

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI  
KULLANIMI İLE BÖLGESEL ÖLÇEKTE  
SERA GAZI EMİSYONU AZALTIMI İÇİN  
ÖRNEK BİR ÇALIŞMA

Bilal YAYLALI

Yüksek Lisans Tezi

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak – 2008

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI KULLANIMI İLE  
BÖLGESEL ÖLÇEKTE SERA GAZI EMİSYONU AZALTIMI İÇİN  
ÖRNEK BİR ÇALIŞMA

Bilal YAYLALI

Dumlupınar Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Mustafa Arif ÖZGÜR

Ocak – 2008

**KABUL VE ONAY SAYFASI**

Bilal YAYLALI'nın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI KULLANIMI İLE BÖLGESEL ÖLÇEKTE SERA GAZI EMİSYONU AZALTIMI İÇİN ÖRNEK BİR ÇALIŞMA başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

.... / .... / ....

Üye : Yrd.Doç.Dr. Mustafa Arif ÖZGÜR (Danışman)

Üye : Prof.Dr. Ramazan KÖSE

Üye : Yrd.Doç.Dr. Eyüp GÜLBANDILAR

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun .... / .... / .... gün ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. M. Sabri ÖZYURT  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI KULLANIMI İLE BÖLGESEL ÖLÇEKTE SERA GAZI EMİSYONU AZALTIMI İÇİN ÖRNEK BİR ÇALIŞMA

Bilal Yaylalı

Makine Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2008  
Tez Danışmanı: Yrd.Doç.Dr. Mustafa Arif ÖZGÜR

### ÖZET

Ana kaynağı yanma olayı olan küresel ısınma, modern hayatın getirdiği sorunlardan birisidir. Kentlerde yaşanan hava kirliliğinin, dolayısıyla küresel ısınmanın en önemli nedenlerinden biri de, konutların ısı ihtiyacını karşılayan cihazlardan, ayrıca kükürt, kül ve nem oranı yüksek, fakat ısı değeri düşük olan kömürlerin kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Ülke çapında pek çok ilde olduğu gibi Kütahya ilinde de hava kirliliği yoğun olarak yaşanmakta, emisyonların yüksek olması sebebiyle şehrin küresel ısınmaya katkısı da yüksek olmakta, başta insan sağlığı olmak üzere tüm çevre olumsuz etkilenmektedir.

Kütahya’da 365 gün 24 saat katı ve gaz yakıt kullanılarak elde edilen sıcak su kentin yoğun bir hava kirliliği ile karşı karşıya gelmesine sebep olmakta, dolayısıyla bu durum Kütahya’nın emisyon değerlerini arttırmaktadır. Kütahya’nın yıllık sıcak su ihtiyacının katı ve sıvı yakıtlar yerine; rüzgâr, jeotermal ve güneş enerjisi gibi yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarıyla karşılanması, bunların kullanımından doğan sera etkisi, küresel ısınma ve asit yağmurları gibi çevre sorunlarının önlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada; Kütahya iline ait 1940–2002 yılları arasında ölçülmüş sıcaklık değerlerine göre hazırlanmış aylık ortalama sıcaklık verileri kullanılarak, Kütahya ili yıllık sıcak su ihtiyacı belirlenmiştir. Buna göre mevcut ihtiyaç için seçilmiş farklı fosil kaynaklar temel alınarak Kütahya’da fosil kaynakların meydana getirdiği sera gazı salım miktarları hesaplanmıştır. Bu amaçla Kütahya’da bölgesel ölçekte sera gazı emisyonu azaltımına bir katkı sağlanması hedeflenmiş, alternatif enerji kaynakları kullanılarak sıcak su eldesi için elektrik üretimi yapılması durumunda, farklı yenilenebilir enerji kaynakları için kurulu güçler hesaplanmış ve ortalama enerji üretim maliyetleri karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Küresel Isınma, Kütahya, Sera Gazı Emisyonları, Yenilenebilir Enerji Kaynakları.

## **A SAMPLE STUDY TO REDUCE GREENHOUSE GAS EMISSION IN REGIONAL SCALE BY USING RENEWABLE ENERGY SOURCES**

Bilal Yaylali

Mechanical Engineering, M.S. Thesis, 2008

Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mustafa Arif ÖZGÜR

### **SUMMARY**

Global warming, of which main source is burning event, is one of the problem which modern life has caused. Air pollution seen in cities, one of the main reasons for global warming, is caused by the devices used to heat the buildings, also by the use of low calori ed coals with high ratio in sulfur, ash and humidity. The air pollution is seen densely in Kutahya, as in many cities of Turkey. Since the emissions are in high amounts, its contribution to global warming is too much, and it has considerably harmful effects on the environment and human health. Although many different factors play important roles for the air pollution in Kutahya city center, the main factor is burning fossil fuels and meteorological conditions effects on pollution dispersion.

Using hot water supplied by burning solid and gas fuels for 365 days – 24 hours in Kutahya makes the city come face to face with dense air pollution; consequently, this situation increases the emission values of Kutahya. So, it is important to use new and renewable energy sources, such as wind, geothermal, and solar energy, instead of using solid and liquid fuels for supplying hot water in the aim of reducing the usage of fossil fuels, hence, for solving the environmental problems, such as acid rains, global warming and green house effect caused by fossil fuels. In this study, the need of annual hot water of the city Kutahya is determined by using monthly temperature average data prepared by means of the measured temperature values between the years 1940–2002. Hence, the amount of green house gas emission caused by fossil fuels in Kutahya is calculated on the bases of different selected fossil sources. The main aim of this study is to reduce the greenhouse gas emission. For this purpose, required power capacity to get hot water has been calculated in the case of using different renewable energy sources. Finally, the average costs of energy generation have compared in each other for considered resources.

**Keywords:** Global Warming, Greenhouse Gas Emission, Kutahya, Renewable Energy Sources.

## TEŞEKKÜR

Çalışmalarım sırasında bana ışık tutan ve tez çalışmam boyunca ilgi ve desteğini esirgemeyen, kişiliğiyle kendime örnek edindiğim tez danışmanım Yrd.Doç.Dr. Mustafa Arif ÖZGÜR'e teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmalarına başladığım andan itibaren desteğini sürekli yanımda hissettiğim, bana hiçbir fedakarlıktan kaçınmayarak her konuda yardımcı olan, ideal bir öğretici olarak gördüğüm ve örnek aldığım çok değerli hocam Prof.Dr. Ramazan KÖSE'ye şükranlarımı sunarım.

Bu çalışmanın çeşitli safhalarında benden yardımlarını esirgemeyen Dumlupınar Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü hocalarıma da ayrıca teşekkür eder, maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen ve beni teşvik eden babam ve anneme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	iv
SUMMARY.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI.....	11
2.1. Dünya Yenilenebilir Enerji Kaynakları Potansiyeli.....	13
2.2. Türkiye Yenilenebilir Enerji Kaynakları Potansiyeli.....	14
3. KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN ULUSLARARASI ETKİLERİ.....	27
3.1. İklim Sistemi ve Değişimi.....	27
3.2. Dünya ve Türkiye’de iklim değişimi ve CO <sub>2</sub> emisyonları.....	31
3.3. İklim Değişikliği ve Kyoto Protokolü.....	36
3.4. Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve CO <sub>2</sub> İlişkisi.....	40
4. MATERYAL ve METOT.....	46
4.1. Giriş.....	46
4.2. Yakıtlar ve Yanmanın Temel Prensibi.....	48
4.3. Kütahya’da Kullanılan Yakıtlar ve Özellikleri.....	49
4.4. Kütahya’da Sıcak Su Kullanımı.....	52
4.5. Materyal.....	53
4.6. Yöntem.....	55
4.6.1. Gerekli sıcak su temini için yakıt miktarlarının hesaplanması.....	58
4.6.2. Seyitömer, Tunçbilek ve ithal kömür için yanma hesapları ve emisyonları.....	59
4.6.3. Doğalgazın yanma hesapları ve emisyonları.....	62

**İÇİNDEKİLER (devam)**

	<b><u>Sayfa</u></b>
5. BULGULAR ve DEĞERLENDİRME.....	65
5.1. Emisyonlara Ait Bulgular.....	65
5.1.1. Yanma reaksiyonları sonucu atmosfere salımı gerçekleşen gazların emisyon değerleri.....	67
5.1.1.1. Seyitömer kömürüne uygulanan yanma reaksiyonları sonucu atmosfere salımı gerçekleşen gazların emisyon değerleri.....	67
5.1.1.2. Tunçbilek kömürüne uygulanan yanma reaksiyonları sonucu atmosfere salımı gerçekleşen gazların emisyon değerleri.....	70
5.1.1.3. İthal kömüre uygulanan yanma reaksiyonları sonucu atmosfere salımı gerçekleşen gazların emisyon değerleri.....	72
5.1.1.4. Doğalgaza uygulanan yanma reaksiyonları sonucu atmosfere salınımı gerçekleşen gazların emisyon değerleri.....	75
5.1.2. Salınan emisyonların genel değerlendirilmesi.....	77
5.2. Kütahya Yıllık Sıcak Su Tüketimine Karşılık Gelen Isıl Değerin Enerji Amaçlı Hesaplanması.....	79
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	83
6.1. Sonuçlar.....	83
6.2. Öneriler.....	88
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	91
ÖZGEÇMİŞ	



## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Türkiye’de yıllara göre yerli ve ithal kaynaklardan yapılan genel enerji arzı.....	3
1.2. Türkiye’nin 1990-2006 yılları arası elektrik enerjisi ithalat-ihracatı.....	5
1.3. CO <sub>2</sub> emisyonlarının 1973 ve 2004 yılı yakıt payları.....	10
2.1. Türkiye jeotermal haritası.....	22
2.2. Türkiye rüzgâr atlası.....	25
3.1. Dünyanın dört yüz bin yıllık atmosferdeki CO <sub>2</sub> miktarı ve sıcaklık değişimi.....	29
3.2. 1973 ve 2004 CO <sub>2</sub> emisyonlarının bölgesel payları.....	31
3.3. Türkiye’nin 2001-2005 yılları arasındaki CO <sub>2</sub> emisyonları.....	36
3.4. İklim değişikliği konulu uluslararası görüşmeler süresince 1979-2005 dönemindeki önemli dönüm noktaları ve gelişmeler.....	37
3.5. Üretilen kWh elektrik başına sera gazı (CO <sub>2</sub> ) emisyon aralıkları.....	41
3.6. Elektrik üretim zincirinde ortaya çıkan sera gazı emisyonları.....	43
4.1. Kütahya’nın 62 yıllık ortalama sıcaklık değerleri.....	54
4.2. Bilgisayar program akış şeması.....	57
5.1. Seyitömer kömürü kullanılması durumunda salımı gerçekleşen aylık CO <sub>2</sub> emisyonu.....	68
5.2. Seyitömer kömürü kullanılması durumunda salımı gerçekleşen aylık H <sub>2</sub> O emisyonu.....	69
5.3. Seyitömer kömürü kullanılması durumunda salımı gerçekleşen aylık SO <sub>2</sub> emisyonu.....	69
5.4. Tunçbilek kömürü kullanılması durumunda salımı gerçekleşen aylık CO <sub>2</sub> emisyonu.....	71
5.5. Tunçbilek kömürü kullanılması durumunda salımı gerçekleşen aylık H <sub>2</sub> O emisyonu.....	71
5.6. Tunçbilek kömürü kullanılması durumunda salımı gerçekleşen aylık SO <sub>2</sub> emisyonu.....	72
5.7. İthal kömür kullanılması durumunda salımı gerçekleşen aylık CO <sub>2</sub> emisyonu.....	73
5.8. İthal kömür kullanılması durumunda salımı gerçekleşen aylık H <sub>2</sub> O emisyonu.....	74
5.9. İthal kömür kullanılması durumunda salımı gerçekleşen aylık SO <sub>2</sub> emisyonu.....	74
5.10. Doğalgaz kullanılması durumunda salımı gerçekleşen aylık CO <sub>2</sub> emisyonu.....	76
5.11. Doğalgaz kullanılması durumunda salımı gerçekleşen aylık H <sub>2</sub> O emisyonu.....	76
5.12. Yakıt türüne göre yıllık salımı gerçekleşen CO <sub>2</sub> emisyonu.....	77
5.13. Yakıt türüne göre yıllık salımı gerçekleşen H <sub>2</sub> O emisyonu.....	78

**ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**

<b><u>Sekil</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
5.14. Yakıt türüne göre yıllık salımı gerçekleşen SO <sub>2</sub> emisyonu.....	78
6.1. Dört farklı yakıt türüne uygulanan yanma reaksiyonları sonucu atmosfere salımı gerçekleşen yıllık emisyonlar.....	84
6.2. Farklı fosil yakıt kullanılması durumunda salımı gerçekleşen CO <sub>2</sub> emisyonu.....	85
6.3. Farklı fosil yakıt kullanılması durumunda salımı gerçekleşen H <sub>2</sub> O emisyonu.....	86
6.4. Farklı fosil yakıt kullanılması durumunda salımı gerçekleşen SO <sub>2</sub> emisyonu.....	87

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Türkiye'nin yıllara göre birincil kaynaklardan yapılan genel enerji arzı.....	2
1.2. Türkiye'nin yıllara göre birincil kaynaklardan yapılan genel enerji arzının paylara göre dağılımı.....	2
1.3. Türkiye kurulu güç ve elektrik üretiminin yıllar itibariyle gelişimi.....	4
1.4. Türkiye'nin 2020 yılı enerji üretim ve tüketim durumu.....	5
1.5. Enerji talebinin kaynaklara göre dağılımı.....	6
1.6. Kaynaklara göre Türkiye elektrik enerjisi projeksiyonu.....	7
1.7. Türkiye elektrik enerjisi projeksiyonunun kaynaklara göre payları.....	7
2.1. Yenilenebilir enerji kaynaklarının sınıflandırılması.....	12
2.2. 2005 yılı sonu itibariyle dünya yenilenebilir enerji kaynakları üretim kapasitesi	14
2.3. Türkiye'nin yenilenebilir enerji potansiyeli.....	16
2.4. Türkiye biyokütle enerji potansiyeli.....	17
2.5. Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli.....	19
2.6. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı.....	19
2.7. Dünya ve Türkiye hidroelektrik potansiyeli.....	20
2.8. Türkiye'de işletmede ve inşa halinde bulunan barajlar.....	21
2.9. Türkiye'de elektrik üretimine uygun jeotermal sahalar.....	23
2.10. Bölgelere göre ortalama rüzgâr gücü yoğunluğu ve hızları.....	25
2.11. Türkiye'nin kurulu rüzgâr gücü.....	26
3.1. İnsan etkinliklerinden etkilenen önemli sera gazlarına ilişkin özet bilgiler.....	28
3.2. İklim değişkenliği, aşırı iklim olayları ve etkileriyle ilgili örnekler.....	30
3.3. Toplam sera gazı emisyonları.....	32
3.4. Sektörlere göre toplam sera gazı emisyonları.....	32
3.5. Doğrudan sera gazı emisyonlarının sektörel dağılımı.....	34
3.6. 1990-2005 yılları arasında Türkiye'nin CO <sub>2</sub> emisyonları.....	35
3.7. Kyoto protokolünde yer alan Ek I ve Ek II ülkeleri.....	39
3.8. Güç santrallerinin karşılaştırılması.....	42
3.9. Sera gazı emisyonunu etkileyen faktörler.....	44
3.10. 12 TWh elektrik üreten güç istasyonlarının havaya verdiği CO <sub>2</sub> miktarlarının karşılaştırılması.....	45
3.11. Sıradan bir ailenin yıllık CO <sub>2</sub> emisyonları.....	45
4.1. Seyitömer kömürünün kimyasal analizi.....	49

## ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.2. Tunçbilek kömürünün kimyasal analizi.....	50
4.3. Satışa sunulan ısınma amaçlı ithal kömürün özellikleri.....	50
4.4. Isınma amaçlı kullanılacak yerli linyit kömürlerin özellikleri.....	51
4.5. Kütahya’da kullanılan doğalgazın kimyasal analizi.....	52
4.6. Kişi başına düşen ortalama sıcak su tüketimi.....	53
4.7. Kömürlerin ve doğalgazın alt ısı değerleri ve kazan verimleri.....	54
4.8. Kömürlerin elementel analizi.....	55
5.1. Kişi ve il bazında aylık sıcak su ihtiyacına karşılık gelen ısı değerleri.....	65
5.2. Kütahya ili aylık sıcak su ihtiyacını karşılamak için gerekli yakıt miktarları.....	66
5.3. Seyitömer kömürünün aylık emisyon oranları.....	67
5.4. Tunçbilek kömürünün aylık emisyon oranları.....	70
5.5. İthal kömürün aylık emisyon oranları.....	73
5.6. Doğalgazın aylık emisyon oranları.....	75
5.7. Kütahya’nın yıllık sıcak su tüketiminden kaynaklanan sera gazı salım miktarları.....	77
5.8. Sıcak su ihtiyacını karşılamak için kurulması önerilen yenilenebilir santrallerin kurulu güçleri.....	80
5.9. Toplumsal maliyet birim değerleri.....	80
5.10. Enerji kaynaklarının birim enerji maliyeti.....	81
5.11. Enerji üretim maliyetleri ve toplumsal maliyetlerin toplamı.....	81
6.1. Kütahya’nın yıllık sıcak su tüketiminden kaynaklanan sera gazı salım miktarlarının yıllık değerleri.....	84

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
$B_y$	İstenilen ayın yakıt miktarı (Kömür için kg/ay, doğalgaz için Nm <sup>3</sup> /ay)
$c$	Suyun özgül ısısı (kJ/kg °C)
$C$	Karbon
$CFC_{11}$	Kloroflorokarbon
$CH_4$	Metan
$CO$	Karbonmonoksit
$CO_2$	Karbondioksit
$D$	Seçilen ayda sıcak su kullanımında tüketilen $CH_4$ 'ün kmol karşılığı
$gC_{eq}/kWh$	kWh başına gram karbon eşdeğeri sera gazı
$H_2$	Hidrojen molekülü
$H_2O$	Su
$HFC_s$	Hidroflorokarbonlar
$H_u$	Yakıtın alt ısıl değeri (Kömür için kJ/kg, doğalgaz için kJ/Nm <sup>3</sup> )
$k$	Sıcak su kullanım katsayısı
$M$	Kütle
$M_A$	Molekül ağırlığı
$m$	Kişi başına kullanılan sıcak su miktarı (lt/gün)
$NMVOCS$	Metan dışı uçucu organik bileşikler
$NO_x$	Azot oksitler
$N_2$	Azot molekülü
$N_2O$	Nitroz oksit
$N_T$	Şehrin toplam nüfusu
$n$	möl
$Q_A$	Bir kişinin aylık sıcak su tüketiminden kaynaklanan ısı miktarı (kJ/ay)
$Q_K$	Bir kişinin tükettiği sıcak suyu elde edebilmek için gerekli ısı miktarı (kJ/gün-kişi)
$Q_T$	Kütahya nüfusu aylık sıcak su tüketiminden kaynaklanan ısı miktarı (kJ/ay)
$S$	Kükürt atomu
$SF_6$	Kükürt hekzaflorid
$SO_2$	Kükürtdioksit
$SO_x$	Kükürt oksitler

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

### Simgeler

O	Oksijen atomu
O <sub>2</sub>	Oksijen molekülü
O <sub>3</sub>	Ozon
$\lambda$	Hava fazlalık katsayısı
$\Delta T$	Sıcaklık farkı
T <sub>1</sub>	İstenilen ayın ortalama sıcaklığı (°C)
T <sub>2</sub>	İstenilen su sıcaklığı (°C)
Z	Bir aydaki toplam gün sayısı
$\eta_k$	Kazan verimi

### Kısaltmalar

<b><u>Kısaltmalar</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
Ar-Ge	Araştırma-Geliştirme
BM	Birleşmiş Milletler
BOTAŞ	Boru Hatları İle Petrol Taşıma Anonim Şirketi
DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri
EİEİ	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
ETKB	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
EWEA	European Wind Energy Agency (Avrupa Rüzgâr Enerjisi Birliği)
GLİ	Garp Linyitleri İşletmesi
GHM	Gerekli Hava Miktarı
GOM	Gerekli Oksijen Miktarı
GTHM	Gerekli Teorik Hava Miktarı
GTOM	Gerekli Teorik Oksijen Miktarı
HES	Hidroelektrik Santral
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli)
İDÇS	İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
KP	Kyoto Protokolü
LNG	Liquid Natural Gas (Sıvılaştırılmış Doğalgaz)

**SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ (devam)**

<b><u>Kısaltmalar</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
MTA	Maden Tetkik Arama
Mtep	Milyon Ton Eşdeğer Petrol
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development (Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü)
ppbv	Hacim olarak milyarda kısım
ppmv	Hacim olarak milyonda kısım
pptv	Hacim olarak trilyonda kısım
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UNCED	United Nations Conference on Environment and Development (Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı)
WMO	World Meteorology Organization (Dünya Meteoroloji Örgütü)
YİD	Yap-İşlet-Devret

## 1.GİRİŞ

Enerji; ekonomi, globalleşme, dış politika ve güvenlik gibi pek çok alanın temel ve belirgin bir unsurudur. Bu yapısıyla enerji, dünya politikasındaki önemini, her geçen gün arttırarak sürdürmektedir. Bu nedenle; uluslararası platformlarda bir taraftan devletlerin stratejik işbirliği oluşumlarını etkileyen, diğer taraftan anlaşmazlıkların ve çatışmaların temel unsuru haline dönüşebilen enerjiyi, planlamalarda hedeflerin başında tutmak ya da göz ardı etmek mümkün değildir [1].

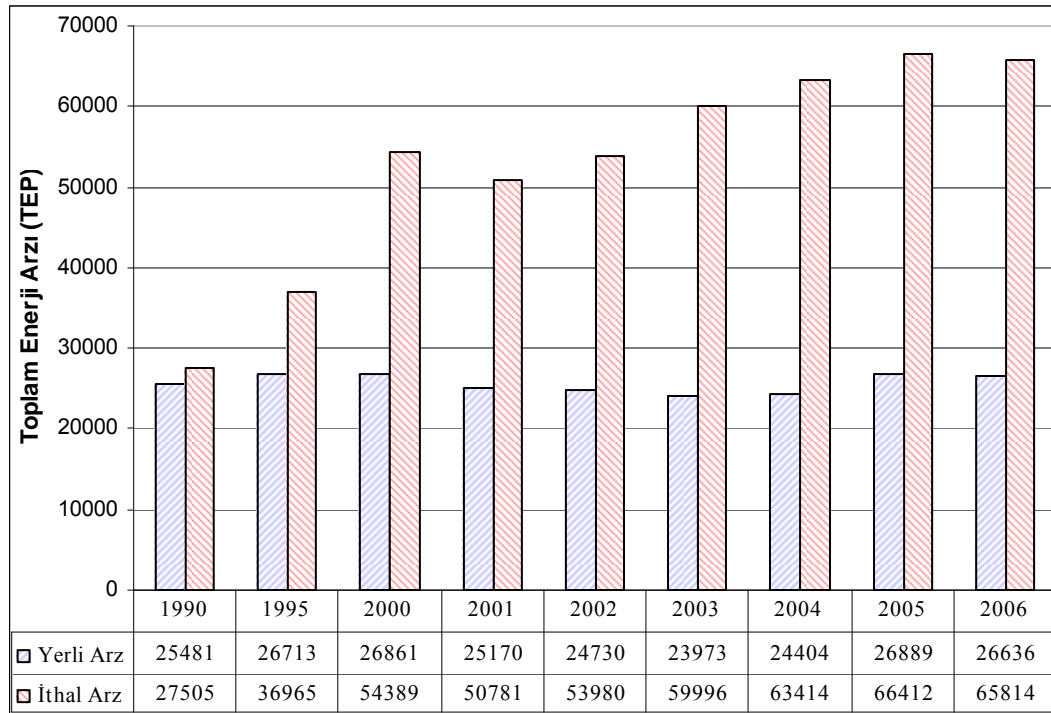
Gelişen sanayi, nüfus artışı, sınırlı olan doğal kaynakların ziyan edilmeden ve zarar verilmeden en iyi bir şekilde kullanılmaları artık insanoğlunun gündeminde en baş sıraları işgal eder hale gelmiştir. Çağımızın en önemli sorunlarının başında; doğal enerji kaynaklarının, verimli ve çevreyi kirletmeyecek bir şekilde kullanılması gelmektedir. İnsanlığın gerek bugünü, gerek yarınları için vazgeçemeyeceği iki faktör olan enerji ve çevrenin birbirleri ile çelişmesi, enerji üretimi ve tüketimi arttıkça çevre kirliliğinin de artması, her iki konunun birlikte ele alınarak sorunların çözümlenmesini zorunlu kılmaktadır. Bu koşullar altında acilen sürdürülebilir ve çevre açısından da temiz enerji kaynaklarının kullanımına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu açıdan ülkemiz için önemli bir potansiyel teşkil eden rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi ve jeotermal enerji gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının artan ölçülerde kullanılması ülke ekonomisine ve çevre kirliliğinin azalmasına önemli bir katkı sağlayabilir [2].

Türkiye, 2007 nüfus sayımı sonuçlarıyla 70.586.256 milyon nüfusu ve %1,7'lik büyüme oranı ile Avrupa ülkeleri arasında ilk sırada yer almaktadır [3]. Artan nüfus ve ekonomik hareketlilik gibi faktörler nedeniyle enerji talebi de artan Türkiye'nin yıllara göre birincil kaynaklardan yapılan genel enerji tüketimi Çizelge 1.1'de, bu kaynakların paylara göre dağılımları da Çizelge 1.2'de verilmiştir [4]. Çizelge 1.2 incelendiğinde, 1990'da toplam genel enerji arzında %6,16 paya sahip olan doğalgazın 2005 yılına gelindiğinde %24,07 pay ile toplam arzın yaklaşık dörtte birini oluşturduğu görülmektedir. Buna karşın 1990-2005 yılları arasında; rüzgâr, jeotermal ve hidrolik gibi yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimlerinde bu zaman dilimi içerisinde ciddi bir büyümenin olmadığı, aksine odun, hayvan ve bitki artıkları (biyokütle) gibi yenilenebilir enerji kaynaklarında bir düşüş yaşandığı anlaşılmaktadır [2].





Şekil 1.1'den görülebileceği gibi, 1990-2006 yılları arasında toplam yerli üretimin genel enerji tüketimindeki payı düşerken, ithal edilen enerji hızlı bir şekilde artmıştır [4]. 1990 yılında genel enerji tüketimindeki yerli-ithal oranı yaklaşık %50 olurken 2006 yılı sonuna gelindiğinde, enerji talebinin ancak %28,81'i yerli kaynaklardan karşılanabilmektedir. Bir başka ifadeyle, Türkiye yeni bir yıla tükettiği enerjinin yarısından fazlasını (%71,19) ithal ederek girmektedir [4,5].



Şekil 1.1. Türkiye’de yıllara göre yerli ve ithal kaynaklardan yapılan genel enerji arzı [4,5].

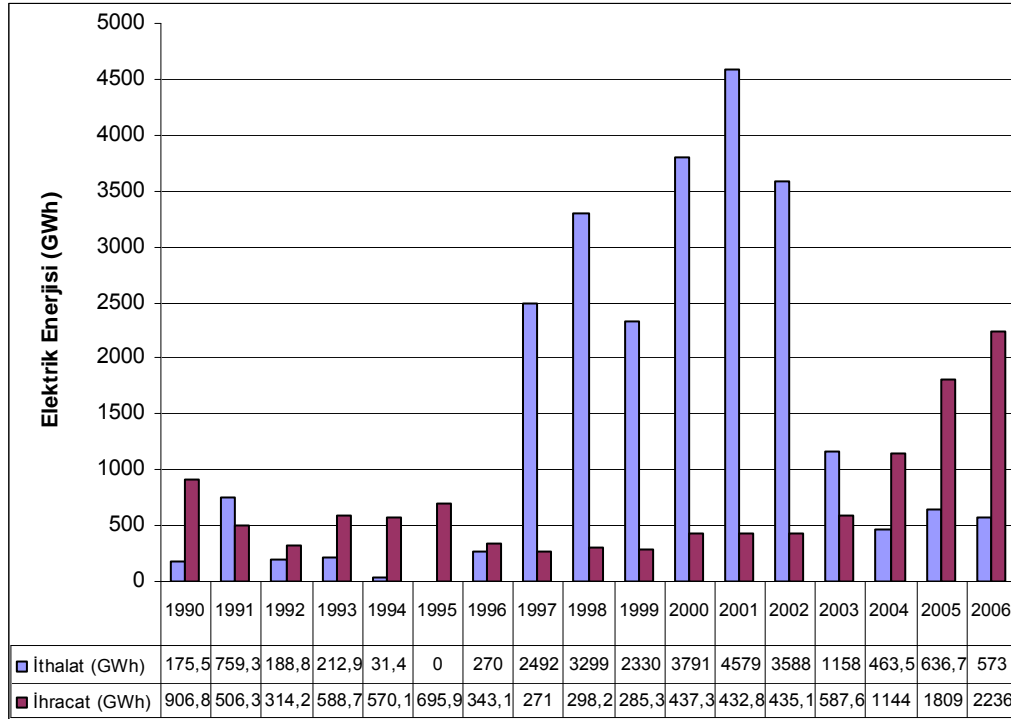
Genel enerji arzında büyük oranda dışa bağımlı olan Türkiye’nin, özellikle 1985 yılından sonra doğalgaz güç çevrim santrallerinin sisteme girmesi ile, elektrik üretiminde kullandığı kaynaklarda ithalat oranı her geçen gün artmaktadır. Ülkemizde 2006 yılı sonu itibarıyla toplam elektrik üretimi 175.894,2 GWh’e ulaşmış olup, Çizelge 1.3’den görüleceği üzere, 2006 yılı sonuna gelindiğinde toplam 40.175,5 MW kurulu gücün %67,3’ünü termik, %32,5’sini hidrolik ve yaklaşık %0,2’ini jeotermal ile rüzgâr santralleri oluşturmaktadır [6-9]. Buradan da anlaşılabilir gibi Türkiye’de, rüzgâr, jeotermal ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynakları kendine özgü enerji dönüşüm sistemleri ve teknolojiler gerektirdiğinden yeterli ilgiyi görmemektedir.

**Çizelge 1.3.** Türkiye kurulu güç ve elektrik üretiminin yıllar itibariyle gelişimi [6-9].

Yıllar	KURULU GÜÇ (MW)				ÜRETİM (GWh)			
	Termik *	Hidrolik	Jeotermal+ Rüzgâr	Toplam	Termik	Hidrolik	Jeotermal+ Rüzgâr	Toplam
1970	1509,5	725,4	-	2234,9	5590,2	3032,8	-	8623,0
1975	2407,0	1779,6	-	4186,6	9719,2	5903,6	-	15.622,8
1980	2987,9	2130,8	-	5118,7	11.927,2	11.348,2	-	23.275,4
1984	4569,3	3874,8	20,4	8464,5	17.165,1	13.426,3	22,1	30.613,5
1985	5229,3	3874,8	20,4	9124,5	22.168,0	12.044,9	6,0	34.218,9
1990	9535,8	6764,3	20,4	16.320,5	34.314,9	23.148,0	80,1	57.543,0
1995	11.074,0	9862,8	20,4	20.957,2	50.620,5	35.540,9	86,0	86.247,4
2000	16.052,5	11.175,2	39,3	27.267,0	93.934,2	30.878,5	108,9	124.921,6
2001	16.623,1	11.672,9	39,3	28.335,3	98.562,8	24.009,9	152,0	122.724,7
2002	19.568,5	12.240,9	39,3	31.848,7	95.563,1	33.683,8	152,6	129.399,5
2003	22.974,4	12.578,7	40,5	35.593,6	105.101,0	35.329,5	150,0	140.580,5
2004	24.144,7	12.645,4	40,5	36.830,6	103.518,6	46.034,8	148,1	149.608,3
2005	25.873,4	12.906,0	40,5	38.819,9	121.787,5	39.572,0	145,3	161.504,8
2006	27.030,7	13.062,8	82,0	40.175,5	131.512,8	44.158,0	223,4	175.894,2

\*Termik; katı kömür, linyit, doğalgaz, petrol ürünleri ve ithal kömürü içermektedir.

Şekil 1.2’de Türkiye’nin 1990-2006 yılları arasındaki elektrik ithalatı ve ihracatı verilmektedir [8]. Şekil 1.2 incelendiğinde, 1990 ile 1996 yılları arasında ithalata fazla ihtiyaç duyulmayıp yalnızca 1991 yılında 253 GWh elektrik enerjisi ithal edilmiş olduğu, 1997 ile 2003 yılları arasında ise elektrik enerjisi ithalatında büyük artış olduğu görülmektedir. 2004-2006 yıllarında ise 2004 yılına oranla 2005 ve 2006 yıllarında elektrik enerjisi ithalatının da artış gerçekleşmiştir.



**Şekil 1.2.** Türkiye'nin 1990-2006 yılları arası elektrik enerjisi ithalat-ihracatı [8].

İleriye yönelik olarak birincil enerji talebinin ithal kaynaklarla karşılanma oranındaki artış trendinin azaltılması planlanmakta olup, 2020 yılında %80'lere ulaşması beklenen ithalin %70'ler civarında tutulabilmesi hedeflenmektedir. 2004 ve 2005 yılları ile bu hedef doğrultusunda, 2020 yılına ait enerji üretim ve tüketim durumu, Çizelge 1.4'de özetlenmiştir [10].

**Çizelge 1.4.** Türkiye'nin 2020 yılı enerji üretim ve tüketim durumu [10].

Yıllar	2004	2005	2020
Üretim (Mtep)	24,33	23,9	65,7
Net İthalat (Mtep)	62,8	66,3	156,4
Talep (Mtep)	87,8	90,2	222,1

Çizelge 1.4'den de görüleceği üzere talebin yerli üretimle karşılanma oranları, 2004 yılı için %27,7, 2005 yılı için %28,82 olup, 2020 yılı için %29,6 civarında olması beklenmektedir. Beklenen bu hedefe ulaşılabilmesi için yerli fosil kaynaklarının artırılmasının yanı sıra özellikle hidrolik potansiyelinin en üst düzeyde kullanılması ve yeni teknolojilerin istihdamı yönünde ciddi finansman kaynaklarının ayrılması gerekmektedir. 2004 yılında 87,8 Mtep, 2005'de

90,2 Mtep olan ve 2020 yılında 222,1 Mtep olarak öngörülen enerji talebinin karşılanması için gerekli olan kaynakların miktar ve oranları Çizelge 1.5’de verilmektedir [10].

**Çizelge 1.5.** Enerji talebinin kaynaklara göre dağılımı [10].

KAYNAKLAR	2004		2020	
	Miktar (Mtep)	Oran (%)	Miktar (Mtep)	Oran (%)
Hidrolik	4,0	5	9,4	4
Diğer Yenilenebilirler	6,8	8	11,9	5
Kömür	23,8	27	80,3	36
Petrol	32,9	37	60,9	28
Doğal Gaz	20,3	23	51,5	23
Nükleer	-	-	8,1	4
Toplam	87,8	100	222,1	100

Çizelge 1.6 ve Çizelge 1.7’de verilen Türkiye Elektrik İletim A.Ş.’nin (TEİAŞ), 2006-2020 yılları için hazırladığı elektrik enerjisi projeksiyonunda “yüksek senaryoya” göre, doğalgaz kullanımı, 2006 yılı için 79.355 GWh ile %45’lik dilimle en büyük paya sahip olmasına karşın yenilenebilir güç santrallerinin elektrik enerjisi üretimindeki payı %29,63 olarak gerçekleşmektedir. Elektrik enerjisi üretiminde yıllık %8 büyümenin hedeflendiği senaryoda, 2020 yılında doğalgazın %33,38, yenilenebilirlerin ise %23,68 payının olacağı öngörülmektedir. Yine aynı senaryoya göre, 2012 yılından itibaren enerji üretim çeşitleri içerisinde yer alması düşünülen nükleer enerji santrallerinin; 2012, 2014 ve 2015 yıllarında sırasıyla; 10.527 GWh, 21.012 GWh ve 31.579 GWh ile elektrik enerjisi üretimine katkı sağlaması beklenmektedir. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK), tarafından nükleer enerji santrali kurulumu için belirlenen yedi bölge; Beyşehir-Seydişehir (Konya), Nallıhan-Beyşehir, Akçakoca-Ereğli, Sinop (Karadeniz kıyı çizgisi), Akkuyu (Mersin), İğneada (Kırklareli), Kırıkkale-Nevşehir (Kızılırmak hattı boyunca) olup inceleme halen devam etmektedir. Ayrıca Çizelge 1.7 incelendiğinde, öz kaynaklarımız olan taş kömürü, hidrolik ve yakıt maliyeti olmayan rüzgâr gibi enerji kaynaklarının, 2006-2020 yılları arasındaki projeksiyona göre toplam üretim içerisindeki paylarında azalma kaydedeceği görülmektedir [11].

**Çizelge 1.6.** Kaynaklara göre Türkiye elektrik enerjisi projeksiyonu (GWh) [11].

Yıllar	Linyit	Taş Kömürü	Fuel Oil + Motorin	Doğalgaz	İthal Kömür	Rüzgâr	Hidrolik	Nükleer	İthalat	Toplam (GWh)
2006	26157	1802	8873	79.355	7937	2402	49.874	0	0	176.400
2007	49986	1042	260	72.040	9954	3841	53.579	0	0	190.702
2008	51118	1627	2055	82.654	9975	4192	54.779	0	0	206.399
2009	54171	1667	5741	92.461	9978	4541	54.941	0	0	223.500
2010	54328	1691	6949	106.789	9980	4890	57.393	0	0	242.020
2011	61056	1672	6610	116.863	9981	5238	60.580	0	0	262.000
2012	64119	1634	6392	119.227	9978	5587	66.035	10.527	0	283.500
2013	70737	1609	6792	128.364	9978	5938	72.154	10.527	0	306.099
2014	76310	1591	6665	130.446	9975	6287	77.974	21.052	0	330.300
2015	82866	1613	6856	134.200	9970	6636	82.479	31.579	0	356.200
2016	89400	1555	5510	140.779	9956	6985	87.486	31.579	9750	383.001
2017	97010	1549	5882	145.134	13.163	7334	92.799	31.579	16.250	410.700
2018	106932	1548	6015	151.739	19.553	7684	98.300	31.579	16.250	439.600
2019	113554	2296	6172	161.398	25.968	8033	104.249	31.579	16.250	469.500
2020	117980	3561	6317	166.738	38.774	8382	109.908	31.579	16.250	499.490

**Çizelge 1.7.** Türkiye elektrik enerjisi projeksiyonunun kaynaklara göre payları (%) [11].

Yıllar	Linyit	Taş Kömürü	Fuel Oil + Motorin	Doğalgaz	İthal Kömür	Rüzgâr	Hidrolik	Nükleer	İthalat	Toplam (%)
2006	14,83	1,02	5,03	44,99	4,50	1,36	28,27	0	0	100
2007	26,21	0,55	0,14	37,78	5,22	2,01	28,10	0	0	100
2008	24,77	0,79	1,00	40,05	4,83	2,03	26,54	0	0	100
2009	24,24	0,75	2,57	41,37	4,46	2,03	24,58	0	0	100
2010	22,45	0,70	2,87	44,12	4,12	2,02	23,71	0	0	100
2011	23,30	0,64	2,52	44,60	3,81	2,00	23,12	0	0	100
2012	22,62	0,58	2,25	42,06	3,52	1,97	23,29	3,71	0	100
2013	23,11	0,53	2,22	41,94	3,26	1,94	23,57	3,44	0	100
2014	23,10	0,48	2,02	39,49	3,02	1,90	23,61	6,37	0	100
2015	23,26	0,45	1,92	37,68	2,80	1,86	23,16	8,87	0	100
2016	23,34	0,41	1,44	36,76	2,60	1,82	22,84	8,25	2,55	100
2017	23,62	0,38	1,43	35,34	3,21	1,79	22,60	7,69	3,96	100
2018	24,32	0,35	1,37	34,52	4,45	1,75	22,36	7,18	3,70	100
2019	24,19	0,49	1,31	34,38	5,53	1,71	22,20	6,73	3,46	100
2020	23,62	0,71	1,26	33,38	7,76	1,68	22,00	6,32	3,25	100

2006 yılının Ocak ayında Türkiye ve Rusya arasında doğal gaz krizi yaşanmıştır. Bunu takiben, Türkiye'ye günde 30 milyon m<sup>3</sup> doğalgaz vermesi gereken İran'ın, sistemindeki teknik arızayı gerekçe göstererek, bu miktarı 6 milyon m<sup>3</sup>'e düşürmesi, birçok Avrupa ülkesinde yaşanan doğalgaz krizi ve son olarak yine İran'ın 7-27 Ocak 2008 tarihleri arasında doğalgazı kısı sebep göstererek tamamen kesmesi, enerjide dışa bağımlı olan Türkiye'yi yeni bir durum değerlendirmesine itmiştir. Doğalgaz ithalinde yaklaşık %90'lık bir pay ile Rusya ve İran'a bağlı olan Türkiye, 2007 yılı sonu itibariyle aldığı toplam 36.450 milyon m<sup>3</sup>'lük doğalgaz ve sıvılaştırılmış doğalgazın (LNG), 23.145 milyon m<sup>3</sup>'ünü yani %63,50'sini Rusya'dan sağlamıştır. Alınan doğalgazın 19.658 milyon m<sup>3</sup>'ü elektrik sektöründe, 7836 milyon m<sup>3</sup>'ü konut sektöründe ve 7569 milyon m<sup>3</sup>'ü sanayi sektöründe kullanılmıştır. 2007 yılı itibariyle Türkiye'nin 12 aylık doğalgaz tüketimi ise 35.064 milyon m<sup>3</sup>'e ulaşmıştır [12]. Rakamlardan da görüleceği üzere muhtemel bir doğalgaz kesintisi, elektrik darboğazının yanı sıra, sanayi ve konutlarda da ciddi bir üretim ve ısınma sorununa neden olacaktır. Nitekim 21-26 Ocak 2006 tarihleri arasında bir sanayi şehri olan Kocaeli'de yaklaşık 25 büyük işletmenin doğalgaz akışı kesilmiştir. Bundan dolayı elektrik ihtiyacının ve genel enerji arzının karşılanmasında, orta ve uzun vadeli gelecek enerji projeksiyonları hazırlanırken, dışa bağımlılığı azaltacak ve kaynak çeşitliliği sağlayacak politikaların izlenmesi gerekmektedir. Yani enerji güvenilirliğinin, ulusal güvenlik kavramı ile ayrılmaz bir bütünlük içinde değerlendirilmesi gereklidir. Bunun için, elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanmasında, öncelikle yerli kaynaklar olan kömür ve su potansiyelinin iyi değerlendirilmesinin yanı sıra rüzgâr, jeotermal ve güneş gibi yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı yaygınlaştırılmalıdır [13].

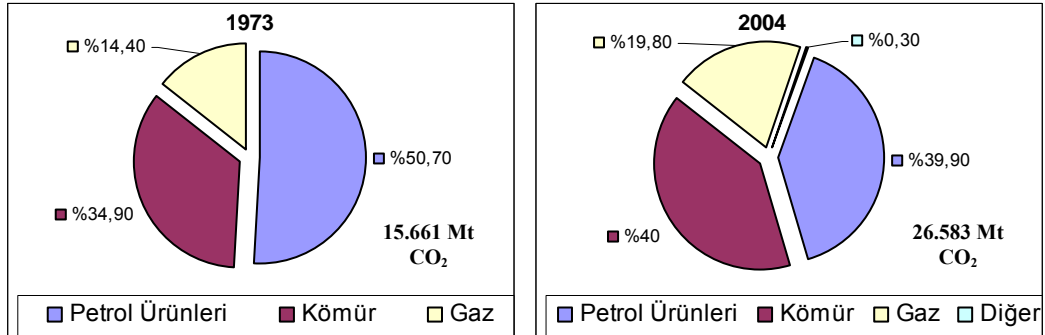
Türkiye'nin genel enerji durumu irdelendiğinde, küresel ısınmanın etkileri ve enerji üretimindeki sorunların giderilmesi için yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yatırımların artırılması gerektiği görülmektedir. Avrupa Birliği (AB) yenilenebilir enerji oranını 2010 yılında %12'ye çıkarma hedefini koymuş bulunmaktadır. Hatta yenilenebilir enerjinin elektrik üretimine %22 oranında katkı sağlaması planlanmaktadır. Yapılan bu planlamaların amacı, enerji üretimini yenilenebilir kaynaklardan sağlamaya yönelmek ve günümüzün en büyük sıkıntısı olan küresel ısınmayı azaltmaktır. AB'nin 2007 yılında yapılan toplantısında, küresel ısınmayla mücadele konusunda sera gazı salımının 2020 yılına kadar 1990 yılındaki seviyelerin %20 altına çekme kararı alınmıştır. Ayrıca bu toplantıdaki görüşmeler de, diğer gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin de adım atması durumunda bu oranın %30'a çıkarılabileceği hedeflenmiştir. AB, her geçen gün artan enerji ihtiyacını karşılayabilmek ve küresel ısınmaya

karşı mücadele edebilmek için 2020 yılı toplam yenilenebilir enerji üretimi oranını ise %20 seviyesine arttırma hedefi koymuştur [14].

Fosil yakıtların yakılması, ormansızlaşma, arazi kullanımı değişiklikleri, çimento üretimi ve sanayi süreçleri ile atmosfere salınan sera gazlarının atmosferdeki birikimleri, sanayi devriminden beri hızla artmaktadır. Bu ise, doğal sera etkisini kuvvetlendirerek, şehirleşmenin de katkısı ile, dünyanın yüzey sıcaklıklarının artmasına neden olmaktadır. Küresel yüzey sıcaklıklarında 19. yüzyılın sonlarında başlayan ısınma, 1980'li yıllardan sonra daha da belirginleşerek, hemen her yıl bir önceki yıla göre daha sıcak olmak üzere, küresel sıcaklık rekorları kırmakta, bu durum küresel iklimi olumsuz yönde etkilemektedir [15]. Etkisini giderek arttıran iklim değişikliği sonucu meydana gelen küresel ısınmanın ulaştığı boyutlar, ülkelerin ortak geleceği için tehlike işaretleri vermektedir [10].

Atmosferin ısınmasına yol açan sera gazı emisyonlarının %85'i enerji sektöründen kaynaklanmaktadır. 1990-2003 döneminde dünyada CO<sub>2</sub> emisyonları 21,21 milyar tondan 24,98 milyar tona yükselmiştir. CO<sub>2</sub> emisyonlarındaki 3,77 milyar tonluk artışın 1,68 milyar tonu gelişmiş ülkelere, yani OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) ülkelerine aittir [10]. Şekil 1.3'de 1973 ve 2004 yıllarına ait yakıt türlerine göre CO<sub>2</sub> emisyon oranları verilmiştir. Buna göre 1973 yılında 15.661 milyon ton olan CO<sub>2</sub> salımı 2004 yılında 26.583 milyon tona ulaşmıştır. 1973 yılında en fazla CO<sub>2</sub> emisyonu salımının %50,70 ile petrol ürünlerinden dolayı oluştuğu, 2004 yılına gelindiğinde ise bu oranlarda büyük değişme olduğu, CO<sub>2</sub> emisyonu salımının %70,10 ile kömür, gaz ve diğer sebeplerden dolayı artış gösterdiği, petrol ürünlerinin kullanımından dolayı ise azaldığı görülmektedir. Bu durumun sebebi petrol kaynaklarının ve talebinin yetersizliği olmayıp, fosil bazlı yakıtların enerji veriminin düşmesi ve dünyada yakıt kullanımının da artmasıdır. Petrol fiyatlarının artmasıyla, petrolden kömüre geçiş artmakta, kömürün enerji verimi daha düşük olduğundan, kömürden elde edilen CO<sub>2</sub> oranı da daha yüksek olmaktadır.





Şekil 1.3. CO<sub>2</sub> emisyonlarının 1973 ve 2004 yılı yakıt payları [16].

Bu çalışmada; Kütahya iline ait 1940-2002 yılları arasında ölçülmüş sıcaklık değerlerine göre hazırlanmış aylık ortalama sıcaklık verileri kullanılarak, Kütahya ili yıllık sıcak su ihtiyacı belirlenmiştir. Buna göre mevcut ihtiyaç için seçilmiş farklı fosil kaynaklar temel alınarak Kütahya’da fosil kaynakların meydana getirdiği sera gazı salım miktarları hesaplanmıştır. Bu amaçla Kütahya’da bölgesel ölçekte sera gazı emisyonu azaltımına bir katkı sağlanması hedeflenmiş ve alternatif enerji kaynakları kullanılarak sıcak su eldesi için elektrik üretimi yapılması durumunda, farklı yenilenebilir enerji kaynakları için kurulu güçler hesaplanmıştır.

Bölüm 2’de; dünyadaki ve Türkiye’deki yenilenebilir enerji kaynaklarına değinilmiş, Bölüm 3’de; iklim değişikliği, küresel ısınma ve sera etkisi gibi tüm dünyayı ilgilendiren sorunlar dünya ve Türkiye açısından ele alınarak, sera gazı emisyonlarına karşı yapılan küresel mücadele incelenmiş, ayrıca CO<sub>2</sub> emisyonu azaltımının yenilenebilir enerji kaynakları ile ilişkisi irdelenmiş, Bölüm 4’de; Kütahya’da kullanılan dört farklı fosil yakıt türünün kimyasal analizleri incelenerek, bu fosil yakıtlara uygulanan yanma reaksiyonlarına ait hesaplama yöntemlerine değinilmiş ve baca gazı miktarları hesaplanmış, Bölüm 5’de Kütahya’nın yıllık sıcak su tüketimini karşılamak için kullanılan kimyasal yapıları farklı dört yakıt türüne uygulanan yanma reaksiyonları sonucu atmosfere salımı gerçekleşen baca gazlarının emisyon verileri hesaplanmış, buna göre kimyasal yapıları farklı dört yakıt türünün emisyon sonuçlarının karşılaştırılması yapılmıştır. Buna ek olarak Kütahya’nın yıllık sıcak su tüketimine karşılık gelen ısı değerlerinin yenilenebilir enerji kaynakları ile sağlanması durumunda Kütahya bölgesinde yenilenebilir güç santralleri kurulması öngörülerek, kurulacak sistemlerin kWh başına ortalama maliyetleri incelenmiştir.

## 2. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI

Uluslararası Enerji Ajansı Yenilenebilir Enerji Çalışma Grubu'nun tanımına göre yenilenebilir enerji, sürekli olarak yenilenen doğal süreçlerden elde edilen enerjidir [10]. Güneş, rüzgâr, biyokütle, jeotermal, hidrolik güç, deniz enerjileri ve hidrojen enerjisi, yenilenebilir enerji adıyla tanımlanan kaynaklardır ki, bu tür yenilenebilir enerjiler çevre dostu olmalarının yanı sıra, kendisini dünya var oldukça yenileyen, yani tükenmeyen enerji kaynaklarıdır [10,17].

Yenilenebilir kaynaklardan enerji üretiminde, farklı yöntemler kullanılmaktadır. Kullanılan yöntemlerin uzun yıllardır biliniyor olmasına bağlı olarak, yenilenebilir enerjiler de "geleneksel" ve "yeni" olarak ikiye ayrılmaktadır. Odun, bitki ve organik maddelerin alışılmış yollarla yakılması demek olan biyokütle enerjisi ve büyük ölçekli hidrolik enerji; "geleneksel yenilenebilir kaynaklar" olup, bu kaynaklardan uzun yıllardan beri yararlanılmakta ve bu kaynaklar, dünya enerji tüketiminde belli bir yer tutmaktadır. Güneş, rüzgâr, modern biyokütle, jeotermal, küçük hidrolik, dalga ve hidrojen enerjisi ise, "yeni yenilenebilir enerji kaynakları" olarak da isimlendirilebilir [10].

Dünyada tükenbilir enerji kaynaklarının artan bir hızda kullanılması karşısında bir gün biteceği düşünülmektedir. Bu konuyla ilgili değişik tahminlerin birleştiği nokta; petrol, doğal gaz ve kömürün gelecek yüzyılın sonlarına doğru tükeneceği üzerinedir. Doğanın bu stokları oluşturmak için milyonlarca yıl geçirmesine karşılık insanoğlu bunları birkaç yüzyılda kullanıp bitirmiş olacaktır. Bu durumda geriye kömürün dışında yenilenebilir enerji kaynakları kalacaktır. Endüstri öncesi toplumların gelişmesi odun, rüzgâr ve hayvan gücü gibi geleneksel denilen bazı enerjilere dayanmıştır. Bugünün gelişmiş ülkelerinin enerji tüketimlerinin %80'ninden fazlası 15. yüzyılda odun ile insan ve hayvan enerjisinden oluşuyordu. Endüstri devrimi bunların marjinalleşmesine katkıda bulunmuştur. Bu tür enerjiler, kalkınmakta olan bazı ülkelerin tüketiminde yine başlıca payı almaktadır. "Yeni" olarak adlandırılan enerjilerin ortak özelliği, bunların yararlı enerjiye dönüştürdükleri doğal birinci kaynağın "yenilenebilir" özellikte olmasıdır [10].

Yenilenebilir enerji kaynakları enerjinin ana kaynağına göre; güneş kaynaklı, dünya kaynaklı ve ay kaynaklı olarak üç grupta incelenebilmektedir. Çizelge 2.1'in incelenmesinden de anlaşılabilceği gibi; hidrolik enerji, rüzgâr enerjisi, biyokütle enerjisi ve güneş enerjisi, ana

kaynağı güneş olan enerjilerdir [18]. Yer merkezi ısı ile oluşan jeotermal enerji dünya kaynaklı enerjidir. Ay çekiminin gücü ile oluşan gel-git olayı ise ana kaynağı ay olan enerjidir.

**Çizelge 2.1.** Yenilenebilir enerji kaynaklarının sınıflandırılması [18].

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI				
Ana kaynak	Birincil Enerji Kaynakları	Doğal Enerji Dönüşümü	Teknik Enerji Dönüşümü	Kullanım Enerjisi
<b>GÜNEŞ</b>	Su	Buharlaştırma, Yağış	Su Güç Tesisleri (Hidroelektrik Santralleri)	Elektrik Enerjisi
	Rüzgâr	Atmosferdeki Hava Hareketi	Rüzgâr Enerjisi Tesisleri	Elektrik ve Mekanik Enerji
		Dalga Hareketi	Dalga Enerjisi Tesisleri	Elektrik ve Mekanik Enerji
	Güneş Işımları	Yer ve Atmosferin Isınması	Isı Pompaları	Isı Enerjisi
		Güneş Işımları	Kollektörler	Isı Enerjisi
			Solar Hücreler (Güneş Pilleri-Fotovoltaikler)	Elektrik Enerjisi
	Biyomas	Biyomas Üretimi	Isı Güç Tesisleri	Isı ve Elektrik Enerjisi
Dönüşüm Tesisleri			Yakıt Enerjisi	
<b>DÜNYA</b>	Yer Merkezi Isısı	Jeotermal Enerji	Jeotermal Güç Tesisleri	Isı ve Elektrik Enerjisi
<b>AY</b>	Ay Çekimi Gücü	Gel-Git Olayı	Gel-Git Güç Santralleri	Elektrik Enerjisi

Dünyanın yıllık enerji ihtiyacı nüfus artışına paralel olarak hızla artmaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte ham petrol ve doğal gaz fiyatlarındaki artışlar, kömür kullanan tesislerin ve nükleer enerjinin çevre üzerindeki olumsuz etkileri yenilenebilir enerji kaynaklarının daha etkin kullanılmasını zorunlu hale getirmiştir. Fosil yakıtların yanması sonucu oluşan ve atmosfere verilen, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, ve toz gibi kirletici emisyonlarla beraber sera etkisi yaratarak iklim değişikliğine neden olan CO<sub>2</sub> emisyonları çevreyi olumsuz yönde etkilemektedir. Özellikle ısı değerleri düşük, kül ve kükürt içerikleri yüksek olan kalitesiz yerli linyitlerin kullanılması, hava kirliliğini artırmaktadır. Bu olumsuz etkiler yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasının önemini artırmaktadır. Bugün gelişmiş veya gelişmekte olan ülkeler kendi olanakları içinde değişik enerji kaynaklarının kullanılmasına öncelik vermektedirler. Dünyanın bilinen petrol rezervlerinin 40 yıl, doğal gaz rezervlerinin 67 yıl ve kömür rezervlerinin ise 164 yıl sonra tükeneceği tahmin edilmektedir. Bu nedenle enerji üretiminde 21. yüzyılın başlarında fosil

yakıtların kullanılması gerek çevre, gerekse artan fiyatlar nedeniyle ekonomik olmaktan çıkacak, bu sebeple alternatif enerji kaynaklarına yöneliş artacaktır [19].

### 2.1. Dünya Yenilenebilir Enerji Kaynakları Potansiyeli

Yenilenebilir enerji kaynakları; dünya atmosferindeki fosil kökenli yakıtların neden olduğu sera etkisi ve çevre bilincinin gelişmesi yanında, fosil yakıtların tükenerek olması ve enerji güvenliğinin sağlanması gibi kaygılarla tüm dünyada giderek artan bir ilgi ile karşılanmakta ve enerji ihtiyacının giderilmesinde önemli bir kaynak olarak görülmektedir. Çizelge 2.2’de dünya çapında her geçen gün kullanım alanları artan yenilenebilir enerji kaynaklarının üretim kapasiteleri verilmiştir. Buna göre, elektrik üretim amaçlı olarak en yüksek üretim kapasitesine 2005 yılı sonu itibarıyla 750 GW ile büyük hidroelektrik santraller ve 66 GW ile küçük hidroelektrik santraller sahip olurken, bunu 59 GW ile rüzgâr enerjisi santralleri takip etmektedir [20].

Çizelge 2.2’den görülebileceği gibi dünya yenilenebilir güç üretim kapasitesi, 2005 yılı sonu itibarıyla 934,4 GW’a ulaşmıştır. 2004–2005 yılları arasında en yüksek büyüme oranı %55 ile şebeke bağlantılı fotovoltaiklerde olurken, bunu %24 ile rüzgâr santralleri takip etmektedir. Dünyada 2004 yılı sonu itibarıyla toplam güneş kolektörü oranı 164 milyon m<sup>2</sup>’ye ulaşmış olup Türkiye toplam güneş kolektörlerinin %4,4’üne sahip olarak dünyada 4. sıradadır. 2005 yılı sonu itibarıyla dünya kurulu gücünün 4100 GW olduğu gözönüne alınırsa, toplam yenilenebilir güç kapasitesi (büyük ölçekli hidroelektrik santralleri hariç) dünya güç kapasitesinin yaklaşık %4,5’ini oluşturmaktadır [20].

2005 yılı sonu itibarıyla 182 GW’lık toplam dünya yenilenebilir enerji kurulu gücünün (büyük ölçekli hidroelektrik santralleri dışındaki) %43 ile en büyük payına gelişmekte olan ülkeler sahip olurken, EU-25 ülkeleri 63 GW kapasite ile büyük kısmını rüzgâr santrallerinin sağladığı güç ile toplam yenilenebilir güç kapasitesinin %35’lik dilimini oluşturmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarında ilk beş ülke olan Çin (42 GW), Almanya (23 GW), ABD (23 GW), İspanya (12 GW) ve Hindistan (7 GW) ise toplam yenilenebilir güç kapasitesinin yaklaşık %59’una sahiptirler. Ayrıca 2005 yılı sonu itibarıyla güneş kolektörleriyle gerçekleştirilen ısıtma Çizelge 2.2’de görüleceği üzere %17,3’lük bir büyümeyle 88 GW<sub>th</sub>’e

ulaşmış olup biyodizel üretiminde bir önceki yıla kıyasla %85'lik bir artış oranı ile büyük bir sıçrama yaşanmıştır [20,21].

**Çizelge 2.2.** 2005 yılı sonu itibariyle dünya yenilenebilir enerji kaynakları üretim kapasitesi (GW) [20].

	2005 Yılında Eklene	2005 Sonu	2005 Yılı Büyüme Oranı
<b>Güç Üretimi</b>			
Büyük hidroelektrik santraller (GW)	12-14	750	%1,5-2
Küçük hidroelektrik santraller (GW)	5	66	%8
Rüzgâr türbinleri (GW)	11,5	59	%24
Biyokütle santralleri (GW)	2-3	44	%4,8-7,1
Jeotermal güç santralleri (GW)	0,3	9,3	%3
Güneş, Fotovoltaikler (şebeke bağlantılı) (evsel)	1,1	3,1	%55
Güneş, Fotovoltaikler (şebeke bağlantısız) (GW)	200,000	650,000	%44,4
Güneş, Fotovoltaikler (GW)	0,3	2,3	%15
Güneş termik santralleri (GW)	~ 0	0,4	-
Dalga (gel-git) enerjisi santralleri (GW)	~ 0	0,3	-
<b>Isı Üretimi/Isıtma</b>			
Biyokütle ısıtma (GW <sub>th</sub> )	n/a	220	-
Güneş kolektörü ile ısıtma (GW <sub>th</sub> )	13	88	%17,3
güç ve alan ısıtması (m <sup>2</sup> ) (evsel)	19 milyon	125 milyon	%17,9
	7 milyon	46 milyon	%17,9
Jeotermal ısıtma	2,6 GW	28 GW <sub>th</sub>	%10
<b>Taşımacılık</b>			
Etanol üretimi (litre/yıl)	2,5 milyar	33 milyar	%8
Biyodizel üretimi (litre/yıl)	1,8 milyar	3,9 milyar	%85
<b>Kırsal Alanlarda Kullanılan Enerji</b>			
Pişirme fırınları için biyokütle kullanımı (toplam,bütün çeşitler)	n/a	570 milyon	-
	(gelişmiş çeşitler)	220 milyon	-
Biyogaz kullanımı (m <sup>3</sup> )	n/a	21 milyon	-
Güneş kolektörü kullanımı (m <sup>2</sup> )	>270.000	2,4 milyon	-

## 2.2. Türkiye Yenilenebilir Enerji Kaynakları Potansiyeli

Dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelik eğilim giderek artmaktadır. Ülkemizde ise yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına talep diğer dünya ülkelerine oranla beklenenin üzerinde değildir [17]. Türkiye büyük oranda yenilenebilir enerji kaynaklarına sahip olsa da bu kaynakların kullanım oranı oldukça düşüktür [22].

Ülkemizde yenilenebilir kaynaklardan en çok hidrolik enerji ve biyokütle enerjisi kullanılmaktadır. Rüzgâr enerjisi üçüncü sırada yer almakla birlikte, kullanımı sınırlıdır. Güneş enerjisinin kullanımı sembolik düzeyde iken, jeotermal enerjinin kullanımı ise yeterli düzeyde değildir [17]. Türkiye’de gel-git enerjisi olanağı yoktur. Ülkemiz için deniz kökenli enerji grubu içerisinde deniz dalga enerjisi ve boğazlarda deniz akıntıları enerjisi vardır [19]. Fakat söz konusu enerji grubu üzerinde hiç durulmamaktadır. Biyokütle enerjisinin önemli potansiyeline karşılık, enerji bitkileri tarımı yeterince tanınmamakta ve gündeme sokulmamakta, enerji ormancılığı da sınırlı bir kapsamda ele alınmaktadır. Modern biyokütlenin gelişmesi ile ekonomik olmayan klasik biyokütle ortadan kalkacaktır [17].

Etkisini giderek arttıran iklim değişikliği sonucu meydana gelen küresel ısınmanın ulaştığı boyutlar, ülkelerin ortak geleceği için tehlike işaretleri vermektedir. Bu sebeple başlatılan uluslararası işbirliği çalışmalarında, yeşil enerji olarak da adlandırılan yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik enerjisinin küresel ölçekte arttırılabilmesi hususu ağırlık kazanmaktadır. Bu kapsamda Avrupa Birliği’nin uluslararası elektrik pazarında yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriğin desteklenmesi üzerine yapmış olduğu 27.10.2001 tarih ve 2001/77/EC sayılı direktifinde AB ülkeleri için 2010’dan itibaren tüketilecek elektriğin %12’sinin yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması öngörülmüştür [23]. Bunu teminen 10 MW ve altında kurulu güce sahip tesislerin küçük hidro tanımı kaldırılarak, bütün hidro santraller teşvik kapsamına alınmıştır. Söz konusu yönetmelik ve beraberinde hem arz, hem de talep tarafı için geliştirilen diğer teşvikler AB’nin yenilenebilir enerjiye verdiği önemi açıkça ortaya koymaktadır. Bu doğrultuda, AB’ye aday ülke olması sebebiyle Türkiye’nin de, AB enerji politikalarına uyum göstermesi gerekmektedir [2].

Türkiye’de, hemen her türlü enerji kaynağı mevcut olmakla birlikte, linyit ve hidrolik enerji dışındaki kaynaklar ihtiyaca cevap verebilecek düzeyde olmayıp enerji ihtiyacının yarısından fazlası ithalat yoluyla karşılanmaktadır. Buradan da anlaşılacağı gibi Türkiye’de, rüzgâr, jeotermal ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynakları kendine özgü enerji dönüşüm sistemleri ve teknolojiler gerektirdiğinden yeterli ilgiyi görememektedir. Buna karşın Türkiye, Çizelge 2.3’den görüleceği üzere yenilenebilir enerji kaynakları bakımından Avrupa’daki birçok ülkeye nazaran oldukça iyi bir konumda bulunmaktadır [24]. Çizelge 2.3 incelendiğinde, Türkiye’nin, özellikle bulunduğu güneş kuşağından dolayı güneş enerjisinin elektrik enerjisi üretimi açısından 6105 TWh/yıl gibi oldukça yüksek bir teknik potansiyele sahip olduğu, bunu 290 TWh/yıl ile rüzgârın ve 216 TWh/yıl ile hidroliğin takip ettiği görülmektedir [2].

**Çizelge 2.3.** Türkiye'nin yenilenebilir enerji potansiyeli [24].

Yenilenebilir Enerji Kaynakları	Kullanılan Enerji Cinsi	Doğal Potansiyel	Teknik Potansiyel	Ekonomik Potansiyel
Güneş Enerjisi	Elektrik Enerjisi (TWh/yıl)	977.000	6105	305
	Isı Enerjisi (Mtep/yıl)	80.000	500	25
Hidrolik Enerji	Elektriksel Enerji (TWh/yıl)	433	216	127,4
Rüzgâr Enerjisi				
Karasal	Elektrik Enerjisi (TWh/yıl)	400	110	50
Deniz	Elektrik Enerjisi (TWh/yıl)	-	180	-
Deniz Dalga Enerjisi	Elektrik Enerjisi (TWh/yıl)	150	18	-
Jeotermal Enerji	Elektrik Enerjisi (TWh/yıl)	-	-	1,4
	Isı Enerjisi (MW <sub>th</sub> )	31.500	7500	2843
Biyokütle Enerjisi	Yakıt (klasik) (Mtep/yıl)	30	10	7
	Yakıt (modern) (Mtep/yıl)	90	40	25

- **Biyokütle Enerjisi**

Kaynağı tarım ve orman ürünleri, bitkisel atıklar, deniz bitkileri, endüstriyel ve evsel atıklar olan biyokütle, ekonomik ihtiyaçlara cevap verebilen, çevreyi tahrip etmeyen yenilenebilir ve yerli bir enerji kaynağıdır. Güneşin sonsuz enerjisi ile CO<sub>2</sub>'nin yeşil bitkilerde besine dönüşmesi sürecinde depolanan enerjinin geri kazanılması esasına dayanan biyokütle enerjisi, 1800'li yılların ortalarına kadar dünyanın enerji ve yakıt ihtiyacını büyük ölçüde karşılasa da, fosil yakıt çağının başlaması ile birlikte, özellikle sanayileşen ülkelerdeki kullanımı giderek azalmıştır. Ancak, son yıllarda çevresel ve ekonomik kaygılar sebebiyle biyokütle enerjisi, sosyal hayatı devam ettirecek potansiyel bir yenilenebilir enerji kaynağı olarak tekrar gündeme gelmiştir. Enerji kaynağı olarak biyokütle kullanımının artması, sera gazı emisyonlarında azalmaya, ithal enerjiye olan talebin azalmasına ve kırsal kesim ekonomisinin canlanmasına imkan verecektir [10].

Türkiye'de klasik biyokütle enerjisinin teknik potansiyeli 10 Mtep/yıl ve kullanılabilir potansiyeli 7 Mtep/yıl'dır. Genelde ticari karakterde olmayan klasik biyokütle yerine modern biyokütlenin kullanılması uygun olup, modern biyokütle teknik potansiyeli 40 Mtep/yıl, kullanılabilir potansiyeli 25 Mtep/yıl düzeyindedir. Türkiye'de hububat bitkileri başta olmak

üzere çeşitli bitkilerden elde edilen bitkisel atığın kuru bazda hesaplanan toplam miktarı 55-70 milyon ton olmakla birlikte, elektrik santralleri dahil olmak üzere, çeşitli yerlerde kullanılacak biyokütle yakıt miktarı 37-48 milyon ton düzeyinde olup, Çizelge 2.4'den görüleceği üzere elde edilebilecek enerji 653-839 PJ/yıl (14-19 Mtep/yıl) düzeyindedir [25].

**Çizelge 2.4.** Türkiye biyokütle enerji potansiyeli [25].

	Bitkisel Atık	Hayvansal Atık	Çöp
Miktar (Milyon ton/yıl)	37-48	10,8	21
Alt Isıl Değer (MJ/kg)	17,5	22,7	15
Sağlanacak Enerji (PJ/yıl)	653-839	49	315

Türkiye’de hayvanlardan elde edilebilecek atık miktarı Çizelge 2.4’de verildiği gibi 10,8 Mt kuru madde/yıl olup, 1 ton hayvan gübresinden sağlanacak biyogaz yaklaşık 200 m<sup>3</sup> ve biyogazın alt ısıl değeri 22,7 MJ/kg olduğundan, biyogaz potansiyeli 49 PJ/yıl (1117 ktoe/yıl) kadardır. Türkiye’nin çöp toplamı 21 Mt/yıl düzeyindedir. Çöplerin ortalama alt ısıl değeri 15 MJ/kg kabul edildiğinde çöpten sağlanacak enerji potansiyeli 315 PJ (7150 ktoe/yıl) olmaktadır. Türkiye’de 2007 yılı itibariyle 13,8 MW kurulu güce sahip bio-potansiyelden elektrik üretimi gerçekleşmekte olup bunun 9674 MW’ı çöp gaz ve 4127 MW’ı biyogaz tesisidir. Türkiye’de odun ve tezek biçiminde klasik biyokütle kullanımı mevcut ise de, henüz enerji ormanları ve enerji tarımı ürünlerinin özel tekniklerle değerlendirilmesine ilişkin modern biyokütle kullanımı çok kısıtlıdır [25,26].

- **Deniz Kökenli Yenilenebilir Enerjiler**

Deniz kökenli yenilenebilir enerjiler; deniz dalga enerjisi, deniz sıcaklık farkı enerjisi, deniz akıntıları enerjisi (boğazlarda) ve gel-git (med-cezir) enerjisidir. Ancak Türkiye’de gel-git enerjisi olanağı yoktur. Ülkemiz için söz konusu enerji grubu içerisinde deniz dalga enerjisi ve boğazlarda deniz akıntıları enerjileri mevcuttur [25].

Deniz dalga enerjisinin kökeninde rüzgâr enerjisi yatmaktadır. Türkiye'nin Marmara Denizi dışında açık deniz kıyıları 8210 km'yi bulmaktadır. Türkiye’de dalga rasatları ve bunlara ilişkin ölçüm verileri bulunmamaktadır. Ancak, küçük dalga enerji sistemleri için, birim dalga



cephesi başına güç 10-20 kW/m olurken, geliştirilmiş sistemlerde 40 kW/m düzeyinin üzerine çıkmaktadır. Akdeniz kıyıları için bu değer yaklaşık 13 kW/m'dir. Ülkemiz dışında Akdeniz'de yapılmış ölçümler, bu gücün yıl boyu 8,4-15,5 kW/m arasında olduğunu göstermiştir. Bu güç, iç denizlerde daha da düşebilmektedir. Tüm kıyılarda bu tür tesislerin kurulması deniz trafiği, turizm, balıkçılık, kıyı tesisleri vb. nedenlerle olanaklı değildir. Türkiye kıyılarının beşte birinden yararlanılarak sağlanabilecek dalga enerjisi teknik potansiyeli yaklaşık 9000 MW güç ve 18 TWh/yıl enerji düzeyindedir. Bu kaynağın değerlendirilmesi için dalga rasatlarından başlanarak, teknik ve ekonomik incelemeler yapılmalıdır [25].

- **Güneş Enerjisi**

Türkiye'nin konumu itibariyle güneş enerjisi doğal potansiyeli Çizelge 2.3'de verildiği gibi 977.000 TWh/yıl olup zengin sayılabilecek düzeydedir. Türkiye'de güneş enerjisinin en yaygın kullanımı sıcak su ısıtma sistemleri ile gerçekleşmektedir. Türkiye'de kurulu güneş kolektörü miktarı 2004 yılı itibariyle yaklaşık 10 milyon m<sup>2</sup> olup, çoğu Akdeniz ve Ege Bölgelerinde kullanılmakta olan bu sistemlerden yılda yaklaşık 375 Bin Tep ısı enerjisi, 2007 yılı itibarıyla ise 12 milyon m<sup>2</sup> güneş kolektörü ile 420 Bin Tep ısı enerjisi üretilmektedir. Ancak Türkiye'de zengin güneş enerjisi potansiyeli dikkate alındığında, diğer bölgelerde de kullanımının artması mümkün görülmektedir. Güneş enerjisinden elektrik üretimi genelde güneş pilleri ve güneş kolektörleriyle gerçekleşmekte olup güneş pillerinin maliyeti çok yüksek olduğundan günümüzde ekonomik olarak kullanılabilir değildir. Türkiye'de Orman Bakanlığı orman gözetleme kuleleri, Türk Telekom aktarma istasyonu, Karayolları imdat telefonları, EİE demonstrasyon uygulamaları ve çeşitli araştırma kurumlarında ve çoğunluğu şebekeden bağımsız sistem olmak üzere yaklaşık 300 kW kadar güneş pili kurulu gücü olduğu bilinmektedir [27,28].

Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ) 1966-1982 yılları güneşlenme süresi ve ışınım verilerinden yararlanılarak Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) tarafından yapılan çalışmada; Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi Çizelge 2.5'den görüleceği üzere 2640 saat, ortalama toplam ışınım şiddeti 1311 kWh/m<sup>2</sup>yıl olarak tespit edilmiştir [28]. Yapılan teknik hesaplar, Çizelge 2.3'den görüleceği üzere güneş enerjisi teknik potansiyelinin 6105 TWh/yıl olduğunu ortaya koymaktadır. Ancak bu teknik potansiyel değerinin %5'i olan 305 TWh/yıl, ekonomik elektrik üretim potansiyeli olarak ifade edilebilmektedir [2,27].

**Çizelge 2.5.** Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli [28].

Aylar	Aylık Toplam Güneşlenme Süresi		Güneşlenme Süresi (saat/ay)
	(kJ/cm <sup>2</sup> ay)	(kWh/m <sup>2</sup> ay)	
Ocak	18,63	51,75	103
Şubat	22,78	63,27	115
Mart	34,79	96,65	165
Nisan	44,00	122,23	197
Mayıs	55,39	153,86	273
Haziran	60,75	168,75	325
Temmuz	63,14	175,38	365
Ağustos	57,02	158,40	343
Eylül	44,38	123,28	280
Ekim	32,36	89,90	214
Kasım	21,90	60,82	157
Aralık	16,87	46,87	103
<b>Toplam</b>	<b>472,02 (kJ/cm<sup>2</sup>Yıl)</b>	<b>1311(kWh/m<sup>2</sup>Yıl)</b>	<b>2640 (saat/yıl)</b>
<b>Ortalama</b>	<b>1289,53 J/cm<sup>2</sup>gün</b>	<b>3,6 kWh/m<sup>2</sup>gün</b>	<b>7,2 saat/gün</b>

EİE istasyonlarından alınan ölçümlerden yararlanılarak ve Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ) verileri kullanılarak bir model geliştirilmiş ve Türkiye'deki 58 il için aylık ortalama güneş ışınımı ve güneşlenme süreleri hesaplanmıştır. Bu hesaplama göre, Çizelge 2.6'dan görüleceği üzere, Türkiye'nin en fazla güneş ışınımı alan bölgesi yılda 2993 saat güneşlenme süresi ile Güneydoğu Anadolu Bölgesi'dir. Bunu 2956 saat ile Akdeniz Bölgesi izlemektedir [28].

**Çizelge 2.6.** Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı [28].

Bölgeler	Toplam Güneş Enerjisi	
	(kWh/m <sup>2</sup> -Yıl)	Güneşlenme Süresi (saat/yıl)
Güneydoğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

- **Hidroelektrik Enerji**

Türkiye’de 26 akarsu havzasına yayılmış olan su kaynaklarının enerji üretimi açısından toplam debisi 186 km<sup>3</sup>/yıl olup komşu ülkelerden gelen 7 km<sup>3</sup>/yıl akış ile birlikte toplam 193 km<sup>3</sup>/yıl düzeyindedir. Bu olanakta havzaların en büyük payları sırasıyla; Fırat %17, Dicle %11,5, Doğu Karadeniz %8, Doğu Akdeniz %6 ve Antalya %5,9 düzeyindedir [29]. Fırat Havzası 31,61 km<sup>3</sup>, Dicle Havzası 21,33 km<sup>3</sup> yıllık akış potansiyeli ile toplam ülke potansiyelinin %28,5’ini meydana getirmektedir [10]. Türkiye halen mevcut su potansiyelinin ancak %36’sını değerlendirmiş durumdadır. Mevcut akarsularımızın rejimleri düzgün değildir. Akarsu debisi aşırı miktarda olduğu yıllarda 1,5-2 kat artabilirken, aşırı kurak yıllarda yarıya düşebilmektedir. Ayrıca, yıl içinde Nisan-Haziran döneminde ortalamadan yüksek, Haziran-Ağustos döneminde ortalamadan düşük olmaktadır [29].

Çizelge 2.7’de verildiği gibi, Türkiye’nin yıllık brüt hidroelektrik enerji potansiyeli 433 milyar kWh mertebesinde olup teknik yönden değerlendirilebilir potansiyel 216 milyar kWh civarındadır [30]. Çizelge 2.7’deki verilere göre, Türkiye’nin teorik hidroelektrik potansiyeli dünya teorik potansiyelinin 1%’i, ekonomik potansiyeli ise Avrupa ekonomik potansiyelinin %16’sıdır. Mevcut potansiyelin değerlendirilmesi için yapılan çalışmalar ile 2006 yılı sonu itibarıyla Çizelge 1.3’den de görüleceği gibi hidrolik güç santrali toplam kurulu gücü 13.062,8 MW olup elektrik enerjisi üretimi 44.158,0 GWh olarak gerçekleşmiştir.

**Çizelge 2.7.** Dünya ve Türkiye hidroelektrik potansiyeli [30].

	<b>Brüt HES Potansiyeli (GWh/yıl)</b>	<b>Teknik HES Potansiyeli (GWh/yıl)</b>	<b>Ekonomik HES Potansiyeli (GWh/yıl)</b>
Dünya	40.150.000	14.060.000	8.905.000
Avrupa	3.150.000	1.225.000	796.150
<b>Türkiye</b>	<b>433.000</b>	<b>216.000</b>	<b>127.381</b>

Türkiye’nin yenilenebilir enerji kaynakları arasında en önemli potansiyele sahip olan hidroelektrik enerji, Çizelge 2.8’den görüleceği üzere, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) tarafından inşa edilerek işletmeye alınmış 544 ve diğer kuruluşlarca yapılan 11 büyük barajdan oluşmakta olup 2005 yılı sonu itibarıyla 141 hidroelektrik güç santrali elektrik üretim amaçlı olarak işletilmektedir [31]. Özel sektöre yapımı planlanan hidroelektrik güç santrali

projelerinin önümüzdeki yıllarda devreye girmesi ve gereken yağışların mevsim normallerinde seyretmesi halinde, ülkemizde hidroelektrik enerji oldukça önemli bir kaynak olmaya devam edecektir.

**Çizelge 2.8.** Türkiye’de işletmede ve inşa halinde bulunan barajlar [31].

Projeler	İşletmede			İnşa Halinde/Programda		
	DSİ	Diğer	Toplam	DSİ	Diğer	Toplam
Büyük Barajlar	201	11	212	85	1	86
Küçük Barajlar	343	-	343	124	-	124
Hidroelektrik Santrali	53	82	135	53	17	70
Gölet	47	617	664	1	43	44
Sulama Alanı (milyon ha)	2,77	2,12	4,89	0,80	-	0,80
Su Kaynağı (Milyar m <sup>3</sup> )	2,50	0,46	2,96	1,09	-	1,09
Kontrollü Taşkın Alanı (milyon ha)	1,0	-	1,0	0,50	-	0,50

Hidroelektrik enerji, Türkiye toplam elektrik üretiminde ortalama %25 paya sahiptir. Bu oran önceki yıllarda %40’lar seviyesinde olup bu duruma gelinmesindeki neden, son yıllarda baraj ve hidroelektrik santral (HES) projelerinde yaşanan gerileme ve izlenen enerji politikalarının doğalgaz yakıtlı santralleri öne çıkarmasından dolayıdır. Bunun yanı sıra bir başka sorunda, hidroelektrik santrallerin kapasite fazlası çalıştırılması sonucu barajlarda yaşanan su seviyesi düşüklüğüdür. Sonuç olarak hidroelektrik enerji üretiminin toplam üretimdeki payı düşmektedir [19].

- **Hidrojen Enerjisi**

Türkiye’de hidrojen enerjisi konusunda yapılmış çalışmalar yok denecek kadar azdır. Dünyada hidrojen teknolojisinin gelişimi ve uygulama planları göz önünde tutularak, öncelikli olarak Ar-Ge programlarına hidrojen enerjisinin alınması gerekmektedir. Türkiye’de hidrojen yakıtı üretiminde kullanılacak olası kaynaklar; hidrolik enerji, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, deniz-dalga enerjisi, jeotermal enerji ve nükleer enerjidir. Türkiye gibi gelişme sürecinde ve teknolojik geçiş aşamasındaki ülkeler açısından, uzun dönemde fotovoltaik, güneş-hidrojen sistemi uygun görülmektedir. Fotovoltaik panellerden elde edilecek elektrik enerjisi ile suyun

elektrolizinden hidrojen üreten bu yöntemde, 1 lt sudan 108,7 kg hidrojen elde edilebilir ki, bu 422 litre benzine eşdeğerdir [32].

Türkiye’de Suni Gübre Sanayi ( $25.000\text{m}^3$ ), bitkisel yağ (margarin) üretimi ( $16.000\text{m}^3$ ), rafineriler ( $1.200\text{m}^3$ ), petrokimya endüstrisi ( $30.000\text{m}^3$ ), hidrojene hayvansal yağ üretimi ( $200-300\text{m}^3$ ) ve çeşitli yerlerde kullanılmak üzere basınçlı silindirlerde gaz veya sıvı hidrojen üretimi ( $6.000\text{m}^3$ ) sadece sanayide kullanılmak üzere yapılmaktadır. Enerji üretimi amacıyla ticari boyutlu hidrojen üretimi mevcut değildir [33].

### • Jeotermal Enerji

Türkiye jeotermal enerji açısından dünyadaki en zengin ülkeler arasındadır. Aktif faylarla sınırlı grabenler ve yaygın genç volkanizmaya bağlı olarak doğal buharların, hidrotermal alterasyonların ve sıcaklığı yer yer  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  ulaşan  $600'$ den fazla sıcak su varlığı, Türkiye’nin önemli jeotermal potansiyele sahip olduğunun kanıtıdır. Bilinen jeotermal alanların %95’i ısıtmaya ve kaplıca kullanımına uygun olup toplam 1000 dolayında sıcak ve mineralli su kaynağı vardır. Türkiye’de az sayıda da olsa elektrik üretiminde kullanılacak yüksek entalpili jeotermal alanlar olmasına rağmen, ülkemizde jeotermale dayalı elektrik üretimi düşük seviyede kalmıştır [34]. Türkiye jeotermal sahaları Şekil 2.1’de görülmektedir.



Şekil 2.1. Türkiye jeotermal haritası [34].

Jeotermal enerjinin kullanımı sıvı ve buhar ağırlıklı hidrotermal dolaşıma dayanmaktadır. Jeotermal enerjinin kullanımı çok eski tarihlere dayanmasına rağmen, elektrik üretimi amaçlı kullanımı ilk olarak 1904 yılında gerçekleşmiş ve bugün 25 ülkenin jeotermal kaynaklı elektrik üretimi yaklaşık 9732 MW'a ulaşmıştır [35]. Jeotermal enerji potansiyeli ile dünyanın ilk yedi ülkesi arasında yer alan Türkiye, dünya sıralamasında, 20,4 MW<sub>e</sub> Denizli-Kızıldere, 7,9 MW<sub>e</sub> Aydın-Salavatlı, 7,95 MW<sub>e</sub> Aydın-Sultanhisar ve 15 MW<sub>e</sub> Denizli-Sarayköy olmak üzere toplam 51,25 MW<sub>e</sub> kurulu güç ile son sıralarda yer almaktadır. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından 1962 yılından beri yapılan çalışmada; Türkiye'de, ağırlıklı olarak Ege bölgesi, Kuzey Batı Anadolu ve Orta Anadolu'da 170 adet jeotermal saha belirlenmiştir. Ancak bu sahaların sadece %7'si yüksek entalpili olup, elektrik üretimine elverişlidir. Çizelge 2.9'dan da görülebileceği gibi Türkiye'de, Rankine ve püskürtmeli çevrimlerle elektrik üretimine uygun, yüksek entalpili 11 adet jeotermal saha bulunmaktadır [36-39]. Bu jeotermal sahalara kurulacak santraller ile 2010 yılında 500 MW<sub>e</sub>, 2020 yılında 1000 MW<sub>e</sub> jeotermal elektrik üretimi hedeflenmiş olmasına rağmen uygulamalar bu hedeften çok uzaktır [40].

**Çizelge 2.9.** Türkiye'de elektrik üretimine uygun jeotermal sahalar [34].

Saha	Sıcaklık (°C)	Potansiyel (MW <sub>e</sub> )
Denizli-Kızıldere	242	120
Aydın-Germencik-Ömerbeyli	232	150
Manisa-Salihli-Göbekli	182	30
Çanakkale-Tuzla	174	50
Aydın-Salavatlı	171	50
Kütahya-Simav	162	30
İzmir-Seferihisar	153	10
Manisa-Salihli-Caferbey	150	30
Aydın-Yılmazköy	142	20
İzmir-Balçova	136	10
İzmir-Dikili	130	10
<b>Toplam</b>		<b>510</b>

Türkiye'nin jeotermal brüt teorik ısı potansiyeli 31.500 MW<sub>th</sub>, teknik ısı potansiyeli 7500 MW<sub>th</sub> ve kullanılabilir ısı potansiyeli de 2843 MW<sub>th</sub>'tır (Bkz. Çizelge 2.3). Kanıtlanmış jeotermal elektrik teknik potansiyeli 500 MW<sub>e</sub>, kullanılabilir elektrik potansiyeli 350 MW<sub>e</sub>

civarındadır. Kullanılabilir potansiyelle yapılabilecek elektrik üretimi ise 1400 GWh/yıl düzeyindedir [34,41].

Türkiye'nin direkt uygulamalardaki muhtemel jeotermal enerji potansiyeli 31.500 MW<sub>th</sub> olup, bunun karşılığı 200 milyon m<sup>2</sup> sera veya 5 milyon konut ısıtmasıdır [42]. Bu ısıtmanın maliyeti elektrikten 100 kat, fuel-oil'den 50 kat, doğalgazdan 40 kat ve kömürden 32 kat daha düşük olmaktadır [43]. Ülkemizdeki konutların %30'unun ısıtılmasında kullanılabilecek olan bu potansiyelin ne yazık ki şu anda yaklaşık %3'ü değerlendirilebilmektedir. [42]. Türkiye'de jeotermal enerji ile Ocak 2006 itibariyle 103.000 konut eşdeğeri (827 MW<sub>th</sub>) merkezi ısıtma yapılmakta olup 215 kaplıcada (402 MW<sub>th</sub>) yılda yaklaşık 10.000.000 kişi ile termal turizm amaçlı olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, Türkiye'de jeotermal enerjiden sağlanan toplam ısı kullanımı ise Ocak 2006 itibariyle 1229 MW<sub>th</sub> (900,000 ton/yıl petrol-kalorifer yakıtı eşdeğeri) olmuş ve bütün bu jeotermal aktivitelerinden kaynaklanan karbondioksit üretimi ise 120.000 ton/yıl olarak gerçekleşmiştir [10].

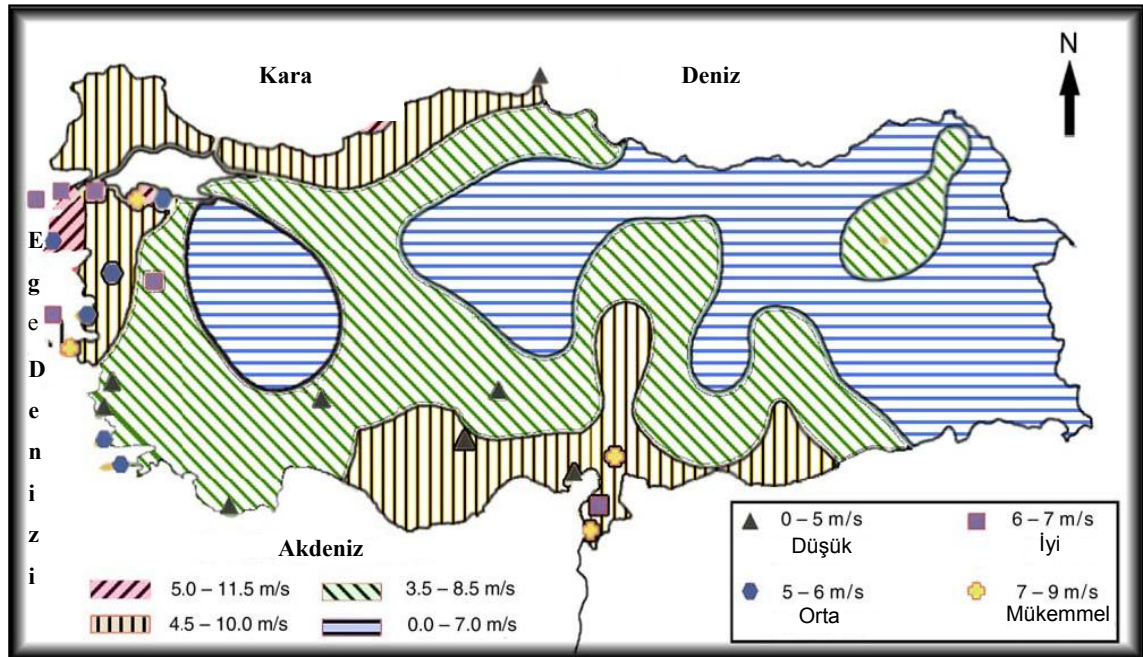
- **Rüzgâr Enerjisi**

Türkiye'de rüzgâr enerjisi ölçümleri iklim amaçlı olarak DMİ tarafından yapılmaktadır. Ancak bu ölçümler, ölçüm istasyonlarının yerleşim birimlerinin içinde kalması nedeniyle gerçek enerji değerlerini vermekten uzaktır [2]. Ülke genelinde rüzgâr enerjisi kaynağına dayalı plan ve programların yapılabilmesi, bu kaynağın potansiyelinin belirlenmesi ile mümkündür. Rüzgârdan elektrik enerjisi üretimine yönelik çalışmalarda ayrıntılı rüzgâr potansiyel değerlendirme çalışmaları gerekli olmaktadır [44]. Rüzgâr potansiyeli önemli görülen ve rüzgâr santrali kurulması düşünülen bölgelerde, EİE 1990 yılından itibaren rüzgâr hızlarını ve yönlerini ölçmektedir. Türkiye açısından kıyı şeritleri, dağ-vadi yapıları gibi coğrafik özellikler göz önünde tutulacak olursa, rüzgâr enerjisinin önemli bir potansiyele sahip olduğu anlaşılmaktadır. EİE, rüzgâr enerjisi alanında Ar-Ge projelerini sürdürmek amacıyla, 1983 yılında bir çalışma başlatmıştır. Bunun için ilk adım olan potansiyel belirleme çalışmalarında; DMİ'ye ait istasyonların 1970–1980 yılları arasındaki aylık rüzgâr hız ve yönüne ait 10 yıllık veriler değerlendirilerek Çizelge 2.10'da verildiği gibi yedi coğrafik yörenin ortalama rüzgâr gücü yoğunluğu ve rüzgâr hızları tespit edilmiştir. Çizelge 2.10'da görüleceği üzere; güç yoğunluğu en yüksek bölge; 51,91 W/m<sup>2</sup> ile Marmara, en düşük bölge ise 13,19 W/m<sup>2</sup> ile Doğu Anadolu bölgesidir [2].

**Çizelge 2.10.** Bölgelere göre ortalama rüzgâr gücü yoğunluğu ve hızları [2].

Bölge	Ortalama Güç Yoğunluğu (W/m <sup>2</sup> )	Ortalama Rüzgâr Hızı (m/s)
Marmara	51,91	3,29
Güneydoğu Anadolu	29,33	2,69
Ege	23,47	2,65
Akdeniz	21,36	2,45
Karadeniz	21,31	2,38
İç Anadolu	21,14	2,46
Doğu Anadolu	13,19	2,12

Türkiye'nin bulunduğu coğrafi yöreye bağlı kalarak komşu ve bölge ülkelerinde yapılmış ölçüm verileri ve DMİ'den alınan düzenlenmiş veriler yardımıyla hazırlanan Türkiye Rüzgâr Atlası Şekil 2.2'de verilmiştir [45].



**Şekil 2.2.** Türkiye rüzgâr atlası [45].

Harita incelendiğinde; Ege, Marmara, Akdeniz, Karadeniz kıyıları ve Güneydoğu Anadolu'nun bir kısmının 4,5-10 m/s ortalama rüzgâr hızı ile yüksek rüzgâr potansiyeline sahip olduğu görülmektedir. Dünder ve arkadaşlarının 2002 [45] yılında hazırladığı rüzgâr atlasında, Türkiye'nin teknik potansiyeli yaklaşık 88 GW olarak tespit edilmiş olup Oğulata [46] ise yaptığı çalışmada, Türkiye teknik rüzgâr potansiyelini 83 GW olarak belirtmektedir.



Türkiye’de rüzgâr enerjisinden elektrik üretimine ilk olarak İzmir-Çeşme Altinyunus otelinde 55 kW nominal rüzgâr güç kapasitesi ile 1986’da başlanmıştır [47,48]. Daha sonra 1986-1996 yılları arasında rüzgârdan elektrik üretimi için bazı girişimler yapılmış, fakat başarısız olunmuştur. 1994’de Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) ilk Yap-İşlet-Devlet (YİD) modelindeki rüzgâr enerjisi projesi sunulmuştur. Nitekim, Çizelge 2.11’de görüleceği üzere Türkiye’de ilk rüzgâr enerji santrali 1998 yılında 1,5 MW kurulu güç ile İzmir-Çeşme-Germiyan’da işletmeye alınmış [49] olup, Türkiye rüzgâr kurulu gücü 2007 yılı sonu itibariyle 146,25 MW’a ulaşmıştır [50].

**Çizelge 2.11.** Türkiye’nin kurulu rüzgâr gücü [50].

Santralin Adı	Kuruluş Yılı	Kapasite (MW)	Yeri
Delta Plastik-Otoprodüktör	1998	1,5	İzmir-Çeşme-Germiyan
ARES Güçbirliği Holding-YİD	1998	7,2	İzmir-Çeşme-Alaçatı
BORES Demirer Holding-YİD	2000	10,2	Çanakkale-Bozcaada
Sunjüt Sanayi- Otoprodüktör	2003	1,2	İstanbul-Çatalca
BARES Bilgin enerji- Otoprodüktör	2006	30	Balıkesir-Bandırma
Ertürk A.Ş.	2006	0,85	İstanbul-Silivri
Mare A.Ş.	2007	39,20	İzmir-Çeşme
Deniz A.Ş.	2007	10,80	Manisa-Akhisar
Anemon A.Ş.	2007	30,40	Çanakkale-İntepe
Doğal A.Ş.	2007	14,90	Çanakkale-Gelibolu
<b>Toplam</b>		<b>146,25</b>	

İstenilen artış sağlanamamasına rağmen Çizelge 1.6’da verilen TEİAŞ’ın hazırladığı, enerji üretim projeksiyonu senaryosuna göre, rüzgâr enerjisinin, 2010 yılında toplam enerji üretimindeki payının 4890 GWh ile %2,02 olacağı öngörülmektedir. Ancak, Türkiye’nin rüzgâr enerjisi teknik potansiyeli 88.000 MW, ekonomik potansiyeli 10.000 MW olmasına karşın, yapılan mevcut çalışmalara göre bu hedeflerin gerçekleşmesi mümkün görülmemektedir [2,51].

### 3. KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN ULUSLARARASI ETKİLERİ

#### 3.1. İklim Sistemi ve Değişimi

İklim değişikliği, çok genel bir yaklaşımla, “Nedeni ne olursa olsun iklim koşullarındaki büyük ölçekli (küresel) ve önemli yerel etkileri bulunan, uzun süreli ve yavaş gelişen değişiklikler” biçiminde tanımlanabilir. İklimdeki değişiklikler, buzul ve buzularası çağlar arasında, dünyanın çeşitli bölgelerinde ortalama sıcaklıklarda oluşan büyük değişiklikler şeklinde ortaya çıktığı gibi, yağış değişimlerini de içerir. Bugünkü bilgilere göre, Yerküre'nin 4,6 milyar yıllık çok uzun jeolojik tarihi boyunca iklim sisteminde milyonlarca yıldan on yıllara kadar tüm zaman ölçeklerinde doğal etmenler ve süreçlerle birçok değişiklik olmuştur. Jeolojik devirlerdeki iklim değişiklikleri, özellikle buzul hareketleri ve deniz seviyesindeki değişimler yoluyla yalnız dünya coğrafyasını değiştirmekle kalmamış, ekolojik sistemlerde de kalıcı değişiklikler oluşturmuştur [15]. Dünya iklim sistemi çok karmaşık bir yapı olarak görülmektedir. Bu sistemin atmosfer, okyanuslar, okyanus akıntı sistemi, kutup bölgeleri, ormanlar, çöller, buzullar, yanardağlar, insan etkinlikleri gibi bir çok değişkeni olduğu bilinmektedir [52].

Küresel iklim sistemi, atmosferin oluşumundan beri, tüm zaman ve alan ölçeklerinde değişme eğilimi içine girmiştir. Bilim adamları tarafından dünya ikliminin içinde bulunduğumuz dönemden daha soğuk olması gerektiği öngörülmektedir. Ancak sürdürülen araştırma ve gözlemler sonucunda, dünya ikliminin soğuk bir döneme değil; aksine tehlike yaratacak ölçüde sıcak bir devreye girmiş olduğu anlaşılmaktadır. 1860 yılından günümüze kadar yapılmış olan gözlem ve kayıtlar, ortalama küresel sıcaklığın 0,5 ile 0,8 °C arasında arttığını göstermektedir. 19. yüzyılın ortalarından itibaren doğal değişebilirliğe ek olarak, ilk kez insan etkilerinin de küresel iklimi etkilediği yeni bir döneme girilmiştir [52]. Günümüzde insan oğlunun etkinlikleri dünyanın iklimini değiştirmekte, insanoğlu dünyayı yaşanılabilir kılan doğal “sera gazı etkisi”ni arttırmak suretiyle enerji tutan gazların atmosferdeki konsantrasyonlarını arttırmaktadır (Çizelge 3.1.) [53].

Sanayi devrimiyle birlikte fosil yakıtların kullanımının giderek artması ve ormanların hızla yok edilmesi atmosferdeki insan kaynaklı sera gazlarının miktarını Çizelge 3.1'den görüleceği üzere önemli ölçüde artırmıştır [54]. Atmosfere salımı gerçekleşen sera gazlarının %80'i fosil yakıtların kullanımından kaynaklanmaktadır [55]. İklim değişikliğine yol açan faktörler arasında en önemli payı insan kaynaklı sera gazları almakta, bunların içerisinde de karbondioksit (CO<sub>2</sub>) insan kaynaklı sera gazı etkisinin %60'ından sorumlu tutulmaktadır. Bilim adamları 1950'lerden bu yana atmosferdeki CO<sub>2</sub> miktarını ölçmekte olup, bugünkü CO<sub>2</sub> düzeyinin (385 ppmv) sanayi öncesi döneme göre %37,5 daha fazla olduğu ve enerji talebinin bu hızla büyümeye devam etmesi durumunda yüzyıl bitmeden bu miktarın iki katına çıkabileceği vurgulanmaktadır. Şekil 3.2'den de görüleceği üzere, buzulların derinliklerinden elde edilen kayıtlara göre CO<sub>2</sub> düzeylerinin küçük oynamalar dışında binlerce yıl sabit kaldığı düşünülecek olursa, bu çok büyük bir değişimdir [54].

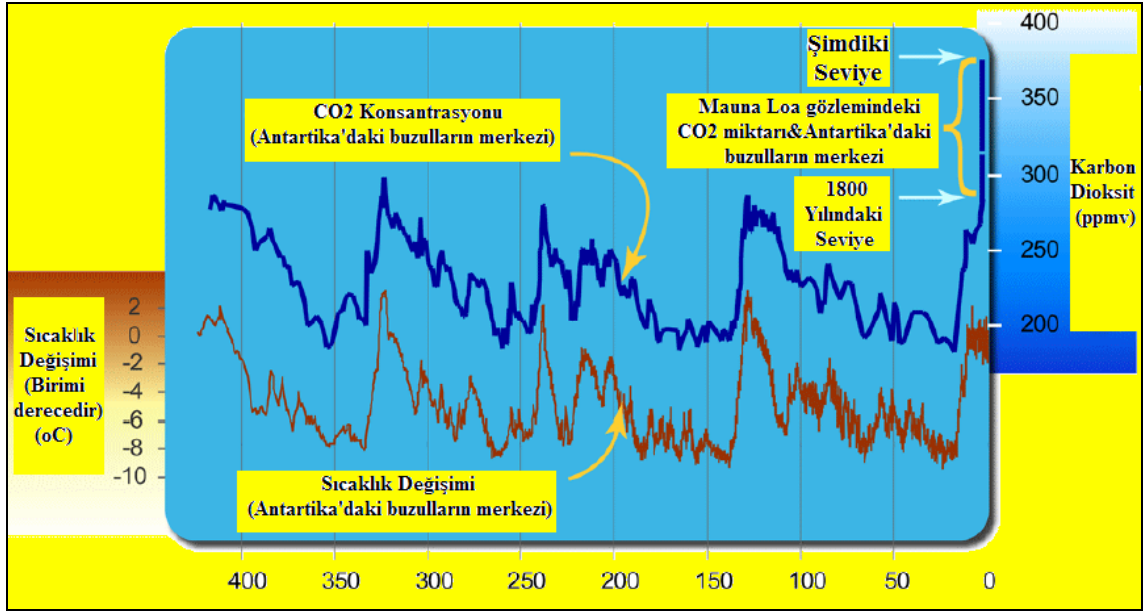
**Çizelge 3.1.** İnsan etkinliklerinden etkilenen önemli sera gazlarına ilişkin özet bilgiler [56,57].

Sera Gazları (Atmosferik Birim)	CO <sub>2</sub> (ppmv)	CH <sub>4</sub> (ppbv)	N <sub>2</sub> O (ppbv)	CFC11 (pptv)
Sanayi öncesi (1750-1800)	~280	~700	~275	0
Günümüzde	~385 <sup>(1)</sup>	1799.30 <sup>(2)</sup>	312 <sup>(3)</sup>	268 <sup>(4)</sup>
Yıllık değişim (birikim)	~1.3 <sup>(5)</sup>	10	0.8	0
Yıllık değişim (%)	0.4 <sup>(5)</sup>	0.6 <sup>(6)</sup>	0.25 <sup>(6)</sup>	0
Atmosferik ömrü (yıl)	50-200 <sup>(7)</sup>	12	120	50

(IPCC (1996)'ya ve Mauna Loa'nın aylık ortalama CO<sub>2</sub> verilerine göre (Climate Change, 1999) dayanan hesaplamalara göre).

(1) 2006 Yılı ortalaması; (2) Aralık 2005 verisi; (3) 1994 Yılı verisi; (4) 1992-1993 verilerinden tahmini olarak (5) 1958-1998 dönemindeki Mauna Loa ölçümlerine göre; (6) CH<sub>4</sub> ve N<sub>2</sub>O'nun büyüme oranları, 1984'den sonraki dönemin ortalamasına dayanmaktadır; (7) Okyanuslar ve biyosfer gibi yutaklarca ve çeşitli yutak süreçlerine farklı oranlarda emilmesi ve bu süreçlerin karmaşık olması nedeniyle, CO<sub>2</sub>'nin atmosferik ömrü için tek bir değer verilememektedir.

Şekil 3.1'de verilen dünyanın son 400.000 yıllık karbondioksit (CO<sub>2</sub>) ve sıcaklık değişimleri incelendiğinde, ortalama olarak 80.000 ile 110.000 yılda bir CO<sub>2</sub> miktarında bir artış olurken buna paralel olarak sıcaklıkta artmış ve azalmıştır. Günümüzden 120.000 yıl önceki son CO<sub>2</sub> döngüsünden sonra dünya buzul çağını yaşamıştır. Günümüzde CO<sub>2</sub>'deki artış insan kaynaklı ve acımasız bir hızla devam etmektedir [57].



**Şekil 3.1.** Dünyanın dört yüz bin yıllık atmosferdeki CO<sub>2</sub> miktarı ve sıcaklık değişimi [58].

BM Hükümetler Arası İklim Değişimi Paneli, eğer sera gazlarının salımı konusunda gerekli önlemler alınmazsa 2100 yılına gelindiğinde ortalama sıcaklığın üç derece kadar artmasının olası olduğunu ortaya koymuştur. Üç derecelik artış çok fazlaymış gibi görünmese de son buzul çağıının bu kadarlık bir soğuma sonucu gerçekleştiğini gözden kaçırmamak gerekmektedir. Bilim adamları bu üç derecelik artışın geri dönülmez çevresel felakete yol açacağını belirtmektedir [54]. En iyimser tahminde bile 1,3 °C artış olacağı beklenmektedir [53].

Gelecekteki eğilimlerin tahmini sürecindeki belirsizlikler hata paylarını arttırsa bile, Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) önümüzdeki 100 yıl içinde yüzey sıcaklıklarında küresel ortalama olarak 1,4 ile 5,8 °C arasında artış olacağını öngörmektedir [59]. Belirtilen risk aralığının en alt sınırının gerçekleşmesi halinde bile, küresel ısınmanın istenilmeyen boyutlara gelmesi ve dramatik sonuçlara yol açması olasıdır (Çizelge 3.2) [59,60]. İnsanlar üzerindeki etki ise kaçınılmaz ve yer yer aşırı ölçülerde olacaktır. Dünyanın kimi yörelerindeki insanlar Çizelge 3.2'de görülen iklim değişikliklerinden yararlanabilirler. Ancak bunlardan çok daha fazlası yeni duruma ayak uydurmakta zorlanacaktır. Gelişmekte olan ülkelerin durumu daha güç olacaktır; çünkü yeterli kaynaklara sahip olmamaları, bu ülkeleri Çizelge 3.2'de görülen ciddi ölçekteki herhangi bir ters ya da olağanüstü duruma karşı daha kırılgan kılmaktadır. Oysa gelişmekte olan ülkelerin sera gazı emisyonlarında çok küçük bir paya sahip olduğu bilinmektedir [59].

**Çizelge 3.2.** İklim değişikliği, aşırı iklim olayları ve etkileriyle ilgili örnekler [59].

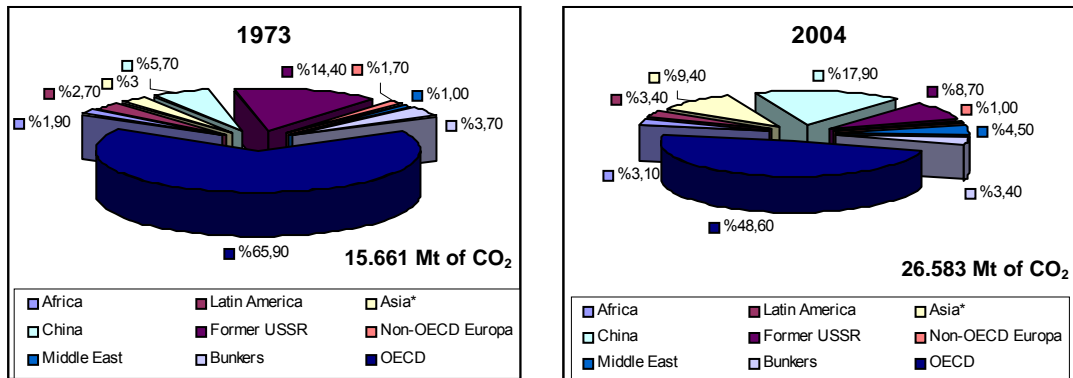
Öngörülen Değişiklikler	Öngörülen Etkiler
Hemen hemen bütün karasal alanlarda en yüksek sıcaklıklarda artış, daha fazla sıcak gün ve sıcak hava dalgaları.  <b>Tahmin: Çok olası</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Yaşlılar ve kent yoksulları arasında hastalık ve ölümler</li> <li>▲ Çiftlik ve yabani hayvanlarda sıcak stresi</li> <li>▲ Kimi tarım ürünlerinin zarar görmesi</li> <li>▲ Soğutma ihtiyacı</li> <li>▼ Enerji temininde güvenilirlik</li> </ul>
Hemen hemen bütün karasal alanlarda daha yüksek en düşük sıcaklıklar; soğuk ve donlu gün sayısı ile soğuk hava dalgalarında azalma.  <b>Tahmin: Çok olası</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▼ Soğukla ilgili insan hastalıkları ve ölümleri</li> <li>▼ Kimi tarım ürünlerinin zarar görmesi</li> <li>■ Kimi tarım zararlıları ile hastalık taşıyan canlıların yayılma alanı ve hareketlilikleri</li> <li>▼ Isınma enerjisi talebi</li> </ul>
Daha şiddetli yağış.  <b>Tahmin: Birçok bölge için çok olası</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Sel, toprak kayması ve çığ hasarı</li> <li>▲ Toprak erozyonu</li> <li>▲ Sellerle sürüklenen çökellerin taşkına bağlı akiferleri doldurması</li> <li>▲ Kamu ve özel sel sigorta sistemleri ve afet yardımlarına yönelik talep</li> </ul>
Orta enlemlerde yer alan iç bölgelerin çoğunda yazların kuraklaşması ve bununla ilgili kuraklık riski.  <b>Tahmin: Olası</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▼ Tarım ürünleri verimi</li> <li>▲ Zemindeki çekilme nedeniyle bina temellerinin gördüğü zarar</li> <li>▲ Orman yangını riski</li> <li>▼ Su kaynaklarının miktarı ve kalitesi</li> </ul>
Tropikal siklon rüzgâr hızında; ortalama en fazla yağış yoğunluklarında artış.  <b>Tahmin: Kimi bölgelerde olası</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ İnsan yaşamı için risk, bulaşıcı hastalık salgınları</li> <li>▲ Kıyı erozyonu; kıyılardaki binalar ve altyapıların uğradığı zarar</li> <li>▲ Mercan kayalıkları ve mangrov gibi kıyı ekosistemlerinin uğradığı zarar</li> </ul>
Birçok bölgede El Nino bağlantılı kuraklık ve sellerin şiddetlenmesi.  <b>Tahmin: Olası</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▼ Kuraklık ve sele maruz bölgelerde tarım ve mera verimi</li> <li>▼ Kuraklığa maruz bölgelerde hidrolik enerji potansiyeli</li> </ul>
Asya yaz musonlarına bağlı yağışların daha değişken hale gelmesi.  <b>Tahmin: Olası</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Asya'nın ılıman ve tropikal bölgelerinde sel ve kuraklığın boyutları ve yol açtığı zarar</li> </ul>
Orta enlemlerde daha kuvvetli fırtınalar.  <b>Tahmin: Mevcut modeller arasında pek az uyuşma var</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ İnsan yaşamına ve sağlığına yönelik risk</li> <li>▲ Mülk ve altyapı kayıpları</li> <li>▲ Kıyı ekosistemlerinin zarar görmesi</li> </ul>

Semboller: ▲ Artma ■ Yaygınlaşma ▼ Azalma

### 3.2. Dünya ve Türkiye’de iklim değişimi ve CO<sub>2</sub> emisyonları

20. yüzyılın başlangıcında, dünya nüfusu 1,6 milyar, birincil enerji tüketimi ise yaklaşık 1000 Mtep idi. 2002 yılına gelindiğinde dünya nüfusu yaklaşık 4 kat artarak 6 milyarı geerirken, enerji tüketimi yaklaşık 10,3 katlık bir artış göstererek 10.345 Mtep olmuştur. 2002 yılında dünya enerji tüketiminin 8401 Mtoe’i petrol, doğalgaz, kömür gibi fosil yakıtlardan, 224 Mtep’i hidrolik enerjiden, 692 Mtep’i nükleer enerjiden karşılanmıştır. Söz konusu enerji tüketimi içindeki fosil yakıtların toplam payı %81 olmuştur. Dünya elektrik enerjisi tüketiminin 2020 yılında 24.400 milyar kWh’e ulaşacağı tahmin edilmektedir. Önemümüzdeki yıllarda bu tüketimin karşılanması için kullanılacak birincil enerji kaynaklarının tercihinde, ekonominin yanısıra yükselmekte olan çevre değerleri de belirleyici olacaktır [10,61].

Dünyada hızla etkisini gösteren ve atmosferin ısınmasına yol açan sera gazı emisyonlarının %85’i enerji sektöründen kaynaklanmaktadır [10,61]. şekil 3.2’de 1973 ve 2004 yıllarına ait bölgesel CO<sub>2</sub> emisyon oranları verilmiş olup, buna göre 1973 yılında 15.661 milyon ton (Mt) olan CO<sub>2</sub> salımı 2004 yılında 26.583 Mt’a ulaşmıştır. 1973 yılında OECD ülkelerinin CO<sub>2</sub> salım oranı %65,9 iken 2004 yılında bu oran %48,6’ya gerileyerek 12.911 milyon ton olmuştur [16]. Tabiki bu oranın düşmesi OECD ülkelerinde meydana gelen CO<sub>2</sub> salım oranının azalması değil, Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerin CO<sub>2</sub> salım oranlarının hızlı bir artış göstermesidir.



\*Çin hariç Asya.

şekil 3.2. 1973 ve 2004 CO<sub>2</sub> emisyonlarının bölgesel payları [16].

Türkiye’de, Ulusal Seragazı Emisyonları 1996 Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) Rehberi kullanılarak hesaplanmaktadır. Emisyon envanteri, enerji, endüstriyel prosesler, tarımsal faaliyetler ve atık bertarafından kaynaklanan, doğrudan seragazları olan karbondioksit (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), nitroz oksit (N<sub>2</sub>O), hidroflorokarbonlar (HFCs) ve kükürt hekzaflorid (SF<sub>6</sub>) ile dolaylı seragazları azot oksitler (NO<sub>x</sub>), metan dışı uçucu organik bileşikler (NMVOCs) ve karbonmonoksit (CO) emisyonlarını kapsamaktadır. Arazi kullanımı ve arazi kullanım değişimlerinden kaynaklanan emisyonlar hesaplamalara dahil edilmemektedir. Türkiye’nin, toplam seragazı emisyonu CO<sub>2</sub> eşdeğeri olarak Çizelge 3.3’de verildiği gibi 2005 yılında 312,36 milyon ton olarak hesaplanmıştır. 2005 yılı emisyonlarında Çizelge 3.4’den görüleceği üzere, CO<sub>2</sub> eşdeğeri olarak en büyük payı %77 ile enerji sektörü oluştururken, ikinci sırayı %10 ile katı atık bertarafı ve üçüncü sırayı da %8 ile endüstriyel prosesler almaktadır. CO<sub>2</sub> eşdeğeri olarak 2005 yılı toplam seragazı emisyonu 1990 yılı ile kıyaslandığında %83,7 ve 2004 yılı ile kıyaslandığında ise %5,31’lik büyüme sağlamıştır [62].

**Çizelge 3.3.** Toplam sera gazı emisyonları (milyon ton CO<sub>2</sub> eşdeğeri) [62,63].

Sera Gazları	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005
CO <sub>2</sub>	139,59	171,85	223,81	207,38	216,43	230,99	241,88	256,33
CH <sub>4</sub>	29,21	42,54	49,27	48,70	46,87	47,76	46,29	49,36
N <sub>2</sub> O	1,26	6,33	5,74	4,84	5,41	5,25	5,49	3,44
HFC <sub>s</sub>	0,00	0,00	0,82	0,87	1,42	1,81	2,23	2,38
SF <sub>6</sub>	0,00	0,00	0,32	0,31	0,48	0,48	0,70	0,86
<b>Toplam</b>	<b>170,06</b>	<b>220,72</b>	<b>279,96</b>	<b>262,10</b>	<b>270,61</b>	<b>286,30</b>	<b>296,60</b>	<b>312,36</b>

**Çizelge 3.4.** Sektörlere göre toplam sera gazı emisyonları (milyon ton CO<sub>2</sub> eşdeğeri) [62,63].

Sektörler	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Enerji	132,13	160,79	212,55	196,02	204,02	218,00	227,43	241,45
Endüstriyel Prosesler	13,07	21,64	22,23	21,20	23,42	24,12	26,45	25,29
Tarım	18,47	17,97	16,13	15,77	14,77	14,80	15,18	15,87
Atık	6,39	20,31	29,04	29,11	28,41	29,36	27,55	29,75
<b>Toplam</b>	<b>170,06</b>	<b>220,72</b>	<b>279,96</b>	<b>262,10</b>	<b>270,61</b>	<b>286,28</b>	<b>296,60</b>	<b>312,36</b>
<b>1990 yılına göre artış (%)</b>	<b>-</b>	<b>29,8</b>	<b>64,6</b>	<b>54,1</b>	<b>59,1</b>	<b>68,3</b>	<b>74,4</b>	<b>83,7</b>

Çizelge 3.5'den de görüleceği üzere, 2005 yılında toplam CO<sub>2</sub> emisyonlarının yaklaşık olarak %92'si yakıtların yanmasından kaynaklanmaktadır. CH<sub>4</sub> emisyonlarının %60'ı atık bertarafından, %32'si tarımsal faaliyetlerden, N<sub>2</sub>O emisyonlarının %51'inin ise endüstriyel proseslerden kaynaklandığı belirlenmiştir [62].

Türkiye'de, 2005 yılında 1990 yılına göre, CO<sub>2</sub> emisyonunda en yüksek artış %160 ile çevrim ve enerji sektöründe gözlenmiştir. Bu değeri %79 ile imalat sanayi, %56 ile ulaştırma ve %37 ile diğer sektörler izlemektedir. 1990 yılına göre 2005 yılında toplam CO<sub>2</sub> emisyonu Çizelge 3.4'den da görüleceği üzere %84 oranında artmıştır [62].

2005 yılında enerji kaynaklı sektörel CO<sub>2</sub> emisyonu Çizelge 3.5'e göre incelendiğinde, toplam CO<sub>2</sub> emisyonun %34,55'nin çevrim ve enerji sektöründen, %26,18'nin sanayiden kaynaklandığı, ulaştırma sektörünün %15,81'lik bir payının olduğu ve geri kalan %15,55'inin ise diğer enerji sektörlerindeki yakıt tüketiminin sebep olduğu tespit edilmiştir. Aynı yıl içerisinde toplam emisyonun %7,91'lik payı ise endüstriyel proseslerden kaynaklanmıştır [62].

Türkiye'nin 2005 yılı CO<sub>2</sub> emisyonları Çizelge 3.6'dan da görüleceği üzere 256.325 milyon tona ulaşmış olup, 2005 yılı kişi başına düşen CO<sub>2</sub> emisyonu miktarı Şekil 3.4'de verildiği gibi, yaklaşık olarak 3,55 ton civarındadır. Bu değer 2001 yılında 3,34 ton, 2002 yılında 3,05 ton, 2003 yılında 3,10 ton ve 2004 yılında ise 3,28 tondur. Türkiye'nin 2005 yılı kişi başına CO<sub>2</sub> emisyon değeri, OECD'nin ortalaması olan 11 ton, Avrupa Birliği ülkelerinin ortalaması olan 9 ton ve dünya ortalaması olan 4 tondan çok daha azdır. Şekil 3.3 incelendiğinde, Türkiye'nin genel toplam ve kişi başına düşen CO<sub>2</sub> emisyonlarının, büyüme hedefi doğrultusunda, 2001-2005 yılları arasında arttığı görülmektedir.

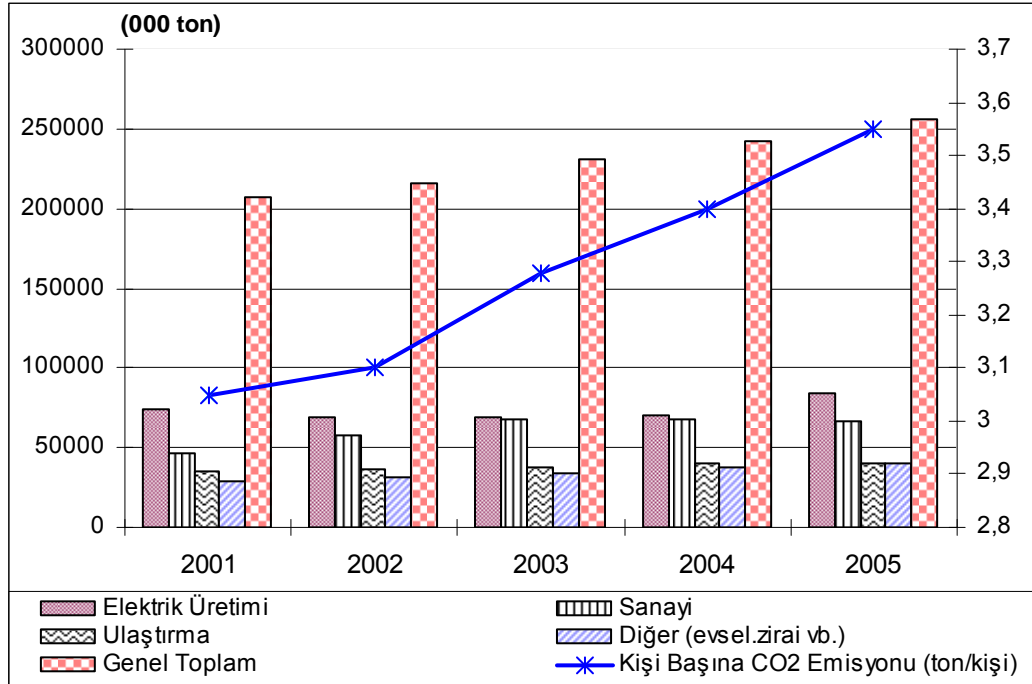


**Çizelge 3.5.** Doğrudan sera gazı emisyonlarının sektörel dağılımı (%) [62].

Sektörler	1990	1995	2000	2004	2005
<b>CO<sub>2</sub></b>					
<b>Enerji</b>	<b>90,76</b>	<b>90,40</b>	<b>92,52</b>	<b>91,90</b>	<b>92,09</b>
1. Çevrim ve Enerji Sektörü	24,37	27,53	34,31	31,50	34,55
2. Sanayi	26,89	24,43	26,75	28,24	26,18
3. Ulaştırma	18,59	19,10	15,62	16,73	15,81
4. Diğer Sektörler	20,92	19,33	15,83	15,44	15,55
<b>Endüstriyel Prosesler</b>	<b>9,24</b>	<b>9,60</b>	<b>7,48</b>	<b>8,10</b>	<b>7,91</b>
1. Mineral Üretimi	7,96	8,61	7,08	7,61	7,54
2. Kimya Endüstrisi	0,59	0,56	0,07	0,29	0,23
3. Maden Üretimi	0,69	0,44	0,34	0,21	0,14
<b>CH<sub>4</sub></b>					
<b>Enerji</b>	<b>15,18</b>	<b>10,17</b>	<b>8,50</b>	<b>7,92</b>	<b>7,87</b>
<b>A. Yakıt Yanması</b>	<b>10,28</b>	<b>6,78</b>	<b>5,22</b>	<b>5,26</b>	<b>4,87</b>
1. Çevrim ve Enerji Sektörü	0,04	0,04	0,06	0,06	0,06
2. Sanayi	0,22	0,16	0,23	0,28	0,26
3. Ulaştırma	0,24	0,28	0,28	0,27	0,25
4. Diğer Sektörler	9,78	6,30	4,66	4,65	4,30
<b>B. Kaçak Emisyonlar</b>	<b>4,90</b>	<b>3,40</b>	<b>3,28</b>	<b>2,66</b>	<b>3,00</b>
<b>Endüstriyel Prosesler</b>	<b>0,17</b>	<b>0,12</b>	<b>0,10</b>	<b>0,11</b>	<b>0,03</b>
<b>Tarım</b>	<b>62,78</b>	<b>41,96</b>	<b>32,46</b>	<b>32,46</b>	<b>31,82</b>
<b>Atık</b>	<b>21,87</b>	<b>47,75</b>	<b>58,95</b>	<b>59,51</b>	<b>60,28</b>
<b>N<sub>2</sub>O</b>					
<b>Enerji</b>	79,02	17,58	22,71	26,97	43,97
1. Çevrim ve Enerji Sektörü	9,19	2,56	4,05	3,77	7,11
2. Sanayi	11,21	2,29	4,07	4,52	6,85
3. Ulaştırma	20,77	5,29	7,16	11,73	19,12
4. Diğer Sektörler	37,85	7,43	7,43	6,95	10,89
<b>Endüstriyel Prosesler</b>	<b>10,19</b>	<b>80,43</b>	<b>74,78</b>	<b>70,30</b>	<b>51,12</b>
<b>Tarım</b>	<b>10,80</b>	<b>1,99</b>	<b>2,51</b>	<b>2,73</b>	<b>4,91</b>

**Çizelge 3.6.** 1990-2005 yılları arasında Türkiye'nin CO<sub>2</sub> emisyonları (1000 Ton) [64].

Sera Gazı Kaynakları	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005
<b>Enerji</b>	<b>126701,07</b>	<b>155347,30</b>	<b>207054,44</b>	<b>190878,73</b>	<b>198951,36</b>	<b>212964,27</b>	<b>222283,61</b>	<b>236051,49</b>
<b>1. Çevrim ve Enerji Sektörü</b>	<b>34.014,69</b>	<b>47.314,12</b>	<b>76.779,72</b>	<b>79.772,48</b>	<b>74.055,79</b>	<b>74.195,58</b>	<b>76.184,85</b>	<b>88.556,87</b>
a. Elektrik Üretimi	30.325,45	43.750,17	72.089,38	74.515,39	68.814,72	68.973,26	70.499,47	83.679,69
b. Petrol Rafinerileri	3.689,24	3.563,95	4.690,34	5.207,09	5.241,07	5.222,32	5.685,38	4.877,17
<b>2. Sanayi Sektörü</b>	<b>37.530,74</b>	<b>41.982,33</b>	<b>59.874,86</b>	<b>46.893,54</b>	<b>58.082,79</b>	<b>67.360,25</b>	<b>68.302,43</b>	<b>67.102,48</b>
a. Demir Çelik	9.402,02	9.652,41	10.087,73	9.384,12	8.906,24	9.587,73	9.520,93	9.325,43
b. Demir Harici Madenler	1.010,62	1.663,38	1.953,72	1.960,61	2.142,74	1.955,54	2.274,57	2.369,23
c. Kimyasallar	2.513,68	2.767,62	3.152,32	3.288,62	3.256,88	3.129,48	3.140,11	4.352,26
d. Diğer	24.604,42	27.898,92	44.681,09	32.260,20	43.776,93	52.687,50	53.366,82	51.055,56
<b>3. Ulaştırma</b>	<b>25.954,63</b>	<b>32.830,43</b>	<b>34.968,90</b>	<b>35.026,30</b>	<b>36.044,33</b>	<b>37.765,48</b>	<b>40.457,82</b>	<b>40.525,92</b>
a. Havacılık	904,59	2.709,58	3.058,29	3.322,73	3.745,02	4.128,06	4.798,68	4.054,36
b. Karayolu	24.035,93	28.792,36	30.882,24	30.541,22	31.113,55	32.368,94	34.077,86	34.517,38
c. Demiryolu	516,65	618,47	477,72	377,44	379,52	394,58	374,27	676,75
d. Denizcilik	497,47	710,02	610,65	784,90	806,23	873,90	1.207,01	1.277,43
<b>4. Diğer Sektörler</b>	<b>29.201,00</b>	<b>33.220,43</b>	<b>35.430,96</b>	<b>29.236,41</b>	<b>30.768,46</b>	<b>33.642,96</b>	<b>37.338,52</b>	<b>39.866,22</b>
a. Konut	23405,61	25848,03	26891,55	21065,09	22471,30	25218,56	28284,91	30639,47
b. Tarım/Orman/Balıkçılık	5795,38	7372,41	8539,41	8171,33	8297,17	8424,40	9053,60	9226,75
<b>Endüstriyel Prosesler</b>	<b>12893,03</b>	<b>16506,53</b>	<b>16751,57</b>	<b>16500,71</b>	<b>17481,72</b>	<b>18023,02</b>	<b>19600,83</b>	<b>20274,23</b>
<b>1. Mineral Ürünleri</b>	<b>11.106,28</b>	<b>14.788,39</b>	<b>15.840,64</b>	<b>15.753,95</b>	<b>16.478,95</b>	<b>16.965,40</b>	<b>18.398,70</b>	<b>19.328,90</b>
a. Çimento Üretimi	10.333,37	13.824,71	14.771,91	14.667,82	15.051,68	15.521,29	16.725,48	18.554,80
b. Kireç Üretimi	645,09	816,61	832,06	876,36	1.191,60	1.187,25	1.411,24	441,53
c. Kireç Taşı ve Dolomit Kullanımı	21,52	13,69	8,80	10,61	10,98	14,74	6,41	-
d. Sodyum Karbonat Üretimi ve Kullanımı	106,30	133,37	227,86	199,17	224,69	242,11	255,57	332,57
<b>2. Kimya Endüstrisi</b>	<b>825,72</b>	<b>964,17</b>	<b>152,64</b>	<b>169,42</b>	<b>613,84</b>	<b>601,65</b>	<b>702,64</b>	<b>592,93</b>
a. Amonyak Üretimi	713,472	937,024	104,0096	130,624	585,0368	563,1424	641,2544	592,928
b. Karpit Üretimi	112,2475	27,14295	48,63075	38,7984	28,80675	38,5034	61,3836	0
<b>3. Maden Üretimi</b>	<b>961,03</b>	<b>753,97</b>	<b>758,29</b>	<b>577,33</b>	<b>388,92</b>	<b>455,97</b>	<b>499,49</b>	<b>352,40</b>
a. Demir Çelik Üretimi	770,23	528,11	521,18	400,26	261,86	296,31	346,98	318,98
b. Demir Alaşımları Üretimi	81,17	115,13	126,41	65,96	14,56	46,01	37,31	33,43
c. Alüminyum Üretimi	109,62	110,72	110,70	111,11	112,50	113,65	115,20	0,00
<b>Toplam</b>	<b>139.594,10</b>	<b>171.853,83</b>	<b>223.806,01</b>	<b>207.379,44</b>	<b>216.433,08</b>	<b>230.987,29</b>	<b>241.884,43</b>	<b>256.325,72</b>



Şekil 3.3. Türkiye'nin 2001-2005 yılları arasındaki CO<sub>2</sub> emisyonları [64].

### 3.3. İklim Değişikliği ve Kyoto Protokolü

İnsan-çevre ilişkilerinde ortaya çıkan çevre sorunlarının temelini bakıldığında, bu sorunların insanın çevresini kendi çıkarlarına uygun bir konuma dönüştürmesinden kaynaklandığı görülmektedir. Günümüzde bu dönüşüm sürecinin sebep olduğu en büyük çevresel sorun, iklim değişikliği olarak görülmektedir. Küresel ısınmanın meydana gelmesi, deniz seviyelerinin yükselmesi ve büyük çaplı sel ve kasırga gibi doğal felaketlerin yaşanması doğrudan doğruya iklim değişikliği ile ilişkilendirilmektedir [2].

İklim değişikliği ve iklim değişikliğinin önlenmesiyle ilgili uluslararası bilimsel ve teknik bilgilenme, örgütlenme ve yasal bir çerçeveye yönelik hazırlıklar ile hükümetler arası görüşmeler ve anlaşmalar sürecinde, yaklaşık 25 yıllık bir dönemde önemli değişiklikler olmuştur [65]. İklim değişikliği ve iklim değişikliğinin önlenmesiyle ilgili bu uluslararası görüşme ve çalışmaların kısa özeti Şekil 3.4'de verilmektedir.



**Şekil 3.4.** İklim değişikliği konulu uluslararası görüşmeler sürecinde 1979-2005 dönemindeki önemli dönüm noktaları ve gelişmeler [15].

Atmosferdeki CO<sub>2</sub> birikiminin değişmesine bağlı olarak ikliminin değişebilme olasılığı, ilk kez 1896 yılında Nobel ödülü sahibi İsveçli S. Arrhenius tarafından öngörülmüştür. Şekil 3.4'den de görüleceği üzere, aradan yıllar geçmesine rağmen, atmosferde artan CO<sub>2</sub> birikiminin yol açabileceği olumsuz etkiler konusundaki uluslararası ilk ciddi adımın atılması için, 1979 yılına kadar beklenilmiştir. Dünya Meteoroloji Örgütü'nün (WMO) öncülüğünde 1979 yılında düzenlenen Birinci Dünya İklim Konferansı'nda konunun önemi dünya ülkelerinin dikkatine sunulmuştur [65].

Aralık 1988'de Malta'nın girişimiyle, BM Genel Kurulu, insanoğlunun bugünkü ve gelecek kuşakları için "Küresel İklimin Korunması" konulu 43/53 sayılı kararı kabul etmiştir. Kararda, küresel iklim insanoğlunun ortak mirası, iklim değişikliği ortak sorunu olarak nitelendirilmiştir. Kasım 1989'da, Hollanda'nın Nordwijk kentinde "Atmosferik ve İklimsel Değişiklik" konulu Bakanlar Konferansı düzenlenmiştir. Bu toplantıda, Amerika Birleşik Devletleri (ABD), Japonya ve eski Sovyetler Birliği dışındaki ülkelerin çoğu, CO<sub>2</sub> salımlarının %20 oranında azaltılmasını destekledikleri halde, azaltmaya ilişkin özel bir hedef ya da takvim

belirlenmemiştir. Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO-World Meteorology Organization) öncülüğünde 29 Ekim-7 Kasım 1990 tarihlerinde Cenevre’de yapılan İkinci Dünya İklim Konferansı’nda, ana konusu iklim değişikliği ve sera gazları olan Bakanlar Deklarasyonu, aralarında Türkiye’nin de bulunduğu 137 ülke tarafından onaylanmıştır. Hem konferans sonuç bildirisi, hem de Bakanlar Deklarasyonu, Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı’nda (UNCED) imzaya açılmak üzere, bir iklim değişikliği çerçeve sözleşmesi görüşmelerine ivedilikle başlanması açısından tarihsel bir önem taşımaktaydı. Bu belgelerde, sera gazlarının atmosferdeki birikimlerinin azaltılmasını sağlayacak önlemler savunulmuştur [65].

İnsan kaynaklı sera gazlarının, küresel ısınma ve buna bağlı olarak da iklim değişikliği üzerindeki etkilerini en aza indirebilmek amacıyla uluslararası alanda gerçekleştirilen en ciddi çaba Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (İDÇS)’dir [66]. İklim değişikliğine neden olan sera gazı salımlarını azaltmaya yönelik eylem stratejilerini ve yükümlülüklerini, İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (İDÇS) düzenlemektedir. Haziran 1992’de Rio’da gerçekleştirilen Yerküre Zirvesi’nde (UNCED) imzaya açılan ve 21 Mart 1994’te yürürlüğe giren İDÇS’ye, bugüne kadar yaklaşık 188 ülke ve Avrupa Topluluğu taraf olmuştur. Sözleşmenin nihai amacı, “Atmosferdeki sera gazı birikimlerini, insanın iklim sistemi üzerindeki tehlikeli etkilerini önleyecek bir düzeyde durdurmak” olarak belirlenmiştir. Sözleşmede, ülkelerin ortak fakat farklı sorumlulukları, ulusal ve bölgesel kalkınma öncelikleri, amaçları ve özel koşulları dikkate alınarak, tüm taraflara insan kaynaklı sera gazı salımlarının azaltılması, iklim değişikliğinin önlenmesi ve etkilerinin azaltılması vb. alanlarda ortak yükümlülükler verilmiştir [65].

Sözleşme iki eke sahip olup, Çizelge 3.7’de verilen Ek I’de pazar ekonomisine geçmiş Doğu Avrupa ve Eski Sovyet ülkeleri ile OECD üyesi ülkeler bulunmakta, Ek II’de ise sadece OECD üyesi ülkeler yer almaktadır [67]. İnsan kaynaklı sera gazı salımlarını 2000 yılına kadar 1990 düzeyine çekme sorumluluğu Ek I taraflarına (OECD ve eski sosyalist Doğu Avrupa ülkeleri); gelişme yolundaki ülkelere mali kaynak ve teknoloji aktarılması, onların özel gereksinimlerinin karşılanması, vb. temel konulardaki ana yükümlülükler ise Ek II (yalnız OECD ülkeleri) taraflarına bırakılmıştır [65].

**Çizelge 3.7.** Kyoto protokolünde yer alan Ek I ve Ek II ülkeleri [67].

<b>Ek I Ülkeleri = Ek II Ülkeleri + Pazar Ekonomisine Geçiş Sürecindeki Ülkeler</b>		
<b>Ek II Ülkeleri</b>		<b>Pazar Ekonomisine Geçiş Sürecindeki Ülkeler</b>
Avustralya	Lüksemburg	Bulgaristan
Avusturya	Monako	Hırvatistan
Kanada	Hollanda	Çek Cumhuriyeti
Danimarka	Yeni Zelanda	Estonya
Avrupa Topluluğu	Norveç	Macaristan
Finlandiya	Portekiz	Litvanya
Fransa	İspanya	Letonya
Almanya	İsveç	Polonya
Yunanistan	İsviçre	Romanya
İzlanda	İngiltere	Rusya Federasyonu
İrlanda	Belçika	Slovakya
İtalya	ABD	Slovenya
Japonya	<i>Türkiye (Çıkarıldı)</i>	Ukrayna
Liechtenstein		Belarus

Türkiye her ne kadar sözleşmenin eklerinde gelişmiş ülkeler arasına alınmış olsa da özellikle enerji ilişkili CO<sub>2</sub> emisyonlarını 2000 yılına kadar 1990 yılı düzeyinde durdurma yükümlülüğünü yerine getiremeyeceği için sözleşmeye taraf olmamıştır. Türkiye'nin itirazları üzerine 2001 yılında özel şartları tanınarak Ek II listesinden ismi çıkarılmıştır. Bundan dolayı, 1992'de kabul edilen ve 188 ülke ile AB'nin taraf olduğu İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne, 24 Mayıs 2004 tarihinde Türkiye'de taraf olmuştur [2].

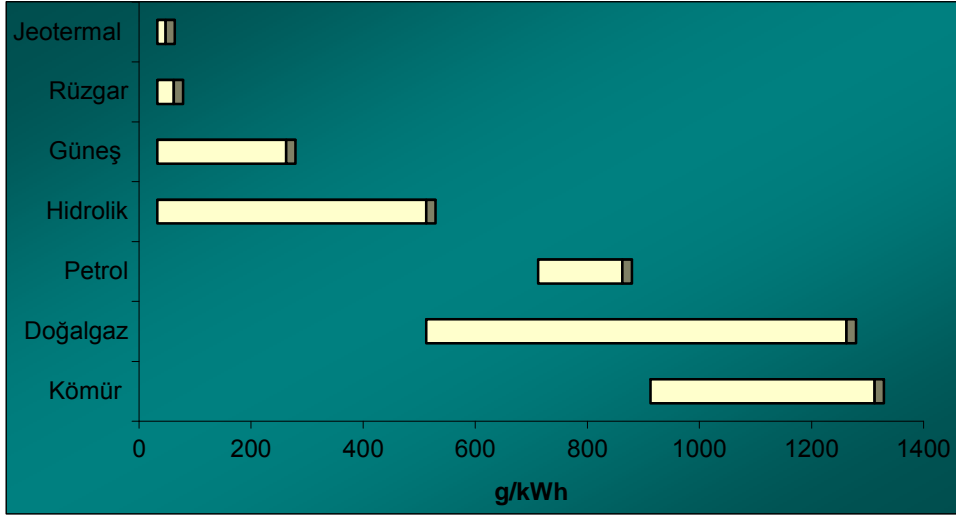
Kyoto Protokolü'ne (KP), 16 Şubat 2005 tarihine kadar, ABD ve Avustralya dışında, 1990 yılı toplam salımlarının %44,2'sini karşılayan hemen tüm OECD ve AB ülkeleriyle birlikte toplam 140 ülke taraf olmuştur. 1990 salımlarının %17,4'üne sahip olan Rusya Federasyonu, AB'nin de zorlaması sonucunda, Kyoto Protokolü'ne taraf olma isteğine ilişkin onay belgesini, kendi ulusal sürecini tamamlayarak 18 Kasım 2004'te BM Genel Sekreterine resmi olarak sunmuştur. KP'nin ilgili maddesi gereğince, Rusya Federasyonu onay belgesini

BM'ye sunduğu tarihten 90 gün sonra, 16 Şubat 2005 tarihinde KP'ye 141. ülke olarak taraf olmuştur. Bu durumda, ABD (%36,1) olmaksızın EK-I ülkelerinin 1990 yılı toplam salımlarının %61,6 oranına ulaşılmıştır. Sonuç olarak, ABD ve Avustralya'nın küresel iklim sisteminin korunmasına yönelik olumsuz yaklaşımlarına karşın, uzun bir gecikme döneminden sonra 16 Şubat 2005 tarihinde Kyoto Protokolü yürürlüğe girmiştir [15].

İklim değişikliği ile ilgili uluslararası alanda yapılan son toplantı ise, Endonezya'nın Bali Adası'nda, 3-14 Aralık 2007 tarihleri arasında, Birleşmiş Milletler üyesi ülkelerin katılımıyla gerçekleşen "İklim Değişikliği Zirvesi" konulu paneldir. İklim Değişikliği Zirvesi, Kyoto Protokolü'ndeki hedeflerin sera gazı salımlarını düşürecek yönde yükseltilmesi, kalkınmakta olan ülkelere yeni teknoloji transferi, iklim değişikliğinden etkilenecek fakir ülkelere yardım yapılması, buzulların erimesiyle mücadele ve Kyoto Protokolü'nün sona ereceği 2012 yılından sonrasına ilişkin, yeni bir uluslararası anlaşmanın imzalanması konularını ele almıştır. İklim Değişikliği Zirvesi'nde, Kyoto Protokolü'nün yerini alacak yeni anlaşma için müzakerelerin başlaması karara bağlanarak, 2009'da Kopenhag'da yapılacak bir konferansla sona erecek 2 yıllık bir müzakere sürecini başlatmıştır.

### **3.4. Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve CO<sub>2</sub> İlişkisi**

Etkisini giderek arttıran iklim değişikliği sonucu meydana gelen küresel ısınmanın ulaştığı boyutlar, ülkelerin ortak geleceği için tehlike işaretleri vermektedir. Bu sebeple başlatılan uluslararası işbirliği çalışmalarında, yeşil enerji olarak da adlandırılan yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik enerjisinin küresel ölçekte arttırılması hususu ağırlık kazanmaktadır [10]. Yenilenebilir enerji kaynakları; dünya atmosferindeki fosil kökenli yakıtların neden olduğu sera etkisi ve çevre bilincinin gelişmesi yanında, fosil yakıtların tükenen olması ve enerji güvenliğinin sağlanması gibi kaygılarla tüm dünyada giderek artan bir ilgi ile karşılanmakta ve enerji ihtiyacının giderilmesinde önemli bir kaynak olarak görülmektedir [68]. Şekil 3.5'deki ABD Enerji Bakanlığı'nın verilerine göre, sera etkisi yaratan karbondioksit emisyonunun, yenilenebilir enerji kaynaklarında, ya ihmal edilecek kadar küçük ya da toksik etkisi olmayan ve genellikle sera gazı doğurmayacak özellikte olduğu görülmektedir.



**Şekil 3.5.** Üretilen kWh elektrik başına sera gazı (CO<sub>2</sub>) emisyon aralıkları [69].

Seragazı emisyon değeri, kömürde 900-1300 g/kWh, doğal gazda 500-1250 g/kWh, güneş enerjisinde 20-250 g/kWh, rüzgâr enerjisinde 20-50 g/kWh ve jeotermal enerjide 20-35 g/kWh seviyesindedir [42].

Küresel iklim değışikliği uluslararası kamuoyunun geleceği ile yakından ilişkilidir. Gelecekteki enerji sistemlerini iklimdeki değışiklikler belirleyecektir [70]. Enerji üretimi için seçilecek metoda karar verilmesinde etkili olan dört önemli faktörden söz edilebilir. Bunlar; kaynağın elde edilebilirliği, çevreye etkisi, yatırım ve üretim maliyetleri ve kaynağın ömrüdür [71]. Elektrik enerjisi üretim santrallarının çeşitli parametreler açısından karşılaştırılmasının verildiği Çizelge 3.8 incelendiğinde; enerji arzı güvenliği, ekonomik büyüme, iklim değışikliği, sürdürülebilir kalkınma, istihdam ve teknolojik gelişme konularında yenilenebilir enerji teknolojilerinin olumlu etkilerinin olduğu görülmektedir [72].



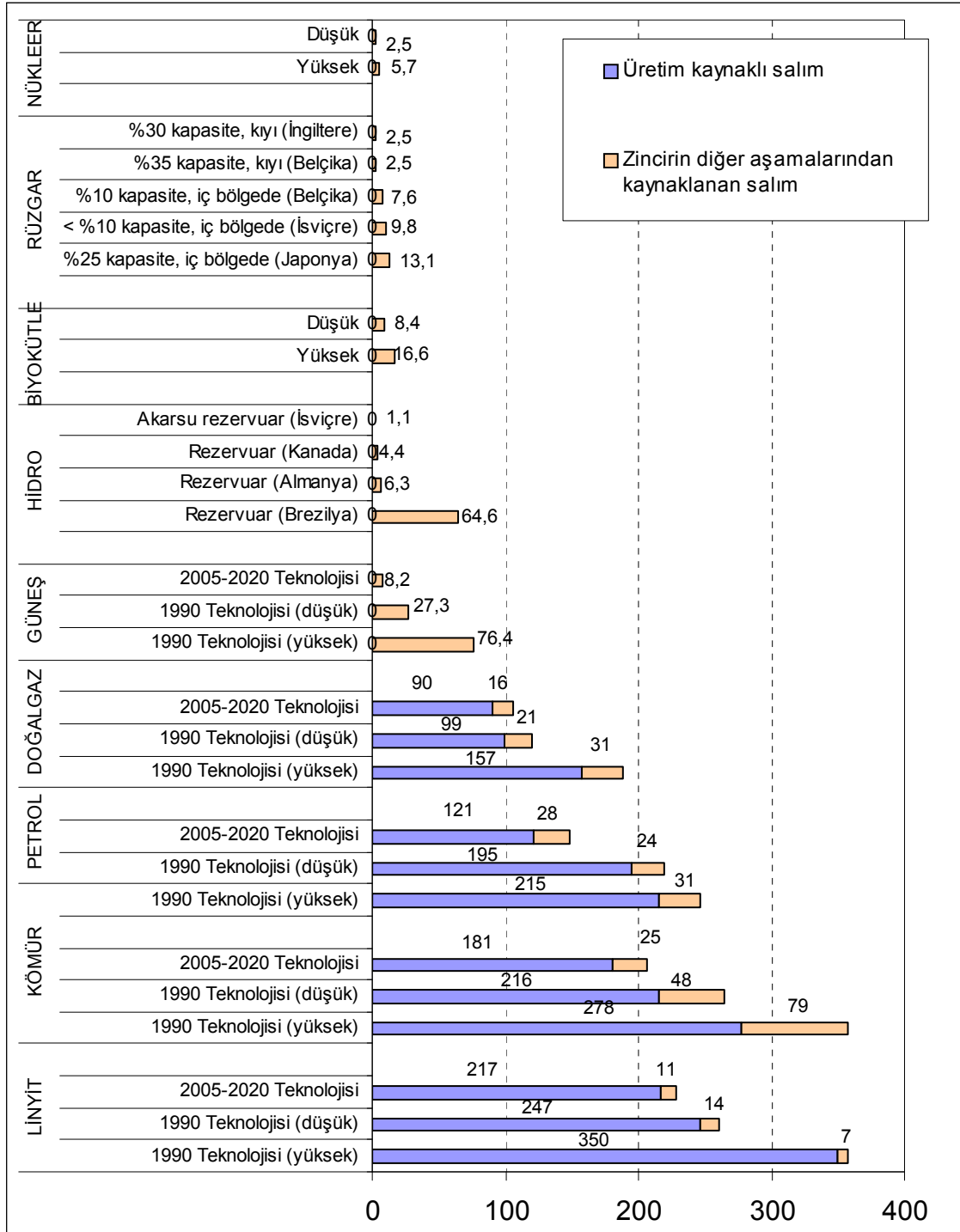
**Çizelge 3.8.** Güç santrallerinin karşılaştırılması [72,73].

	Santral Tipi							
	Nükleer	Petrol	Kömür	Doğalgaz	Hidrolik	Rüzgâr	Güneş	Jeotermal*
<b>Hava Kirliliği</b>	x	x	x	x	o	o	o	o
<b>Su Kirliliği</b>	x	x	x	x	x	o	o	x
<b>Toprak Kirliliği</b>	x	x	x	o	x	o	o	x
<b>İklimsel Etki</b>	x	x	x	x	x	o	o	o
<b>Asit Yağmurları</b>	o	x	x	x	o	o	o	o
<b>Radyasyon</b>	x	o	x	o	o	o	o	o
<b>Gürültü</b>	o	x	x	x	o	x	o	o
<b>Doğal Görünüme Etkisi</b>	x	x	x	x	x	x	x	x
<b>Dışa Bağımlılık</b>	x	x	o	x	o	o	o	o
<b>Kaynakların Sürekliliği</b>	x	x	x	x	x	x	o	x
<b>Kaynakların Tükenebilirliği</b>	x	x	x	x	o	o	o	o
<b>Teknolojik Risk</b>	x	o	o	o	o	o	o	o

\*Re-enjeksiyon yapılması durumunda; x: var, o: yok.

Çizelge 3.8'e göre, pek çok açıdan çevreye kötü etki bırakan petrol, kömür ve doğalgaza nispeten yenilenebilir enerji kaynaklarının su kirliliği, toprak kirliliği, hava kirliliği ve radyasyon etkisi ile daha tercih edilebilir kaynak konumunda bulunduğu, nükleer enerjinin ise, yenilenebilir enerji kaynaklarına göre dezavantajlı konumda olduğu açıkça görülmektedir [73].

Şekil 3.6'da farklı elektrik üretim teknolojilerinin, tüm üretim zinciri boyunca ortaya çıkaracakları sera gazı emisyonları, Çizelge 3.9'da ise bu emisyonları etkileyen faktörler verilmiştir [74].



\* $gC_{eq}/kWh$ : kWh başına gram karbon eşdeğeri sera gazı.

**Şekil 3.6.** Elektrik üretim zincirinde ortaya çıkan sera gazı emisyonları ( $gC_{eq}/kWh$ ) [74].

**Çizelge 3.9.** Sera gazı emisyonunu etkileyen faktörler [74].

<b>Fosil yakıtlar</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Karbon içeriği, kalori değeri gibi yakıt özellikleri</li> <li>• Madenin tipi ve yeri</li> <li>• Yakıtın çıkarılma yöntemi</li> <li>• Doğal gaz için boru hattı kayıpları</li> <li>• Dönüşüm verimliliği</li> <li>• Yakıt temini, tesisin kurulması ve sökülmesi için kullanılan elektriğin elde edildiği yakıt cinsi</li> </ul>
<b>Hidrolik</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipi (akarsu veya rezervuar)</li> <li>• Tesis yeri (tropik bölge, kuzey iklimi)</li> <li>• Baraj inşaatı için kullanılan enerji</li> <li>• İnşaat malzemelerinin (beton, çelik...) üretiminden kaynaklanan emisyonlar</li> </ul>
<b>Rüzgâr</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bileşenlerin üretimi ve inşaat sırasında kullanılan enerji</li> <li>• Tesisin yeri (iç bölge ya da kıyı bölge)</li> <li>• Verim ya da kapasite faktörü (bölgedeki rüzgâr durumu)</li> </ul>
<b>Güneş</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pil üretiminde kullanılan silikonun miktarı ve niteliği</li> <li>• Teknolojinin tipi (amorf, kristal malzeme)</li> <li>• Üretim için kullanılan elektriğin elde edildiği yakıt cinsi</li> <li>• Yıllık verim ya da tesis ömrü (düşük kapasite faktöründen dolayı rüzgâr ve güneş enerjisinin kW başına emisyon miktarı düşüktür ancak kWh başına emisyon miktarı yüksektir)</li> </ul>
<b>Biyokütle</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yakıt özelliği (nem içeriği, kalori değeri)</li> <li>• Yakıt hazırlamada kullanılan enerji (büyütme, hasat, taşıma)</li> <li>• Tesis teknolojisi</li> </ul>
<b>Nükleer</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yakıtın çıkarılması, dönüştürülmesi, zenginleştirilmesi ve tesisin inşası ile sökülmesi sırasında kullanılan enerji</li> <li>• Yakıt zenginleştirme için gerekli olan enerji (gaz difüzyon teknolojisi yakıtın zenginleştirilmesi aşamasında enerji yoğun bir işlemdir ve santrifüj işlemine göre 10 kat daha fazla sera gazına sebep olur. Lazer teknolojisi ise santrifüj işlemine göre daha az emisyonu sebep olur.)</li> <li>• Yakıtın yeniden işlenmesi ve geri dönüştürülmesi seçeneği yakıtın tek sefer kullanılmasına göre enerji üretim zincirinde %10-15 daha az sera gazı emisyonuna sebep olur.</li> </ul>

Elektrik çeşitli fosil yakıtlardan, nükleer enerjiden, rüzgâr, dalga ve hidrolik gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilebilmektedir. Çizelge 3.10, 200 MW'lık güç santralının yıllık üretimi baz alınarak hesaplanmış olup, 12 TWh'lık elektrik üretildiğinde havaya verilen CO<sub>2</sub> miktarını vermektedir [75]. Buna göre yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı, havaya saldırdığı neredeyse sıfıra yakın emisyonla, Çizelge 3.11'de gösterilen, tipik bir ailenin elektrik kullanımı vasıtasıyla havaya vermiş olduğu, yılda 1,9 ton CO<sub>2</sub>'nin salımını engelleyecek, böylece aynı zamanda enerjide tasarruf sağlanacaktır.

**Çizelge 3.10.** 12 TWh elektrik üreten güç santrallerinin havaya verdiği CO<sub>2</sub> miktarlarının karşılaştırılması [75].

Güç Santrali Çeşidi	Havaya Verilen CO <sub>2</sub> (Ton)
Yakıt olarak kömür kullanan	11.000.000
Yakıt olarak petrol kullanan	9.000.000
Yakıt olarak doğalgaz kullanan	6.000.000
Nükleer Güç	~Sıfır
Rüzgâr Türbini	~Sıfır
Hidrolik Güç	~Sıfır
Dalga Gücü	~Sıfır

Elektrik kullanan bir aile dolaylı olarak bu emisyonlara maruz kalacaktır. Herhangi bir elektrikli ev eşyası bu yayılmanın sebebi olabilir. Çizelge 3.10'a dayandırılan, güç santrali vasıtasıyla, sıradan bir aileye yüklenen CO<sub>2</sub> emisyonları payı her yıl yaklaşık 1,9 ton olacaktır. Bu değer sıradan bir ailenin, ısıtma ve taşımacılık gibi diğer amaçlarına yönelik oluşturacağı CO<sub>2</sub> emisyonlarının bir kısmı olacaktır [75].

**Çizelge 3.11.** Sıradan bir ailenin yıllık CO<sub>2</sub> emisyonları [75].

<b>Elektrik kullanımı</b>	1,9 ton	
<b>Gaz ile ısınma</b>	2,7 ton	
<b>Benzin</b>	5 ton	(Araca bağlı olarak 2 ile 10 ton arasında değişmektedir.)
<b>Toplam</b>	<b>9,6 ton</b>	

Geleneksel kaynaklarla enerji kullanımının küresel ve yerel düzeyde sebep olduğu çevresel etkilerin ve bunların küresel ısınma ile ilişkisinin açıkça görülmesi, neredeyse sıfır emisyonlara sahip yenilenebilir enerji kaynakların çevresel açıdan oldukça önemli bir konuma gelmesine yol açmıştır. Sürdürülebilir kalkınmanın temelindeki, kaynakları koruma ve süreklilik ile çevre etkilerini en aza indirme fikri de bu konumu güçlendirmektedir. Bu bağlamda, yenilenebilir enerji kaynakların sürdürülebilirlik kapsamında sağlayacağı başlıca yararlar; yenilenebilir enerji teknolojilerinin diğer enerji kaynakları ile karşılaştırıldığında temiz olması ve emisyon oluşturmaması, ithale dayalı diğer fosil yakıtlara karşı temin güvenliği avantajı ve yakıt maliyeti içermemesi, kırsal alanda oluşturduğu iş ve altyapı olanakları ile sosyo-ekonomik gelişmeye katkı sağlaması olarak özetlenebilir. Belirtilen bu kriterlere göre, Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarından, en çok uygulama alanı bulabilecek enerji kaynağı olarak rüzgâr, jeotermal, güneş ve biyokütle enerjisi ön plana çıkmaktadır [2].

## 4. MATERYAL ve METOT

### 4.1. Giriş

Küresel ısınma modern hayatın getirdiği sorunlardan birisidir. Ana kaynağı da yanma olayıdır. Kentlerde yaşanan hava kirliliğine, dolayısıyla küresel ısınmanın en önemli nedenlerinden biri, konutların ısı ihtiyacını karşılayan cihazlardan gelmektedir. Yakıcı, yakıt ve operatör üçgeninde seçilen en kötü yakıcı ve yakıtlar sonucunda, havadaki emisyon miktarı özellikle kış aylarında çok artmaktadır. Küresel ısınmanın çevre üzerindeki etkileri, global, bölgesel ve mahalli ölçekte meydana gelmektedir. Global ölçekte, CO<sub>2</sub> artışının yol açtığı sera etkisi, küresel ısınma ve ozon tabakasının delinmesi gibi etkilerin atmosfer ve dolayısı ile yeryüzünde önemli ölçüde klimatolojik değişimlere yol açacağı, yapılan modelleme çalışmaları ile ortaya konmuştur. Bölgesel ölçekte, asit yağmurları, ormanların tahribatına ve göllerin asitlenmesi neticesinde ekolojik dengenin bozulmasına yol açmaktadır. Mahalli ölçekte ise CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, partikül madde, CO, Ozon, NO<sub>x</sub> gibi hava kirleticileri; insan sağlığı, bitkiler, yapı ve malzemeler üzerinde olumsuz etkiler meydana getirmektedir [76].

Ülke çapında pek çok ilde olduğu gibi Kütahya ilinde de hava kirliliği yoğun olarak yaşanmakta, emisyonların yüksek olması sebebiyle şehrin küresel ısınmaya katkısı da yüksek olmakta, başta insan sağlığı olmak üzere tüm çevre olumsuz etkilenmektedir. Özellikle kış aylarında (Ekim-Mart ayları arası), görüş alanını daraltan, kokusu kolayca hissedilen, bu kirlilik aylarca sürmektedir. Kentte hava kirliliğinin yüksek oluşu, emisyon değerlerinin yüksek olmasını da beraberinde getirmekte, özellikle CO<sub>2</sub> emisyonları yüksekliği bölgesel ve küresel ısınmaya sebep olmaktadır. Hava kirliliğinin oluşumunda çok değişik faktörler rol oynamasına karşın Kütahya il merkezinde kış aylarında yoğun bir şekilde hissedilen hava kirliliğinin asıl nedeni, ısınma amacıyla tüketilen fosil yakıtlar ve kirlenmenin dağılımında etkili olan meteorolojik şartlardır [76].

Kütahya'da küresel ısınmanın azaltılmasına yönelik hedeflerin, dolayısıyla şehirde uygulanacak kirlenme kontrolü stratejisinin, yine bölge özelliklerinin dikkate alınarak yapılması gereği düşünülerek, öncelikli olarak; kullanılan yakıt ve yanma sistemleri ile bina özellikleri ve buna bağlı olarak kritik noktaların belirlenmesi, buna ek olarak Kütahya'nın coğrafik yapısı, meteorolojik etmenleri ve yerel kaynakları gözönüne alınarak enerji ihtiyacının karşılanmasında alternatif enerji kaynaklarının kullanılması gerekmektedir.

Doğu ve güneyden dağlarla çevrili Kütahya ili deniz seviyesinden 969 m yükseklikte bulunmakta olup nüfusu 170.000'dir. 39°42' enlem ve 29°93' boylamları arasında bulunan il, Ege bölgesinin İç Batı Anadolu bölümü içerisinde yer almakta olup Ege, Marmara ve İç Anadolu bölgelerinin birçok coğrafik özelliklerini içermektedir. Kütahya, Ege bölgesi ile İç Anadolu bölgesi arasında geçiş iklimine (yarı karasal) sahiptir. Kışları soğuk ve yağışlı, yazları sıcak ve kurak, baharları ise değişken ve bol yağışlı olan Kütahya ilinin dört mevsimini kapsayan yıllık ortalama sıcaklık değeri 10,7 °C'dir. Geçiş iklimi olması nedeniyle, iklim yıldıan yıla farklılık arz etmektedir. DMİ Genel Müdürlüğüne ait istasyonlarda 1940 yılından itibaren yapılan ölçümlerden Kütahya ilinde hakim rüzgârın, yıllık ortalama 1,7 m/s'lik rüzgâr hızı ile kuzeyden (N) esmekte olduğu, maksimum rüzgâr hızının ise 27,6 m/s ile kuzey-batıdan estiği anlaşılmaktadır [77].

Kütahya'da 365 gün 24 saat katı ve gaz yakıt kullanılarak elde edilen sıcak su kentin yoğun bir hava kirliliği ile karşı karşıya kalmasına sebep olmakta, dolayısıyla bu durum Kütahya'nın emisyon değerlerini arttırmaktadır. Kütahya'nın yıllık sıcak su ihtiyacının katı ve sıvı yakıtlar yerine rüzgâr, jeotermal ve güneş enerjisi gibi yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarıyla karşılanması, fosil kaynaklı yakıtların tüketiminde ve bunların kullanımından doğan sera etkisi, küresel ısınma ve asit yağmurları gibi çevre sorunlarının önlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada; Kütahya iline ait 1940-2002 yılları arasında ölçülmüş sıcaklık değerlerine göre hazırlanmış aylık ortalama sıcaklık verileri kullanılarak, Kütahya ili yıllık sıcak su ihtiyacı belirlenmiştir. Buna göre mevcut ihtiyaç için seçilmiş farklı fosil kaynaklar ve çeşitli yenilenebilir enerji kaynakları temel alınarak Kütahya'da fosil kaynakların meydana getirdiği sera gazı salım miktarları hesaplanmıştır. Bu amaçla bölgesel ölçekte sera gazı emisyon azaltımına bir katkı sağlanması hedeflenmiş, ayrıca Kütahya bölgesinde alternatif enerji kaynakları kullanılarak elektrik üretimi yapılması halinde, küresel ısınmanın azaltılması irdelenmiştir. Çalışmada, Kütahya ili alternatif enerji kaynakları potansiyelinden, ilde küresel ısınmaya sebep olan sera gazı probleminin üst düzeylere ulaşması nedeniyle temiz enerji kaynaklarından olan rüzgâr, jeotermal ve güneş enerjisi ile sıcak su eldesinin olasılığı incelenmiştir. Şüphesiz ki Kütahya şehir merkezi için bu doğrultuda elde edilebilecek en küçük bir kazanç bile emisyon probleminin, dolayısı ile küresel ısınmanın azaltılmasında etkili olacaktır.

#### 4.2. Yakıtlar ve Yanmanın Temel Prensipleri

Fosil kökenli enerji kaynakları; katı, sıvı ve gaz yakıtlar olmak üzere üç kısma ayrılmaktadır. Katı yakıtların birçok dezavantajı bulunmasına rağmen sıvı ve gaz yakıtların en büyük avantajları arasında sabit alt ısıl değere sahip olmaları ve yanma sonrası ürünleri arasında kül bulunmaması sayılabilir. Ülkemizde kullanılan katı yakıtların başında kömür gelmektedir. Kömürler uygulamada alt ısıl değerine göre genelde linyit ve taşkömürü diye adlandırılmaktadır. Alt ısıl değeri 25.100 kJ/kg ve üzerinde olan kömürler taşkömürü veya maden kömürü, altında olanlar ise linyit olarak tanımlanmaktadır [52].

Genel olarak yakma sistemlerinden; çevre kirliliğini önlemesi, temiz ve verimli yanma sağlanması, yanma sonrası elde edilen ısının, dönüşüm verimini yüksek seviyelerde tutması, gibi özellikleri taşınması istenmektedir [52]. Küresel ısınmanın önüne geçilebilmesi için, hava kirliliğinin sebep olduğu emisyonların, özellikle de CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltımı için, yakıt ve işletme koşullarına bağlı olarak yanma mekanizmasının iyi bilinmesi gerekmektedir. Yakıt içerisindeki yanabilir bileşenlerin, havanın oksijeni ile reaksiyona girmesine yanma denir. Yanma esnasında ısı açığa çıkar. Yakıtlar genellikle yanabilir elementler olarak karbon, hidrojen ve bunların bileşikleriyle az miktarda kükürt ve yanmayan bileşen olarak azot, su ve kül içerirler. Sıvı ve gaz haldeki yakıtların çoğu çeşitli karbonlu hidrojenlerin karışımından ibarettir. Örneğin, esas itibarıyla metandan oluşan doğalgaz etan, propan, butan ve azot içerir [78].

Yanma süreçlerinin büyük bir bölümünde gerekli oksijen havadan alınır. Yanma süreçleri incelenirken havanın hacimsel olarak %79 azot ve %21 oksijenden oluştuğu varsayılır. Bu bileşimde olan havanın molekül ağırlığı 28,851 olup, içerisinde 1 mol oksijene karşılık 3,76 mol azot bulunur. Yanma prosesinde yakıt içerisindeki bütün yanabilir bileşenler tam olarak oksitlenir ve CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub> vb. şeklindeki ürünlere dönüşürse yanma tamdır. Tam yanma için gerekli minimum hava miktarına stokiometrik hava miktarı ve bu şekilde gerçekleşen yanmaya ise teorik yanma denir. Eksik yanma enerji kaybı ile sonuçlandığından uygulamada yanmanın tam olarak gerçekleşmesine çalışılır. Bunun içinde çoğunlukla teorik hava miktarından daha fazla havanın kullanılması zorunludur. Gerekinden fazla hava bir taraftan kayıpların artmasına, diğer taraftan da ocak boyutlarının aşırı büyümesine neden olduğu için hava fazlalığını belirli bir minimum seviyede tutmak zorunluluğu vardır. Hava fazlalık katsayısı; yakıtın cinsine, yapısına, yakma düzeneğinin dizaynına göre değişik değerler alır [78].

Güç santrallerinde kullanılan kazanlar genellikle %10-20 hava fazlalığı ile çalışır. Doğalgazla çalışan kazanlarda hava fazlalığı %5'e kadar inebilir ve toz kömürle çalışan kazanlarda ise %20'ye kadar çıkabilir [78]. Kömürün yanma olayını etkileyen başlıca özellikleri; alt ısıl değer, uçucu madde, sabit karbon, nem ve kül oranları ile kül ergime sıcaklığıdır.

### 4.3. Kütahya'da Kullanılan Yakıtlar ve Özellikleri

Kütahya ilinde yaygın olarak kullanılan kömürler; Tunçbilek kömürü, ithal kömür, Seyitömer kömürü, Gediz kömürü, Değirmisaz bölgesi kömürüdür. Kütahya ilinde çıkartılan kömürlerin kimyasal analizleri incelendiğinde, Tunçbilek kömürünün konutlarda direk kullanıma uygun olduğu görülmektedir. Seyitömer kömürünün Çizelge 4.1'de verilen kimyasal analizi incelendiğinde, orijinal kömürde, kül oranının %15,41 ve nem oranının da %37,55 olduğu görülmektedir. Seyitömer kömürünün yüksek kül ve nem içeriği azaltılarak, yüksek ısıl değerli kömür elde edilmesi mümkündür [76].

**Çizelge 4.1.** Seyitömer kömürünün kimyasal analizi [79].

	Orijinal Kömür	Kuru Kömür
Toplam Kükürt (%)	1,38	2,21
Yanıcı Kükürt (%)	1,21	1,94
Kül (%)	15,41	24,68
Nem (%)	37,55	-
Alt Isıl Değer (kJ/kg)	11.513,7	19.908,23
Üst Isıl Değer (kJ/kg)	13.230,29	20.820,96
Uçucu Madde (%)	28,42	45,51
Sabit Karbon (%)	18,62	29,81

Çizelge 4.2'de kimyasal özellikleri verilen Tunçbilek bölgesi yıkanmış kömürleri (lave), yüksek ısıl değerleri (alt ısıl değer 19087,62 kJ/kg) ve dolayısı ile kalori başına düşük kükürt oranı nedeniyle evsel amaçlı kullanıma uygundur [79].



**Çizelge 4.2.** Tunçbilek kömürünün kimyasal analizi [79].

	+50 mm	18-50 mm Lave	10-18 mm Lave	0-18 mm Lave	+30 mm Krible
Toplam Kükürt (%)	1,90	1,84	1,65	1,84	2,16
Yanıcı Kükürt (%)	1,28	1,23	1,16	1,24	1,32
Kül (%)	19,15	17,56	17,74	17,40	31,68
Nem (%)	16,65	17,27	18,13	21,21	17,97
Alt Isıl Değer (kJ/kg)	18.702,44	19.087,62	18.735,93	17.613,87	12.736,25
Üst Isıl Değer (kJ/kg)	19.920,79	20.247,37	19.899,86	18.903,402	13.829,00
Uçucu Madde (%)	31,18	31,31	30,62	29,16	25,69
Sabit Karbon (%)	33,02	33,86	33,51	32,23	24,66

Kütahya’da bu kömürlerin haricinde alt ısıl değerleri daha yüksek olan ithal kömürlerde kullanılmaktadır. Bu kömürlerde olması istenen asgari özellikler ise Çizelge 4.3’de verilmiştir [52].

**Çizelge 4.3.** Satışa sunulan ısınma amaçlı ithal kömürün özellikleri [52].

Özellikleri	Sınır Değeri
Alt Isıl Değeri	25.950 kJ/kg (min.)
Kükürt	%0.9 (max.)
Uçucu Madde	%10-28 (± %2)
Toplam Nem	%10 (max.)
Kül	%14 (max.) (± %1)
Boyut	18-150 mm (± %10)

Kütahya, ilinde sobalı konutlarda en fazla kullanılan kömür tipi, ısıl değeri düşük, yüksek kül ve nem içeren Seyitömer kömürüdür. Seyitömer kömürünün alt ısıl değeri (+100 mm için 11400 kJ/kg, 50-100 mm için 11000 kJ/kg) Çizelge 4.4’de verilen asgari değerlerin altındadır. Bu yüzden Seyitömer linyitleri hava kirliliği sorunu olan bölgelerde ısınma amaçlı kullanıma uygun bir yakıt değildir.

Kütahya İli için 7 Ocak 2004 tarihinden itibaren satışına izin verilen ısınma amaçlı olarak kullanılacak yerli kömürlerde olması gereken özellikler Çizelge 4.4’de verilmiştir.

**Çizelge 4.4.** Isınma amaçlı kullanılacak yerli linyit kömürlerin özellikleri [52].

Özellikleri	Sınır Değeri
Alt Isıl Değeri	16.750 kJ/kg en az
Yanar Kükürt	%1 Maksimum
Boyut	18-200 mm. (%10 tolerans)

Mevcut konutların büyük bir çoğunluğunda; son yıllara kadar kükürt, kül ve nem oranı yüksek, fakat ısıl değeri düşük olan kömürler kullanılmasına rağmen, geçtiğimiz yıllarda belirli kısıtlamalar gelmiştir. Alınan bu önlemlere rağmen, binalardaki yalıtımın yetersiz oluşu, verimsiz yakma sistemleri, eğitimsiz yakıcılar ve denetim yetersizliği gibi etkenler nedeniyle hava kirliliği değerlerinde gözle görülür bir düşüş yaşanmamaktadır.

Kütahya'da 2005 yılı itibariyle doğalgaz kullanımı başlamasıyla özellikle SO<sub>2</sub> değerinde azalma beklenmektedir. Kütahya'da yaşanan hava kirliliğine çözüm olarak görülen doğalgazın kent merkezindeki tüm binalarda kullanım potansiyeli yaklaşık olarak yıllık 83.000.000 m<sup>3</sup>'dür. Mevcut çalışmalara göre ise ancak 2010 yılında bu değer yaklaşık %50'si kullanılabilir olacaktır. Yapılan hesaplamalarda tüketim miktarlarının; 2008 yılında 37.000.000 m<sup>3</sup>/yıl, 2010 yılında 42.000.000 m<sup>3</sup>/yıl olması beklenmektedir. Çizelge 4.5'de Kütahya'da kullanılan doğalgazın özellikleri verilmiştir [52]. Çizelge 4.5'de verilen değerler, BOTAŞ'ın (Boru Hatları İle Petrol Taşıma A.Ş.) kalite şartnamesinde verdiği değerlerdir. Günlük devamlı değerler bu sınırları aşmadan değişmektedir.

**Çizelge 4.5.** Kütahya’da kullanılan doğalgazın kimyasal analizi.

<b>Kimyasal Bileşim (Mol Yüzdesi Olarak)</b>			
Metan	( C <sub>1</sub> )	Min.	% 82
Etan	( C <sub>1</sub> )	Maks.	% 12
Propan	( C <sub>3</sub> )	Maks.	% 4
Bütan	( C <sub>4</sub> )	Maks.	% 2,5
Pentan ve Diğer Ağır Karbonlar	( C <sub>5+</sub> )	Maks.	% 1
Karbondioksit	( CO <sub>2</sub> )	Maks.	% 3
Oksijen	( O <sub>2</sub> )	Maks.	% 0,5
Azot	( N <sub>2</sub> )	Maks.	% 5,5
<b>Kükürt</b>			
Hidrojen Sülfür	( H <sub>2</sub> S )	Maks.	5,10 mg/m <sup>3</sup>
Merkaptan Kükürt		Maks.	15,30 mg/m <sup>3</sup>
Toplam Kükürt		Maks.	110,00 mg/m <sup>3</sup>
<b>Üst Isıl Değer</b>			
Maksimum			43655,76 kJ/Nm <sup>3</sup>
Minimum			33913,08 kJ/Nm <sup>3</sup>
<b>Wobbe Sayısı</b>			
Maksimum			54.7 MJ/Nm <sup>3</sup>
Minimum			45.7 MJ/Nm <sup>3</sup>
<b>Su Çiğlenme Noktası</b>			
			Maksimum -8 °C
<b>Hidrokarbon Çiğlenme Noktası</b>			
			Maksimum 0 °C

Nm<sup>3</sup> : 15 °C ve 1 atmosfer mutlak basınçtaki 1 (bir) m<sup>3</sup> gazın hacmine tekabül eder.

#### 4.4. Kütahya’da Sıcak Su Kullanımı

Sıcak su kullanım ihtiyacı çok değişkendir. Örneğin konutlar ele alındığında, sadece kişi sayısı ve konut büyüklüğü değil, insanların yaşam düzeyi, yaşı, sistem yapısı ve mevsim de sıcak su kullanımında etkili parametrelerdir [80]. Kullanılacak sıcak su miktarı insanların yaşam alışkanlıklarına göre ülkeden ülkeye de farklılıklar göstermektedir. 60 °C sıcaklıkta olmak üzere, İsrail’de 4 kişilik bir aile için 120 lt/gün, ABD’de 75 lt/gün-kişi kabul edilmektedir. Ülkemizde ise bu oran 40 °C sıcaklıkta 60-100 lt/gün-kişi kabul edilebilir [81]. Çizelge 4.6’da çeşitli kullanım şekillerine göre kişi başına ortalama sıcak su tüketimi verilmiştir [80].

**Çizelge 4.6.** Kişi başına düşen ortalama sıcak su tüketimi [80].

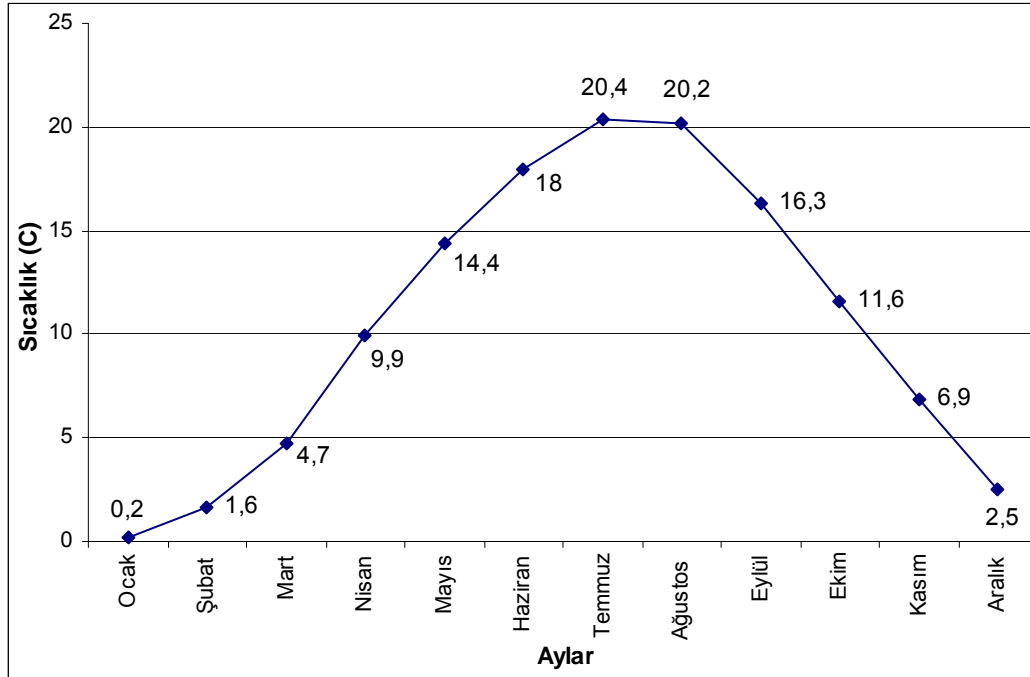
Kullanım Biçimi	Su Tüketimi (lt/gün-kişi)
Sosyal Konutlarda	25-40
Genel Konutlarda	30-45
Özel Konutlarda	40-50
Villa Tipi Konfor Konutlarda	45-60

Çeşitli amaçlar için kullanılan sıcak su miktarı değişik kültürler için farklılık göstermekte, hayat standardı yükseldikçe sıcak su kullanma miktarı da artmaktadır. Gelişmiş ülkelerde, ailenin bütün fertleri günde en az bir defa duş yaptığı halde, az gelişmiş ülkelerde ise, haftada bir ya da iki duş yeterli görülebilmektedir. Kişilerin kültür seviyesi de sıcak su kullanımında etkili olabilmektedir. Bir konutta sıcak su kullanımını çamaşır ve bulaşık yıkama, banyo ya da duş alma, el-yüz yıkama vb. amaçlarla olmaktadır. Bütün ihtiyaçlar dikkate alındığında günlük sıcak su miktarı ortalama 75 lt/gün-kişi yeterli olmaktadır [80].

#### 4.5. Materyal

Kütahya ilinde fosil yakıtların kullanımını azaltmaya ve alternatif enerji kaynakları kullanılarak küresel ısınmaya sebep olan sera gazlarının salımını düşürmeye yönelik yapılan hesaplamalarda, Kütahya'nın yıllık sıcak su ihtiyacından kaynaklanan emisyonların hesaplanması için, Kütahya'da en yaygın kullanılan kömürlerden; Seyitömer, Tunçbilek, ithal kömür ve 2005 yılından beri kullanılan doğalgaz, fosil yakıtlar olarak seçilmiştir. Kütahya'nın sıcak su kullanımından oluşacak emisyonların azaltılmasına yönelik olarak da Kütahya'da alternatif enerji kaynaklarının kullanımı önerilmiş bu amaçla da bir bilgisayar programı hazırlanarak, bu ihtiyacın alternatif enerji kaynaklarından rüzgâr, jeotermal ve güneş enerjisiyle karşılanması durumunda mevcut kurulu güçlerin ne kadar olması gerektiği hesaplanmıştır.

Kütahya'nın 62 yıllık ortalama sıcaklık değerleri kullanılarak, her ay için ihtiyaç duyulan sıcak suyun ısı değeri hesaplanmıştır. Hesaplamalarda; Ocak, Şubat, Mart ve Aralık aylarının ortalama sıcaklık değerleri, 5 °C alınmış, diğer aylar için, Şekil 4.1'de verilen Kütahya'nın 62 yıllık verilerindeki aylık ortalama sıcaklık değerleri kullanılmıştır.



Şekil 4.1. Kütahya'nın 62 yıllık ortalama sıcaklık değerleri [82].

Kullanım suyu sıcaklığı enerji tasarrufu amacıyla 40 °C seçilmiştir. Isıl değerlerin hesaplanmasında sıcak su kullanım katsayısı 0,30 (%30) olarak alınmıştır. Bütün ihtiyaçlar dikkate alındığında günlük sıcak su miktarı ise, ortalama 75 lt/gün-kişi yeterli olacağı öngörülmüştür. Hesaplama Kütahya'nın nüfusu 170.000 kişi olarak verilmiştir.

Kütahya ili merkez ilçede her ay kullanılması gereken sıcak suyun sağlanabilmesi için gereken ısıl değerlerin yakıt miktar karşılıklarının bulunmasında Köse ve arkadaşları (2001) tarafından Dumlupınar Üniversitesi Araştırma Fonu Projesi kapsamında, evsel amaçlı kullanılan kömürlerin kimyasal analizleri ve alt ısıl değerleri kullanılmıştır. Çizelge 4.7'de Seyitömer, Tunçbilek, ithal kömür ve doğalgazın kazan verimleri ve alt ısıl değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.7. Kömürlerin ve doğalgazın alt ısıl değerleri ve kazan verimleri [76].

	Alt Isıl Değer	Kazan Verimi (%)
Seyitömer	13376,83 kJ/kg	60
Tunçbilek	20469,27 kJ/kg	60
İthal	28667,02 kJ/kg	60
Doğalgaz	34541,1 kJ/Nm <sup>3</sup>	90

Yanma reaksiyonlarında Seyitömer, Tunçbilek ve ithal kömürün %50 fazla hava ile yakıldığı, doğalgazın ise %15 fazla hava ile yakıldığı kabul edilmiştir. Çizelge 4.8’de yanma reaksiyonlarında kullanılmış olan Seyitömer, Tunçbilek ve ithal kömürün elementel analizi verilmiştir.

**Çizelge 4.8.** Kömürlerin elementel analizi (Ağırlıkça %) [83].

	C	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	S	O <sub>2</sub>	Kül	Nem
Seyitömer	45	3,6	1,3	1,6	19,7	14,9	13,9
Tunçbilek	51,4	3,9	1,9	2,3	12,1	8,3	20,1
İthal	62,51	3,04	1,76	1,39	10	12,05	9,25

Kütahya’nın sıcak su kullanımından oluşacak emisyonların azaltılmasına yönelik olarak, Kütahya ili yıllık sıcak su ihtiyacına karşılık gelen ısı değerini, güneş, rüzgâr ve jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynakları temel alınarak, Kütahya’da kurulması planlanan santrallerin gücünün hesaplanabilmesi için santral verimleri sırasıyla güneş için %12, rüzgâr için %19 ve jeotermal için %14 seçilmiştir. Bu değerler Kütahya için yapılmış önceki çalışmalar dikkate alınarak belirlenmiş olup, bölgeden bölgeye farklılık göstermektedir. Çünkü her bölgenin güneş, rüzgâr ve jeotermal enerji potansiyeli farklıdır. Santral verimleri hazırlanan programda da değişken değer olarak kabul edilmiştir.

#### 4.6. Yöntem

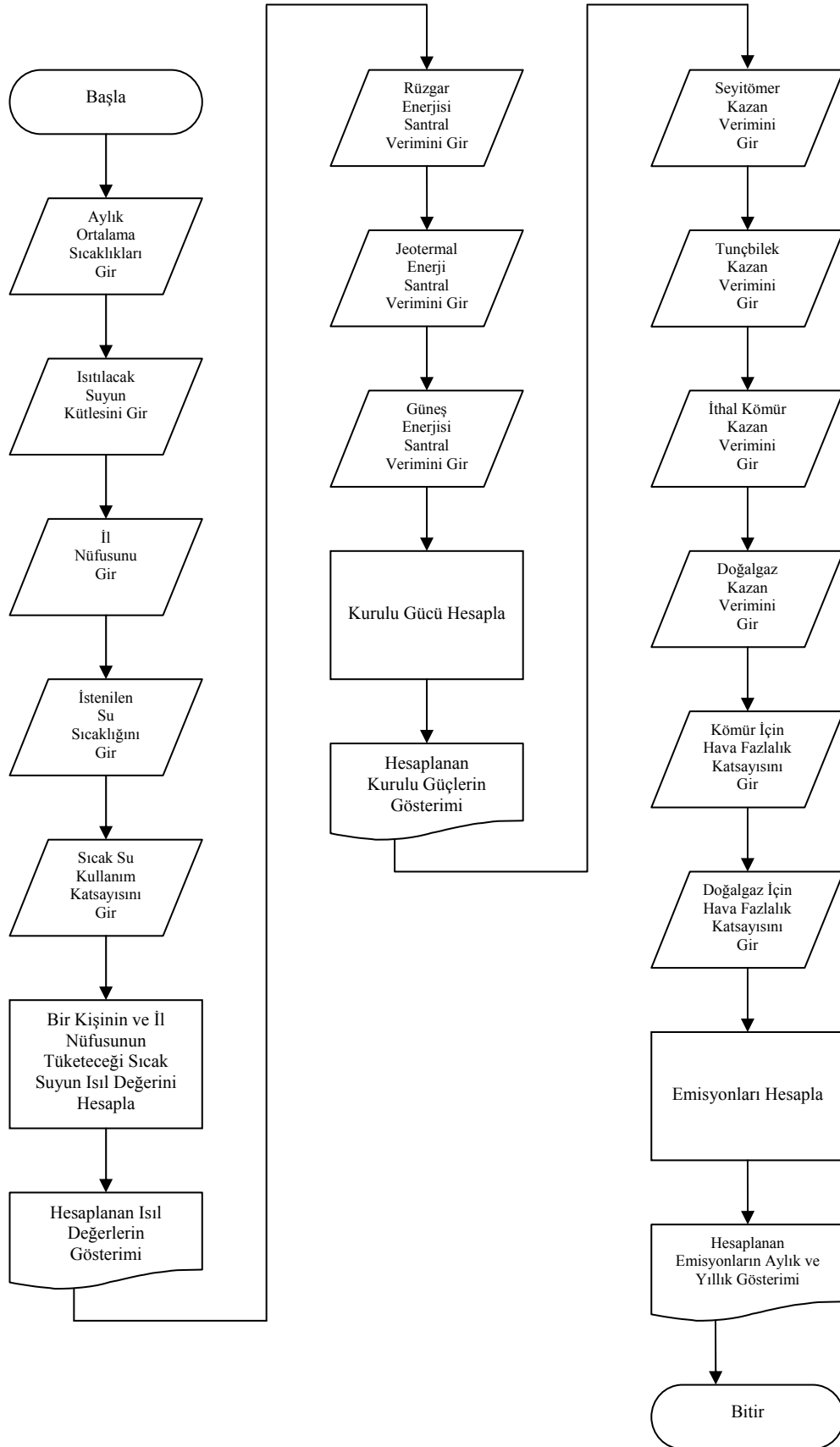
Kütahya’nın sıcak su kullanımından kaynaklanan sera gazı salım miktarlarının hesaplanması için, Kütahya’da ısınma amaçlı kullanılan Seyitömer, Tunçbilek, ithal kömür ve doğalgaza yanma reaksiyonları uygulanmış, yanma reaksiyonları sonucunda oluşan baca gazlarının miktarları hesaplanmıştır. İyi bir yanmanın doğal sonucu olarak baca gazlarında yüksek oranda olması arzu edilen CO<sub>2</sub> gazının değeri, son yıllarda atmosferde neden olduğu küresel ısınma ve sera etkisi nedeniyle, bundan sonraki aşamalarda emisyon olarak kabul edilmektedir.

Kütahya’nın sıcak su kullanımından kaynaklanan sera gazı salım miktarlarının hesaplanması için, Microsoft Office Excell, Visual Basic Applications programlama dili kullanılarak bir paket program hazırlanmıştır. Program sadece Kütahya için değil, diğer iller için girilen verilere göre, sıcak su kullanımından kaynaklanan emisyonları da

hesaplayabilmektedir. Yapılan programın akış diyagramı Şekil 4.2’de verilmektedir. Hazırlanan programda; istenilen veriler girildikten sonra, kişi ve il bazında ayrı olmak üzere, aylara göre tüketilen sıcak suyun elde edilebilmesi için gerekli ısı değerleri ve bu ısı değerlerin genel toplamı hesaplanmıştır. Aynı zamanda bu ısı değerlerin yakıt miktar karşılıklarının yanması sonucu havaya salınan sera gazı miktarlarının aylık ve yıllık olmak üzere değerleri ve Kütahya’nın yıllık sıcak su tüketiminin fosil yakıtlar yerine, alternatif enerji kaynakları kullanıldığı takdirde Kütahya’da kurulması gereken santrallerin kurulu güçleri hesaplanmıştır.

Çalışmada; ilk aşamada, Kütahya iline ait 1940–2002 yılları arasında ölçülmüş sıcaklık değerlerine göre hazırlanmış aylık ortalama sıcaklık verileri kullanılarak, Kütahya ili yıllık sıcak su ihtiyacına karşılık gelen aylık ısı değerler belirlenmiştir. Daha sonra aylık ve yıllık hesaplanan ve Kütahya ili sıcak su ihtiyacı için ısı değerleri verebilecek Seyitömer, Tunçbilek, ithal kömür ve doğalgaza karşılık gelen yakıt miktarları hesaplanmıştır. Şekil 4.2’den görüleceği üzere, programın ilk bölümünde girdi olarak; Kütahya’nın toplam nüfusu, istenilen su sıcaklığı, Kütahya’nın aylık ortalama sıcaklık verileri, günlük sıcak su miktarı ve sıcak su kullanım katsayısı, değişken değer olarak belirlenmiştir.

Programın ikinci bölümünde ise girdi olarak; güneş, rüzgâr ve jeotermal enerjinin santral verimleri ile, Seyitömer, Tunçbilek, ithal kömür ve doğalgazın kazan verimleri değişken değer olarak istenmektedir. Yanma reaksiyonlarının uygulanıp baca gazlarının hesaplanabilmesi için, kömür ve doğalgazın hava fazlalık katsayısı, değişken değer olarak alınmıştır. Ayrıca, Kütahya ili yıllık sıcak su ihtiyacına karşılık gelen ısı değerinin, güneş, rüzgâr ve jeotermal enerji kaynakları temel alınarak, bölgede bu ihtiyacı karşılamak için kurulması gerekli santrallerin gücü hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler, Kütahya’nın yıllık sıcak su tüketimini karşılayabilmek için, kurulması gereken santral gücü ve santral sayısı konusunda fikir vermektedir.



Şekil 4.2. Bilgisayar program akış şeması.



#### 4.6.1. Gerekli sıcak su temini için yakıt miktarlarının hesaplanması

Kütahya'da sıcak su tüketiminden kaynaklanan yıllık yakıt sarfiyatı hesabında, elde edilecek sıcak suyun sıcaklığı mutlaka göz önünde tutulmalıdır. Yıllık yakıt sarfiyatını hesap edebilmek için, Kütahya'da her ayın sıcak su tüketimi için gerekli, ısı değerlerinin bilinmesi gerektiği için ilk olarak Kütahya'da bir kişinin kullandığı günlük sıcak suyu elde edebilmek için gerekli ısı miktarı hesaplanmıştır.

Bir kişinin tükettiği günlük sıcak suyu elde edebilmek için gerekli ısı miktarı, denklem (4.1)'de görüldüğü üzere;

$$Q_K = m c \Delta T \quad (4.1)$$

formülüyle hesaplanır. Denklem (4.1)'de;

$Q_K$  = Bir kişinin tükettiği sıcak suyu elde edebilmek için gerekli ısı miktarı, (kJ/gün-kişi)

$m$  = Kişi başına kullanılan sıcak su miktarı (Isıtılacak suyun kütlesi), (lt/gün)

$c$  = Suyun özgül ısısı, (kJ/kg °C)

$\Delta T$  = ( $T_2 - T_1$ ) (Sıcaklık farkı), (°C)

$T_2$  = İstenilen su sıcaklığı, (°C)

$T_1$  = İstenilen ayın ortalama sıcaklığı, (°C)

olarak ifade edilir. Hesaplamalarda suyun özgül ısısı 4,186 kJ/kg °C olarak alınmıştır. Bir kişinin aylık sıcak su tüketiminden kaynaklanan ısı miktarını hesaplamak için denklem (4.2) kullanılır;

$$Q_A = Q_K Z k \quad (4.2)$$

Denklem (4.2)'de;

$Q_A$  = Bir kişinin aylık sıcak su tüketiminden kaynaklanan ısı miktarı, (kJ/ay)

$Z$  = Bir aydaki toplam gün sayısı, (gün)

$k$  = Sıcak su kullanım katsayısı

olarak ifade edilir. Kütahya nüfusunun aylık sıcak su tüketiminden kaynaklanan ısı miktarını hesaplamak için denklem (4.2) Kütahya nüfusu ile çarpılırsa eşitlik;

$$Q_T = Q_K Z k N_T \quad (4.3)$$

şeklini alır. Denklem (4.3)'de;

$$Q_T = \text{Kütahya nüfusunun aylık sıcak su tüketiminden kaynaklanan ısı miktarı, (kJ/ay)}$$

$$N_T = \text{Şehrin toplam nüfusu, (kişi)}$$

olarak ifade edilir. Denklem (4.3) kullanılarak Kütahya nüfusunun aylık sıcak su tüketiminden kaynaklanan ısı miktarları her ay için hesaplanmış, bulunan değerler toplanarak Kütahya'nın yıllık sıcak su kullanımına karşılık gelen ısı değer bulunmuştur. Aylık ısı değerlere karşılık yakıt miktarları ise denklem (4.4)'den hesaplanır;

$$B_y = [(Q_T)] / [(H_u) (\eta_k)] \quad (4.4)$$

Denklem (4.4)'de;

$$B_y = \text{İstenilen ayın yakıt miktarı, (Kömür için kg/ay, doğalgaz için Nm}^3\text{/ay)}$$

$$H_u = \text{Yakıtın alt ısı değeri, (Kömür için kJ/kg, doğalgaz için kJ/Nm}^3\text{)}$$

$$\eta_k = \text{Kazan verimi, (\%)}$$

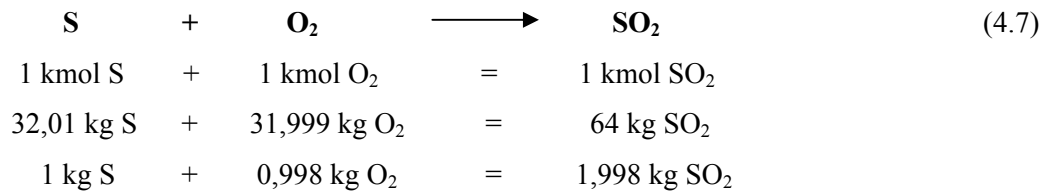
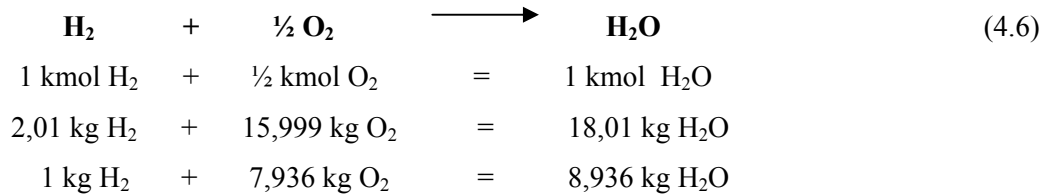
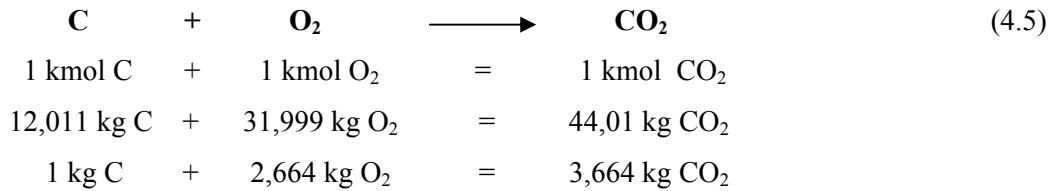
olarak ifade edilir. Denklem (4.4) kullanılarak Kütahya'nın sıcak su kullanımı için gerekli olan kömür ve doğalgazın yakıt miktarları her ay için hesaplanmıştır. Denklem (4.2) kullanılarak 1 kişinin yılda tükettiği sıcak suyun elde edilebilmesi için gerekli ısı değeri 980 MJ/yıl bulunmuştur. Kütahya nüfusunun yılda tükettiği sıcak suyun elde edilebilmesi için gerekli ısı değeri ise denklem (4.3) kullanılarak 166.477.450,23 MJ/yıl olarak bulunmuştur.

#### 4.6.2. Seyitömer, Tunçbilek ve ithal kömür için yanma hesapları ve emisyonları

Yanma için gerekli hava miktarı ile yanma esnasında açığa çıkan duman gazı miktarlarının hesabı, yakma sistemindeki elemanların boyutlandırılması ve ısı veriminin bulunması için yanma hesaplarına ihtiyaç vardır. Ayrıca, yakma sisteminin performansının

bulunuşu için, fazla hava yüzdesi ve maksimum CO<sub>2</sub> oranının da hesaplanması yararlıdır. Stokiyometrik yanma sonucunda, denklem (4.5), (4.6) ve (4.7) yazılabilir [79].

Katı ve sıvı yakıtların kimyasal analizlerinde genellikle Çizelge 4.8’de verildiği gibi karbon, hidrojen, kükürt, nem, oksijen, azot ve kül miktarları ağırlık yüzdesi olarak verilir. Bu takdirde teorik hava miktarının ve baca gazlarının bileşiminin bulunabilmesi için karbon, hidrojen ve kükürt için yazılan teorik yanma denklemlerinde birleşenlerin ve ürünlerin mol kütlelerini gözönüne almak yeterlidir. Denklem (4.5), denklem (4.6) ve denklem (4.7)’de bu yapılırsa;



bulunur. 1 kg yakıtın yanması için gerekli minimum teorik O<sub>2</sub> miktarı (GTOM) denklem (4.8) ile hesaplanır.

$$(GTOM) = (\% C \times 2,664) + (\%H_2 \times 7,936) + (\%S \times 0,998) - \% O_2 \quad (4.8)$$

(GTOM) = (kg O<sub>2</sub> / kg yakıt)’ı ifade etmektedir. 1 kg yakıtın yanması için gerekli fazla hava yüzdesi (hava fazlalık katsayısı)  $\lambda$  indisi ile ifade edilir. Hava fazlalık katsayısı tane

boyutu küçüldükçe azalır. Sıvı yakıtlarda örneğin doğalgazda az, katı yakıtlarda fazladır. Hava fazlalık katsayısı şu şekilde ifade edilir.

$$\%100 \text{ Teorik hava} \rightarrow \lambda = 1$$

$$\%90 \text{ Teorik hava} \rightarrow \lambda = 0,9$$

$$\%300 \text{ Teorik hava} \rightarrow \lambda = 3$$

Buna göre 1 kg yakıtın yanması için gerekli oksijen miktarı (GOM), istenilen hava yüzdesine göre denklem (4.9) şeklini alır.

$$(GOM) = \lambda (GTOM) \quad (4.9)$$

1 kg yakıtın yanması için gerekli teorik hava miktarı (GTHM) denklem (4.10) ile hesaplanır.

$$(GTHM) = (GTOM) / 0,233 \quad (\text{kg hava} / \text{kg yakıt}) \quad (4.10)$$

1 kg yakıtın yanması için gerekli hava miktarı (GHM), istenilen hava yüzdesine göre denklem (4.11) şeklinde ifade edilir.

$$(GHM) = \lambda (GTHM) \quad (4.11)$$

Yakıt, hava ile reaksiyonu sonucu yanma olayını gerçekleştirdiğinde, geriye baca gazları ve yanmayan kısımlar (kül) kalmaktadır. Buna göre şu ifade yazılabilir.

$$\begin{array}{l} \text{Yakıt} + \text{Hava} = \text{Baca gazı} + \text{Kül} \\ \text{Baca gazı} = \text{Yakıt} + \text{Hava} - \text{Kül} \end{array} \quad \begin{array}{c} \text{Yakıt} \rightarrow \boxed{\phantom{\text{Yakıt}}} \rightarrow \text{Kül} \\ \text{Hava} \rightarrow \boxed{\phantom{\text{Yakıt}}} \rightarrow \text{Baca Gazı} \end{array}$$

Bu durumda, 1 kg yakıttaki toplam baca gazı miktarı ise, denklem (4.12) ile hesaplanmaktadır.

$$\text{Toplam baca gazı miktarı (kg baca gazı} / \text{kg yakıt)} = (GHM) + 1 - \text{Kül} \quad (4.12)$$

1 kg yakıt yandığında baca gazları içerisinde;

$$\text{CO}_2 \text{ miktarı} = \%C \times 3,664 \quad (4.13)$$

$$\text{H}_2\text{O miktarı} = \%H_2 \times 8,936 + \%Nem \quad (4.14)$$

$$\text{SO}_2 \text{ miktarı} = \%S \times 1,998 \quad (4.15)$$

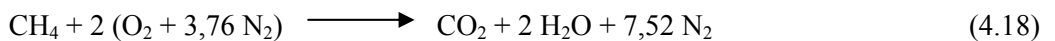
$$\text{O}_2 \text{ miktarı} = (\text{GOM}) - (\text{GOM} / \lambda) \quad (4.16)$$

$$\text{N}_2 \text{ miktarı} = [(\text{GHM}) (1 - 0,233)] + \%N_2 \quad (4.17)$$

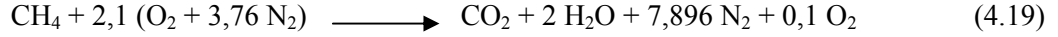
denklemleri ile hesaplanır. Kütahya'nın yıllık sıcak su ihtiyacının karşılanması için gerekli yakıtların (Seyitömer, Tunçbilek ve ithal kömür) yanması ile, havaya salınan sera gazı miktarlarını hesaplamak için, 1 kg yakıtın yanması sonucu açığa çıkan baca gazı miktarları hesaplanmıştır. Bu hesaplama için Çizelge 4.8'de verilmiş olan, kömürlerin elementel analizi kullanılmıştır. Hesaplama katı yakıtların %50 fazla hava (%150 teorik hava) ile yakıldığı kabul edilmektedir. Örneğin Seyitömer kömüründe 1 kg yakıtın yanması için yapılan hesaplama sonucunda baca gazları içerisinde; 1,649 kg CO<sub>2</sub>/kg yakıt, 0,461 kg H<sub>2</sub>O/kg yakıt, 0,032 kg SO<sub>2</sub>/kg yakıt, 6,452 kg N<sub>2</sub>/kg yakıt, 0,652 kg O<sub>2</sub>/kg yakıt bulunmuş, toplam baca gazı miktarı ise 9,245 kg baca gazı/kg yakıt hesaplanmıştır. 1 kg yakıt için hesaplanan baca gazı miktarları ile Kütahya'nın yıllık sıcak su ihtiyacının karşılanması amacıyla, Seyitömer kömürü için her ay ayrı hesaplanmış yakıt miktarları arasında doğru orantı kurulmuş, Seyitömer kömürü için her ay açığa çıkan baca gazı miktarları hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler kg/ay olarak hesaplanmış ve ton'a çevrilmiştir.

#### 4.6.3. Doğalgazın yanma hesapları ve emisyonları

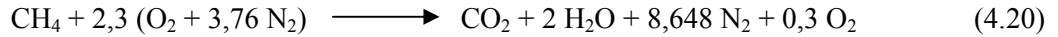
Esas itibariyle metandan oluşan doğalgaz; etan, propan, bütan ve azot içermektedir. Bu çalışmada, doğalgaza uygulanan yanma reaksiyonunun da, doğalgazın %100 metandan (CH<sub>4</sub>) oluştuğu kabul edilmiş, diğer bileşenler ihmal edilmiştir. Metanın %15 fazla hava ile yakıldığı kabul edilmektedir. Metanın teorik hava miktarı ile yakılması halinde reaksiyon denklemi;



şeklindedir. Metanın %5 fazla hava ile yakılması durumunda ise reaksiyon denklemi;



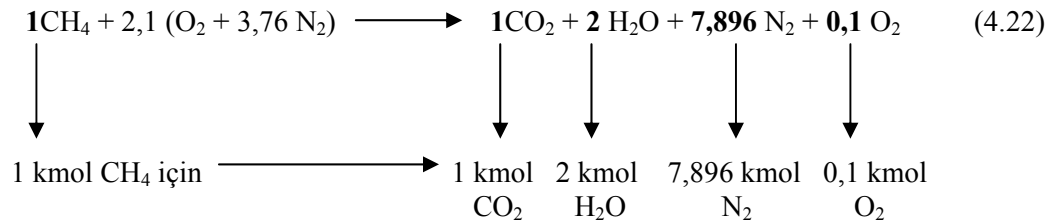
şeklini alır. Metan %15 fazla hava ile yakılırsa reaksiyon denklemi;



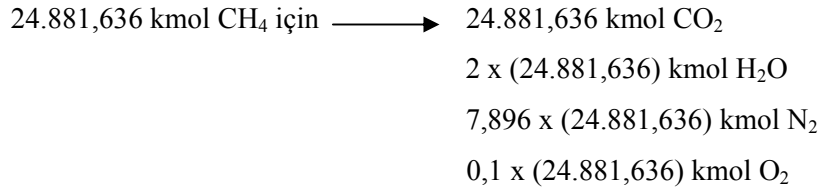
şeklini alır. Kütahya'nın yıllık sıcak su kullanımını karşılamak için hesaplanmış, aylık doğalgaz miktarları doğru orantı kullanılarak Nm<sup>3</sup>'den kg'a çevrilmiştir. Hesaplanan aylık doğalgaz değerlerinin, denklem (4.21) kullanılarak, kmol karşılıkları bulunmuştur.

$$n \text{ (kmol)} = M / M_A \quad (4.21)$$

Kütahya'nın yıllık sıcak su tüketimini karşılamak için (4.21)'de hesaplanan, aylık tüketilen doğalgazın kmol karşılıkları, %5 fazla hava ile yakıldığı takdirde, havaya salınan baca gazı miktarları denklem (4.22)'den yola çıkılarak hesaplanabilir.



Denklem (4.22)'e göre 1 kmol metan (CH<sub>4</sub>) yandığı zaman; 1 kmol CO<sub>2</sub> gazı, 2 kmol H<sub>2</sub>O, 7,896 kmol N<sub>2</sub> gazı ve 0,1 kmol O<sub>2</sub> gazı çıkmaktadır. Buna göre 1 kmol CH<sub>4</sub> yandığı zaman çıkan gazların kmol değerleri ile baca gazı miktarları istenilen herhangi bir ayda tüketilen doğalgazın kmol değeri arasında orantı kurularak, istenilen ayın baca gazı miktarlarının kmol karşılıkları bulunur. Örneğin, hesaplamada Ocak ayında tüketilen doğalgaz miktarının kmol karşılığı 24.881,636 kmol olarak bulunmuştur. Buna göre Ocak ayında tüketilen doğalgaz %5 fazla hava ile yakılırsa, havaya salınan baca gazı miktarlarının kmol karşılıkları şöyledir.



Sera gazı emisyonlarını belirtirken bulunan değerlerin kg karşılıkları emisyon olarak kabul edildiği için, bulunan değerler kg'a çevrilmiştir. Bunun için, denklem (4.21)'de kütle (M) yalnız bırakılırsa eşitlik şu şekli alır.

$$M = n \times M_A \quad (4.23)$$

Buna göre Ocak ayında sıcak su kullanımı için tüketilen doğalgaz %5 fazla hava ile yakılırsa, baca gazı miktarları denklem (4.22)'ye göre hesaplanırsa;

$$\text{CO}_2 \text{ miktarı} \rightarrow M = (24.881,636 \text{ kmol}) (44,009 \text{ kg/kmol}) = 1.095.015,919 \text{ kg CO}_2$$

$$\text{H}_2\text{O miktarı} \rightarrow M = [2 (24.881,636 \text{ kmol})] (18,0148 \text{ kg/kmol}) = 896.475,392 \text{ kg H}_2\text{O}$$

$$\begin{aligned}
 \text{N}_2 \text{ miktarı} \rightarrow M &= [(7,896) (24.881,636 \text{ kmol})] (28,014 \text{ kg/kmol}) \\
 &= 5.503.781,656 \text{ kg N}_2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{O}_2 \text{ miktarı} \rightarrow M &= [(0,1) (24.881,636 \text{ kmol})] (31,998 \text{ kg/kmol}) \\
 &= 79.616,259 \text{ kg O}_2
 \end{aligned}$$

bulunur.

## 5. BULGULAR ve DEĞERLENDİRME

### 5.1. Emisyonlara Ait Bulgular

Yapılan çalışmada, Kütahya'nın yıllık sıcak su tüketiminden kaynaklanan sera gazı salım miktarlarının hesaplanabilmesi için hazırlanan bilgisayar programı yardımıyla, ilk olarak aylık sıcak su ihtiyacına karşılık gelen ısı değerler hesaplanmıştır. Aylık hesaplanan ısı değerlerin yakıt miktar karşılıkları Seyitömer, Tunçbilek, ithal kömür ve doğalgaz için bulunmuş ve bu hesaplanan aylık yakıt miktarlarına yanma reaksiyonları uygulanması sonucunda atmosfere verilecek baca gazı miktarları hesaplanmıştır. Bu hesaplamada Ocak, Şubat, Mart ve Aralık aylarının ortalama sıcaklık değerleri 5 °C alınmış, diğer aylar için, Şekil 4.1'de verilen sıcaklık değerleri kullanılmıştır. Kütahya'da bütün ihtiyaçlar dikkate alınarak hesaplanan günlük sıcak su miktarı 75 lt/gün-kişi, Kütahya nüfusu 170.000, istenilen su sıcaklığı 40 °C ve sıcak su kullanım katsayısı 0,30 olarak kabul edilmiştir. Bu kabuller ışığında, kişi ve Kütahya nüfusu bazında aylık sıcak su ihtiyacına karşılık gelen ısı değerler Çizelge 5.1'de verilmiştir.

**Çizelge 5.1.** Kişi ve il bazında aylık sıcak su ihtiyacına karşılık gelen ısı değerler.

Aylar	1 Kişinin Tüketimi (MJ/ay)	İl Bazında Tüketim (MJ/ay)
Ocak	102,19	17.372.423,25
Şubat	92,30	15.691.221,00
Mart	102,20	17.372.423,25
Nisan	85,05	14.458.339,35
Mayıs	74,75	12.706.686,72
Haziran	62,16	10.567.557,00
Temmuz	57,23	9.728.557,02
Ağustos	57,81	9.827.828,01
Eylül	66,97	11.384.140,95
Ekim	82,92	14.096.480,58
Kasım	93,53	15.899.369,85
Aralık	102,19	17.372.423,25
<b>Genel Toplam (MJ/yıl)</b>	<b>979,30</b>	<b>166.477.450,23</b>



İl bazında aylık sıcak su ihtiyacına karşılık gelen ısı değerlerinin yakıt miktar karşılıklarının bulunması için; Seyitömer, Tunçbilek ve ithal kömürün kazan verimleri %60, doğalgazın kazan verimi %90 olarak alınmış, Seyitömerin alt ısı değeri 13.376,8 kJ/kg, Tunçbileğin alt ısı değeri 20.469,3 kJ/kg, ithal kömürün alt ısı değeri 28.667,0 kJ/kg ve doğalgazın alt ısı değeri 34.541,1 kJ/kg olarak alınmıştır. Bu kabuller ışığında Kütahya'nın aylık sıcak su ihtiyacını karşılamak için gerekli yakıt miktarları Çizelge 5.2'de verilmiştir.

**Çizelge 5.2.** Kütahya ili aylık sıcak su ihtiyacını karşılamak için gerekli yakıt miktarları.

Aylar	Seyitömer (ton/ay)	Tunçbilek (ton/ay)	İthal (ton/ay)	Doğalgaz (Nm <sup>3</sup> /ay)
<b>Ocak</b>	2164,49	1414,51	1010,01	558.832,59
<b>Şubat</b>	1955,03	1277,63	912,27	504.752,02
<b>Mart</b>	2164,50	1414,51	1010,01	558.832,59
<b>Nisan</b>	1801,42	1177,24	840,59	465.092,93
<b>Mayıs</b>	1583,17	1034,62	738,75	408.746,13
<b>Haziran</b>	1316,65	860,44	614,39	339.935,03
<b>Temmuz</b>	1212,12	792,13	565,61	312.946,25
<b>Ağustos</b>	1224,48	800,21	571,38	316.139,58
<b>Eylül</b>	1418,39	926,93	661,86	366.202,74
<b>Ekim</b>	1756,33	1147,78	819,55	453.452,73
<b>Kasım</b>	1980,96	1294,57	924,37	511.447,71
<b>Aralık</b>	2164,49	1414,51	1010,01	558.832,59
<b>Genel Toplam</b>	20.742,02 (ton/yıl)	13.555,08 (ton/yıl)	9678,80 (ton/yıl)	5.355.212,91 (Nm <sup>3</sup> /yıl)

Çizelge 5.2 incelendiğinde, Kütahya'nın yıllık sıcak su ihtiyacını karşılamak için Seyitömer kömürü kullanıldığında 20.742,02 ton, Tunçbilek kömürü kullanıldığında 13.555,08 ton, ithal kömür kullanıldığında 9678,80 ton, doğalgaz kullanıldığında 5.355.212,91 Nm<sup>3</sup> yakıt kullanılması gerekmektedir. Çizelge 5.2'den de görüleceği üzere ithal kömür Kütahya'nın yıllık sıcak su ihtiyacını karşılamak için en az miktarda yakıt sarfiyatı gerektiren yakıttır.

### 5.1.1. Yanma reaksiyonları sonucu atmosfere salımı gerçekleşen gazların emisyon değerleri

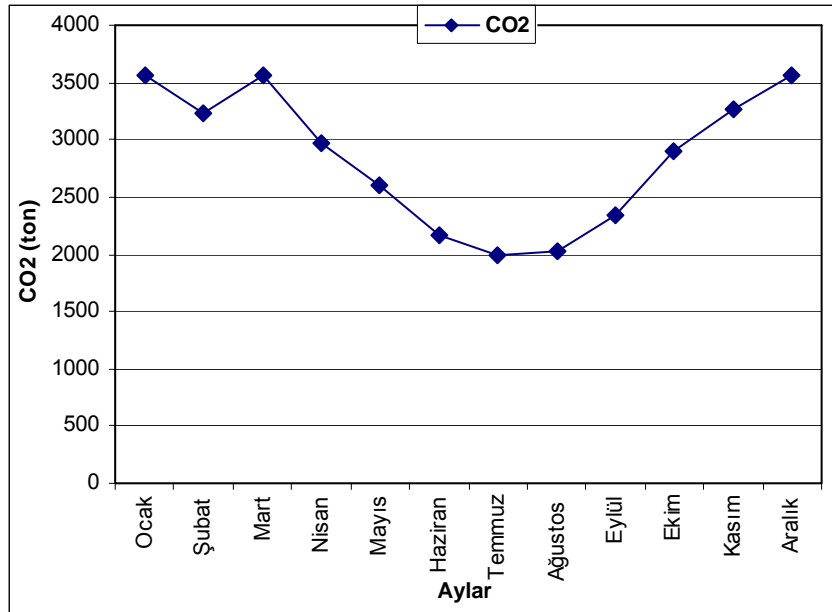
Kütahya'nın yıllık sıcak su ihtiyacını karşılamak için, Çizelge 5.2'de aylık yakıt miktarları verilen dört farklı fosil yakıt türüne, yanma reaksiyonları uygulanmış ve atmosfere salımı gerçekleşen gazların aylık ve yıllık emisyon miktarları hesaplanmıştır. Kütahya'nın yıllık sıcak su tüketiminden kaynaklanan sera gazı salım miktarlarının hesaplanabilmesi için hazırlanan bilgisayar programında, kömür türleri için fazla hava yüzdesi %50, doğalgaz için fazla hava yüzdesi %15 olarak kabul edilmiştir.

#### 5.1.1.1. Seyitömer kömürüne uygulanan yanma reaksiyonları sonucu atmosfere salımı gerçekleşen gazların emisyon değerleri

Kütahya'nın yıllık sıcak su ihtiyacının Seyitömer kömürü ile karşılanması durumunda, sıcak su kullanımından kaynaklanan aylık emisyonlar Çizelge 5.3'de verilmiş olup, elde edilen CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O ve SO<sub>2</sub> gazlarına ait değerlerin değişimleri Şekil 5.1-5.3'de verilmiştir.

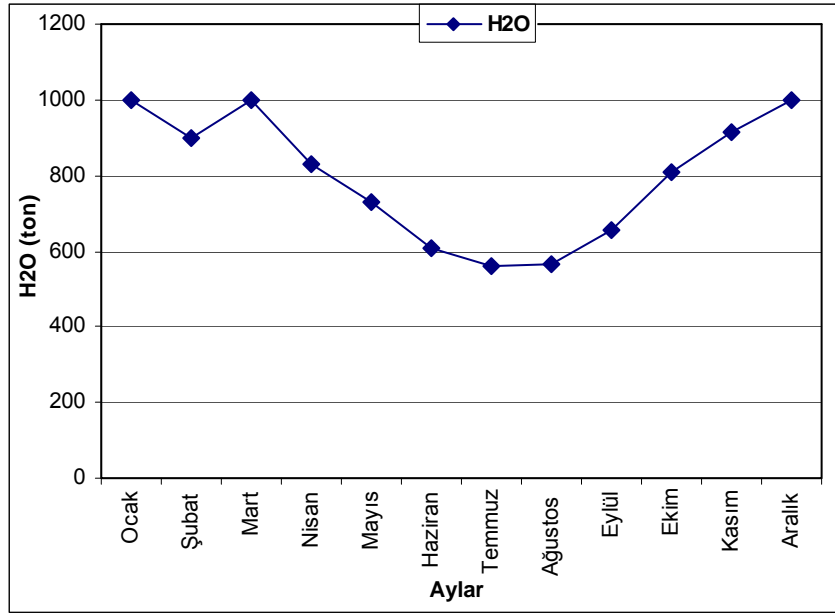
**Çizelge 5.3.** Seyitömer kömürünün aylık emisyon oranları.

Aylar	CO <sub>2</sub> (ton)	H <sub>2</sub> O (ton)	SO <sub>2</sub> (ton)
<b>Ocak</b>	3568,82	997,17	69,19
<b>Şubat</b>	3223,45	900,67	62,50
<b>Mart</b>	3568,82	997,17	69,19
<b>Nisan</b>	2970,18	829,91	57,59
<b>Mayıs</b>	2610,33	729,36	50,61
<b>Haziran</b>	2170,89	606,58	42,09
<b>Temmuz</b>	1998,54	558,42	38,75
<b>Ağustos</b>	2018,93	564,12	39,14
<b>Eylül</b>	2338,64	653,45	45,34
<b>Ekim</b>	2895,84	809,14	56,15
<b>Kasım</b>	3266,21	912,62	63,33
<b>Aralık</b>	3568,82	997,17	69,19
<b>Genel Toplam</b>	<b>34.199,45</b>	<b>9555,77</b>	<b>663,08</b>

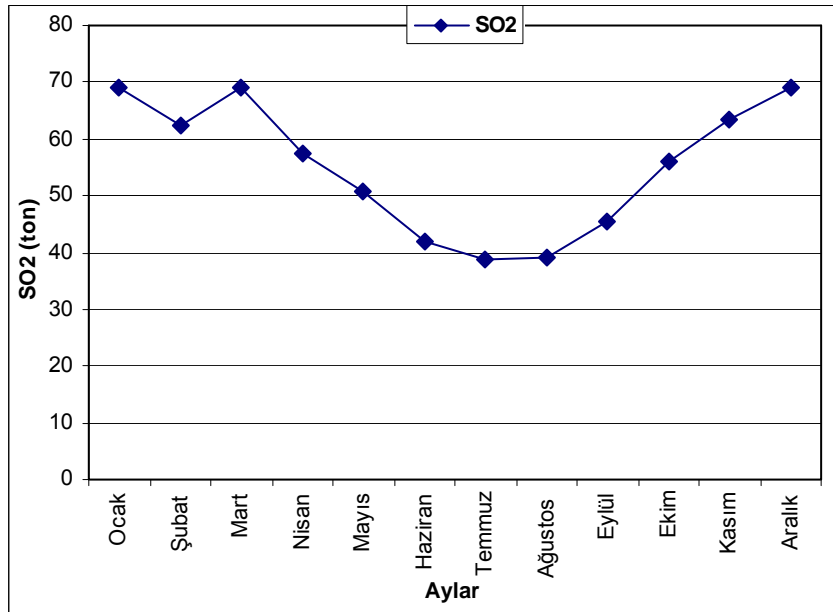


**Şekil 5.1.** Seyitömer kömürü kullanılması durumunda salımı gerçekleşen aylık CO<sub>2</sub> emisyonu.

Şekil 5.1 incelendiğinde, CO<sub>2</sub> salımının en fazla gerçekleştiği aylar Ocak, Mart ve Aralık ayları olup, CO<sub>2</sub> salımının en az gerçekleştiği aylar ise Temmuz ve Ağustos aylarıdır. Ocak, Mart ve Aralık aylarında CO<sub>2</sub> salımının yüksek olmasının sebebi, Kütahya’da kış aylarında sıcaklık ortalamalarının düşük olmasından dolayı sıcak su tüketiminin artması ve buna bağlı olarak da sıcak su tüketimini karşılamak için yakıt miktarının artmasından kaynaklanmaktadır. Temmuz ve Ağustos aylarında CO<sub>2</sub> salımının en düşük değere ulaşmasının sebebi, yaz ayları olmaları sebebiyle ortalama sıcaklıkların en yüksek olduğu iki ay olmasından dolayı, Kütahya’da sıcak su kullanımının azalması ve buna bağlı olarak da sıcak su tüketimini karşılamak için gerekli yakıt miktarının azalmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 5.2-5.3’de görüldüğü üzere, H<sub>2</sub>O ve SO<sub>2</sub> salımının en fazla gerçekleştiği aylar Şekil 5.1’e benzer olarak Ocak, Mart ve Aralık ayları, en az salımın gerçekleştiği aylar ise Temmuz ve Ağustos aylarıdır.



Şekil 5.2. Seyitömer kömürü kullanılması durumunda salımı gerçekleşen aylık H<sub>2</sub>O emisyonu.



Şekil 5.3. Seyitömer kömürü kullanılması durumunda salımı gerçekleşen aylık SO<sub>2</sub> emisyonu.

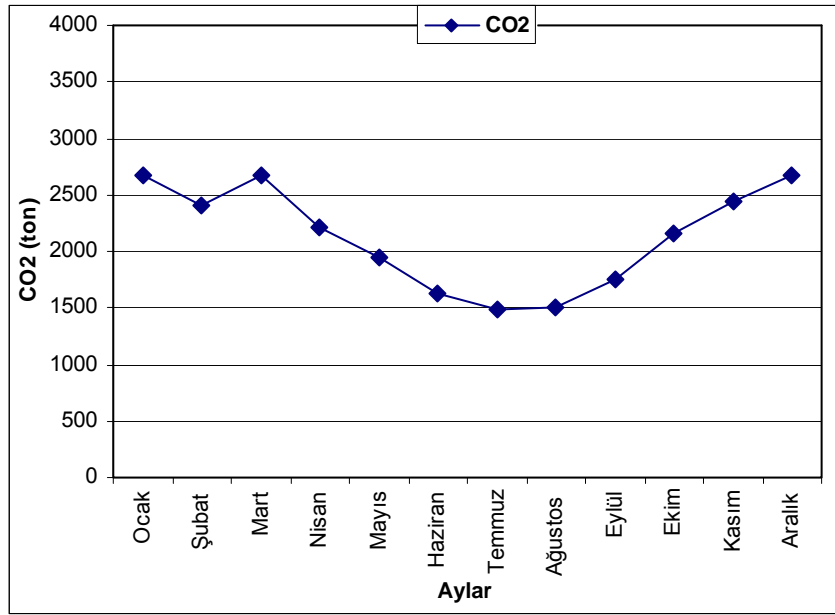
### 5.1.1.2. Tunçbilek kömürüne uygulanan yanma reaksiyonları sonucu atmosfere salımı gerçekleşen gazların emisyon değerleri

Kütahya'nın yıllık sıcak su ihtiyacının Tunçbilek kömürü ile karşılanması durumunda, sıcak su kullanımından kaynaklanan aylık emisyonlar Çizelge 5.4'de verilmiş olup, elde edilen CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O ve SO<sub>2</sub> gazlarına ait değerlerin değişimleri Şekil 5.4-5.6'da verilmiştir.

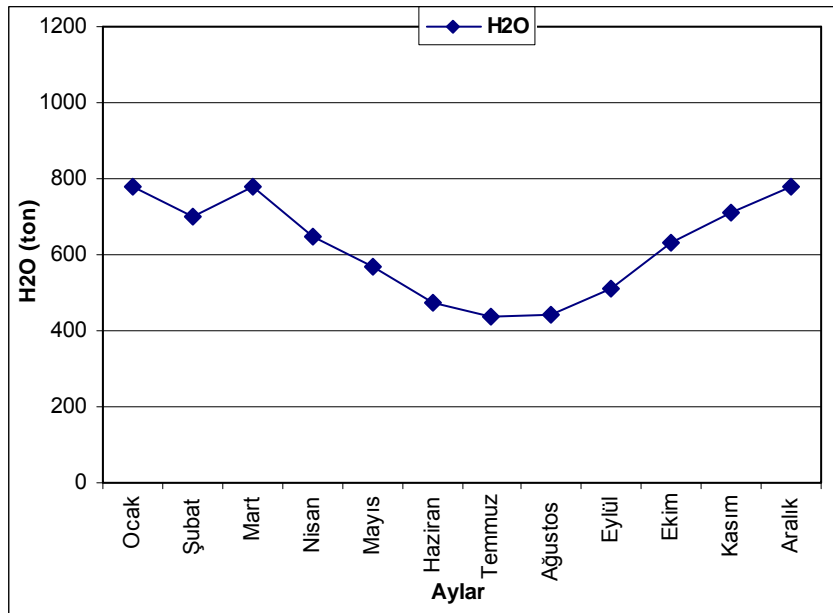
**Çizelge 5.4.** Tunçbilek kömürünün aylık emisyon oranları.

Aylar	CO <sub>2</sub> (ton)	H <sub>2</sub> O (ton)	SO <sub>2</sub> (ton)
Ocak	2663,95	777,28	65,00
Şubat	2406,15	702,06	58,71
Mart	2663,95	777,28	65,00
Nisan	2217,09	646,90	54,10
Mayıs	1948,49	568,53	47,55
Haziran	1620,47	472,82	39,54
Temmuz	1491,81	435,28	36,40
Ağustos	1507,03	439,72	36,77
Eylül	1745,68	509,35	42,60
Ekim	2161,60	630,71	52,75
Kasım	2438,06	711,37	59,49
Aralık	2663,95	777,28	65,00
<b>Genel Toplam</b>	<b>25.528,22</b>	<b>7448,57</b>	<b>622,91</b>

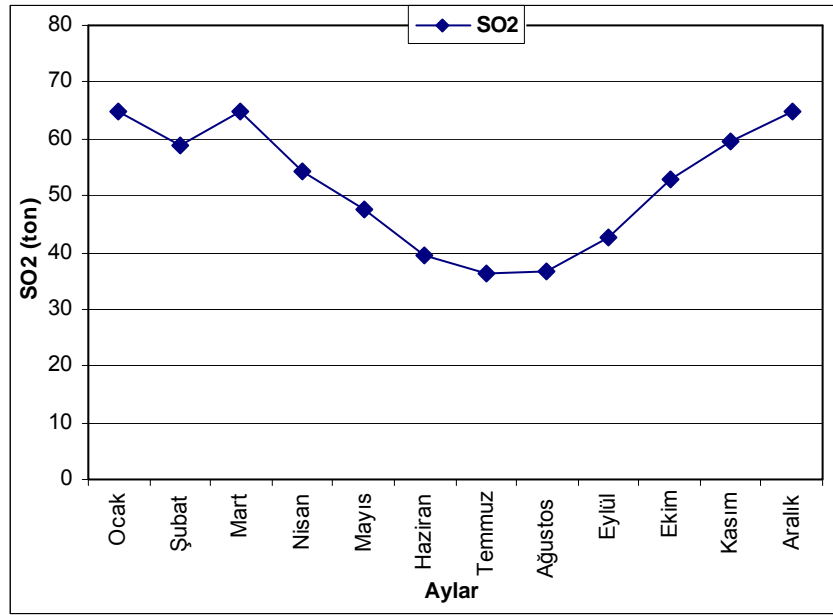
Şekil 5.4 incelendiğinde, CO<sub>2</sub> salımının en fazla gerçekleştiği aylar Ocak, Mart ve Aralık ayları olup, CO<sub>2</sub> salımının en az gerçekleştiği aylar ise Temmuz ve Ağustos aylarıdır. Şekil 5.4'de görüldüğü üzere, Ocak ayında 2663,95 ton olan CO<sub>2</sub> salımının, Şubat ayında 2406,15 tona düştüğü, Mart ayında Ocak ayındaki seviyesine tekrar yükseldiği, Nisan ayından itibaren CO<sub>2</sub> salımında düşüş yaşanarak Temmuz ayına kadar 1491,81 tona düştüğü, Ağustos ayından itibaren ise CO<sub>2</sub> salımının tekrar yükselmeye başlayarak Ocak ayındaki seviyesi olan 2663,95 tona ulaştığı görülmektedir. Şekil 5.5-5.6'da görüldüğü üzere, H<sub>2</sub>O ve SO<sub>2</sub> salımının en fazla gerçekleştiği aylar Şekil 5.4'e benzer olarak Ocak, Mart ve Aralık ayları, en az salımın gerçekleştiği aylar ise Temmuz ve Ağustos aylarıdır.



Şekil 5.4. Tunçbilek kömürü kullanılması durumunda salımı gerçekleşen aylık CO<sub>2</sub> emisyonu.



Şekil 5.5. Tunçbilek kömürü kullanılması durumunda salımı gerçekleşen aylık H<sub>2</sub>O emisyonu.



**Şekil 5.6.** Tunçbilek kömürü kullanılması durumunda salımı gerçekleşen aylık SO<sub>2</sub> emisyonu.

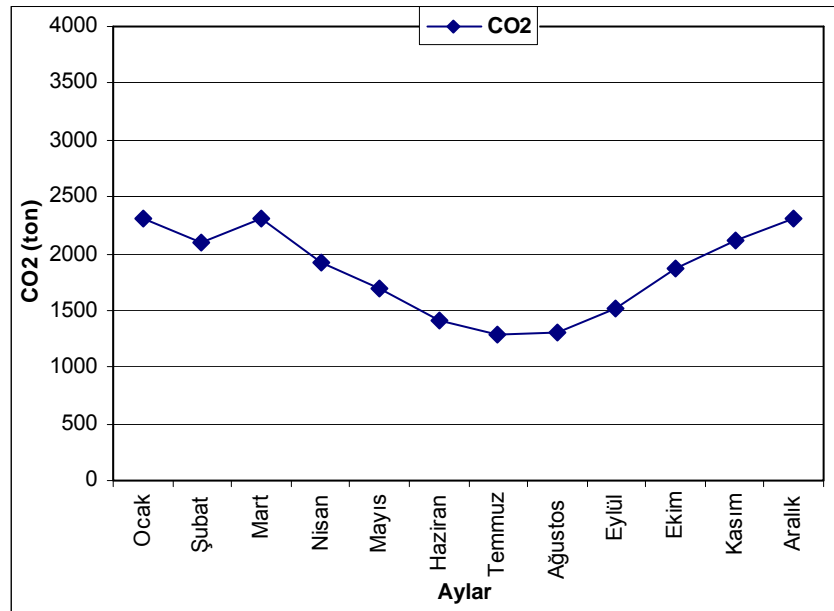
### 5.1.1.3. İthal kömüre uygulanan yanma reaksiyonları sonucu atmosfere salımı gerçekleşen gazların emisyon değerleri

Kütahya'nın yıllık sıcak su ihtiyacının ithal kömür ile karşılanması durumunda, sıcak su kullanımından kaynaklanan aylık emisyonlar Çizelge 5.5'de verilmiş olup, elde edilen CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O ve SO<sub>2</sub> gazlarına ait değerlerin değişimleri Şekil 5.7-5.9'de verilmiştir.

Şekil 5.7 incelendiğinde, CO<sub>2</sub> salımının en fazla gerçekleştiği aylar Ocak, Mart ve Aralık ayları olup, CO<sub>2</sub> salımının en az gerçekleştiği aylar ise Temmuz ve Ağustos aylarıdır. İthal kömürün alt ısıl değerinin Seyitömer ve Tunçbilek kömürlerinin alt ısıl değerlerine oranla daha yüksek olmasından dolayı, sıcak su ihtiyacını karşılamak için gerekli yakıt miktarları ithal kömürde daha az miktarlarda hesaplanmış, yanma reaksiyonları sonucu atmosfere salımı gerçekleşen CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O ve SO<sub>2</sub> gazlarının emisyonları da ithal kömürde, Seyitömer ve Tunçbilek kömürlerine oranla en düşük seviyede gerçekleşmiştir. Şekil 5.8-5.9'de görüldüğü üzere, H<sub>2</sub>O ve SO<sub>2</sub> salımının en fazla gerçekleştiği aylar Şekil 5.7'ye benzer olarak Ocak, Mart ve Aralık ayları, en az salımın gerçekleştiği aylar ise Temmuz ve Ağustos aylarıdır.

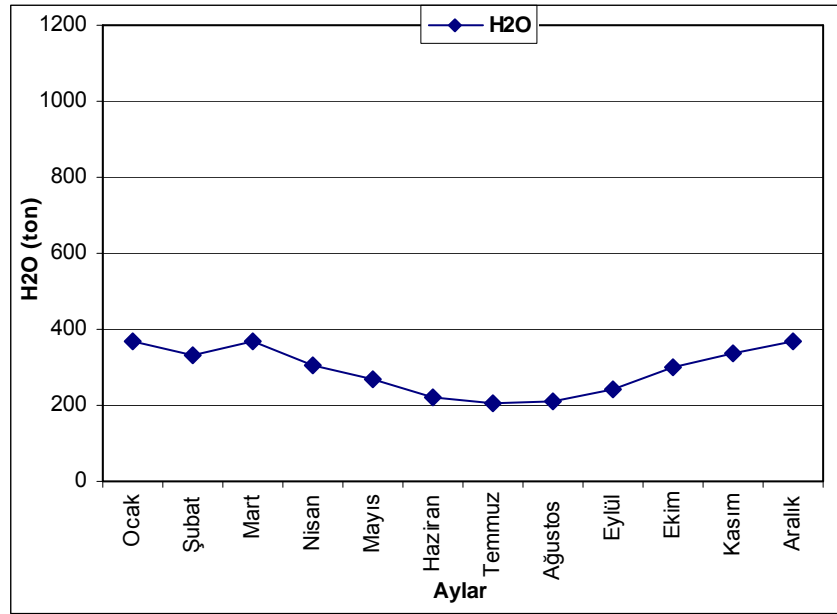
Çizelge 5.5. İthal kömürün aylık emisyon oranları.

Aylar	CO <sub>2</sub> (ton)	H <sub>2</sub> O (ton)	SO <sub>2</sub> (ton)
Ocak	2312,49	367,67	28,04
Şubat	2088,70	332,09	25,33
Mart	2312,49	367,67	28,04
Nisan	1924,59	306,00	23,34
Mayıs	1691,42	268,93	20,51
Haziran	1406,68	223,65	17,06
Temmuz	1295,00	205,90	15,70
Ağustos	1308,21	208,00	15,86
Eylül	1515,37	240,94	18,38
Ekim	1876,42	298,34	22,75
Kasım	2116,41	336,50	25,66
Aralık	2312,49	367,67	28,04
<b>Genel Toplam</b>	<b>22.160,27</b>	<b>3523,35</b>	<b>268,71</b>

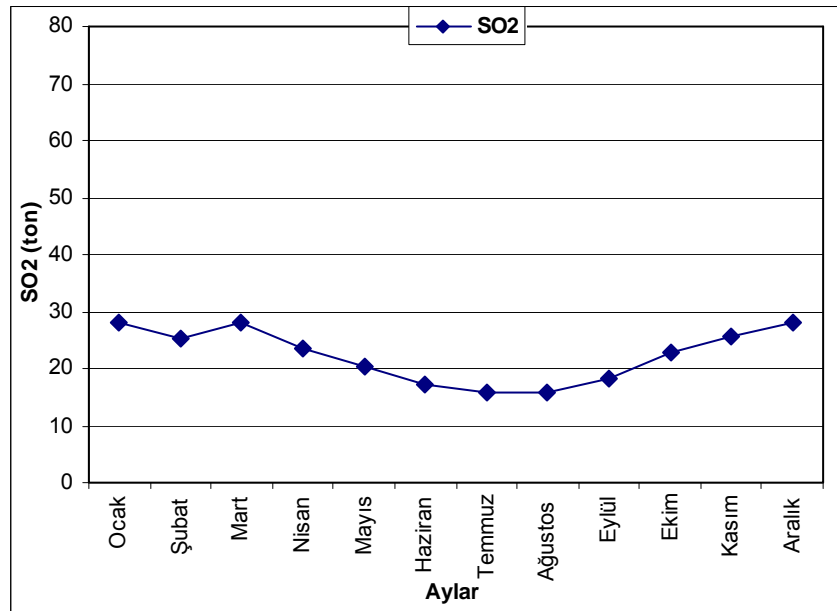


Şekil 5.7. İthal kömür kullanılması durumunda salımı gerçekleşen aylık CO<sub>2</sub> emisyonu.





Şekil 5.8. İthal kömür kullanılması durumunda salımı gerçekleşen aylık H<sub>2</sub>O emisyonu.



Şekil 5.9. İthal kömür kullanılması durumunda salımı gerçekleşen aylık SO<sub>2</sub> emisyonu.

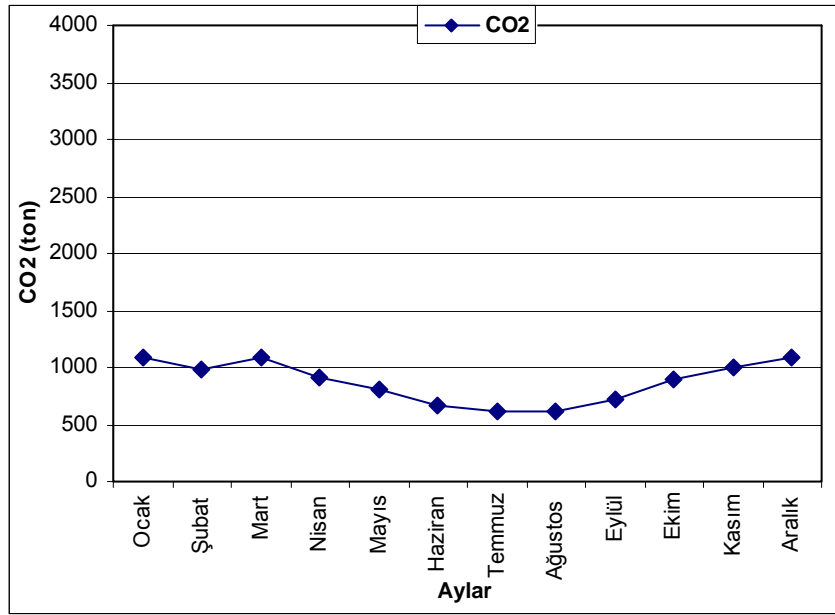
#### 5.1.1.4. Doğalgaza uygulanan yanma reaksiyonları sonucu atmosfere salımı gerçekleşen gazların emisyon değerleri

Kütahya'nın yıllık sıcak su ihtiyacının doğalgaz ile karşılanması durumunda, sıcak su kullanımından kaynaklanan aylık emisyonlar Çizelge 5.6'da verilmiş olup, elde edilen CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O gazlarına ait değerlerin değişimleri Şekil 5.10-5.11'de verilmiştir.

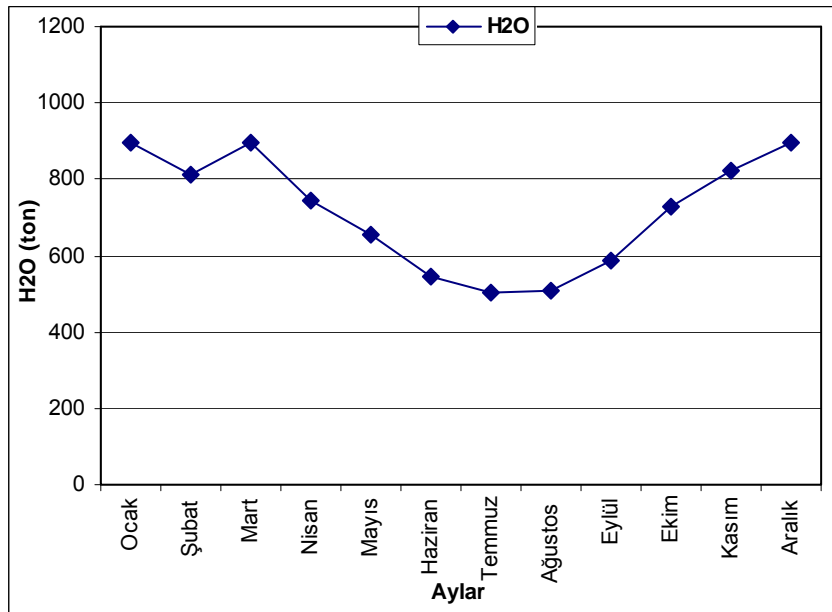
**Çizelge 5.6.** Doğalgazın aylık emisyon oranları.

Aylar	CO <sub>2</sub> (ton)	H <sub>2</sub> O (ton)
Ocak	1095,02	896,48
Şubat	989,05	809,72
Mart	1095,02	896,48
Nisan	911,34	746,10
Mayıs	800,93	655,71
Haziran	666,09	545,32
Temmuz	613,21	502,03
Ağustos	619,47	507,15
Eylül	717,56	587,46
Ekim	888,53	727,43
Kasım	1002,17	820,46
Aralık	1095,02	896,48
<b>Genel Toplam</b>	<b>10.493,38</b>	<b>8590,80</b>

Şekil 5.10 incelendiğinde, CO<sub>2</sub> salımının en fazla gerçekleştiği aylar Ocak, Mart ve Aralık ayları olup, CO<sub>2</sub> salımının en az gerçekleştiği aylar ise Temmuz ve Ağustos aylarıdır. Doğalgaz, Seyitömer, Tunçbilek ve İthal kömüre oranla daha yüksek bir alt ısı değerine sahiptir. Bu durum doğalgazın yanma reaksiyonları sonucu atmosfere vereceği CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O salımlarının da Seyitömer, Tunçbilek ve İthal kömüre göre daha düşük seviyede olmasını sağlamaktadır. Şekil 5.11'de, verildiği gibi, H<sub>2</sub>O salımının en fazla gerçekleştiği aylar Şekil 5.10'a benzer olarak Ocak, Mart ve Aralık ayları, en az salımın gerçekleştiği aylar ise Temmuz ve Ağustos aylarıdır. SO<sub>2</sub> emisyonu pratik olarak sıfır olan doğalgaz, diğer yakıt türlerine kıyasla ideal bir çevre dostudur.



Şekil 5.10. Doğalgaz kullanılması durumunda salımı gerçekleşen aylık CO<sub>2</sub> emisyonu.



Şekil 5.11. Doğalgaz kullanılması durumunda salımı gerçekleşen aylık H<sub>2</sub>O emisyonu.

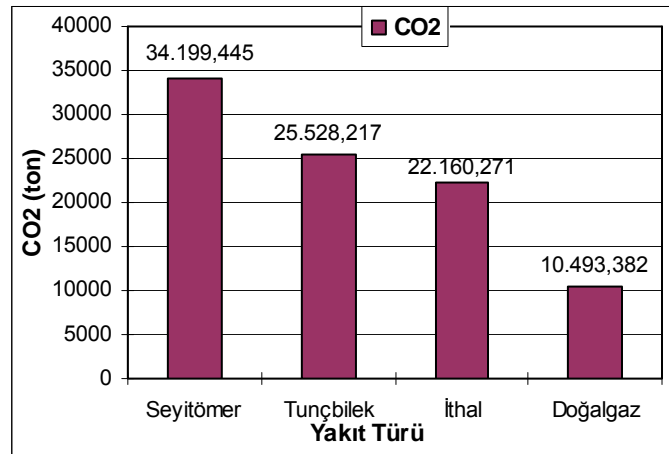
### 5.1.2. Salınan emisyonların genel değerlendirilmesi

Yapılan hesaplamalarda, Kütahya'nın yıllık sıcak su tüketiminden kaynaklanan sera gazı salım miktarlarının hesaplanabilmesi için kullanılan dört farklı fosil yakıtta uygulanan yanma reaksiyonları sonucu elde edilen gazlara ait emisyon sonuçları Şekil 5.12-5.14'de, her bir emisyon türü için tek grafik altında gösterilmiş ve karşılaştırılması yapılmış, Çizelge 5.7'de ise Kütahya'nın yıllık sıcak su tüketiminden kaynaklanan sera gazı salım miktarlarının yıllık miktarları verilmiştir. Çizelge 5.7 incelendiğinde, en yüksek emisyon değerlerine Seyitömer kömürü kullanılması durumunda ulaşıldığı görülmektedir.

**Çizelge 5.7.** Kütahya'nın yıllık sıcak su tüketiminden kaynaklanan sera gazı salım miktarları.

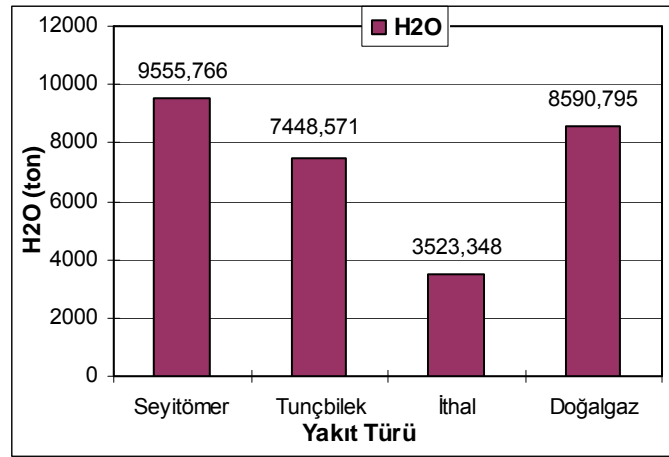
Yakıt Türü	CO <sub>2</sub> (ton)	H <sub>2</sub> O (ton)	SO <sub>2</sub> (ton)
Seyitömer	34.199,45	9555,80	663,08
Tunçbilek	25.528,22	7448,57	622,91
İthal	22.160,27	3523,35	268,71
Doğalgaz	10.493,38	8590,80	–

Şekil 5.12'de, Kütahya'nın yıllık sıcak su tüketiminin farklı fosil yakıtlarla karşılanması durumunda salımı gerçekleşen CO<sub>2</sub> emisyon miktarları verilmiştir. Şekil 5.12 incelendiğinde, Seyitömer kömürü kullanılması durumunda yıllık sıcak su kullanımından kaynaklanan CO<sub>2</sub> salımının 34.199,45 ton ile en yüksek düzeyde olduğu, doğalgaz kullanıldığı takdirde ise bu oranın 10.493,38 ton ile en düşük düzeyde olduğu görülmektedir.



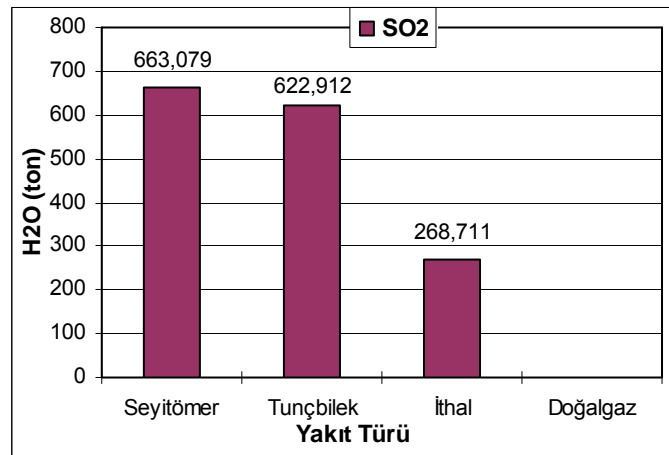
**Şekil 5.12.** Yakıt türüne göre yıllık salımı gerçekleşen CO<sub>2</sub> emisyonu.

Kütahya'nın yıllık sıcak su ihtiyacının farklı fosil yakıtlarla karşılanması durumunda salımı gerçekleşen H<sub>2</sub>O emisyon miktarları Şekil 5.13'de gösterilmiştir. Şekil 5.13 incelendiğinde, Seyitömer kömürü kullanıldığında yıllık sıcak su kullanımından kaynaklanan H<sub>2</sub>O salımının 9555,77 ton ile en yüksek düzeyde olduğu, ithal kömür kullanılması durumunda ise bu oranın 3523,35 ton ile en düşük düzeyde olduğu görülmektedir.



Şekil 5.13. Yakıt türüne göre yıllık salımı gerçekleşen H<sub>2</sub>O emisyonu.

Şekil 5.14 incelendiğinde, Seyitömer kömürü kullanılması durumunda yıllık sıcak su kullanımından kaynaklanan SO<sub>2</sub> salımının 663,08 ton ile en yüksek düzeyde olduğu, ithal kömür kullanıldığı taktirde, bu oranın 268,71 ton ile en düşük düzeyde olduğu, doğalgaz da ise bu oranın sıfır olduğu görülmektedir.



Şekil 5.14. Yakıt türüne göre yıllık salımı gerçekleşen SO<sub>2</sub> emisyonu.

## 5.2. Kütahya Yıllık Sıcak Su Tüketimine Karşılık Gelen Isıl Değerin Enerji Amaçlı Hesaplanması

Kütahya'nın yıllık sıcak su tüketiminden kaynaklanan sera gazı salım miktarlarının hesaplanabilmesi için hazırlanan bilgisayar programı yardımıyla, kişi ve il bazında ayrı olmak üzere, aylara göre tüketilen sıcak suyun elde edilebilmesi için gerekli ısıl değerler ve bu ısıl değerlerin genel toplamı hesaplanmıştır. Kütahya'nın yıllık sıcak su tüketimini karşılamak için gerekli olan yıllık ısıl değer, fosil yakıtların kullanılması yerine, yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılanması durumunda, kurulması gereken elektrik enerji santrallerinin kurulu güçleri hesaplanmıştır. Hazırlanan bilgisayar programında, Kütahya'nın sıcak su kullanımından oluşacak emisyonların azaltılmasına yönelik olarak, Kütahya ili yıllık sıcak su ihtiyacına karşılık gelen ısıl değer, güneş, rüzgâr ve jeotermal enerji kaynakları temel alınarak, santrallerin gücünün hesaplanabilmesi için, santral verimleri sırasıyla; güneş için %12, rüzgâr için %19 ve jeotermal için %14 kabul edilmiştir. Bir önceki adımda yapılan hesaplamada, Kütahya nüfusunun yılda tükettiği sıcak suyun elde edilebilmesi için gerekli ısıl değer ise 166.477.450,23 MJ/yıl olarak bulunmuş olup, bu kabuller ışığında ilk olarak, gerekli ısıl değer MJ/s'ye, çevrilerek anlık tüketim miktarı bulunmuştur. Buna göre;

$$\begin{aligned} \text{Anlık tüketim miktarı} &= (166.477.450,23 \text{ MJ/yıl}) / (31.536.000 \text{ s/yıl}) & (5.1) \\ &= 5,279 \text{ MJ/s} \end{aligned}$$

olarak bulunur. Buna göre anlık tüketim miktarı 5279 kW'a eşit olur. Güç santrallerinde, santral, çalıştığı verim değeri ile doğru orantılı olarak elektrik üretmektedir. Örneğin; %17 verimle çalışan bir jeotermal santral, kullanılan jeotermal enerjisinin, %17'si elektrik enerjisine dönüştürürken, %83'lük bölümünü atmosfere atık ısı olarak vermektedir. Buna göre Kütahya bölgesinde sıcak su ihtiyacını karşılamak için kurulması önerilen güç santrallerinin kurulu güçleri, Çizelge 5.8'de verildiği gibidir.

**Çizelge 5.8.** Sıcak su ihtiyacını karşılamak için kurulması önerilen yenilenebilir santrallerin kurulu güçleri.

Santral Türü	Güç Miktarı (MW)
Rüzgâr	27,8
Güneş	44,0
Jeotermal	37,7

Çizelge 5.8 incelendiğinde, Kütahya'nın yıllık sıcak su tüketimini karşılamak için gerekli olan elektrik enerjisi, rüzgâr santrali ile karşılandığında 27,8 MW, güneş santrali ile karşılandığında 44,0 MW, jeotermal santral ile karşılandığında ise 37,7 MW gücünde santral kurulması gerekmektedir. Kütahya'nın sıcak su tüketimini karşılama noktasında hangi santral türünün seçilmesine karar verebilmek için her birinin yatırım maliyetlerini de değerlendirmek gerekir.

Kullanılması öngörülen enerji teknolojileri arasında seçim yaparken, her sistem için, yakıt üretiminden atıkların yönetimine ve tesisin montajından demontajına değin tüm enerji zinciri dikkate alınarak, toplumsal maliyetleri ayrı hesaplamak gerekmektedir. Çevre iktisatçıları, herhangi bir insan etkinliğinin yürütülmesi sırasında birim üretim (kWh) başına doğal çevreye ve insan sağlığına verilen zararı fiyatlandırıp, söz konusu etkinliğin diğer işletme ve yatırım benzeri maliyetlerine ekleyerek gerçek maliyetleri hesaplamaktadır. Çizelge 5.9'da enerji kaynaklarına göre toplumsal maliyet aralıkları verilmiştir [84].

**Çizelge 5.9.** Toplumsal maliyet birim değerleri (kWh) [84,85].

Enerji Türü	Minimum (USCent)	Maksimum (USCent)	Ortalama (USCent)
Doğal gaz	0,23	0,83	0,53
Kömür	1,19	3,57	2,38
Nükleer	2,38	17,85	10,11
<b>Rüzgâr</b>	<b>0,17</b>	<b>0,29</b>	<b>0,23</b>
<b>Güneş</b>	<b>0,00</b>	<b>0,40</b>	<b>0,20</b>
<b>Jeotermal</b>	<b>0,20</b>	<b>0,50</b>	<b>0,35</b>

Çizelgeden de görüldüğü gibi en yüksek toplumsal maliyet ortalaması nükleer enerjide bulunurken bunu kömür izlemektedir. Çizelge 5.10'da enerji kaynaklarının birim enerji maliyetleri verilmekte olup enerji kaynaklarının üretim maliyetleri incelendiğinde birçok enerji üretim sistemine göre rüzgâr enerjisinin ne kadar uygun olduğu görülmektedir [86]. Çizelge 5.11'de ise enerji kaynaklarının birim maliyetlerinin üzerine, toplumsal maliyetler eklendikten sonra ortaya çıkan toplam maliyet verilmektedir.

**Çizelge 5.10.** Enerji kaynaklarının birim enerji (kWh) maliyeti [73,86].

Enerji Türü	Minimum (USCent)	Maksimum (USCent)	Ortalama (USCent)
Biomass	4,2	7,9	6,1
Doğalgaz	4,4	5,0	4,7
Hidrolik	5,2	18,9	12,1
Nükleer	5,3	9,3	7,3
Kömür	4,5	7,0	5,8
<b>Rüzgâr</b>	<b>4,0</b>	<b>6,0</b>	<b>5,0</b>
<b>Güneş</b>	<b>10,0</b>	<b>20,0</b>	<b>15,0</b>
<b>Jeotermal</b>	<b>4,3</b>	<b>6,8</b>	<b>5,6</b>

**Çizelge 5.11.** Enerji üretim maliyetleri ve toplumsal maliyetlerin toplamı (kWh).

Enerji Türü	Minimum (USCent)	Maksimum (USCent)	Ortalama (USCent)
Doğal gaz	4,63	5,83	5,23
Kömür	5,69	10,57	8,13
Nükleer	7,68	27,15	17,41
<b>Rüzgâr</b>	<b>4,17</b>	<b>6,29</b>	<b>5,23</b>
<b>Güneş</b>	<b>10,0</b>	<b>20,4</b>	<b>15,2</b>
<b>Jeotermal</b>	<b>4,50</b>	<b>7,30</b>	<b>5,95</b>

Toplumsal maliyetlerde eklendikten sonra, Çizelge 5.10'dan görüleceği üzere enerji üretim maliyetleri zaten yüksek olan nükleer enerji, kömür ve güneş enerjisi, Çizelge 5.11'de verildiği gibi daha da yükselmiş olup, rüzgâr enerjisi hemen hemen mevcut yerini korumuştur. Doğal gaz ise toplumsal maliyetler eklenmeden önce birim enerji maliyeti en ucuz enerji kaynağı olurken, toplumsal maliyetler eklendikten sonra rüzgârla aynı enerji üretim maliyetine



ulaşmıştır. Ancak doğal gazın dışa bağımlı oluşu dikkate alındığında, rüzgâr bir adım daha öne çıkmaktadır.

Çizelge 5.8’de verilen Kütahya’nın yıllık sıcak su tüketimini karşılamak için gerekli olan elektrik enerjisi, rüzgâr elektrik santrali ile karşılandığında 27,8 MW ile en düşük kurulu güç kapasitesini gerektirmektedir. Ayrıca Çizelge 5.11’de Kütahya’ya rüzgâr enerji santrali kurulması durumunda, buradan üretilecek enerjinin birim maliyetinin 5,23 USCent ile güneş ve jeotermal santrallerin birim maliyetinden daha düşük olması da dikkate alındığında, öngörülen kabullere göre yapılan değerlendirmeler neticesinde, Kütahya’nın yıllık sıcak su tüketimini karşılamak için uygun enerji türünün rüzgâr enerjisi olduğu belirlenmiştir.

Kütahya’nın yıllık sıcak su tüketiminin farklı fosil enerji kaynaklarınca karşılanması durumunda gerçekleşmesi olası CO<sub>2</sub> emisyon salım değerleri Çizelge 5.7’de verilmekte olup, buna göre, uygun yenilenebilir enerji kaynağı ile kurulacak olan elektrik santrali sayesinde, Kütahya’nın yıllık sıcak su tüketimini karşılamak için Seyitömer kömürü kullanıldığı takdirde atmosfere salımı gerçekleşecek 34.199,45 ton/yıl CO<sub>2</sub>, Tunçbilek kullanıldığı takdirde 25.528,22 ton/yıl CO<sub>2</sub>, ithal kömür kullanıldığı takdirde 22.160,27 ton/yıl CO<sub>2</sub>, doğalgaz kullanıldığı takdirde 10.493,38 ton/yıl CO<sub>2</sub>’nin salımı engellenmiş olacaktır. Şüphesiz ki, Kütahya’nın yıllık sıcak su tüketiminden kaynaklanan sera gazlarının azaltımı, Kütahya’nın yaşadığı hava kirliliği sorununa ve bölgesel anlamda küresel ısınmanın azaltılmasına katkı sağlayacaktır.

## 6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

### 6.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, küresel ısınma probleminin giderek büyüdüğü böyle bir ortamda sera gazı emisyonlarının azaltılmasına katkı sağlamak amacıyla, sahip olunan doğal ve temiz enerji kaynaklarının en iyi şekilde değerlendirilmesi amaçlanmış, farklı fosil kaynaklar kullanılması durumunda atmosfere salımı olağan CO<sub>2</sub> emisyonları hesaplanmıştır.

Kütahya iline ait 1940-2002 yılları arasında ölçülmüş sıcaklık değerlerine göre hazırlanmış aylık ortalama sıcaklık verileri kullanılarak, Kütahya ili yıllık sıcak su ihtiyacı belirlenmiştir. Buna göre mevcut ihtiyaç için seçilmiş farklı fosil kaynaklar ve çeşitli yenilenebilir enerji kaynakları temel alınarak Kütahya'da fosil kaynakların meydana getirdiği sera gazı salım miktarları hesaplanmıştır. Bu amaçla bölgesel ölçekte sera gazı emisyon azaltımına bir katkı sağlanması hedeflenmiş, ayrıca Kütahya bölgesinde alternatif enerji kaynakları kullanılarak elektrik üretimi yapılması halinde, küresel ısınmanın azaltılması irdelenmiştir. Aynı zamanda, Kütahya ili alternatif enerji kaynakları potansiyelinden, ilde küresel ısınmaya sebep olan sera gazı probleminin üst düzeylere ulaşması nedeniyle temiz enerji kaynaklarından olan rüzgâr, jeotermal ve güneş enerjisi ile sıcak su elde edilebilirliği incelenmiştir.

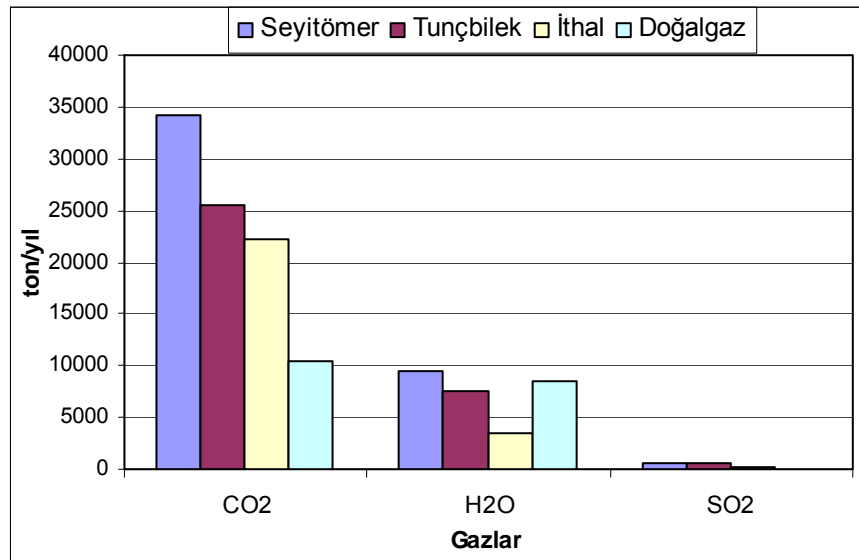
Çalışmada; Kütahya'nın sıcak su kullanımından kaynaklanan sera gazı salım miktarlarının hesaplanması için, Microsoft Office Excell, Visual Basic Applications programlama dili kullanılarak bir program hazırlanmıştır. İlk aşamada Kütahya iline ait 1940-2002 yılları arasında ölçülmüş sıcaklık değerlerine göre hazırlanmış aylık ortalama sıcaklık verileri kullanılarak, toplamı Kütahya ili yıllık sıcak su ihtiyacına karşılık gelen aylık ısı değerleri belirlenmiş ve yıllık genel toplam 166.477.450,23 MJ/yıl bulunmuştur.

Aylık ve yıllık hesaplanan ve Kütahya ili sıcak su ihtiyacı için ısı değerleri verebilecek Seyitömer, Tunçbilek, ithal kömür ve doğalgaza karşılık gelen yakıt miktarları, yıl bazında sırasıyla Seyitömer için 20.742,02 ton, Tunçbilek için 13.555,08 ton, ithal kömür için 9678,80 ton ve doğalgaz için 5.355.212,91 Nm<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır.

Kütahya'nın yıllık sıcak su ihtiyacını karşılamak için, Seyitömer, Tunçbilek, ithal kömür ve doğalgaz için hesaplanmış olan yakıt miktarlarına, yanma reaksiyonları uygulanmış ve atmosfere salımı gerçekleşen gazların aylık ve yıllık emisyon miktarları bulunmuştur. Çizelge 6.1'de dört farklı yakıt türüne uygulanmış yanma reaksiyonları sonucu atmosfere salımı gerçekleşmiş gazların yıllık emisyonları verilmiş, Şekil 6.1'de ise elde edilen yıllık emisyonlara ait değişimler gösterilmiştir.

**Çizelge 6.1.** Kütahya'nın yıllık sıcak su tüketiminden kaynaklanan sera gazı salım miktarlarının yıllık değerleri.

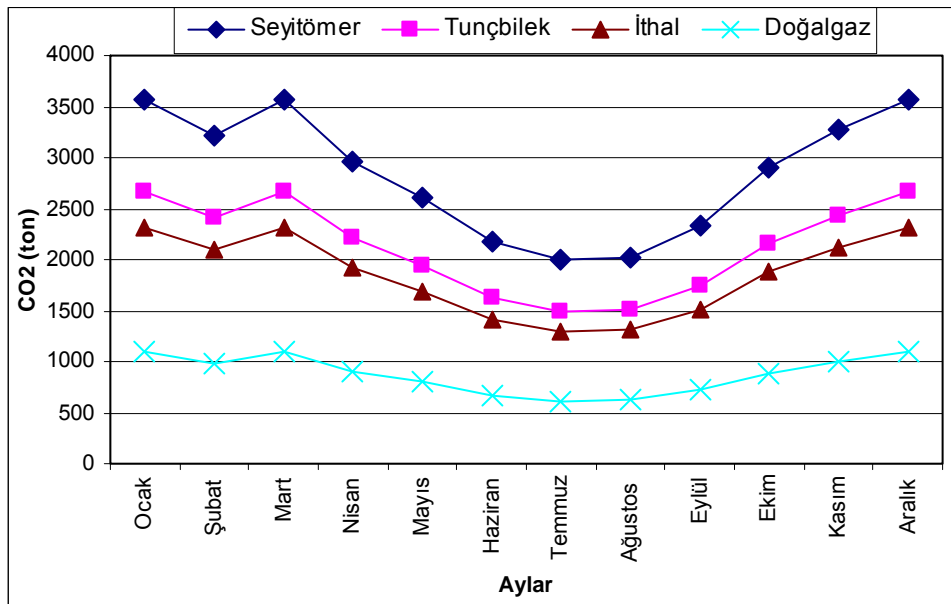
Yakıt Türü	CO <sub>2</sub> (ton)	H <sub>2</sub> O (ton)	SO <sub>2</sub> (ton)
Seyitömer	34.199,45	9555,80	663,08
Tunçbilek	25.528,22	7448,57	622,91
İthal	22.160,27	3523,35	268,71
Doğalgaz	10.493,38	8590,80	–



**Şekil 6.1.** Dört farklı yakıt türüne uygulanan yanma reaksiyonları sonucu atmosfere salımı gerçekleşen yıllık emisyonlar.

Şekil 6.1'den de görüleceğe üzere, sıcak su kullanımından kaynaklanan emisyon değerlerini hesaplamak için dört farklı yakıt türüne yanma reaksiyonları uygulandığında, atmosfere en fazla gaz salımı gerçekleştiren yakıt türünün Seyitömer kömürü olduğu görülmekte, bunu Tunçbilek kömürü, ithal kömür ve doğalgaz izlemektedir. Sıcak su kullanımını karşılamak için en ideal fosil yakıt doğalgaz olarak görülmektedir. Çizelge 6.1 incelendiğinde SO<sub>2</sub> emisyonu pratik olarak sıfır olan doğalgaz, diğer yakıt türlerine kıyasla ideal bir çevre dostudur. Yanma reaksiyonları sonucu yakıt türlerinden atmosfere en fazla CO<sub>2</sub> emisyonu salımı gerçekleşmiş olup, atmosfere en az salım SO<sub>2</sub> gazına aittir. Atmosfere salımı gerçekleşen H<sub>2</sub>O emisyonları ise CO<sub>2</sub> emisyonlarına göre düşük seviyelerde, SO<sub>2</sub> emisyonlarına göre ise yüksek seviyelerde kalmıştır.

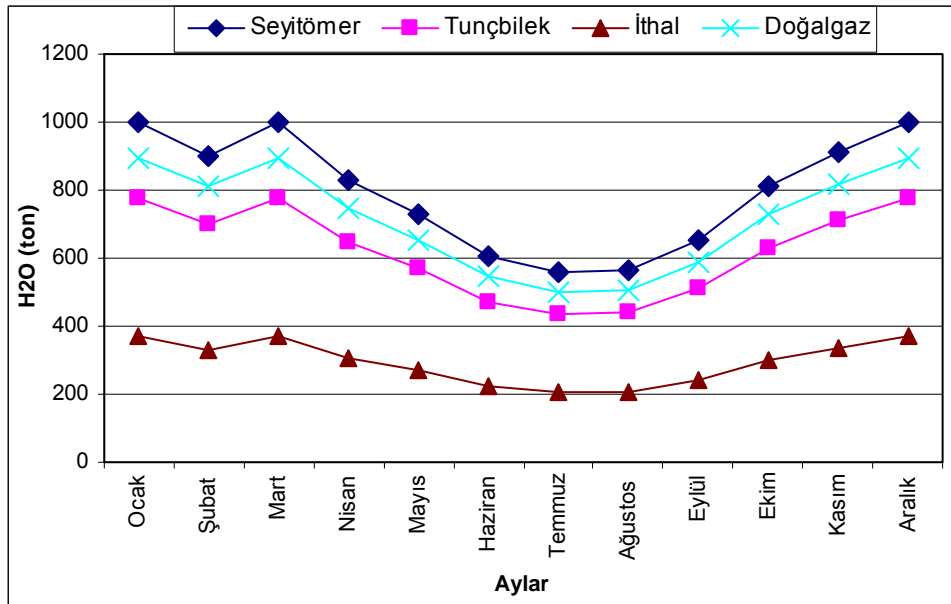
İklim değişikliğine yol açan faktörler arasında en önemli payı insan kaynaklı sera gazlarının aldığı, bunların içerisinde de karbondioksitin (CO<sub>2</sub>) insan kaynaklı sera gazı etkisinin %60'ından sorumlu tutulduğu düşünülürse, Kütahya'nın sıcak su kullanımını karşılamak için gerekli yakıt türünün seçiminde, CO<sub>2</sub> emisyon değeri en düşük olan yakıt türünün kullanılması kaçınılmaz olmaktadır. Şekil 6.2'de Kütahya'nın yıllık sıcak su kullanımını karşılamak için dört farklı yakıt türüne uygulanmış olan yanma reaksiyonları sonucu atmosfere salımı gerçekleşmesi olası, aylık hesaplanmış CO<sub>2</sub> emisyonları verilmektedir.



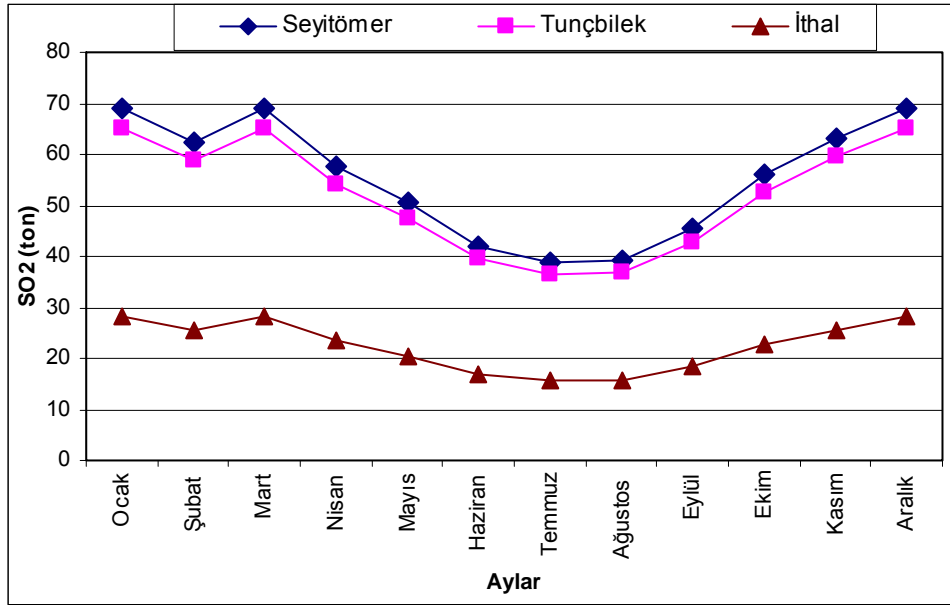
Şekil 6.2. Farklı fosil yakıt kullanılması durumunda salımı gerçekleşen CO<sub>2</sub> emisyonu.

Şekil 6.2 incelendiğinde, dört farklı yakıt türü içinde, Ekim ayında CO<sub>2</sub> emisyonları artmaya başlamış, bu artış Aralık, Ocak ve Mart aylarında en yüksek seviyeye ulaşmış, Nisan ve Ağustos ayları arasında ise düşüşe geçmiştir. Kütahya'nın iklim ve topografik özellikleri, ısıtma sezonu olan (Ekim – Nisan) kış ayları süresince önemli derecede hava kirliliğinin oluşmasıyla yakından ilgilidir. Jeomorfolojik özellikler ve hava sıcaklığının ısıtma sezonu boyunca düşük olması, bu aylarda atmosfere salımı olası CO<sub>2</sub> emisyonlarının miktarını arttırmıştır. CO<sub>2</sub> emisyonlarının yakıt türlerine göre salımları incelendiğinde en fazla CO<sub>2</sub> salımını Seyitömer kömürünün gerçekleştirdiği, bunu Tunçbilek kömürü, ithal kömür ve doğalgazın izlediği görülmektedir.

Kütahya'da küresel ısınma için alınacak önlemlerin planlanmasında önemli olan husus hava kalitesinin bir bütün olarak ele alınmasıdır. Havadaki kirleticilerin bazılarının veya çoğunun standart değerlerine getirilmesi yeterli olmamakla birlikte, bütün etkili parametrelerin sürekli kontrol edilmesi gerekmektedir. Şekil 6.3-6.4'de Kütahya'nın yıllık sıcak su kullanımını karşılamak için dört farklı yakıt türüne uygulanmış olan yanma reaksiyonları sonucu atmosfere salımı gerçekleşmesi olası aylık hesaplanmış H<sub>2</sub>O ve SO<sub>2</sub> emisyonları verilmektedir.



Şekil 6.3. Farklı fosil yakıt kullanılması durumunda salımı gerçekleşen H<sub>2</sub>O emisyonu.



Şekil 6.4. Farklı fosil yakıt kullanılması durumunda salımı gerçekleşen SO<sub>2</sub> emisyonu.

Şekil 6.3-6.4 incelendiğinde, sıcak su kullanımından kaynaklanan emisyon değerlerini hesaplamak için dört farklı yakıt türüne yanma reaksiyonları uygulandığında, atmosfere en fazla H<sub>2</sub>O ve SO<sub>2</sub> gaz salımı gerçekleştiren yakıt türünün Seyitömer kömürü olduğu anlaşılmaktadır. SO<sub>2</sub> emisyonu pratik olarak sıfır olan doğalgazın, Kütahya'nın küresel ısınmaya sıcak su kullanımından dolayı katkısının azaltımı noktasında, diğer yakıt türlerine kıyasla ideal yakıt olduğu anlaşılmaktadır. Türkiye'de şehir merkezinde yaşanan hava kirlilik değerlerine bakıldığında, ısınma ihtiyaçlarını kömür kullanılarak karşıladığı düşünülen illerde Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından yapılan araştırmanın verilerine göre, Kütahya 2002-2004 yılları arasında SO<sub>2</sub> ve PM (Partikül Madde) değerleri açısından incelendiğinde, 2002 yılında ikinci sırada yer alırken, 2003 ve 2004 yıllarında birinci sırada yer almaktadır. SO<sub>2</sub> gazının incelenen dört farklı yakıt türünden doğalgaz da pratikte sıfır olduğu görülmekte, fakat tamamen dışa bağımlı olan doğalgaz kullanım maliyetinin yerli linyitlerimize oranla daha pahalı olduğu ve aynı zamanda doğalgazın yapısını oluşturan metan (CH<sub>4</sub>) gazının da küresel ısınmaya sebep olan sera gazları içinde yer aldığı gözönünde bulundurulmalıdır. İnsan kaynaklı su buharının (H<sub>2</sub>O) küresel konsantrasyonun ortalamasına direkt olarak etki ettiğine dair kesin bir kanıt bulunamamış olsa da, daha sıcak atmosfer, suyun tutunma kapasitesini yükseltmekte ve artan su buharının konsantrasyonu güneşten gelen ışınları absorbe eden ve yansıtan bulutların oluşumunu etkilediği bilinmektedir. Buna göre, H<sub>2</sub>O emisyonları incelendiğinde en düşük seviyenin ithal kömürde olduğu görülmektedir.

Kütahya'nın yıllık sıcak su tüketimini karşılamak için gerekli olan yıllık ısı değerini, fosil yakıtların kullanılması yerine, yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılanması durumunda Kütahya'da kurulması planlanan santrallerin gücünün hesaplanabilmesi için, santral verimleri sırasıyla; güneş için %12, rüzgâr için %19 ve jeotermal için %14 seçilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda, Kütahya'nın yıllık sıcak su tüketimini karşılamak için gerekli olan elektrik enerjisi, rüzgâr santrali ile karşılandığında 27,8 MW, güneş santrali ile karşılandığında 44 MW, jeotermal santral ile karşılandığında 37,7 MW gücünde santral kurulması gerektiği hesaplanmıştır. Kütahya'nın sıcak su tüketimini karşılama noktasında hangi santral türünün seçileceğine karar vermek için yatırım maliyetlerine, toplumsal maliyetlerde eklenerek incelenmiş, güç santrali kurulumu için birim enerji yatırım maliyetleri; güneş için 15,2 USCent, jeotermal için 5,95 USCent ve en düşük yatırım maliyetinin hesaplandığı rüzgâr enerjisinde ise 5,23 USCent olduğu hesaplanmıştır. Kütahya'ya rüzgâr enerji santrali kurulması durumunda, buradan üretilen enerjinin birim maliyetinin 5,23 USCent ile güneş ve jeotermal santrallerin birim maliyetinden daha düşük olması da dikkate alındığında, Kütahya'nın yıllık sıcak su tüketimini karşılamak için uygun enerji türünün rüzgâr enerjisi olduğu saptanmıştır.

Buna göre, uygun yenilenebilir enerji kaynağı ile kurulacak olan elektrik santrali sayesinde, Kütahya'nın yıllık sıcak su tüketimini karşılamak için Seyitömer kömürü kullanıldığı takdirde atmosfere salımı gerçekleşecek 34.199,45 ton/yıl CO<sub>2</sub>, Tunçbilek kullanıldığı takdirde 25.528,22 ton/yıl CO<sub>2</sub>, ithal kömür kullanıldığı takdirde 22.160,27 ton/yıl CO<sub>2</sub>, doğalgaz kullanıldığı takdirde 10.493,38 ton/yıl CO<sub>2</sub>'nin salımı engellenmiş olacağı hesaplanmıştır.

## 6.2. Öneriler

Kütahya'da küresel ısınma için alınacak önlemlerin planlanmasında önemli olan husus hava kalitesinin bir bütün olarak ele alınmasıdır. Kış aylarında ısınma amaçlı yakıtlardan kaynaklanan sera gazı emisyonlarını aza indirmek, hava kalitesini korumak ve enerjinin etkin şekilde değerlendirilmesini sağlayabilmek için; yakma sistemlerinin doğru seçilmesi ve uygun tasarlanmış birimlerde kaliteli ve temiz yakıtların kullanılması, yanmanın kontrol altına alınması, kayıp ve kaçak emisyonların mevcut yasalara bağlı kalınarak önlenmesi ve “enerji tasarrufuna” yönelik çalışmaların yapılması etkin yol olarak görülmektedir. Havadaki kirleticilerin bazılarının veya çoğunun standart değerlerine getirilmesi yeterli olmamakla birlikte, bütün etkili parametrelerin sürekli kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla tasarruf ve verimlilik çalışmaları başta olmak üzere, temiz ve kaliteli yakıt kullanımı arttırılmalı,

emisyon kontrol teknolojilerinin uygulanması gibi bir dizi önlemler alınarak ve enerji tüketimi ile ilgili her sektörde uygulanması gerekmektedir.

Gelişmiş ülkelerde mevcut kurulu tesisler enerji üretimine devam ederken, buralardan ayrılabilen fonlarla temiz enerji teknolojileri üzerine çalışmalar sürdürülmektedir. Gelişmekte olan ülkelerin ise bu tür araştırmalara ayrılacak fonları olmadığı gibi genelde pahalı olan bu yöntemlere yönelmeleri de zordur. Bu nedenle gelişmekte olan ülkelerde öncelikli birinci hedef özkaynakların kullanımı olmalıdır. Bu çerçevede, mevcut enerji kaynaklarının ekonomik boyutlarda mümkün olan en üst düzeyde kullanılması, yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi, ithalatta ülke ve kaynak açısından çeşitlendirmeye gidilerek güvenli bir yapı oluşturulması hedef alınmalıdır [2].

Türkiye’de, elektrik enerjisi üretiminde, doğalgaz gibi düşük fiyatlı yakıtlara riskli bir bağlanma söz konusudur. Doğalgaz kaynağı olan ülkelerde bile bu değer %15’i geçmemektedir. Maliyeti, yeni bir jeotermal santralin maliyetinin yarısına denk olan doğal gaz santralleri, başlangıçta ilk yatırım tutarı ve geri dönüş süresinin kısalığı gibi avantajları nedeniyle karlı bir yatırım gibi görünse de, uzun vadede artan talepler ve sonraki yıllardaki değişimlerin belirsizliğine dayalı fiyat artışına bağlı olarak, daha pahalı bir enerji kaynağı olmaya başlayacaktır. Bu durum doğalgaz kullanımında tedbir almayı zorunlu kılmakta, sosyal ve ekonomik büyümenin sağlanabilmesi için enerjide güvenli bir gelecek kurulması gerekmektedir.

Küresel ısınma probleminin giderek büyüdüğü bu ortamda sera gazı emisyonlarının azaltılmasını sağlayıcı her türlü önlem mutlaka alınmalı, emisyon değerlerinin kontrol altına alınması için gereken çaba gösterilmelidir. Bu bakımdan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı her bakımdan arttırılmalıdır. Küresel iklim değişikliği açısından önemli olan CO<sub>2</sub> salımı, fosil yakıtlı santraller ile karşılaştırıldığında, yenilenebilir enerji güç santrallerinde daha düşük seviyededir. Yenilenebilir enerji kaynakları açısından büyük bir potansiyele sahip Türkiye’de, gerek güç, gerekse ısıtma sistemlerinde mümkün mertebe alternatif enerji kaynaklarının kullanımına dikkat çekilmeli ve uygulamaları hızlandırılmalıdır. Kütahya ili alternatif enerji kaynakları potansiyelinden, ilde küresel ısınmaya sebep olan sera gazı probleminin üst düzeylere ulaşması nedeniyle temiz enerji kaynaklarından olan rüzgâr, jeotermal ve güneş enerjisi ile sıcak su elde edilebilir. Bu sayede alternatif enerji kaynakları ile kurulan güç santralleri, fosil yakıtlı güç santrallerine tali enerji kaynağı olarak da kullanılabilir. Şüphesiz ki, Kütahya’nın yıllık sıcak su tüketiminden kaynaklanan sera gazlarının azaltımı,



Kütahya'nın yaşadığı hava kirliliği sorununa ve bölgesel anlamda küresel ısınmanın azaltılmasına katkı sağlayacaktır.

Kütahya'da varolan sera gazı salımlarını azaltmak amacıyla; fosil yakıtlı elektrik üretiminde daha verimli, ekonomik ve daha temiz yakma teknolojilerinin artırılması, yenilenebilir enerji çevrim teknolojilerinden yararlanarak Kütahya'da elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payının artırılması, fosil yakıt kalitesinin iyileştirilmesi ve karbon içeriği daha düşük fosil yakıtlara geçiş sağlanması, fiziksel ve biyolojik CO<sub>2</sub> uzaklaştırma ve tutma teknolojileri (örneğin elektrik santrallerinde ve büyük fabrikalarda CO<sub>2</sub> tutma; CO<sub>2</sub>'nin taşınması ve yeraltında depolanması; karbon tutucu biyolojik ortamların geliştirilmesi ve artırılması, vb.), üretimden, ulaştırmadan, çevrimden ve dağıtımdan kaynaklanan sera gazı salımlarının azaltılması, ormanlaştırma ve yeniden ormanlaştırmanın artırılması, ormansızlaşmanın önlenmesi, ürün ve hayvan artıklarının değerlendirilmesi, bütüncül bina tasarımının yaygınlaştırılması, binalardaki fotovoltaik sistemlerin yaygınlaştırılması, toplu yerleşimlerde dağıtılmış güç jeneratörü uygulamalarının yaygınlaştırılması, düzenli katı atık ve depolama alanlarının yönetimi, geri dönüşüm ve yeniden kullanımı sağlanmalıdır.

Bu amaçla, Kütahya'da sera gazlarını azaltmaya yönelik olarak, Kütahya şartlarında mevcut doğal ve temiz enerji kaynakları ayrıntılı şekilde irdelenmeli, Türkiye'nin sera gazlarının azaltımı konusunda yaptığı uluslararası işbirliği çerçevesinde, Kütahya için enerji programları hazırlanmalı ve bu programlar kamu kurumu, özel sektör ve üniversiteler arasındaki işbirliği ile geliştirilmelidir. Ülkemizin uluslararası karşılaştırmalarda sera gazları özellikle de CO<sub>2</sub> emisyon miktarları düşük düzeylerde olsa bile, hedeflenen büyüme politikaları sonucu CO<sub>2</sub> emisyonlarının zaman içinde artış eğilimi göstermeye devam edeceği düşünüldüğünde, bu tür çalışmalar, Türkiye'nin içinde bulunduğu yapısal koşulları ve yurt dışındaki konumu da dikkate alındığında küresel ısınma ile ilgili etkin politikalar geliştirilmesine azda olsa katkı sağlayacaktır.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] Köse, R., 2004, Önsöz ve sonuç bildirgesi, II. Ulusal Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi Bildiri Kitabı, Dumlupınar Üniversitesi , Kütahya, 625 s.
- [2] Özgür, M.A., 2006, Kütahya Rüzgâr Karakteristiğinin İstatistiksel Analizi ve Elektrik Üretimine Uygulanabilirliği, OGÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Eskişehir, 250 s.
- [3] TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu), 21 Ocak 2008, Haber Bülteni, Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi 2007 Nüfus Sayımı Sonuçları, sayı 9, erişim: <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=3894>
- [4] ETKB (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı), 2006, Türkiye’de Yıllara Göre Birincil Kaynaklardan Yapılan Genel Enerji Arzı, erişim: [www.enerji.gov.tr/enerjituketimi.htm](http://www.enerji.gov.tr/enerjituketimi.htm)
- [5] Türkyılmaz, O., 2007, Dünyada ve Türkiye’de Enerji Sektörünün Durumu, Mühendis ve Makina Dergisi, TMMOB Makina Mühendisleri Odası Aylık Yayın Organı, Ankara, cilt 48, sayı 569, 72 s, erişim: [http://www.mmo.org.tr/muhendismakina/arsiv/2007/haziran/09\\_degerlendirme.pdf](http://www.mmo.org.tr/muhendismakina/arsiv/2007/haziran/09_degerlendirme.pdf)
- [6] DİE (Devlet İstatistik Enstitüsü), 2006, Elektrik Üretim İstatistikleri, erişim: [www.die.gov.tr/TURKISH/SONIST/ENERJI/enerji.html](http://www.die.gov.tr/TURKISH/SONIST/ENERJI/enerji.html)
- [7] TEİAŞ (Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi), 2006, Türkiye’nin Kurulu Gücünün Yıllar İtibariyle Gelişimi, erişim: <http://www.teias.gov.tr/istat2004/1.xls>
- [8] RESSİAD (Rüzgâr Enerjisi ve Su Santralleri İşadamları Derneği), 2006, Türkiye Kurulu Güç Gelişimi, erişim: <http://www.ressiad.org.tr/dhie.php?t=istatistikler&ID=1>
- [9] İTÜ (İstanbul Teknik Üniversitesi), 2007, Türkiye’de Enerji ve Geleceği İTÜ Görüşü, Nisan 2007, İstanbul, 29-30 s, erişim: <http://www.energy.itu.edu.tr/iTUonerileri.pdf>
- [10] TÇV (Türkiye Çevre Vakfı) Yayını, Aralık 2006, Türkiye’nin Yenilenebilir Enerji Kaynakları, TÇV Yayın No: 175, Ankara.
- [11] TEİAŞ (Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi) 2006, Türkiye Enerji Projeksiyonu, erişim: [www.teias.gov.tr/yayinlar-raporlar/turkiyeelektrikuretimiplani.htm](http://www.teias.gov.tr/yayinlar-raporlar/turkiyeelektrikuretimiplani.htm)
- [12] BOTAŞ (Boru Hatları ile Petrol Taşıma Anonim Şirketi), 2007, Doğalgaz Taşımacılığı, Tesisleri ve Ticareti, erişim: [http://www.botas.gov.tr/faliyetler/dg\\_ttt.asp](http://www.botas.gov.tr/faliyetler/dg_ttt.asp)
- [13] Özgür, M.A., Köse, R., Erbaş, O., Tuğcu A., 16-18 Ekim 2002, Kütahya’da Seçilen Bir Konumda Rüzgâr Verileriyle Elektrik Enerjisi Üretim Potansiyelinin Bulunması, IV. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, 393-400, 8 s.
- [14] Ültanır, M.Ö., 2006, Economic Indicators for Investing In Renewable Resources, Yenilenebilir Enerji Sempozyumu Bildiri Kitabı, 1-2 Haziran 2006, Ankara, erişim: <http://www.ressiad.org.tr/dhie.php?t=etkinlikler&ID=20>
- [15] Türkeş, M., 2006, Küresel İklimin Geleceği ve Kyoto Protokolü, Jeopolitik 29, 99-107 s, erişim: [http://www.marcep.org/pdf\\_doc/kuresel\\_iklimin\\_gelecegi.pdf](http://www.marcep.org/pdf_doc/kuresel_iklimin_gelecegi.pdf)
- [16] IEA, International Energy Agency, Key World Energy Statistics, 2007, erişim: <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2006/key2006.pdf>
- [17] Yıldırım, Y., 2003, Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Güç Üretiminde Kullanımı ve Çevresel Etkileri, DPÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya, 91 s.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- [18] Özdamar, A., 2001, Rüzgâr Enerjisi ve Rüzgâr Türbinlerine Genel Bakış, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu (YEKSEM 2001), İzmir, 252 s.
- [19] TMMOB (Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği), 2006, Enerji Raporu, Ankara, erişim: [http://www.enerjinesahipcik.org/resimler/ekler/9f0f895fb98ab91\\_ek.pdf?tipi=7&turu=&su be=0](http://www.enerjinesahipcik.org/resimler/ekler/9f0f895fb98ab91_ek.pdf?tipi=7&turu=&su be=0)
- [20] REN21 (Renewable Energy Policy Network for the 21<sup>st</sup> Century), 2006, Renewables 2005, Global Status Report, erişim: [http://www.ren21.net/globalstatusreport/download/RE\\_GSR\\_2006\\_Update.pdf](http://www.ren21.net/globalstatusreport/download/RE_GSR_2006_Update.pdf)
- [21] Worldwatch Institute, 2006, Renewables 2005 Global Status Report, Notes and References Companion Document, erişim: <http://www.worldwatch.org/brain/media/pdf/pubs/ren21/ren21-2-notes.pdf>
- [22] Kaya, D., 2006, Renewable Energy Policies In Turkey, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol.10, p:152-163.
- [23] European Parliament And of the Council Directive, 2001\77\EC On The Promotion Of Electricity Produced From Renewable Energy Sources In The International Electricity Market, 2001, Official Journal of the European Communities, p.33-40, Brussels,
- [24] Özdamar, A., Gürsel, K.T., Örer, G., Pekbey, Y., 2004, Investigation of the Potential of Wind-Waves as a Renewable Energy Sources: by the Example of Çesme-Turkey, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol.8, p:581-592.
- [25] TEİAŞ (Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi) 2006, Yenilenebilir Kaynaklardan Değişken Üretim Yapan Santrallerin Elektrik Üretim-İletim Sistemine Teknik ve Ekonomik Etkileri ve AB Uygulamaları, Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Genel Müdürlüğü APK Dairesi Başkanlığı, erişim: [www.teias.gov.tr/RUZGAR-RAPOR-21MART.pdf](http://www.teias.gov.tr/RUZGAR-RAPOR-21MART.pdf)
- [26] Balat, M., 2005, Use of Biomass Sources for Energy in Turkey and a View to Biomass Potential, Biomass&Bioenergy, vol.29, p.32-41.
- [27] EİEİ (Elektrik İşleri Etüt İdaresi), 2006, Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Güneş Enerjisi, Güneş Enerjisi Çalışmaları, erişim: <http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/eiegunes.html>
- [28] EİEİ (Elektrik İşleri Etüt İdaresi), 2006, Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Güneş Enerjisi, Türkiye'de Güneş Enerjisi, erişim: <http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/tgunes.html>
- [29] DSİ, 2006, Toprak ve Su Kaynakları, erişim: <http://www.dsi.gov.tr/topraksu.htm>
- [30] Eroğlu, V., 24-27 Eylül 2003, Ülkemizin Hidroelektrik Üretim Potansiyeli ve Yakın Gelecekteki Önemi, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Türkiye 9. Enerji Kongresi, s:95-115, İstanbul.
- [31] Balat, H., 2006, A Renewable Perspective for Sustainable Energy Development in Turkey: The Case of Small Hydropower Plants, Renewable and Sustainable Energy Reviews, pp:14, (Article in press).
- [32] Anonim, 2007, Blog Agregatör, Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Hidrojen Enerjisi, erişim: [http://www.yenilenebilirenerjikaynaklari.ws.tc/Hidrojen\\_enerjisi.htm](http://www.yenilenebilirenerjikaynaklari.ws.tc/Hidrojen_enerjisi.htm)
- [33] EİEİ (Elektrik İşleri Etüt İdaresi), 2007, Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Hidrojen Enerjisi, Hidrojen Üretimi, erişim: [http://www.eie.gov.tr/hidrojen/hidrojen\\_uretimi.html](http://www.eie.gov.tr/hidrojen/hidrojen_uretimi.html)

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- [34] Köse, R., 2005, Research on the Generation of Electricity from the Geothermal Resources in Simav Region, Turkey, Renewable Energy, vol.300, p:67-79.
- [35] Bertani, R., 2005, World Geothermal Generation 2001-2005: State of Art, Proceedings of World Geothermal Congress 2005, 22-29 April 2005, Antalya, Turkey.
- [36] Akpınar, A., Kömürcü, M.I., Önsoy, H., Kaygusuz, K., 2006, Status of Geothermal Energy Amongst Turkey's Energy Sources, Renewable and Sustainable Energy Reviews, pp:14, (Article in press).
- [37] Hepbasli, A., Özgener, L., 2004, Development of Geothermal Energy Utilization in Turkey: A Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol.8, p:433-460.
- [38] Köse, R., 2007, Geothermal Energy Potential for Power Generation in Turkey: A Case Study in Simav, Kütahya, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol.11, p:497-511.
- [39] Akkuş, I., Aydogdu, O., Akıllı, H., Gokmenoglu, O., Sarp, S., 2005, Geothermal Energy and Its Economic Dimension in Turkey, Proceedings of World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey.
- [40] Mertoğlu, O., 2005, Geothermal Applications in Turkey, Proceedings of World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey.
- [41] Köse, R., Özgür, M.A., Salman, S., 5-7 Eylül 2005, Jeotermal Enerjinin Güç Üretiminde Kullanımı; Simav Örneği, I.Uluslararası Mesleki ve Teknik Eğitim Teknolojileri Kongresi, İstanbul.
- [42] Tamyerli, U., 2007, Jeotermal Enerjiden Elektrik Üretimine İrdelenmesi Örnek Çalışma: Kütahya-Simav Jeotermal Sahası, DPÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya, 91 s.
- [43] Gençoğlu, M.T., Cebeci, M., 2000, Türkiye'nin Enerji Kaynakları Arasında Güneş Enerjisinin Yeri ve Önemi, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Türkiye 8. Enerji Kongresi, Ankara, 68 s.
- [44] ETKB (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı), 2006, Enerji, Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Rüzgâr Enerjisi, erişim: <http://www.enerji.gov.tr/ruzgarenerji.htm>
- [45] DüNDAR, C., Canbaz, M., Akgün, N., Ural, G., 2002, Türkiye Rüzgâr Atlası, ISBN:975-6595-31-4, EİE&DMİ
- [46] Ogulata, R.T., Energy Sector and Wind Energy Potential in Turkey, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2003;7:469-484.
- [47] Köse, R., 2004, An Evaluation of Wind Energy Potential as a Power Generation Source in Kütahya, Turkey, Energy Conversion and Management, vol.45, p:1631-1641.
- [48] Hepbaşlı, A., Özgener, Ö., 2004, A Review on the Development of Wind Energy in Turkey, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol.8, p:257-276.
- [49] Köse, R., Özgür, M.A., Erbaş, O., Tuğcu, A., 2004, The Analysis of Wind Data and Wind Energy Potential in Kütahya, Turkey, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol.8, p:277-288.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- [50] EPDK (Enerji Piyasası Denetleme Kurumu), 2007, Türkiye'deki Rüzgâr Santralleri, erişim: <http://www.epdk.gov.tr/lisans/elektrik/yek/ruzgarprojeleriningelisimi.doc>
- [51] Özgür, M.A., Köse, R., 2006, Assessment of the Wind Energy Potential of Kütahya, Turkey, Energy Exploration and Exploitation, vol.24, p:113-130.
- [52] Yıldızay, H.D., 2005, Kütahya'da Doğalgaz Kullanımının Hava Kalitesine Etkilerinin İrdelenmesi, DPÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya, 79.
- [53] Tekbaş, Ö.F., Vaizoğlu, S.A., Oğur, R., Güler, Ç., 2005, Küresel Isınma, İklim Değişikliği ve Sağlık, Ankara, 18 s, erişim: <http://www.halksagligi.org/dokuman/index.php?>
- [54] Tunç, G.İ., Akbostancı, E., Türüt-Aşık, S., 2007, CO<sub>2</sub> Emissions vs. CO<sub>2</sub> Responsibility: An Input-Output Approach for the Turkish Economy, Energy Policy, vol.35, p:855-868, erişim: <http://www.ekonometridernegi.org/bildiriler/o13s2.pdf>
- [55] Quadrelli, R., Peterson, S., 2007, The Energy-Climate Challenge: Recent Trends in CO<sub>2</sub> Emissions from Fuel Combustion, Energy Policy, vol.35, p:5938-5952.
- [56] Türkeş, M., 2001, Hava, İklim, Şiddetli Hava Olayları ve Küresel Isınma, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü 2000 Yılı Seminerleri, Teknik Sunumlar, Seminerler Dizisi: 1, 187-205 s, Ankara, erişim: <http://www.meteoroloji.gov.tr/2006/arastirma/files/Havaiklim.pdf>
- [57] Kayhan, M., 2007, Küresel İklim Değişikliği ve Türkiye, Çevre ve Orman Bakanlığı, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Araştırma, İklim Değişikliği ve Değişebilirliği, 1-5 s, erişim: <http://www.meteoroloji.gov.tr/2006/arastirma/files/kureseliklimdegisimiveturkiye.pdf>
- [58] Okandan, E., 11 Mayıs 2006, CO<sub>2</sub> Emisyonu ve Kurtulma Seçenekleri: Jeolojik Formasyonlarda Depolanması, İklim Değişikliği Sözleşmesi Çerçevesinde Enerji Sektörü Konferansı, Ankara, erişim: [http://www.tasam.org/images/tasam/Ender\\_Okandan.pdf](http://www.tasam.org/images/tasam/Ender_Okandan.pdf)
- [59] UNFCCC (İklim Değişikliği Sekreteryası), Ağustos 2003, İklim Özen Göstermek, İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve Kyoto Protokolü İçin Klavuz, Bonn, Almanya, 1 s, erişim: <http://www.iklim.cevreorman.gov.tr/Kitaplar/iog.pdf>
- [60] Yüksel, İ., 2007, Global Warming and Renewable Energy Sources for Sustainable Development in Turkey, Renewable Energy, (Article in press).
- [61] IEA, International Energy Agency, World Energy Outlook 2004, erişim: <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2004/weo2004.pdf>
- [62] TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu), 14 Haziran 2007, Haber Bülteni, Seragazi Emisyon Envanteri 2005, sayı 91, erişim: <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=510>
- [63] TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu), 2007, Sektörlere Göre Toplam Seragazi Emisyonları, erişim: <http://www.tuik.gov.tr/Start.do;jsessionid=ysTWHJnddh4nl8P8LgYngRQmJQhvQkyCndwqW2RDXy17TjPB12hc!-1801745227>
- [64] TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu), 2007, Karbondioksit Emisyonu 1990-2005, erişim: [http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=510&tb\\_id=3](http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=510&tb_id=3)

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- [65] Türkeş, M., 2001, Küresel İklimin Korunması, İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve Türkiye, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Tesisat Mühendisliği Süreli Teknik Yayın 61, 14-29 s.
- [66] Türkeş, M., 2003, Türkiye İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi İlişkileri, erişim: [www.meteor.gov.tr/2003/arge/iklimdegis/iklimdegis10.htm](http://www.meteor.gov.tr/2003/arge/iklimdegis/iklimdegis10.htm)
- [67] DPT (Devlet Planlama Teşkilatı), 2006b, 8. Beş Yıllık Kalkınma Planı, İklim Değişikliği Özel İhtisas Komisyonu Raporu, erişim: <http://plan8.dpt.gov.tr/bilgieko.htm>
- [68] Arslan, O., Özgür, M.A., Köse, R., 2007, Binary Çevrimli Güç Santrali ve Küresel Isınma Boyutu: Simav Uygulaması, Uluslararası Küresel İklim Değişikliği ve Çevresel Etkileri Konferansı, Konya, (Baskıda).
- [69] Hunt, T.M., 2000, Five Lectures on Environmental Effects of Geothermal Utilization, Report1, United Nations University, Geothermal Training Programme 2000.
- [70] Russ, P., Crigui, P., 2007, Post-Kyoto CO<sub>2</sub> Emissions Reduction: The Soft Landing Scenario Analysed With POLES and Other World Models, Energy Policy, vol.35, p: 786-796.
- [71] Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Rüzgâr Enerjisi Araştırma Merkezi, Rüzgâr Enerjisinin Üstünlükleri, erişim: <http://web.gyte.edu.tr/enerji/Ruzgarenerji/d4.html>
- [72] Arslan, O., Köse, R., Acaroğlu M., Özgür, M.A., Yıldızay, H.D., 28-30 Ekim 2005, Jeotermal Enerjinin Elektrik Üretiminde Çevreye Olan Olumlu Etkisi ve Diğer Kaynaklar ile Mukayesesi, 4th International Advanced Technologies Symposium, Konya.
- [73] Turan, S., Ocak 2006, Nükleer Enerji: Nükleer Santralin Konya'ya Kurulabilirliği, Getirileri ve Götürüleri, Konya Ticaret Odası Etüd-Araştırma Servisi Araştırma Raporu, Sayı 2006-42/44, 4 s, erişim: <http://www.kto.org.tr/dosya/rapor/nukleerenerji1.pdf>
- [74] T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, 2005, Enerji Sektöründe Sera Gazı Azatlımı Çalışma Grubu Raporu, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Grup raporları, 70-71 s, erişim: <http://www.iklim.cevreorman.gov.tr/raporlar/gruprap/Enerji.pdf>
- [75] IET (The Institution of Engineering and Technology), 2007, Carbon Dioxide Emissions of A Typical Family, erişim: [www.theiet.org/factfiles](http://www.theiet.org/factfiles)
- [76] Köse, R., Yamık, A., Ceylan, N., Erbaş, O., Dündar, F., Erçetin, Ü., Urtekin, L., 2001, Kütahya'da Hava Kirliliğinin Nedenlerinin Araştırılması ve Azaltılmasına Yönelik Çözümlerin Geliştirilmesi, Dumlupınar Üniversitesi Araştırma Fonu Projesi, Proje No: 7, Kütahya, 60 s.
- [77] Kütahya Meteoroloji Müdürlüğü, 2004, 1940-2004 Yılları Arası Meteorolojik Veriler, Kütahya.
- [78] Büyüktür, A.R., 1985, Termodinamik Uygulama Esasları, Uludağ Üniversitesi Basım Evi, Bursa, Cilt 2, Yayın No: 4-019-118, 511-572 s.
- [79] Erbaş, O., 2001, Kütahya'da Hava Kirliliğinin Azaltılmasına Yönelik Çözüm Önerileri ve Matematiksel Modelleme, DPÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya, 148 s.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- [80] Cengiz, H., 2005, Kütahya İli Güneş Potansiyelinin Belirlenmesi ve Düzlemsel Kollektör Optimizasyonu, DPÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya, 97 s.
- [81] Sıdal, C., Öz, E.S., Kasım 1984, Yapıda Sıhhi Tesisat, Emel Matbaacılık Sanayii, Ankara, 344 s.
- [82] DİE (Devlet İstatistik Enstitüsü), 1996, Türkiye İstatistik Yıllığı, Seçilmiş Meteoroloji İstasyonlarında Ortalama Sıcaklıklar, 16 s.
- [83] Topal, H., 2000, Evsel Isıtımdan Kaynaklanan SO<sub>2</sub> Emisyonunun Azaltılmasında Kireç ve Kireç-Elmas Karışımının Kullanılması, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Ankara, Cilt 15, No 1, 15-29 s, erişim: [http://www.mmf.gazi.edu.tr/journal/2000/15\\_30.pdf](http://www.mmf.gazi.edu.tr/journal/2000/15_30.pdf)
- [84] EWEA (European Wind Eenergy Agency) 2006a, Wind Force-12, erişim: [http://www.ewea.org/fileadmin/ewea\\_documents/documents/publications/reports/wf12-2005.pdf](http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/reports/wf12-2005.pdf)
- [85] Uyar, T.S., 1999, Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi Kullanım Programı, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Arşivi, 76 s, erişim: <http://arsiv.mmo.org.tr/pdf/11268.pdf>
- [86] Özgür, M.A., 2002, Kütahya’da Seçilen Bir Konumda Rüzgâr Verileriyle Elektrik Enerjisi Üretim Potansiyelinin Bulunması, DPÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya, 89 s.

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Bilal YAYLALI  
**Doğum Tarihi** : 17.07.1981  
**Doğum Yeri** : İzmir  
**Uyruğu** : Türkiye Cumhuriyeti  
**Medeni Hali** : Bekar  
**Askerlik Durumu** : Tecilli  
**Yabancı Dili** : İngilizce  
**Ehliyet** : B-Sınıfı  
**Adres** : 1637/16 sokak No:41 Bayraklı-Karşıyaka 35020 İZMİR

### Öğrenim Durumu

Derece	Alan	Üniversite	Yıl
Yüksek Lisans	Termodinamik	Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü	Ocak 2008
Lisans	Makine Mühendisliği	Celal Bayar Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü	Eylül 2005
Lise	Fen-Matematik	İzmir Bornova Hayrettin Duran Lisesi	Haziran 1999
Ortaokul		İzmir Karşıyaka Bayraklı Lisesi	Haziran 1995
İlköğretim		İzmir Karşıyaka Şehit Fehmi Bey İlköğretim Okulu	Haziran 1992

### Katıldığı Kurslar

2005 : AutoCAD 2000 Kursu, (Makine Mühendisleri Odası)

2005 : Doğalgaz İç Tesisat Mühendis Yetkilendirme Kursu, (Makine Mühendisleri Odası)

### Bilimsel Kuruluşlara Üyelikler

Türkiye Makine Mühendisleri Odası (TMMOB)