya BTU dur.

Sistemin birim kütlesi için ısı geçişi $q = \frac{Q}{m}$ dir. (kJ/kg) (8)

Isı geçişi iletim (kondüksiyon), taşınım (konveksiyon) ve ışıyım (radyasyon) yolu ile gerçekleşir.

Isı geçişinin olmadığı bir hal değişimi “adyabatik hal değişimi” olarak adlandırılmaktadır.

Adyabatik hal değişimi sırasında sistemle çevresi arasında ısı geçişi olmaz.

5.1.5. İş

Bir kuvvetin, belirli bir yol boyunca etkide bulunması sonucu aktarılan enerjidir. W ile gösterilir ve birimi kJ^{m} dür.

$$\text{Sistemin birim kütlesi için yapılan iş, } w = \frac{W}{m} \text{ (kJ/kg)} \quad (9)$$

5.2. ENERJİNİN BİÇİMLERİ

Bir sistem, çevresini veya başka bir sistemi etkileyerek onun özelliklerinde herhangi bir değişiklik meydana getirebilmesi için bir enerjiye sahip olmalıdır. Bu durumda enerji iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanabilir [14]. Enerji hareket veya hareket üretme kabiliyeti olarak da tanımlanabilir [15].

Enerji ile doğadaki bütün iş ve oluşlar arasında bir sebep sonuç bağlantısı vardır. Enerji, çevre ve sistemlerin özelliklerini, durumlarını, birbirlerine göre konumlarını ve şekillerini etkileyip onlar üzerinde değişiklikler meydana getirebilme potansiyeline sahiptir. Enerjinin korunumu prensibine göre; enerji yoktan var edilemez ve yok edilemez. Enerji farklı biçimlere dönüşebilir fakat toplam miktarı daima sabit kalır. Enerji, sadece madde ya da enerji akış parametrelerine bağlıdır ve çevresel parametrelere bağlı değildir. Sıfırdan farklı değerleri vardır. Tüm prosesler için termodinamiğin birinci yasasıyla gösterilir ve tüm prosesler için termodinamiğin ikinci yasasıyla sınırlıdır. Hareket ya da hareket üretme kabiliyetidir. Bir prosesde her zaman korunur, ne vardan yok olur, ne de yoktan var edilir. Miktarın (niceliğin) bir ölçüsüdür. Enerji; ısı, mekanik, kinetik, potansiyel, elektrik, manyetik, kimyasal, nükleer gibi değişik biçimlerde bulunmaktadır [15].

5.2.1. Potansiyel Enerji

Herhangi bir sistemin veya kütlelenin, referans bir sistem veya çevreye göre yüksekliğine bağlı olarak içerdiği enerjiye potansiyel enerji denilmektedir.

$$PE = m \cdot g \cdot z \quad (10)$$

Formülü ile gösterilir ve birimi kJ dür. Burada m cismin kütlesini, g yerçekimi ivmesini, Z ise sistemin referans sistemden olan yüksekliğini göstermektedir. Birim kütle için potansiyel enerji,

$$pe = g \cdot z \quad (\text{kJ/kg}) \quad (11)$$

5.2.2. Kinetik Enerji

Herhangi bir sistemin veya kütlelerin, referans bir sistem veya çevreye göre hareketinden ve hızından dolayı sahip olduğu enerjiye kinetik enerji denilmektedir.

$$KE = \frac{m V^2}{2} \quad (12)$$

Formülü ile gösterilir ve birimi kJ dur. Burada m cismin kütlesini, V cismin hızını göstermektedir.

$$\text{Birim kütle için kinetik enerji } ke = \frac{V^2}{2} \quad (\text{kJ/kg}) \quad (13)$$

5.2.3. İç Enerji

Bir sistemi meydana getiren moleküllerin kinetik ve potansiyel enerjilerinin toplamı sistemin iç enerjisini oluşturmaktadır [30]. U ile gösterilir ve birimi kJ' dur.

5.2.4. Sistemin Toplam Enerjisi

Sistemin toplam enerjisi, kinetik, potansiyel ve iç enerjilerin toplamına eşittir.

$$E = U + KE + PE = U + \frac{m V^2}{2} + m \cdot g \cdot z \quad (\text{kJ}) \quad (14)$$

Birim kütle için sistemin toplam enerjisi, özgül enerji olarak adlandırılmaktadır.

$$e = u + ke + pe = u + \frac{V^2}{2} + g \cdot z \quad (\text{kJ/kg}) \quad (15)$$

5.3. ISIL DENGE

Sistemle çevresi arasında termik etkileşim olmaması hali, ısı denge olarak tanımlanmaktadır. Termik denge halinde sistemle çevresi arasındaki sıcaklıklar birbirine eşittir. Herhangi üçüncü bir sistemle termik denge halinde olan iki sistem kendi aralarında da termik denge halindedir. Bu ifadeye termodinamiğin sıfıncı yasası denilmektedir [30].

5.4. TERMODİNAMİĞİN BİRİNCİ YASASI

Termodinamiğin birinci yasası, enerjinin korunumu olarak bilinmektedir. Sistemle çevresinin etkileşimi sırasında, sistem tarafından kazanılan enerji, çevresi tarafından kaybedilen enerjiye eşit olmak zorundadır. Enerji yoktan var edilemez ve yok edilemez ancak bir şekilde diğer bir şekle dönüştürülebilir [30].

$$\Delta E_{sistem} + \Delta E_{çevre} = 0 \quad (16)$$

5.4.1. Kapalı Sistemler (Kontrol Kütlesi) İçin Termodinamiğin Birinci Yasası

Kapalı bir sistemin toplam enerjisi, çevresiyle veya başka bir sistemler olan ısı veya iş alışverişi sonucunda değişebilir. Kapalı sistemlerin sınırlarından kütle geçişi olmaz [31].

$$Q - W = \Delta E \text{ (kJ)} \quad (17)$$

Q: Kapalı sistem sınırlarından gerçekleşen net ısı geçişi $(= \sum Q_g - \sum Q_ç)$

W: Net iş. $(= \sum W_g - \sum W_ç)$

ΔE : Sistemdeki toplam enerji değişimi $(= E_2 - E_1)$

$$Q - W = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE \text{ (kJ)} \quad (18)$$

$$\text{Sistemdeki iç enerji değişimi, } \Delta U = m \cdot (u_2 - u_1) \quad (19)$$

$$\text{Sistemdeki kinetik enerji değişimi, } \Delta KE = \frac{m \cdot (V_2^2 - V_1^2)}{2} \quad (20)$$

Sistemdeki potansiyel enerji değişimi, $\Delta PE = m \cdot g \cdot (z_2 - z_1)$ (21)

5.5. TERMODİNAMİĞİN İKİNCİ YASASI

Termodinamiğin birinci yasası enerjinin niceliği üzerinde durmaktadır ve enerjinin bir biçimden diğerine dönüşümü sırasındaki değişimleri matematiksel olarak ifade etmektedir. İkinci yasa ise enerjinin niceliği yanında niteliğini de ön plana çıkartır ve bir hal değişimi sırasında bu niteliğin nasıl azaldığını hesaplamak için somut yöntemler ortaya koymaktadır [31].

5.5.1. Isı Makinesinin Verimi

Isı makinesi, ısıyı işe dönüştüren makinelerdir [13]. Isıl verim şu şekilde hesaplanır,

$$\eta_{enerji} = \frac{W_{net\text{çıkan}}}{Q_H} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} \quad (22)$$

$W_{net\text{çıkan}}$ ısı makinesinin yaptığı net işi, Q_H makineye verilen ısı, Q_L makinenin çevreye verdiği ısıyı göstermektedir.

Kelvin-Planck ifadesine göre; termodinamik bir çevrim gerçekleştirerek çalışan bir makinenin sadece bir kaynaktan ısı alıp net iş üretmesi olanaksızdır. Bir ısı makinesi, sürekli çalışabilmek için hem yüksek sıcaklıktaki bir ısı enerji deposuyla hem de düşük sıcaklıktaki bir ısı enerji deposuyla ısı alışverişinde bulunmak zorundadır. Hiçbir ısı makinesinin verimi %100 olamaz [31].

Clausius ifadesine göre termodinamik bir çevrim gerçekleştirerek çalışan bir makinenin, başka hiçbir enerji etkileşiminde bulunmadan, düşük sıcaklıktaki bir cisimden ısı alıp yüksek sıcaklıktaki bir cisme ısı vermesi olanaksızdır. Soğuk bir cisimden daha sıcak bir cisme çevreden iş almadan ısı enerji aktaran bir makine yapılamaz [31].

5.5.2. Tersinir Hal Değişimi

Bir yönde gerçekteştikten sonra çevre üzerinde hiçbir iz bırakmadan ters yönde de gerçekteşebilen hal değişimleridir [31].

Eğer bir hal değişimi gerçekleştikten sonra hem sistem hem de çevre, gerçekleşen işlemde dolayı hiçbir iz kalmadan tekrar ilk hallerine dönebilirlerse bu hal değişimi tersinirdir. Tersinir hal değişimleri sırasında maksimum iş elde edilir. Kusursuz sistemlerdir. Gerçekte mümkün değildir [31].

5.5.3. İçten Tersinir Hal Değişimleri

Sistem içerisinde tersinmezlik olmayan ve ısı geçişi sırasında sıcaklığın sabit kaldığı hal değişimleridir [31].

5.5.4. İçten Tersinir Adyabatik (İzantropik) Hal Değişimleri

Sistem içerisinde tersinmezlik olmayan ve ısı geçişi olmayan hal değişimleridir [31].

5.5.5. Tersinmez Hal Değişimleri

Tersinmez hal değişimleri bir yönde gerçekleştikten sonra hiçbir iz bırakmadan ilk hallerine dönmeleri mümkün değildir. Gerçek olaylardaki bütün hal değişimleri tersinmezdir. Sürtünme, genişleme, sıkıştırma ve ısı geçişi gibi faktörler hal değişimlerinin tersinmez olmasına yol açmaktadır [31].

5.5.6. Carnot Çevrimi

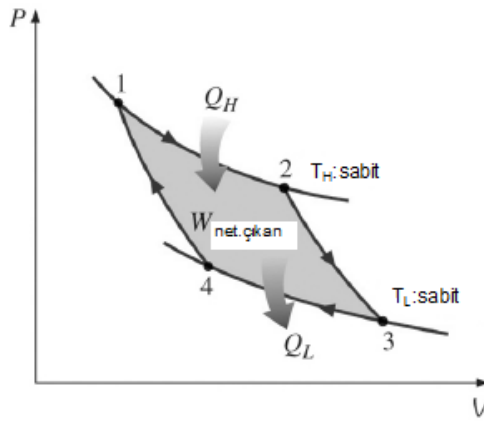
En çok bilinen tersinir çevrimdir. İki sabit sıcaklıkta, ikisi adyabatik olan dört hal değişiminden oluşan tümde tersinir bir çevrimdir. Carnot ısı makinesi çevrimi olarak da adlandırılır. Kapalı sistemlerde ve sürekli akışlı açık sistemlerde gerçekleştirilebilir [31].

5.5.7. Ters Carnot Çevrimi

Carnot ısı makinesi çevrimi, tümde tersinir bir çevrimdir. Onu oluşturan tüm hal değişimleri ters yönde gerçekleştirilebilir. Bu gerçekleştiği zaman elde edilen çevrime Ters Carnot çevrimi denir. Carnot soğutma çevrimi olarak ta adlandırılır.

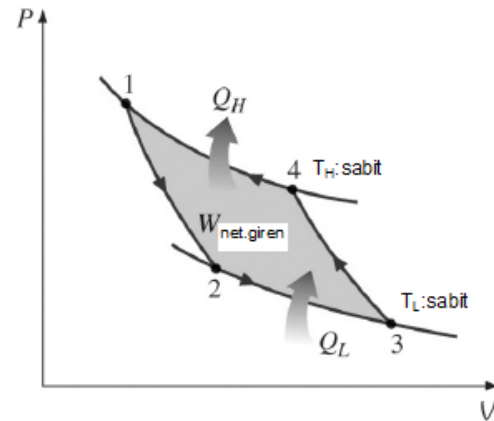
Q_H yüksek sıcaklıktaki ısıl enerji deposundan alınan ısıyı, Q_L düşük sıcaklıktaki ısıl enerji deposuna verilen ısıyı, T_H yüksek sıcaklıktaki ısıl enerji deposunun mutlak sıcaklığını, T_L düşük sıcaklıktaki ısıl enerji deposunun mutlak sıcaklığını göstermektedir.

$$\left(\frac{Q_L}{Q_H}\right)_{tr} = \frac{T_H}{T_L} \text{ (Tersinir bir makinenin Q-T ilişkisi)} \quad (23)$$



Şekil 14: Carnot çevriminin

P-V diyagramı [31].



Şekil 15: Ters Carnot çevriminin

5.6. ENTROPİ

Entropi bir sistemin düzensizliğinin ölçüsüdür. Termodinamiğin birinci yasasına göre enerjinin korunumu ilkesine göre enerjinin miktarı gerçek bir hal değişiminde korunmaktadır aynı zamanda termodinamiğin ikinci yasasına göre enerjinin miktarı korunurken niteliği azalmaktadır. Nitelikteki bu azalmanın sebebi düzensizliğin yani entropinin artmış olmasıdır [30].

Entropi gerçek hal değişimleri sırasında artmaktadır. Maddenin mikroskobik düzeydeki davranışına bakılırsa, entropi moleküler düzensizlik veya moleküler rastgelelik olarak görülebilir. Bir sistemdeki düzensizlik ve asimetri, moleküllerin konumlarını belirsizleştirdiği gibi entropiyide arttırmaktadır [30].

Entropi S ile gösterilir,

$$dS = \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_{içten.tr} \text{ (kJ/K)} \quad (24)$$

Birim kütle için entropi veya özgül entropi s ile gösterilir ve birimi kJ/kgK dir. Entropide tüm diğer özellikler gibi belirli hallerde belirli değerler alır. Bu nedenle iki hal değişimi arasındaki entropi değişimi ΔS izlenen yola bağlı değildir [32].

$$\oint \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_{içten.tr} \leq 0 \quad (\text{kJ/K}) \quad (25)$$

Clasius eşitsizliğine göre termodinamik bir çevrim üzerinde entropinin integrali sifira eşit veya sıfırdan küçüktür [30].

$$\oint \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_{içten.tr} = 0 \quad (\text{İçten tersinir hal değişimleri için}) \quad (26)$$

Bir hal değişimi sırasında entropinin değişimi,

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_{içten.tr} (\text{kJ/K}) \quad (27)$$

5.6.1. Entropinin Artışı İlkesi

Evrende gerçekleşen bütün hal değişimleri, hareket, iş ve oluşlar entropiyi arttırmaktadır. Entropinin artma sebebi sistemde ve evrende var olan düzensizlik ve tersizmezliklerdir. Bir hal değişimi sırasında üretilen entropi, entropi üretimi olarak adlandırılır ve $S_{üretim}$ ile gösterilir.

$$S_{üretim} = \Delta S_{toplam} = \Delta S_{sistem} + \Delta S_{çevre} \geq 0 \quad (\text{kJ/K}) \quad (28)$$

$$S_{üretim} = \Delta S_{toplam} > 0 \quad (\text{Tersinmez hal değişimi durumunda}) \quad (29)$$

$$S_{üretim} = \Delta S_{toplam} = 0 \quad (\text{Tersinir hal değişimi durumunda}) \quad (30)$$

$$S_{üretim} = \Delta S_{toplam} < 0 \quad (\text{Gerçekleşmesi mümkün değil}) \quad (31)$$

5.6.1.1. Kapalı Sistemler (Kontrol Kütle) İçin Entropinin Artışı İlkesi

$$\Delta S_{sistem} = S_2 - S_1 = m \cdot (s_2 - s_1) \quad (\text{kJ/K}) \quad (32)$$

$$\Delta S_{çevre} = \sum \frac{Q_R}{T_R} \quad (\text{kJ/K}) \quad (33)$$

5.6.2. Entropi Transferi

Entropinin sistemler arası transferi üç şekilde gerçekleşmektedir. Termodinamik kanunlarına göre entropi transferi ısı, iş ve kütle yolu ile gerçekleşebilmektedir.

5.6.2.1. Isı Yolu İle Entropi Transferi

İki sistem arasında sıcaklık yüksek olandan düşük olana doğru kendiliğinden transfer olmaktadır. Bu arada ısıyla beraber entropide transfer olmaktadır.

$$S_{ısı} = \frac{Q}{T} \quad (34)$$

5.6.2.2. İş İle Entropi Transferi

İş yoluyla entropi transferi sifıra eşittir.

$$S_{iş} = 0 \quad (35)$$

5.6.2.3. Kütle Akışı İle Entropi Transferi

Bir sisteme kütle girişi olduğu zaman, giren kütlelerin sahip olduğu entropi miktarı kadar bu sistem içerisine entropi transferi olmaktadır.

$$S_{kütle} = m \cdot s \quad (36)$$

5.6.2.4. Entropi Dengesi

Termodinamik sistemlerdeki entropi değişimi aşağıdaki formülle ifade edilir,

(Sisteme Giren Entropi)-(Sistemden Çıkan Entropi)+(Toplam Entropi Üretimi)=(Sistemdeki Toplam Entropi Değişimi) [30].

$$S_{giriş} - S_{çıkış} + S_{üretilen} = \Delta S_{sistem} \quad (37)$$

5.6.3. Açık Sistemler (Kontrol Hacmi) İçin Entropi Dengesi

Kontrol hacmi için entropi dengesi şu şekilde ifade edilmektedir, (Giren Entropi)-(Çıkan Entropi)+(Üretilen Entropi)=0 [33].

$$\dot{S}_{giren} - \dot{S}_{çıkan} + \dot{S}_{üretim} = 0 \quad (38)$$

5.7. EKSERJİ (KULLANILABİLİRLİK)

Kullanılabilirlik, bir sistemin sahip olduğu enerji ile yapabileceği maksimum işi göstermektedir. Enerjinin kullanılabilir durumdaki değerli kısmı ekserji olarak tanımlanır. Enerji ise enerji akışı içerisindeki dönüştürülemez bölümü ifade eder. Termodinamik bakış açısından ekserji; bir referans çevreyle denge haline gelirken, bir sistem ya da madde veya enerji akışıyla üretilebilecek maksimum miktarda iş olarak tanımlanır. Ekserji, referans çevreye göre tamamen kararlı dengede olmamanın sonucu olarak, değişime neden olan akış ya da sistemin potansiyelinin bir ölçüsüdür. Enerjiden farklı olarak, ekserji; korunum yasasına uğramaz (ideal veya tersinir prosesler hariç olmak üzere). Ekserji daha çok, gerçek proseslerdeki tersinmezlikler nedeniyle, tüketilir ya da yok edilir. Bir proses boyunca ekserji tüketimi, prosesle ilişkili tersinmezlikler nedeniyle ortaya çıkan entropiyle orantılıdır [34].

5.7.1. Ölü Hal

Ölü hal, sistemin çevresiyle termodinamik denge halidir. Ölühaldeyken sistem, çevre sıcaklığı ve basıncındadır. Sistem çevreyle ısı ve mekanik dengededir. Ölü haldeyken sistem çevreyle kimyasal reaksiyona girmez ve sistemin kullanılabilirliği sıfıra eşittir [30].

5.7.2. Yararlı İş

Yararlı iş, gerçek iş ile çevre işi arasındaki farka eşittir [30].

$$W_y = W - W_{\text{çevre}} = W - P_0 \cdot (V_2 - V_1) \quad (\text{kJ}) \quad (39)$$

$$W = P_0 \cdot (V_2 - V_1) = m \cdot P_0 \cdot (v_2 - v) \quad (\text{kJ}) \quad (40)$$

W_y yararlı iş, W gerçek iş, $W_{\text{çevre}}$ çevre işi, P_0 çevre basıncı, $(V_2 - V_1)$ hacim değişimini göstermektedir.

5.7.3. Tersinir İş

Tersinir iş, bir sistemin, iki durum arasındaki hal değişimi sırasında üretebileceği maksimum yararlı iştir. Tersinir iş ile yararlı iş arasındaki fark tersinmezliği gösterir [30].

Tersinmezlik şu formülle hesaplanır,

$$I = W_{tr} - W_y = T_0 \cdot S_{\text{üretim}} \quad (\text{kJ}) \quad (41)$$

$$i = w_{tr} - w_y = T_0 \cdot S_{\text{ürtim}} \quad (\text{kJ/kg}) \quad (42)$$

Bir hal değişimi sırasında birim zamanda oluşan tersinmezlik,

$$\dot{I} = \dot{W}_{tr} - \dot{W}_y = \dot{T}_0 \cdot \dot{S}_{\text{üretim}} \quad (\text{kW}) \quad (43)$$

Sistem iki durum arasında tersinmez bir hal değişimi gerçekleştirir ise tersinmezlik sıfıra eşit olur. O zaman tersinir iş yararlı işe eşit olur.

5.7.4. Fiziksel Ekserji

Fiziksel ekserjiyi değiştiren iki faktör sıcaklık ve basınçtır. Sıcaklık ve basınç koşulları değiştiği zaman maddenin fiziksel ekserjisi değişmektedir [23].

5.7.5. Kimyasal Ekserji

Kimyasal ekserji, maddenin çevre koşullarından ölü hale gelinceye kadar gerçekleşen süreçten elde edilebilecek maksimum iş olarak ifade edilebilir [12].

Farklı kompozisyonlardaki maddelerin kimyasal ekserjileri çoğunlukla çevredeki görünen bileşenlerle ilişkilidir [13].

5.7.6. Ekserji Transferi

Ekserji transferi üç şekilde gerçekleştirilebilir. Termodinamik kanunlarına göre, ekserji transferi ısı, iş ve kütle yolu ile gerçekleşebilmektedir.

5.7.6.1. Isı ile Ekserji Transferi

İki sistem arasında ısı geçişi halinde, ısıyla beraber ekserji geçişi de olmaktadır [6].

$$A_Q = \left[1 - \left(\frac{T_0}{T}\right)\right] \cdot Q \quad (44)$$

5.7.6.2. İş İle Ekserji Transferi

İş ile gerçekleştirilen ekserji geçişi yararlı işe eşittir. Hacim değiştiren kapalı sistemlerde ekserji transferi iş ile çevre işinin farkına eşittir. Bunun dışındaki diğer işlerde işin kendisine eşittir [31].

$$A_w = W_y = W - W_{\text{çevre}} \text{ (Sınır işi için),} \quad (45)$$

$$W_{\text{çevre}} = P_0 \cdot (V_2 - V_1) \quad (46)$$

$$A_w = W \text{ (Diğer biçimlerdeki iş)} \quad (47)$$

5.7.6.3. Kütle ile Ekserji Transferi

Bir sisteme kütle girişi olduğu zaman, giren kütlenin sahip olduğu ekserji miktarı kadar bu sistem içerisine ekserji transferi olmaktadır.

$$A_M = m \cdot \psi \quad (48)$$

5.7.7. Ekserji Yıkımı

Ekserji yıkımı sistem içerisinde üretilen entropi ile sıcaklığın çarpımına eşittir. Ekserji yıkımı sistem içerisindeki tersinmezlikler ve entropi üretiminden kaynaklanmaktadır. Bir prosesdeki ekserji yıkımı daima sıfır ve sıfırdan büyüktür. Ekserji yıkımının sıfırdan küçük olması mümkün değildir. Sıfıra eşit olması gerçekte mümkün değildir. Çünkü gerçek bütün proseslerde daima bir entropi üretimi söz konusudur [31].

$$\dot{E}x_{\text{yıkım}} = T_0 \cdot S_{\text{üretilen}} \geq 0 \quad (49)$$

$$\dot{E}x_{\text{yıkım}} = 0 \text{ (Tersinir Proseslerde)} \quad (50)$$

$$\dot{E}x_{\text{yıkım}} > 0 \text{ (Tersinmez Proseslerde)} \quad (51)$$

$$\dot{E}x_{\text{yıkım}} < 0 \text{ (İmkânsız)} \quad (52)$$

5.7.8. Ekserji Dengesi

Bir sistemdeki ekserji değişimi sisteme giren toplam ekserji ile sistemden çıkan toplam ekserji ve sistemdeki ekserji yıkımının farkına eşittir [31].

(Toplam Ekserji Girişi) - (Toplam Ekserji Çıkışı) - (Toplam Ekserji Yıkımı) =
(Sistemdeki Toplam Ekserji Değişimi)

$$\dot{E}x_{giriş} - \dot{E}x_{çıkış} - \dot{E}x_{yıkım} = \Delta \dot{E}x_{sistem} \quad (53)$$

5.8. ENERJİ VEEKSERJİMODELLENMESİ

Mevcut enerjinin verimli ve etkin kullanılmasının sağlanması, enerjinin kalitesinin ve büyüklüğünün göz önüne alınması gereklidir. Bu bakımdan enerjinin büyüklüğü ile ilgilenen termodinamiğin birinci kanununa göre enerji yoktan var edilemez ve var olan enerjide yok olmaz. Oysa ikinci kanunda enerjinin kalitesi ile de ilgilidir. Burada kalitenin anlamı belli bir enerji kaynağının yeteneği ya da iş yapabilme potansiyelidir. Birinci ve ikinci kanun verimleri genellikle enerji ve ekserji verimleri diye tanımlanır. Ekserji verimleri genellikle enerji veriminden daha düşük çıkar. Çünkü tersinmezliğin yıkım sürecinde bazı ekserji girişleri oluşur. Ekserji ifadesi tersinmez bir sistemin entropinin oluşumundan dolayı enerjinin kabiliyetinin yitirmesidir. Sistemin ekserji kaybı veya sistemin bileşeni çevrenin mutlak sıcaklığı tarafından türetilen entropi artışıdır. Entropi bir cismin mutlak sıcaklığı tarafından emilen oranıdır ki bu oranda enerji korunurken ekserji artmaktadır. Ekserji analizi bir cismin referans durumundan maksimum güç elde etmemizi değerlendirebilmemizi göstermek için bir metot sağlar [35].

5.8.1. Genel İlişkiler

Genel bir kararlı durumda, kararlı akışta sürecinde iş ve ısı etkileşimleri, ekserji azalma, tersinmezlik oranı, enerji ve ekserji verimliliği oranı bulmak için dört denge denklemi (kütle, enerji, entropi ve ekserji) uygulanır [35].

5.8.1.1 Kütle, Enerji, Entropi ve Ekserji Dengeleri

Kütle dengesi oranı için aşağıdaki ifade kullanılır,

$$\sum \dot{m}_{in} = \sum \dot{m}_{out} \quad (54)$$

Burada \dot{m} akış hızıdır. Genel enerji dengesi giren ve çıkan enerji eşitliklerine göre şu şekilde yazılabilir,

$$\sum \dot{E}_{in} = \sum \dot{E}_{out} \quad (55)$$

Elektrik, manyetizma, yüzey gerilimi ve nükleer reaksiyon, yokluğunda sistemin toplam enerjisi \dot{E}_x dört bileşene bölünebilir, \dot{E}^{PH} fiziksel ekserji, \dot{E}^{KH} kinetik ekserji, \dot{E}^{PT} potansiyel enerji, \dot{E}^{CH} kimyasal ekserji.

$$\dot{E}_x = \dot{E}^{PH} + \dot{E}^{KH} + \dot{E}^{PT} + \dot{E}^{CH} \quad (56)$$

Ekserji geniş özellikli olmasına rağmen, genellikle kütle veya moleküler olarak bir birim üzerinde çalışmak için uygundur. Bir kütle olarak toplam spesifik ekserji aşağıdaki gibi yazılabilir,

$$ex = ex^{PH} + ex^{KH} + ex^{PT} + ex^{CH} \quad (57)$$

Genel enerji dengesi şu şekilde yazılabilir,

$$\sum \dot{E}x_{in} - \sum \dot{E}x_{out} = \sum \dot{E}x_{dest} \quad (58)$$

ve ya

$$\dot{E}x_{heat} - \dot{E}x_{work} + \dot{E}x_{mass,in} - \dot{E}x_{mass,out} = \dot{E}x_{dest} \quad (59)$$

ile

$$\dot{E}x_{heat} = \sum \left(1 - \frac{T_0}{T_K}\right) \dot{Q}_K, \quad (60)$$

$$\dot{E}x_{work} = \dot{W}, \quad (61)$$

$$\dot{E}x_{mass,in} = \sum \dot{m}_{in} \psi_{in}, \quad (62)$$

$$\dot{E}x_{mass,out} = \sum \dot{m}_{out} \psi_{out}, \quad (63)$$

Burada \dot{Q}_K sistemin sınırlarından geçen ısı transferi, T_K ortam sıcaklığını gösterir.

Akışın ekserjisi (özelligi) şu şekilde hesaplanır;

$$\psi = (h - h_0) - T_0(s - s_0), \quad (64)$$

Burada h entalpiyi, s entropiyi ve alt indis 0 ise P_0 ve T_0 durumundaki ölü hal durumunları göstermektedir [35].

Entropi dengesi aşağıdaki gibi yazılabilir,

$$\dot{S}_{in} + \dot{S}_{out} + \dot{S}_{gen} = 0 , \quad (65)$$

Burada entropi oranları \dot{Q}_K oranında ısı transferi tarafından ve kütle akış oranı \dot{m} ise ;

$$\dot{S}_{heat} = \dot{Q}_K / T_K \text{ ve } \dot{S}_{mass} = \dot{m}s \quad (66)$$

Sisteme ısı akışı pozitif olarak alınırsa Genel entropi ilişkisi oranı tekrar değerlendirildiğinde aşağıdaki eşitlik yazılabilir,

$$\dot{S}_{heat} = \sum \dot{m}_{out}s_{out} - \sum \dot{m}_{in}s_{in} - \sum \dot{Q}_K / T_K , \quad (67)$$

Ayrıca, genellikle \dot{S}_{gen} bulmak için öncelikli olarak ve ekserji yıkımı veya tersinmezlik oranı \dot{I} aşağıda ki denkleme yazılırsa,

$$\dot{I} = \dot{E}x_{dest} = T_0 \dot{S}_{gen} \quad (68)$$

Sıkıştırılmaz bir madde (örneğin su) özellikli ekserji (akış ekserjisi) şu şekilde verilir;

$$\psi_w = C \left(T - T_0 - T_0 \ln \frac{T}{T_0} \right) \quad (69)$$

Havanın toplam ekserji akışı aşağıdaki denkleme hesaplanır,

$$\psi_{a,t} = (C_{p,a} + wC_{p,v})T_0 \left[\left(\frac{T}{T_0} \right) - 1 - \ln \frac{T}{T_0} \right] + (1 + 1.6078w)R_a T_0 \ln(P/P_0) + R_a T_0 \frac{(1 + 1.6078w) \ln[(1 + 1.6078w_0)]}{(1 + 1.6078w) + 1.6078w \ln(w/w_0)} \quad (70)$$

Burada özel nem oranı ise,

$$w = \dot{m}_v / \dot{m}_a \quad (71)$$

Havayı mükemmel gaz olarak düşünürsek özel fiziksel ekseji aşağıdaki gibi hesaplanır,

$$\psi_{a,t} = C_{p,a} \left(T - T_0 - T_0 \ln \frac{T}{T_0} \right) + R_a T_0 \ln(P/P_0) \quad (72)$$

5.8.1.2 Ekserjetik Gelişme Potansiyeli

Bir sistemin veya prosesin ekserji verimindeki maksimum gelişimi için ekserji kaybının veya tersinmezliğin minimum olması gereklidir. Ekserjik

gelişim potansiyelinin analiz edilmesi ekonominin farklı sektörlerinde veya değişik proseslerdeki uygulamalarda çok kullanışlı bir çalışma konseptidir. Bu gelişme potansiyeli oranı $I\dot{P}$ olarak gösterilirse,

$$I\dot{P} = (1 - \varepsilon)(\dot{E}x_{in} - \dot{E}x_{out}) \text{ şeklinde ifade edilir [35].} \quad (73)$$

5.8.1.3 Termodinamik Parametreler

Yenilenebilir enerji kaynaklarının termodinamik analizi de aşağıdaki parametreler kullanılarak yapılabilir [35].

Yakıt tüketim oranı

$$\delta_{F=} = \frac{\dot{I}_i}{F_T} \quad (74)$$

Nispi tersinmezlik

$$X_{F=} = \frac{\dot{I}_i}{\dot{I}_T} \quad (75)$$

Verim kaybı

$$\xi = \frac{\dot{I}_i}{P_T} \quad (76)$$

Ekserji faktörü

$$f_{F=} = \frac{F_i}{F_T} \quad (77)$$

5.8.2. İkinci Kanun Verimi

Termodinamiğin ikinci kanun verimi her iki şekilde aşağıdaki formüllerle ifade edilmektedir [35].

$$\varepsilon_{ekserji} = \frac{\text{Sistemden alınan kullanılabilirlik}}{\text{Sisteme verilen kullanılabilirlik}} \quad (77)$$

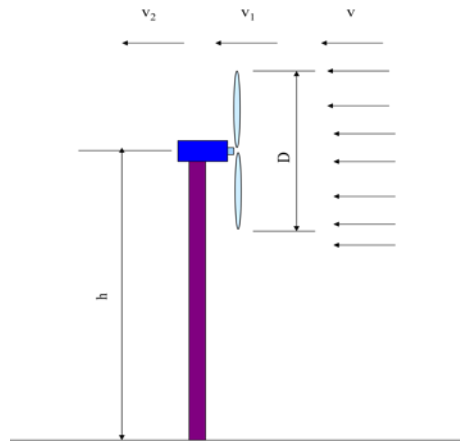
$$\varepsilon_{ekserji} = 1 - \frac{\text{Tersinmezlik}}{\text{Sisteme verilen kullanılabilirlik}} \quad (79)$$

ALTINCI BÖLÜM

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ TERMODİNAMİK ANALİZİ

6.1. RÜZGÂR ENERJİSİ ANALİZİ

Temiz enerji kaynaklarının önemi çevre problemlerinin çoğalmasıyla artmıştır. Rüzgâr enerjisi temiz enerji kaynağı olmasına rağmen her zaman süreklilik göstermemektedir. Geçen on yıl boyunca rüzgâr enerjisi uygulamaları gelişmiş ve bazı ülkelerde sanayide kullanımı çok hızlı bir şekilde artmıştır. Enerji üretiminde kullanılan rüzgâr enerjisindeki başarılar diğer ülkeleri rüzgâr enerjisi konusunda yatırım yapmaya itmiştir. Rüzgâr enerjisi büyük enerji üreten sistemleri bir parçası olarak da dikkate alınmıştır. Rüzgâr enerjisinin temiz ve yenilenebilir bir kaynak olması politik ve iş çevrelerini dikkatini çekmektedir [36].



Şekil 16:Rüzgâr Türbini Kesiti [4]

6.1.1. Enerji Analizi

V hızıyla esen m miktardaki havanın kinetik enerjisi;

$$KE_{rüzgar} = \frac{mV^2}{2} \quad (80)$$

Kesit bir alandaki (A) dikey esen bir rüzgâr birim sürede ki kinetik enerjisi;

$$KE_{rüzgar} = \frac{1}{2} \rho A t V^3 \quad (81)$$

Kullanılabilir rüzgâr hızını birim zamandaki kinetik enerjisi ise,

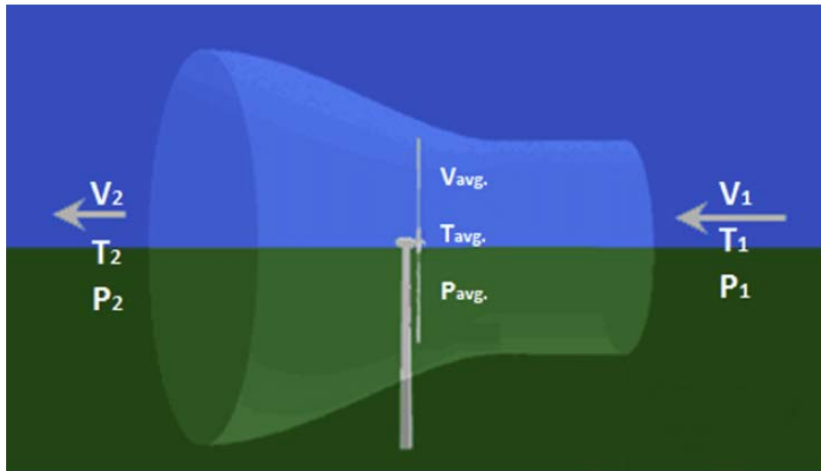
$$\dot{K}E_{rüzgar} = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (82)$$

ρ Havanın yoğunluğunu göstermektedir.

Birim zamanda rotordan geçen hava kütlesi m ise bu kütlenin momentum değişim oranı;

$$m (V_1 - V_2) \quad (83)$$

Bu momentum değişimi rüzgârı türbini döndürmesini sağlayan gücü göstermektedir [36].



Şekil 17: Rüzgâr türbininde hava akışı [36]

Burada ilk girişteki rüzgâr hızı yüksek çıkıştaki rüzgâr hızının düşük olduğunu göstermektedir.

Buradan kinetik enerji şu şekilde yazılabilir;

$$P = \dot{m} (V_1 - V_2) V_{ortalama} \quad (84)$$

$$V_{ort} = (V_1 + V_2) / 2 \quad (85)$$

$$\Delta KE = \frac{1}{2}m (V_1^2 - V_2^2) = W_{dış} \quad (86)$$

$$P = \dot{m} (V_1 - V_2) \cdot V_{ort} \quad (87)$$

$$\Delta \dot{KE} = \frac{1}{2} \dot{m} (V_1^2 - V_2^2) = \dot{W}_{dış} \quad (88)$$

Denklemler sadeleştirilirse sonuç olarak;

$$P = \frac{\rho A V_1^3}{4} (\alpha + 1)(1 - \alpha^2) \quad (89)$$

Denklemi elde edilir.

$$\alpha = \frac{V_2}{V_1} \quad (90)$$

Güç katsayısı eşitliği ise aşağıdaki gibidir;

$$(\alpha + 1)(1 - \alpha^2)/2 \quad (91)$$

Çıkan rüzgâr hızı giren rüzgâr hızının 3'te 1'i dir. Bu nedenle;

$$P = \rho A V_1^3 \times \frac{8}{27} \quad (92)$$

ve maksimum güç katsayısı 0.593'ü geçemeyecektir. Buradan maksimum kullanılabilir rüzgâr gücü %59,3'tür. Enerjini açığa çıkartılması yararlı bir iştir. Fakat rüzgâr türbülansından dolayı enerjinin bir kısmı sıcaklık olarak açığa çıkarak israf edilir [36].

6.1.2. Ekserji Analizi

Termodinamik analizde, geleneksel enerji analizi ikinci kanuna göre genişletmek gerekir ki bu da ortaya ekserjiyi çıkarır. Ekserji enerjinin maksimum olarak kullanılabilirliği olarak tanımlanır ve enerji kalitesinin bir ölçütü olarak düşünülür. Ekserji analizi tekniği, enerji ve diğer sistemlerin analizi, tasarım ve geliştirilmesi için kütle ve enerjini korunumu prensiplerini, termodinamiğin ikinci kanunu ile birlikte kullanır. Her bir ekserji analizi için referans çevrenin karakteristikleri belirtilmelidir. Bu genellikle ısı, basınç ve kimyasal bileşimi belirterek yapılır [36].

Bir sistem içerisinde madde akışının enerji denge eşitliği şu şekilde ifade edilir;

$$\sum_{in} (h + ke + pe)m_{in} - \sum_{out} (h + ke + pe)m_{out} - \sum_r Q^r - W = 0 \quad (93)$$

Burada m_{in} sisteme giren kütleyi, m_{out} sistemden çıkan kütleyi göstermektedir. Q^r sistemin sınırlarındaki ısı transferi miktarını h , ke ve pe sırasıyla entalpi, kinetik enerji ve potansiyel enerjiyi göstermektedir.

Bir sistemde madde akışının ekserji denge eşitliği için;

$$\sum_{in} e_{in} \cdot m_{in} - \sum_{out} e_{out} \cdot m_{out} + \sum_r E^{Q^r} - E^W - I = 0 \quad (94)$$

Burada e_{in} giren ekserjiyi, e_{out} çıkan ekserjiyi gösterir. E^r ve E^W ise Q^r ve W 'nin ekserji birleşimidir. *İtersinmezliğe* bağlı ekserji yıkımını gösterir.

Şimdi akışın ekserjisi \dot{E}_{flow} , türbinden hava akışı oldukça elde edilebilecek en yüksek ulaşılacak iş olarak tanımlanabilir. Burada ilgili terimler (\dot{E}_{ph}) ve kinetik (\dot{E}_{KE}) ekserjidir.

$$\dot{E}_{flow} = \dot{E}_{ph} + \dot{E}_{KE} \quad (95)$$

Fiziksel ekserji, entalpi ve entropi değişimlerini içerir ve buradan da;

$$\dot{E}_{ph} = \dot{m} \left[C_p (T_2 - T_1) + T_0 \left(C_p \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) - R \ln \left(\frac{P_2}{P_1} \right) - \frac{C_p (T_0 - T_{ort})}{T_0} \right) \right] \quad (96)$$

$$\dot{E}_{KE} = \dot{W}_{act} \quad (97)$$

$$P_{1,2} = P_{atm} + \rho V_{1,2}^2 / 2 \quad (98)$$

Bu metodoloji bize enerji analizlerinin sağladığı bilgi desteği sayesinde rüzgar türbini için bölgelerin seçimi ve türbinlerin dizaynlarını geliştirmek için büyük fırsatlar sunmaktadır [36].

6.1.3. Enerji ve Ekserji Verimlilikleri

Sistem performansını bir işlem süresince nasıl değiştiğini görmek için hem enerji verimliliğini, hem de ekserji verimliliğinin incelenmesi gerekmektedir. Enerji verimliliği çıkan işin toplam işe oranıdır;

$$\eta = \dot{W}_{çıkış} / \dot{W}_{rüzgâr} \quad (99)$$

Ekserji verimi ise çıkan işin rüzgârın ekserjisine oranıdır;

$$\varepsilon = \dot{W}_{çıkış} / \dot{E}_{akış} \quad (100)$$

Bir diğ er parametre ise ideal prosesten ayrılışı ifade eden sapma faktörüdür [7].

$$Df = \frac{\eta - \psi}{\eta} \quad (101)$$

6.1.4. Termodinamik Analizi Hesaplamaları

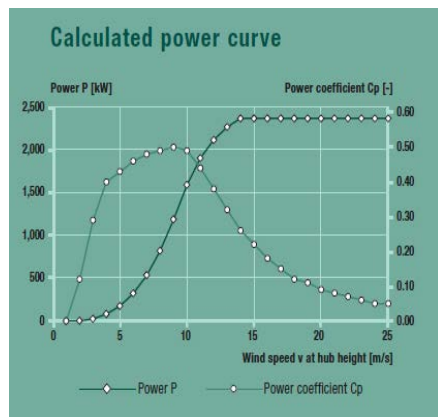
Model Türbin, İstanbul ilinde mevcut bir rüzgâr türbinidir. Türbin 3 kanatlı olup yerden yüksekliği (h) 78 metre, kanat çapı (D) 82 metredir. Toplam kanat sayısı üçtür. Süpürme alanı 5281 m² ve Cut-out rüzgâr hızı 28 m/sn'dir. Dönme hızı ise 6 - 17,5 rpm arasında değişmektedir.



Şekil 18:ENERCONE-82 E2 / 2,000 kW Rüzgâr Türbini [37]

Tablo 33: Güç-Rüzgâr hızı [37]

Wind [m/s]	Power P [kW]	Power coefficient Cp [-]
1	0.0	0.00
2	3.0	0.12
3	25.0	0.29
4	82.0	0.40
5	174.0	0.43
6	321.0	0.46
7	532.0	0.48
8	815.0	0.49
9	1,180.0	0.50
10	1,580.0	0.49
11	1,810.0	0.42
12	1,980.0	0.35
13	2,050.0	0.29
14	2,050.0	0.23
15	2,050.0	0.19
16	2,050.0	0.15
17	2,050.0	0.13
18	2,050.0	0.11
19	2,050.0	0.09
20	2,050.0	0.08
21	2,050.0	0.07
22	2,050.0	0.06
23	2,050.0	0.05
24	2,050.0	0.05
25	2,050.0	0.04

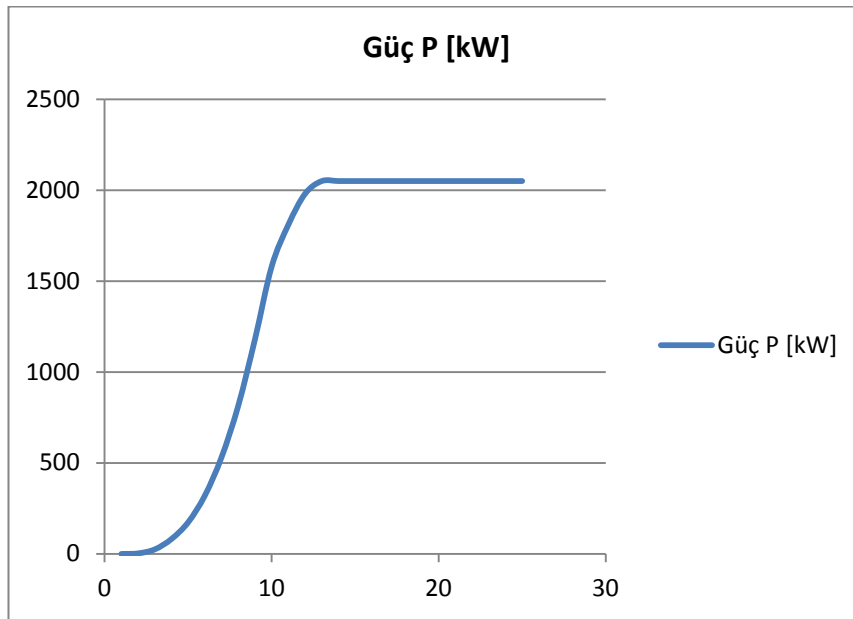


Grafik 9: Güç-Hız grafiği [37]

Enerji verimi (99) ve ekserji verimi (100) numaralı denklemler kullanılarak ve Tablo 33'te türbinimizin P güç değeri kullanılarak elde edilen verim sonuçları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 34: Rüzgâr Enerjisi Verimlilik Tablosu

Tarih	29 Aralık 2013	30 Aralık 2013	31 Aralık 2013	01 Ocak 2014	02 Ocak 2014
Rüzgâr Hızı	23 km/h	24 km/h	23 km/h	27 km/h	20 km/h
Sıcaklık	13 °C	12 °C	11 °C	10 °C	10 °C
η	%53	%54,2	%53	%42,67	%38,56
ε	%47,05	%48,24	%47,05	%42,37	%34,28



Grafik 10: ENERCON Rüzgâr Türbini Güç Eğrisi

6.2. GÜNEŞ ENERJİSİNİN ANALİZİ

6.2.1 Güneş Enerjisi Analizi

Günümüzde dünya enerji senaryoları gösteriyor ki enerji ihtiyacının önemli bir kısmını sınırlı fosil kaynaklar oluşturmaktadır. Bu fosil enerji kaynakları aynı zamanda çevre ile dost olmayan ve çevre kirlenmesinde

önemli bir rolü olan fosil kaynaklar küresel ısınmaya ve ozon tabakasının delinmesine de neden olur. Yenilenebilir enerji kaynakları çevre dostu ve bol miktarda bulunabilmesi önemli bir enerji kaynağı olarak dünya çapında artan bir şekilde dikkate alınmaya başlanmıştır. Ancak yenilenebilir enerji sistemleri düşük dönüşüm verimliliklerinden olumsuz etkilenmektedir. Bu yüzden yenilenebilir enerji kaynakları uygulamaları gerçek yaşam uygulamalarında özel pratik göz önüne alınmalıdır. Birçok yenilenebilir sistem uygulamaları enerji analizi temeline bağlıdır ki bu analiz temel olarak sadece enerjini giriş ve çıkışın dayalı olarak hesaplanır. Enerji termodinamiğin birinci kanununu temel alır ve sadece enerji miktarını verir. Bunun yanında ekseji ise termodinamiğin ikinci kanununu temel alır ve enerji kalitesini bize verir ve tersinmezliğinde içinde bulunduğu sisteme ait verimi gösterir [6].

Tüm yenilenebilir enerjinin ana kaynağı güneştir. Güneş bol miktarda serbest bir şekilde tüm yıl boyunca varlığını korur ve direk ve dolaylı olarak kullanılabilir. Direk olarak kullanılabilen uygulamaları güneş ışınlarının emilmesi ve elektrik enerjisine dönüştürebildiğimiz PV (fotovoltaik) modülleridir. Dolaylı güneş enerjisi uygulaması olarak kullanılabilen su ısıtma sistemleridir. Bu ısıtma sistemlerinde kolektörler olarak bilinen araçlar çok faydalı olarak kullanılmaktadır. Bundan sonraki bölümde güneş su ısıtma sistemlerinin detayları verilecektir [6].

6.2.2. Güneş Enerjili Su Isıtıcısı Sistemleri

Güneş enerjili su ısıtıcıları uygulamaları doğal ve serbest karbon işlemiyle sıcak su elde etme işlemidir. Ticari ve endüstriyel olarak birçok uygulamaları mevcuttur. Güneş enerjili su ısıtıcıları en basit bir şekilde kolektör ve depolama tankından oluşmaktadır. Kolektör güneşten gelen ışınları toplamaya yararken depolama tankı ise sıcak suyun depolanmasını sağlar. Güneş enerjili su ısıtıcısının basit çalışma fonksiyonu güneşten gelen güneş ışınlarının paneller tarafından emilmesi ile tünler arasındaki suya transfer olarak depolama tankına sıcak su olarak ulaşmasıdır. Su sıcaklığı iyi

bir güneşli günde 60 °C-70 °C ye kadar ulaşmaktadır ki buda günlük yaşamda birçok uygulama için kullanılabilir [6].

6.2.3 Enerji Analizi

Genel enerji korunumu kanunu eşitliğine göre güneş enerjili su ısıtıcısı enerji dengesi şu şekilde yazılabilir [6];

$$\sum \dot{m}_o = \sum \dot{m}_i \quad (102)$$

$$Q - W = \sum m_o \left(h_o + \frac{V_o^2}{2} \right) - \sum m_i \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} \right) \quad (103)$$

Aynı zamanda kolektör yüzeyine göre güneş enerjisi şu şekilde gösterilebilir;

$$Q_c = A I_s \quad (104)$$

Burada A güneş tarafından etkilenen kolektör alanını, I_s bölgelere göre özellik gösteren güneşlenme yoğunluğunun şiddetini göstermektedir. Genel olarak güneş enerjili ısıtma sistemleri için enerji dengesi aşağıdaki gibi yazılabilir [6];

$$Q_c = Q_w + Q_b + Q_L \quad (105)$$

Burada Q_c kolektör tarafında emilen enerjiyi, Q_w depolama tankında toplanan enerjiyi, Q_b güneş kolektörünün gövdesinde toplanan enerjiyi, Q_L ise enerji kaybını vermektedir. Kullanılabilir enerji şu şekilde yazılabilir [6];

$$Q_w = Q_c - Q_b - Q_L \quad (106)$$

Depolama tankında bulunan suyun kullanılabilir enerji kazanımı aşağıdaki gibi yazılır [6];

$$Q_w = m_w C_{pw} (T_f - T_i) \quad (107)$$

T_0 Yukarıdaki denklem kullanılarak; Q_b ve $EX_i = i \left[1 + \frac{1}{3} (T_a/T_s)^4 - \frac{4}{3} (T_a/T_s) \right] A_{sc}$

Aşağıdaki şekilde de yazılabilir;

$$Q_b = m_b C_b (T_{fb} - T_{ib}) \quad (108)$$

$$Q_L = U_t (T_{m,st} - T_a) \quad (109)$$

Burada U_t ısı kayıp oranı katsayısını, $T_{m,st}$ aşağıda açıklanacağı gibi ana sistemin sıcaklığını göstermektedir [6].

$$T_{m,st} = (T_{fb} + T_{ib}) / 2 \quad (110)$$

Eşitliklerden (104) ve (107) kullanılarak güneş enerjisi su ısıtıcısı sisteminin enerji verimi şu şekilde yazılabilir [6];

$$\eta = \frac{m_w C_{pw} (T_f - T_i)}{I_s A} \quad (111)$$

6.2.4 Ekserji Analizi

Ekserji analizi güneş enerjisi ısıtma sisteminin yapılandırma performansını temel alır. Kollektör tarafından alınan ekserji şu şekilde yazılır [6];

$$EX_c = I_s A \left[1 - \left(\frac{T_a}{T_s} \right) \right] \quad (112)$$

Burada T_a ortam sıcaklığını ve T_s ise güneşin sıcaklığını göstermektedir. Buradan akışkan tarafından alınan ekserji aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$EX_f = \dot{m} (E_o - E_i) = \dot{m} [(h_o - h_i) - T_a (s_o - s_i)] \quad (113)$$

Burada \dot{m} kolektörler arasında dolaşan su çevriminin akış miktarını, h_i giren entalpiyi ve s_i giren entropiyi göstermektedir. Aynı zamanda h_o çıkan entropiyi, s_o da çıkan entropiyi göstermektedir ve aşağıdaki denklem yazılabilir [6];

$$h_o - h_i = C_{p,w} (T_o - T_i) \quad (114)$$

ve

$$s_o - s_i = C_{p,w} \ln(T_o / T_i) \quad (115)$$

Aynı zamanda akışkan tarafından elde edilebilecek ekserji aşağıdaki şekilde de yazılabilir;

$$EX_f = \dot{m} C_{p,w} (T_o - T_i) (1 - T_a / T_s) \quad (116)$$

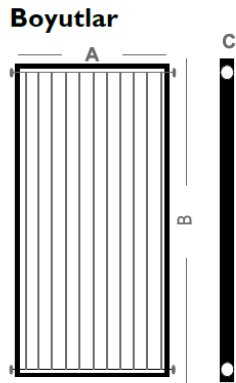
Sistemin ekserji verimi;

$$\varepsilon = E_f / E_c = \dot{m} [(h_o - h_i) - T_o (s_o - s_i)] / I_s A [1 - (T_o / T_s)] \quad (117)$$

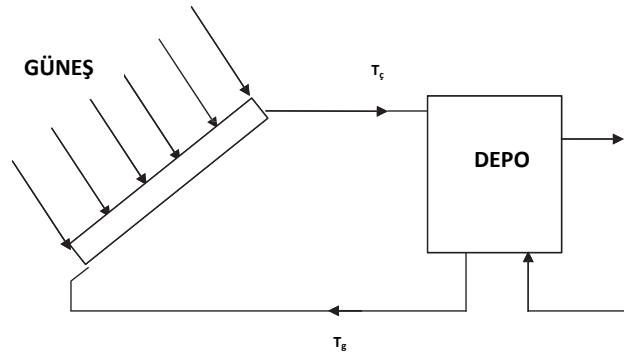
Şeklinde yazılabilir [6].

6.2.5. Termodinamik Analizi Hesaplamaları

Model kolektörümüz İstanbul ilinde bulunmaktadır. EMS L-BUS poliüretan prizmatik cam bakır boru-bakır kanat-sellektif yüzey $2,1 \text{ m}^2$ ve Boyler E-101 kapasitesi 45 litre'dir.



Şekil 19: Güneş Kolektörü [39]



Şekil 20: Güneş Kolektörü Akış Şeması

Tablo 35: Güneş Kolektörü Ölçüleri [38]

KOLLEKTÖR	A(mm)	B(mm)	C(mm)
EML S-BUS	1218	1908	87,5

$m = 45 \text{ lt}$, $C_{pw} = 4,18 \text{ J/g } ^\circ\text{C}$ olarak alınmıştır.

Enerji verimi (111) ve ekserji verimi (117) numaralı denklemler kullanılarak aşağıdaki tabloda bulunan değerlerin günlere göre dağılımı elde edilir.

Tablo 36: Güneş Enerjisi Verimlilik Tablosu

Tarih	05 Kasım13	06 Kasım13	07 Kasım13	08 Kasım 13	09 Kasım 13
Güneşlenme Şiddeti	250 cal/cm^2	300 cal/cm^2	350 cal/cm^2	250 cal/cm^2	300 cal/cm^2
η	%75,61	%67,9	%51,7	%75,61	%67,9
ϵ	%25,45	%23,63	%21,55	%25,45	%23,63
T_b ($^\circ\text{C}$)	20	20	20	20	20
T_s ($^\circ\text{C}$)	63,3	66,8	62,3	63,3	66,8

6.3. JEOTERMAL ENERJİ ANALİZİ

6.3.1. Enerji Analizi

Kütle dengesi herhangi bir durgun için şu şekilde yazılabilir [30];

$$\sum \dot{m}_o = \sum \dot{m}_i \quad (118)$$

Alt indisler i ve o sırasıyla giren ve çıkan kütleyi gösterir.

$$E_j = \dot{m}_i (h_j - h_o) \quad (119)$$



Şekil 21: Tuzla Jeotermal Güç Santrali [40]

Burada h entalpiyi göstermektedir. Net enerji santrali enerji verimi aşağıdaki eşitlikle verilebilir [40];

$$\eta_{\text{sys}} = \dot{E}_{\text{net}} / \dot{E}_{\text{in}} \quad (120)$$

Burada \dot{E}_{in} ve \dot{E}_{net} giren ve net çıkan enerji oranlarıdır ve şu şekilde bulunabilir [40];

$$\dot{E}_{\text{net}} = \dot{W}_{\text{Tür}} - \dot{W}_{\text{kayıp yük}} \quad (121)$$

$$\dot{E}_{\text{in}} = \dot{E}_1 + \dot{E}_6 \quad (122)$$

$\dot{W}_{\text{Tür}}$ izopentan çevriminden elektrik üretimidir. Tüm santralin içinde elektrik yükleri örneğin pompa fanları, kontrol elemanları için icra tesisine ihtiyaç vardır. genellikle bu yükler kayıp yük olarak adlandırılır. Hava soğutucu kondenser ünitesi kayıp yüke en fazla etki eder ve incelenen sistemin %60-75 kayıp yükünü oluşturur.

İzotentan çevriminin enerji verim [40];

$$\eta_{\text{izo çev}} = \dot{W}_{\text{Tür}} / (\dot{E}_{11} + \dot{E}_{12}) - \dot{E}_{14} \quad (123)$$

Enerji kayıpları önisıtıcı I ve önisıtıcı II için;

$$\dot{E}_{\text{kayıp önisı I}} = (\dot{E}_{18} + \dot{E}_{21}) - (\dot{E}_{20} + \dot{E}_{17}) \quad (124)$$

$$\dot{E}_{\text{kayıp önisı II}} = (\dot{E}_{13} + \dot{E}_{17}) - (\dot{E}_{14} + \dot{E}_{16}) \quad (125)$$

Önisıtıcılar için enerji verimi;

$$\eta_{\text{kayıp önisı I}} = \dot{E}_{17} - \dot{E}_{18} / \dot{E}_{21} - \dot{E}_{20} \quad (126)$$

$$\eta_{\text{kayıp önisı II}} = \dot{E}_{16} - \dot{E}_{17} / \dot{E}_{13} - \dot{E}_{14} \quad (127)$$

Enerji kaybı ve enerji verimi Türbin için;

$$\dot{E}_{\text{kayıp Tür.}} = (\dot{E}_{22} - \dot{E}_{21}) - \dot{W}_{\text{Tür}} \quad (128)$$

$$\eta_{\text{Tür}} = \dot{W}_{\text{Tür}} / \dot{E}_{22} - \dot{E}_{21} \quad (129)$$

Enerji kaybı ve enerji verimi vaparizör için;

$$\dot{E}_{\text{kayıp vap.}} = (\dot{E}_{11} + \dot{E}_{12} + \dot{E}_{16}) - (\dot{E}_{13} + \dot{E}_{22}) \quad (130)$$

$$\eta_{\text{vap}} = (\dot{E}_{22} - \dot{E}_{16}) / (\dot{E}_{11} + \dot{E}_{12} - \dot{E}_{13}) \quad (131)$$

Enerji kaybı ve enerji verimi iki separatör için (genleşme valfleri dahil);

$$\dot{E}_{\text{kayıp sep}} = (\dot{E}_1 + \dot{E}_6) - (\dot{E}_3 + \dot{E}_5 + \dot{E}_8 + \dot{E}_{10}) \quad (132)$$

$$\eta_{\text{sep}} = (\dot{E}_3 + \dot{E}_5 + \dot{E}_8 + \dot{E}_{10}) / (\dot{E}_1 + \dot{E}_6) \quad (133)$$

Enerji kaybı ve enerji verimi pompalar için;

$$\dot{E}_{\text{kayıp pomp}} = \dot{W}_{\text{pomp}} - (\dot{E}_{\text{out}} - \dot{E}_{\text{in}}) \quad (134)$$

$$\eta_{\text{pomp}} = (\dot{E}_{\text{out}} - \dot{E}_{\text{in}}) / \dot{W}_{\text{pomp}} \quad (135)$$

Enerji kaybı ve enerji verimi kondenser ve reinjeksiyon ünitesi için;

$$\dot{E}_{\text{kayıp kond}} = \dot{E}_{20} - \dot{E}_{19} \quad (136)$$

$$\dot{E}_{\text{kayıp rein}} = \dot{E}_{15} \quad (137)$$

6.3.2. Ekserji Analizi

Özel ekserji akışı (ψ) aşağıdaki denklemden bulunur [40];

$$\psi = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (138)$$

Denklemden T_0 , h_0 ve s_0 sırasıyla referans sıcaklığı, referans entalpiyi ve referans entropiyi göstermektedir. 0 indisi ölü hali belirtir. Özgül ekserji akış kütlesiyle çarpılarak ekserji aşağıdaki şekilde yazılır [40];

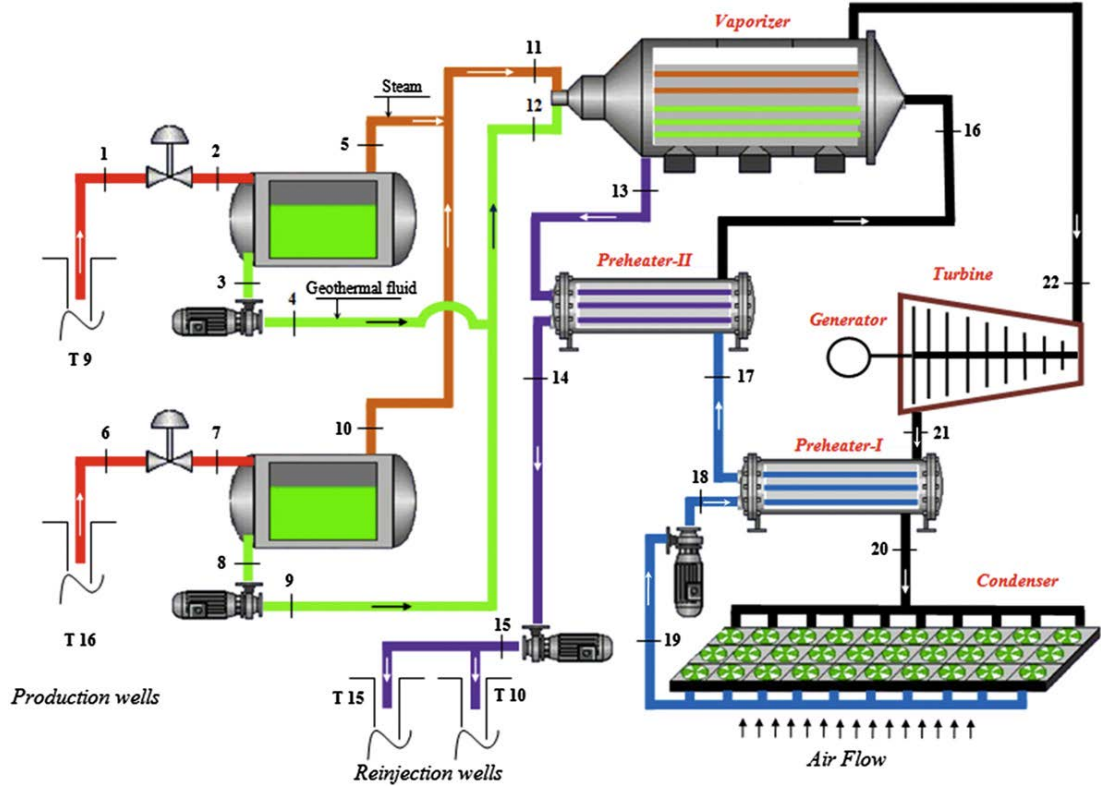
$$\dot{E}_{x_{\text{in}}} = \dot{m}_i [(h_i - h_0) - T_0(s_i - s_0)] \quad (139)$$

Net enerji santrali ekserji verimi şu şekilde yazılabilir [40];

$$\varepsilon_{\text{sis}} = \dot{E}x_{\text{net}} / \dot{E}x_{\text{in}} \quad (140)$$

$$\dot{E}x_{\text{net}} = \dot{W}_{\text{Tür}} - \dot{W}_{\text{kayıp yük}} \quad (141)$$

$$\dot{E}x_{\text{in}} = \dot{E}x_1 + \dot{E}x_6 \quad (142)$$



Şekil 22: Tuzla Jeotermal Enerji Santrali Şematik Planı [40]

İzotentan çevriminin ekserji verim;

$$\varepsilon_{\text{izo}} = \dot{W}_{\text{Tür}} / (\dot{E}x_{11} + \dot{E}x_{12}) - \dot{E}x_{14} \quad (143)$$

Ön ısıtıcılarda ekserji kayıpları;

$$\dot{E}x_{\text{ön ısı I kayıp}} = (\dot{E}x_{18} + \dot{E}x_{21}) - (\dot{E}x_{20} + \dot{E}x_{17}) \quad (144)$$

$$\dot{E}x_{\text{ön ısı II kayıp}} = (\dot{E}x_{13} + \dot{E}x_{17}) - (\dot{E}x_{14} + \dot{E}x_{16}) \quad (145)$$

Ön ısıtıcılarda ki ekserji verileri ise şu şekilde tanımlanır [30];

$$\varepsilon_{\text{ön ısı I}} = (\dot{E}x_{17} - \dot{E}x_{18}) / (\dot{E}x_{18} - \dot{E}x_{21}) \quad (146)$$

$$\varepsilon_{\text{ön ısı II}} = (\dot{E}x_{16} - \dot{E}x_{17}) / (\dot{E}x_{13} - \dot{E}x_{14}) \quad (147)$$

Türbindeki ekserji yıkımı ve ekserji verimi aşağıdaki gibidir [30];

$$\dot{E}x_{\text{Tür yıkım}} = (\dot{E}x_{22} - \dot{E}x_{21}) - \dot{W}_{\text{Tür}} \quad (147)$$

$$\varepsilon_{\text{Tür}} = \dot{W}_{\text{Tür}} / (\dot{E}x_{22} - \dot{E}x_{21}) \quad (149)$$

Vaporizördeki ekserji yıkımı ve ekserji verimi aşağıdaki gibidir [30];

$$\dot{E}x_{\text{Vap yıkım}} = (\dot{E}x_{11} + \dot{E}x_{12} + \dot{E}x_{16}) - (\dot{E}x_{13} + \dot{E}x_{22}) \quad (150)$$

$$\varepsilon_{\text{Vap}} = (\dot{E}x_{22} - \dot{E}x_{16}) / (\dot{E}x_{11} + \dot{E}x_{12} - \dot{E}x_{13}) \quad (151)$$

Separatördeki ekserji yıkımı ve ekserji verimi (genleşme valfleri dahil) aşağıdaki gibidir [30];

$$\dot{E}x_{\text{Sep yıkım}} = (\dot{E}x_1 + \dot{E}x_6) - (\dot{E}x_3 + \dot{E}x_5 + \dot{E}x_8 + \dot{E}x_{10}) \quad (152)$$

$$\varepsilon_{\text{Sep}} = (\dot{E}x_3 + \dot{E}x_5 + \dot{E}x_8 + \dot{E}x_{10}) / (\dot{E}x_1 + \dot{E}x_6) \quad (153)$$

Pompalardaki ekserji yıkımı ve ekserji verimi aşağıdaki gibidir [30];

$$\dot{E}x_{\text{Pomp yıkım}} = \dot{W}_{\text{Pomp}} - (\dot{E}x_o + \dot{E}x_i) \quad (154)$$

$$\varepsilon_{\text{Pomp}} = (\dot{E}x_o + \dot{E}x_i) / \dot{W}_{\text{Pomp}} \quad (155)$$

Kondenser ve reenjeksiyondaki ekserji yıkımı aşağıdaki gibidir [30];

$$\dot{E}x_{\text{Kond yıkım}} = \dot{E}x_{20} - \dot{E}x_{19} \quad (156)$$

$$\dot{E}x_{\text{Reenj yıkım}} = \dot{E}x_{15} \quad (157)$$

6.3.3. Termodinamik Analizi Hesaplamaları

Jeotermal analizi yapılan santral ikili dizay edilmiş ve maksimum kapasitesi 7,5 MW gücündedir. Çevreye hiçbir atık madde bırakılmamaktadır. (%100 reenjeksiyon). Santralda sıvı kaynağı sıcaklığı 175 °C'dir. Jeotermal alanda iki üretim kuyusu ve ikide reenjeksiyon kuyusu bulunmaktadır. Santralin şematik gösterimi Şekil 22 'de gösterilmiştir.

Gaz yoğunlaşmaları ve sistemde bulunan tuzların etkisi hesaplamalarda ihmal edilmiştir. Jeotermal santralde bulunan sıvı su olarak göz önüne alınmıştır. EES (Engineering Equation Solver) software program termodinamik hesaplamalarda kullanılmıştır.

Yeni EES bilgisayar programı ölçüm değerlerini kullanarak sistemin enerji ve ekserji verimi dış sıcaklığa bağlı olarak aşağıdaki formüllere göre hesaplanır.

$$\varepsilon = 47.52 - 0.0465.T - 0.00448.T^2 - 0.000079.T^3 \quad (158)$$

$$\eta = 10.94 - 0.0936.T - 0.00044.T^2 - 0.000006.T^3 \quad (159)$$

Burada ε , η ve T sırasıyla ekserji, enerji ve çevre sıcaklığını göstermektedir.

Tablo 25'te günlere göre değişen sıcaklık değerleri yukarıdaki (158) ve (159) numaralı denklemlerde yerlerine yazılarak santralimizin verim değerleri bulunur.

Tablo 37: Jeotermal Enerjisi Verimlilik Tablosu

Tarih	05 Kasım 13	06 Kasım 13	07 Kasım 13	08 Kasım 13	09 Kasım 13
Sıcaklık	10	7	12	15	9
η	%9,954	%10,26	%9,74	%9,41	%10,05
ε	%46,52	%47	%46,18	%45,54	%46,68

YEDİNCİ BÖLÜM

PROJEKSİYONLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Dünyanın sanayileşmesi ile birlikte her geçen gün artan enerji ihtiyaçlarına yönelik olarak hali hazırda bulunan fosil kaynakların tükenebilir olması ve buna alternatif olarak ortaya çıkan nükleer enerjinin Japonya'da meydana gelen kaza sonrasındagüvenlik ve zararlarının ne kadar hayati olduğunun anlaşılmasına yeni enerji kaynakları üzerinde arayışlarınhızlı bir şekilde başlatmıştır.Küresel ısınma ve iklim değişikliğine yönelik önlemlerinde öneminin artmasıtemiz enerji kaynakları olan yenilenebilir enerji kaynaklarının ve bu kaynakların enerjiye dönüştürülmesine yönelik teknolojilerin hızla önemini arttırmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının günümüzde enerji talebinin yaklaşık olarak %2,5'lik bölümünü karşılamaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından hazırlanan yayınlanan raporlarda yenilenebilir enerji kaynaklarının 2015 yılında toplam talebin %3,3'ünü karşılaması ileriki dönemlerde dahil olacak şekilde yenilenebilir enerji kaynaklarına 10,5 trilyon dolarlık yatırım gerçekleştirilmesi beklenmektedir. İleriki süre zarfında OECD ülkeleri arasında yenilenebilir enerji üretimindeki payının %25'e ulaşması beklenmektedir. Bu oranın 2023 yılında Türkiye'de %30 seviyesine kadar çıkartılması öngörülmektedir. Hava kirliliğinin baş aktörlerinden birisi olan karbondioksit oranlarının azaltılmasıihtiyacı doğrultusunda fosil yakıtlara bağımlı ülkelerde enerji arz güvenliğinin sağlanması ve yenilenebilir enerjinin orta ve uzun vadede geleneksel enerjilere kaynaklarına göre yatırımlarındaki avantajı elde edileceği beklentileri yenilenebilir enerji konusunda yatırımların ve desteklerin oluşmasını sağlamıştır. Gelişmiş ülkelerde özellikle rüzgâr, güneş, biyokütle ve hidrolik enerji gibi yenilenebilir enerji gelişmesini enerji politikalarının merkezine hızla yerleştirmiştir. 2005 yılında Türkiye'de çıkan yenilenebilir enerji elektrik üretimi doğrultusunda kullanımının giderek yaygınlaştırılması, söz konusu bu kaynakların ekonomik, güvenilir ve kaliteli biçimde ekonomiye kazandırılmasının yanında mevcut kaynaklara ek olarak

kaynak çeşitliliğinin artırılması, sera gazı emisyonlarının azaltılması, atıkların değerlendirilmesi, çevrenin korunması ve bu amaçların gerçekleştirilmesinde ihtiyaç duyulan imalat sektörünün geliştirilmesini amaçlayan yenilenebilir enerji kanunu, enerji sektörünün gelişmesinde önemli bir adımdır.

Tablo 38: Türkiye'nin Öngörülen Gelecek Projeksiyonları

Sıra no	Strateji	Amaç	Hedef
1	Enerji Arz Güvenliği	Yerli Kaynaklara Öncelik Verilmek Sureti ile Kaynak Çeşitlendirmesini Sağlamak	1- Plan dönemi içerisinde, yerli petrol, doğalgaz ve kömür arama faaliyetlerinin artırılması sağlanacaktır. 2-Yapımına başlanan yerli kömür yakıtlı termik santrallerin 2014 yılı sonuna kadar tamamlanması sağlanacaktır. 3-2014 yılına kadar nükleer santral inşasına başlanması sağlanacaktır.
2	Enerji Çeşitliliğinin Arttırılması	Yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji arzı içindeki payını artırmak	1-2012 yılı itibari ile 802,8 MW olan rüzgâr enerjisi kurulu gücünün, 2015 yılına kadar 10.000 MW'a çıkarılması sağlanacaktır. 2-2009 yılı itibari ile 77,2 MW olan jeotermal enerjisi kurulu gücünün, 2015 yılına kadar 300 MW'a çıkarılması sağlanacaktır.
3	Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Potansiyelinin Belirlenmesi	Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Uygun Yerlerde Ekipman İsrafını Önleyecek Şekilde Değerlendirilmesi	Ekonomik potansiyel oluşturan yenilenebilir enerji kaynaklarının verimlilik potansiyelinin doğru bir şekilde belirlenmesine yönelik olarak, lisans projeleri gerekli tedbirler alınacaktır.

Sosyal gelişmenin ve ekonomik kalkınmanın gereksinim duyduğu enerjinin en düşük maliyetle, güvenli ve sürekli elde edilmesi temel amaçtır. Enerji talebi karşılanırken çevresel zararların en alt düzeyde tutulması, enerjinin üretimden nihai tüketime kadar her safhada en verimli ve tasarruflu şekilde kullanılması esastır. Bu temel düşünce ışığında aşağıdaki önceliklerin sağlanması gereklidir. Bunlar;

Yerli kaynaklarımızın kullanımına öncelik verilmeli ve kaynak çeşitlendirmesini sağlanmalıdır.

Mevcut kurulu gücümüzü göz önüne alınarak enerjide artan enerji taleplerini karşılayabilmesi için iki kat artırarak 100.000 MW'a çıkarılacaktır.

Yenilenebilir enerjinin toplam enerji üretim içindeki payının %30'lara ulaşmalı ve bunun için;

Rüzgâr santrallerinin kapasitesi 20.000 MW

Güneşte 3000 W

Jeotermal enerjinin kullanıldığı santrallerin kapasitesi 600 MW seviyesine getirilecek yatırımlarının uygun yerlere yapılması gereklidir.

Türkiye'de coğrafi olarak ortalama yeryüzünün yükseltisi 1.131 metredir ve bu yüzey yapısının %55,5'i 1000 m'den yüksek alanlar kaplamaktadır. Arazisinin %64'ünün eğimi %12'nin üzerinde bulunmaktadır. Arazinin ortalama yüksekliği bir kilometrenin üstünde olan Türkiye'de akarsularının eğimleri de oldukça fazladır. Bu arazinin eğimli yapı itibarıyla hidroelektrik enerji üretimi açısından avantajlıdır. Bu bakımdan arazi yapısı enerji üretimi için uygun olan ve su rejimleri kuvvetli olan Karadeniz bölgesinde bu avantajlar değerlendirilmelidir.

Dünya hidrolik enerji üretiminin %1,5'lik kısmı Türkiye'de gerçekleştirilmektedir. Hidrolik enerji üretiminde 2012 yılında gerçekleştirilen 2808,33PJ enerji üretimi ile 2009 yılındaki üretim seviyesinin %44,4 oranında

artırıldığı görülmektedir. Önemli hidrolik kaynaklara sahip olan ülkelere göre, ülkemiz hidrolik enerji üretim kapasitesi ciddi anlamda gelişmiştir. Türkiye’de hidrolik potansiyelin yüksek olduğu Doğu Karadeniz ve diğer bölgelerimizde planlanan HES’lerin sağlıklı bir şekilde yürütülebilmesi için çevreye ilgili olarak daha fazla çalışmaların da yapılması gerekir.

Elektrik iletim sisteminin iletim ve dağıtımlarından dolayı kayıpların fazla olduğu önceki bölümlerde hesaplamalar yapılırken görmüştük. Bu kayıplarında iletim hatlarındaki iyileştirmelerin yapılarak azaltılması ile kayıplardan dolayı kazanılacak olan enerjinde kullanıma sunulması sağlanmalıdır.

Türkiye’nin enerji kullanımının dağılımı incelendiğinde özellikle sanayi konut bölgelerinin yoğunlaştığı bölgelerde enerji tüketiminin diğer bölgelere göre daha fazla olmaktadır. Bu veriler dikkate alındığında enerji üretim santrallerinin bu bölgelerdeki yerleşimi dikkate alınmalıdır. Özellikle İstanbul ile İstanbul’un doğusu ve batısında bölgesinde enerji yatırımları projeksiyonlara dahil edilmelidir. Kemerburgaz bölgesinde bulunan rüzgar santrali örnek olarak yapılan çalışmada rüzgar enerjisi için uygun olduğu bulunmuştur. Bu bölgelere yakın yerlere aynı şekilde rüzgar santrallerin artırılması gelecek projeksiyonlara dahil edilmelidir.

Türkiye’nin jeotermal enerji potansiyeli kullanımının artırılması için özellikle jeotermal enerjinin yoğun olarak var olduğu Ege Bölgesinin şehirlerinde kullanımının yaygınlaştırılması gelecek projeksiyonlara dahil edilmelidir. Şehirlerimi olan Kütahya, Afyonkarahisar, Denizli ve bu illerin ilçelerini de kapsayan çalışmalarda ısıtma sistemlerinin jeotermal kaynaklara entegre olarak geliştirilmesi enerjide dışa bağımlılığımı azaltacaktır.

Yenilenebilir enerji kaynakları alanında teknoloji geliştirme çalışmalarına ağırlık verilmelidir.

Türkiye'nin toplam yıllık ortalama güneşlenme süresi 2.640 saat, ortalama toplam ışınım şiddeti metrekarede 1,311 kWh/yıl'dır. Bu miktarın tamamından yararlanılması halinde, Türkiye'nin yıllık 190 milyar kWh'lik elektrik tüketimini karşılamak için sadece 144 km²'lik bir alan yeterli olmaktadır. Bu alanın büyüklüğü 12 km x 12 km olarak, Türkiye'nin yüzölçümünün 5000'de 1'inden daha azdır. Teorik düzeyde de olsa, bu çarpıcı rakamlardan, ülkemizin enerji sorununu çözmeye güneş enerjisi teknolojilerinin ve uygulamalarının ne denli önemli olduğu anlaşılmaktadır.

Türkiye'nin tespit edilmiş olan ekonomik hidrolik enerji potansiyeli 130 milyar kWh/yıl olup; bu potansiyelin yüzde 35'i işletim aşamasında, yüzde 9'u inşaat aşamasında, geri kalan yüzde 56'sı ise proje seviyesindedir. Organik atıklarından oluşan biyokütle potansiyeli 16.92 milyon Ton Eşdeğer Petrol (TEP) olarak hesaplanmıştır. Ancak yararlanma oranı henüz istenilen seviyelere ulaşamamıştır. Örneğin 2001 yılında kullanılan biyokütle enerjisi sadece 6.98 milyon TEP düzeyindedir. Türkiye'de önemli biyogaz ve biyoyakıt potansiyeli de bir an önce değerlendirmeyi beklemektedir. Çöp gazına dayalı lisans alan ve yapımı süren santrallerin kurulu gücü 14.6 MW, biyogaz ve biyokütle santrallerinin kurulu gücü ise 20.1 MW seviyesindedir. Rüzgâra dayalı elektrik üretim kapasitesinin 48.000 MW'lik, işletmede olan bölümünün 738 MW, inşa halindeki bölümünün ise 1.000 MW olduğu belirtilmektedir. Lisans verilen bütün projelerin toplamının 3.386MW, başvurusu uygun bulunan projelerin ise 851 MW olduğu göz önüne alındığında, 48.000 MW'lik kapasitenin % 88,8'lik bölümü ile değerlendirmeyi beklediği görülmektedir. Türkiye'nin brüt güneş enerjisi potansiyeli 87,5 milyon TEP olarak belirtilmektedir. Bunun 26,5 milyon TEP'i ısı üretimine, 8,75 milyon TEP'i ise elektrik enerji üretimine elverişli miktarlar olarak belirtilmektedir. Ancak ETKB verilerine göre Güneş enerjisi kullanımı 2007 de 420 bin tep iken 2008 de 418 bin tep olmuştur. 2008 deki 28,3 milyon TEP yerli kaynak üretimimiz içinde % 1,5'in altında pay almıştır. Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası ise; güneşten elektrik üretim potansiyelinin 380 milyar kWh/yıl olduğunu ortaya koymaktadır.

Türkiye'nin brüt teorik jeotermal ısı potansiyeli 31.500 MW- olarak belirlenmiştir. Türkiye'deki doğal sıcak su çıkışlarının 600 MW olan potansiyeli de bu rakama dahil edildiğinde toplam görünür jeotermal potansiyelimiz 3.524MW'a ulaşmaktadır. Ülkemizdeki jeotermal kaynakların % 95'i ısıtmaya uygun sıcaklıkta olup (400°C'nin üzerinde toplam 140 adet jeotermal alan) çoğunlukla Batı, Kuzeybatı ve Orta Anadolu'da bulunmaktadır. Halihazırdaki kapasitesi 500 MW olarak hesap edilen, yeni sondajlarla 2.000 MW'ye çıkması beklenen jeotermale dayalı elektrik üretim kapasitesine karşılık lisans alan yatırımların kurulu gücü yalnızca 94,4 MW'dir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı verilerine göre, 2006 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen toplam enerji miktarı 5 milyon 383 bin TEP olarak gerçekleşmiştir. Hidroelektrik ve jeotermalkaynaklardan elektrik olarak toplam 3 milyon 886 TEP, biyoyakıttan 2 bin TEP, rüzgardan 11 bin TEP, jeotermal kaynaklardan ısı olarak 1 milyon 81 bin TEP ve güneşten ısı olarak 403 bin TEP enerji elde edilmiştir. Aynı yıl içerisinde Türkiye'nin toplam enerji tüketiminin yaklaşık 100 milyon TEP olduğu göz önüne alındığında; hidro enerji hariç; tüm yenilenebilir enerji kaynaklarıyla üretilen enerji %1.5 gibi çok düşük bir seviyede kalmıştır.

Tablo 39: Türkiye'nin Enerji Analizi

Sıra No	Güçlü Yanlar	Zayıf Yönler	Fırsatlar	Tehditler
1	Türkiye'nin güçlü sanayisi ile enerji kullanma potansiyeli	-Enerji kaynakları bakımından dışa bağımlılığı -Doğalgaz ve petrol üretiminin çok kısıtlı olması	-Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynaklarının güçlü potansiyeli -Linyit yataklarının varlığı	Madenlerde karşılaşılan kazalar
2	Rüzgâr potansiyelinin varlığı	Rüzgâr santrallerinin tüm bölgelere yayılamaması	Yeni rüzgâr santralleri yatırımları	Yatırım maliyetlerinin yüksekliği
3	Hidrolik santrallerin kurulu olması	Türkiye toplam kurulu gücü göz önüne alındığında HES yapımına uygun santrallerin payının düşük olması	Yeni kurulacak olan HES'lerin enerji üretimine katılması	Küresel ısınmaya bağlı su rezervlerinin azalması ve çevre duyarlılığı nedeniyle STÖ tarafında HES'lerin yapımının engellenme çabası
4	Türkiye'de güneş ışığından en fazla faydalanan ülkeler arasında olması	Fotovoltaik teknolojisi ve destekğin istenilen seviyede olmaması	Güneş enerjisinden elektrik elde etmek üzere büyük yatırımların bekleniyor olması	Güneş enerjisinden elektrik elde etme maliyetinin yüksekliği
5	Jeotermal enerjinin varlığı	Jeotermal tesislerinin yetersiz oluşu	Jeotermal enerjiden termal turizm ve ısınmada faydalanma fırsatı	

Türkiye'nin gelecek projeksiyonlarını gerçekleştirebilmesi için 2023 yılına yaklaştığımız bu günlerde yukarıda bahsedilen potansiyelin kullanımına yönelik olarak yatırımların hızlı ve doğru bir şekilde hayata geçirilmesi esastır. Tüm bunların yanında Türkiye'nin enerji konusunda var olan potansiyeli ile ilgili avantaj ve dezavantajları yukarıdaki tablo ile özetlenmiştir.

SONUÇ

Coğrafi konumu itibariyle Türkiye diğer ülkelerle karşılaştırıldığında özellikle güneş enerji bakımından çok avantajlıdır. Güneşlenme süresi ve toplam radyasyon yoğunluğu dikkate alınırsa değerlerin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Yenilenebilir enerjinin temel kaynağı olan güneş enerjisinin büyük miktarda var olduğu ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin olarak kullanılması enerji çeşitliliğini arttırmak ve gelecek nesillere temiz birdünya bırakabilmek için büyük önem taşımaktadır.

Rüzgâr enerjisi termodinamik analiz yöntemlerine bir önceki bölümde ayrıntılı olarak incelenmiştir. Kinetik enerji değişimi Grafik 10'da gösterilmiştir. Kinetik enerji değişimi 2050 kW'da sabit kalmıştır. Bunun yanında rüzgâr hızı arttıkça rüzgâr gücü katlanarak artmıştır. Elektrik üretilebilen bölge rüzgâr türbininin cut-in ve cut-out hızı değerleri arasında kalmıştır. Rüzgâr hızının yaklaşık 7,5 m/s olduğunda maksimum güç elde edilebilmektedir. Örnek olarak seçilen sistemimizden elde edilen değerler ile Adel Mohammed Redha, İbrahim Dinçer ve Mohamed Gadalla tarafından Abu Dabi'de yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar birbirlerini destekledikleri görülmektedir.

Günümüzde güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin genellikle günlük kullanım sıcak suyu ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla kullanılmaktadır. Depo suyu sıcaklıklarındaki küçük farklar büyük önem taşımaktadır. Depo kapasitesinde sistemin verimine etkisinde yüksek olduğu görülmektedir. Depo kapasitesi arttıkça verimde düşüş olmaktadır. Sistemimizin verim değerlerinde görüldüğü gibi performans değerleri sıcak su ihtiyacını karşılamak için yeterlidir. Bu çalışma sonucunda tam mükemmel olmayan kolektör ve depolama tanklarındaki ekserji kayıplarından dolayı kolektör ve depolama tankının seçiminin çok önemli olduğu görülmüştür. Sistemin deposu dış ortam şartlarından kaynaklanan ısı kayıpları ve diğer olumsuz etkileri indirmek için en uygun yere yerleştirilmelidir. Sistemimizin performansı Sezai

Yılmaz ve Emrah Deniz tarafından Karabük ilinde yapılan çalışma ile karşılaştırıldığında verim değerlerinde ışınım şiddeti ile doğru orantılı olarak benzer şekilde değiştiği görülmüştür. Depo kapasiteleri her iki çalışmada 45 lt olarak alınmıştır. Uygun sistemler seçildiğinde güneş enerjili ısıtma sistemlerinin uygulamada son derece faydalıdır ve bu sistemlerin kurulum maliyeti dışında herhangi bir işletme ve bakım maliyeti gerektirmeyerek kendi kendine amorti edebilmektedirler.

Türkiye’de bugüne kadar yapılan araştırmalarda 280’e yakın alanda jeotermal kaynağın olduğu tespit edilmiştir. Bunlar içinde sıcaklık değeri bakımından 25’e yakın kaynağın uygun olduğu ve bunlar doğrudan kullanımda ve elektrik üretiminde yararlanılmaktadır.

Tuzla kurulu olan jeotermal güç santrali için farklı günlerde ölçülen dış sıcaklığa göre santralin verimi araştırılmıştır. Santralin verimine iki ana unsur olarak dış ortam sıcaklığı ve çalışma koşullarının etkilediği görülmüştür. Elde edilen verim değerlerine bakıldığında ekserji veriminin enerji veriminden yaklaşık olarak 4,6 kat daha büyük olduğu görülmektedir. C. Coşkun, Z.Oktay ve İ. Dinçer tarafından yapılan çalışmada bulunan değerler ile çok yakın bulunmuştur.

Büyükölçü olarak bakıldığında jeotermal kapasitenin oldukça yüksek olduğu ülkemizde jeotermal kaynakların verimli kullanımını arttırmak için değişik jeotermal uygulamalarına örneğin, sera ısıtması, termal tesislerde, jeotermal ısı pompası kullanım büyük önem taşımaktadır.

Jeotermal sistemlerin etkinliğini arttırmak için çeşitli üretim sistemleri temel alınarak ekonomik analizleri gelecekte uygulamalarda göz önüne alınmalıdır.

KAYNAKÇA

- [1] ÇAPIK, Mehmet;"Present situation and potential role of renewable energy in Turkey";**Renewable Energy**sayı 46, 2012, s.01-13.
- [2]GENÇOĞLU, Muhsin, Tuncay, "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Açısından Önemi"; Elazığ,t.y.
- [3] "T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2012 Yılı Faaliyet Raporu"; ETKB Strateji Geliştirme Başkanlığı, 2012, s.5.
- [4] ÇALIŞKAN, Mustafa; "**Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli veMevcut Yatırımlar**" Rüzgâr Enerjisi ve Santralleri Semineri R.Koç Müzesi, İstanbul, 2011.
- [5] KILIÇ, Bayram; "Evaluating of Renewable Energy Potential in Turkey",**International Journal Of Renewable Energy Research, IJRER**, 2011, s.259-264.
- [6] S.R. Park, A.K. PANDEY, V.V. Tyagi, S.K. Tyagi;"Energy and exergy analysis of typical renewable energy systems"; **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2013, s.105-123.
- [7] SAĞLAM, Mustafa, UYAR, Tanay Sıdkı; "Dalga Enerjisi ve Türkiye'nin Dalga Enerjisi Teknik Potansiyeli", Göztepe, İstanbul, 2006, Marmara Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü.
- [8] SATMAN, Abdurrahman; "Türkiye'nin Jeotermal Enerji Potansiyeli", **Jeotermal Enerji Semineri**, s.157-172. Ty.
- [9] HEPBASLI, Arif, UTLU, Zafer; "Analyzing the Energy Utilization Efficiency of Renewable Energy Resources",**Energy Sources**,2006, s.355-366
- [10] UTLU, Z. HEPBASLI, A; "Analyzing the Energy Utilization Efficiency of Renewable Energy Resources. Part 1: Energy Analysis Method" , **Energy Source, Part B: Economics, Planning, and Policy**, 2006, s.341-353
- [11] UTLU, Z. HEPBASLI, A; "Analyzing the Energy Utilization Efficiency of Renewable Energy Resources. Part 2: Exergy Analysis

Method” , **Energy Source, Part B: Economics, Planning, and Policy**, 2006, s.341-353

[12] BAYINDIR, S. Ahmet; **Yenilenebilir Enerji Kaynakları Avrupa Birliği ve Türkiye Uygulamaları – Yüksek Lisans Tezi**, İstanbul, İstanbul Üniversitesi / Sosyal BilimleriEnstitüsü / İktisat Politikası Ana Bilim Dalı, 2010

[13] GÜLAY, A.Nuri; **Yenilenebilir Enerji Kaynakları Açısından Türkiye'nin Geleceği ve Avrupa Birliği ile Karşılaştırılması – Yüksek Lisans Tezi**, İzmir, Dokuz Eylül Üniversitesi / Sosyal BilimleriEnstitüsü / İşletme Ana Bilim Dalı, 2008

[14] GÖKDEMİR, Murat, KÖMÜRCÜ, M.İhsan, EVCİMEN, Taylan, “ Türkiye’de Hidrolik Enerji ve HES Uygulamalarına Genel Bakış “ **THM-471-2012/1**,2012

[15] YALÇINKAYA, Raşit; **Jeotermal Kaynaklı Güç Üretim Sisteminin Termodinamik Analizi - Yüksek Lisans Tezi**, Ankara, Gazi Üniversitesi / FenBilimleriEnstitüsü / MakineMühendisliği Anabilim Dalı, 2013.

[16] Vikipedi, Özgür Ansiklopedi, www.wikipedia.org, 2014

[17] International Energy Agency <http://www.iea.org/statistics>, 2014

[18] GEDİK, Engin, KEÇEBAŞ, Ali, ÖZ, Ethem Sait, “Havalı Güneş Kolektörlerinde Farklı Tip Emici Plakaların Performansa Olan Etkisi”, Gazi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 2008, Cilt 23, No 4, s.777-784.

[19] “Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği”; Resmi Gazete, sayı 27075, 05.12.2008

[20] Mevlana Kalkınma Ajansı, TR52 Düzey 2 Bölgesi (Konya-Karaman) 2023 Vizyon Raporu (EnerjiSektörü), 2011.

[21] T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, Doğal Gaz Piyasası Daire Başkanlığı, Doğal Gaz Piyasası Sektör Raporu, Ankara, 2013.

[22] KILIÇ, Fatma, Canka; “Recent Renewable Energy Developments, Studies, Incentive in Turkey”, **Energy Science and Technology Part A: Energy Science and Research**, 2011, s.37-54.

- [23] Türkiye Rüzgâr Enerji Birliği, Türkiye Rüzgâr Enerji Raporu, Yarı yıl Raporu, Temmuz 2013, s.6-7
- [24] Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, www.dsi.gov.tr, 2014
- [25]TMMOB Makine Mühendisleri Odası; “Türkiye’nin Enerji Görünümü” **Oda Raporu**, Ankara,Yayın Numarası MMO/588, 2. Baskı, 2012.
- [26] TOPAL M., ARSLAN E., K., “Biyokütle Enerjisi ve Türkiye”, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES’2008, İstanbul, 2008.
- [27] T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, Faaliyet Raporu, Ankara, 2012.
- [28] HEPBASLI, A UTLU, Z., “Evaluating the Energy Utilization Efficiency of Turkey’s Renewable Energy Source During 2001” , **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, 2004, s.237-255
- [29]HEPBASLI, A UTLU, Z., “Alalysis of Energy and Exergy Use of the Turkish Residentail-Commercial Sector” , **Building And Environment**, 2005, s.641-655
- [30] TEKİN, Serdar; **Merkezi Isıtma Sisitemlerinin Termodinamik Analizi ve Çeşitli Parametre Değişimlerinin Enerji Verimliliği ve Yakıt Tüketimşne Etkisinin İncelenmesi-YüksekLisansTezi**, İstanbul, İstanbul Aydın Üniversitesi / FenBilimleriEnstitüsü / MakineMühendisliği Anabilim Dalı, 2013.
- [31] BÜYÜKTÜR, A.Rasim; **Termodinamiğin Temel Yasaları**, İstanbul, Birsen Yayınevi, 4. baskı, 1995.
- [32]TOKLU, E,KAYGUSUZ, K.;"Present Situation and Future Prospect of Energy Utilization in Turkey" **Journal of Engineering Research and Applied Science**, 2012, s.73-86.
- [33] Szargut, Jan; **Exergy Method Technical and Ecological Applications**, Great Britain, Silesian University of Technology, 2005
- [34] WALL, Göran; EXERGETIC, Sweden, Bucaramanga, <http://exergy.se/>, 2009

- [35]HEPBASLI, Arif; “ A Key Review On Exergetic Analysis and Assessment of Renewable Energy Resources for a Sustainable Future” **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, 2008, s.591-663
- [36] REDHA, Adel Mohammed, DİNÇER, İbrahim, GADALLA, Mohamed ; "Thermodynamic performance assessment of wind energy systems: An application", **Energy**, 2011, s.4002-4010.
- [37] ENERCON, Energy for the World, Rüzgâr Enerji Sistemleri, www.enercon.de/en-en/ 2014.
- [38] YILMAZ, Sezai, DENİZ, Emrah; “Çalışma Akışkanı Olarak R-134a ve R-404a Kullanılan Çift Fazlı Güneş Enerjili Sıcak Su Üretme Sisteminin Tasarımı ve Deneysel Olarak İncelenmesi” **VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi**, Poster Bildirisi, s.1027-1033.
- [39] E.C.A. Güneş Enerji Sistemleri, E.C.A. Güneş Kolektörleri, 2013, s.5
- [40] COŞKUN, C., OKTAY, Z., DİNÇER, İ; “Performance evaluation of a power plant”, **Applied Thermal Engineering**, 2011, s.4074-4082.
- [41]BARIŞ, Kemal, KÜÇÜKALİ, Serhat;"Availibility of renewable energy sources in Turkey : Current situation, potential, government policies and the EU perspective" ;**Energy Policy**,2012, s.377-391.
- [42] DİNÇER, İbrahim; “**The Role of Exergy in Energy Policy Making**”, Energy Policy, cilt no 30, 2002, s. 137-149.
- [43] “T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2013 Yılı Bütçe Sunumu Raporu”; **ETKB Strateji GeliştirmeBaşkanlığı**, 2012, s.14.
- [44] Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Araştırma Dairesi Başkanlığı, www.mgm.gov.tr, 2014.
- [45] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, www.eie.gov.tr, 2014.
- [46] Türkiye İstatistik Kurumu , www.tuik.gov.tr, 2014.

ÖZET

“Türkiye’nin Yenilenebilir Enerji Potansiyelinin Termodinamik Analiz Yöntemi İle İncelenerek, Yenilenebilir Enerji Kullanımının Gelecek Projeksiyonlarının Değerlendirilmesi” konulu tezimin temel amacı yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji ve ekserji verimlilikleri incelenerek ülkemiz açısından en uygun kullanım şartlarının belirlenmesidir.

Tezimin içeriğinde Türkiye’de fosil ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanım durumu ve kapasitesi anlatılmıştır. Türkiye’de mevcut olan yenilenebilir enerji kaynaklarının varlığı ve kullanım durumu ayrıntılı olarak incelenmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgâr, güneş ve jeotermal enerji ile ilgili örnekler üzerinden termodinamik analiz yapılmıştır. Enerji ve ekserji verimlilikleri bu kaynaklar için hesaplanmış ve sayısal sonuçlar tablolar halinde verilmiştir.

Enerji çeşitliliğinin artırılması, dışa bağımlılığın azaltılması ve daha yaşanılabilir bir dünyayı gelecek nesillere bırakabilmemiz için yenilenebilir enerji kaynaklarının son derece büyük önem taşıdığı görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji, enerji analizi, ekserji analizi, enerji kullanımı, enerji verimliliği,

ABSTRACT

The thesis named "Turkey's Renewable Energy Potential is Examined With Thermodynamic Analysis Method, The Use of Renewable Energy Evaluate of Future Projections" is main purpose of my thesis on energy and exergy efficiency of renewable energy sources in Turkey in terms of examining is to determine the most use of suitable conditions.

In the context of my thesis fossil fuels and renewable energy sources in Turkey which are described capacity use cases. The presence of existing renewable energy sources in Turkey and use cases have been studied in detail. Renewable energy sources, which are wind, solar and geothermal energy are conducted through thermodynamic analysis examples. Energy and exergy efficiencies calculated for these resources and numerical results are given in tables.

To increase the diversity of energy, reducing dependence on foreign and more sustainable world for future generations to leave renewable energy sources importance is seen that extremely large.

Keywords: renewable energy, energy analysis, exergy analysis, energy use, energy efficiency,

