



**TERMİK SANTRALLERİN ÇEVRESEL ETKİLERİ
ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

Zafer KARACA

Yüksek Lisans Tezi

Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Aşlı KORKUT

2019

T.C.
TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TERMİK SANTRALLERİN ÇEVRESEL ETKİLERİ ÜZERİNE BİR
ARAŞTIRMA**

Zafer KARACA

PEYZAJ MİMARLIĞI ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: Prof. Aşlı KORKUT

TEKİRDAĞ-2019
Her hakkı saklıdır

Prof. Dr. Aslı KORKUT danışmanlığında, Zafer Karaca tarafından hazırlanan “Termik Santrallerin Olası Çevresel Etkileri Üzerine Bir Araştırma” isimli bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Juri Başkanı : Prof. Dr. Aslı KORKUT

İmza :

Üye : Prof. Dr. Tuba KİPER

İmza :

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Esra ÖZEL

İmza :

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Doç. Dr. Bahar UYMAZ

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TERMİK SANTRALLERİN ÇEVRESEL ETKİLERİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

Zafer KARACA

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Aslı KORKUT

Enerji her sektörde kullanılan en önemli ihtiyaçtır. Ülkeler, artan enerji ihtiyaçlarını karşılamak için, kaynakların elverdiği ölçüde değişik üretim tekniklerine başvurmaktadır. Dünya enerji ihtiyacının %90'a yakını fosil yakıt kaynaklarından karşılanmaktadır. İnsanoğlunun fosil enerji kaynaklarını kullanmaya başlaması ile birlikte çevre üzerinde olumsuz etkiler ortaya çıkmaya başlamıştır. Bu süreç içinde hatalı şekilde yapılan yer seçimleri, çevre yönetimi, çevresel etkileri dikkate almayan teknoloji kullanımları bu sorunları giderek artırmıştır. Türkiye’de 1970’li yıllarda artan enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla termik santrallere yönelme olmuştur. O yıllarda termik santrallerin ortaya çıkaracağı çevre sorunları konusunda, Dünya’da ve Türkiye’de henüz yeterli bilgi birikiminin olmaması nedeniyle, olası çevre sorunları dikkate alınmadan hızla termik santraller inşa edilmeye başlanmıştır. Dolayısıyla, özellikle yüksek fosil yakıt kullanımına dayanan termik santraller ile çevre ve canlılar için büyük risk oluşturan çevre sorunları ülkemiz gündemine girmiştir. Oysa Türkiye güneş, rüzgâr, hidroelektrik, jeotermal vb. yenilenebilir enerji kaynakları bakımından zengin bir ülke olmasına karşın bu kaynaklar yeterince değerlendirilememektedir. Bu kapsamda, bu çalışmada; termik santrallerin çevresel etkileri ile alternatif enerji kaynakları araştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Termik santral, Enerji kaynakları, Termal enerji santralleri, Çevresel etkiler,

2019, 102 sayfa

ABSTRACT

MSc. Thesis

A RESEARCH ON THE ENVIRONMENTAL EFFECTS OF THERMAL POWER PLANTS

Zafer KARACA

Tekirdag Namık Kemal University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Landscape Architecture

Supervisor : Prof. Dr. Aslı KORKUT

Energy is the most important need used in every sector. To meet increasing energy needs, countries use different production techniques to the fullest extent possible. Nearly 90% of the world's energy needs are met by fossil fuel sources. As human beings began to use fossil energy resources, negative impacts on the environment began to emerge. In this process, the use of technology in the wrong place, environmental management, and the use of technology that do not take into account the environmental impacts have gradually increased these problems. In order to meet the increasing energy demand in Turkey in the 1970s it has been the year of orientation to the thermal power plants. In those years will reveal the thermal power plants in the world in environmental issues and rapid thermal power plants in Turkey, yet without taking into account possible environmental problems due to the lack of sufficient knowledge slitting began to build. Therefore, thermal power plants which are based on high fossil fuel usage and environmental problems that pose a great risk to the environment and living things have entered the agenda of our country. However, Turkey sun, wind, hydrides, geothermal and so on. Despite being a country rich in renewable energy sources, these resources cannot be adequately evaluated. In this context, in this study, the environmental effects of thermal power plants and alternative energy sources are investigated.

Key words: Thermal energy, Energy sources, Thermal power plants, Environmental effects

2019, 102 pages

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGE DİZİNİ.....	v
ŞEKİL DİZİNİ.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
ÖNSÖZ	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Tezin Amaç ve Önemi.....	2
1.2. Kaynak Özetleri.....	2
2. KURAMSAL TEMELLER	5
2.1. Enerji ve Enerji Kaynakları	5
2.1.1. Enerjinin Sınıflandırılması	9
2.1.1.1. Yenilenemeyen (Fosil Bazlı) Enerji Kaynakları	9
2.1.1.2. Yenilenebilen Enerji Kaynakları	24
2.2. Dünya Pazarı Açısından Enerji	47
3. TERMİK SANTRALLER	54
3.1. Termik Santrallerin Tarihçesi ve Gelişimi	55
3.2. Termik Santrallerin Yer Seçim Kriterleri.....	56
3.3. Termik Santrallerin Genel Yapısı ve Çeşitleri	57
3.3.1. Katı Yakıtlı (Kömür-Linyit) Termik Santraller.....	62
3.3.2. Sıvı Yakıtlı (Fuel-Oil) Termik Santraller	62

3.3.3. Gaz Yakıtlı (Doğalgaz) Termik Santralleri	63
3.4. Türkiye’de Termik Santrallere Genel Bakış.....	63
4. TERMİK SANTRALLERİN ÇEVRESEL ETKİLERİ	71
4.1. Fiziksel Çevre Üzerine Olan Etkileri	71
4.1.1. Termik Santrallerin Hava Kalitesine Etkisi.....	71
4.1.2. Termik Santrallerin Su Kalitesine Etkisi	75
4.1.3. Termik Santrallerin Toprak Kalitesine Etkisi.....	77
4.2. Biyolojik Çevre Üzerine Olan Etkileri	80
4.2.1. Termik Santrallerin Fauna Üzerine Etkisi	81
4.2.2. Termik Santrallerin Flora Üzerine Etkisi	82
4.2.3. Termik Santrallerin İnsan Sağlığına Etkisi.....	82
4.4. Termik Santrallerin Negatif Etkilerinin Azaltılmasına Yönelik Alınabilecek Teknik Önlemler	88
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	92
KAYNAKLAR.....	95
ÖZGEÇMİŞ	102

ÇİZELGE DİZİNİ

Çizelge 2.1. 2017 yılında dünya kömür rezervlerinin dağılımı (British Petroleum 2018).	11
Çizelge 2.2 : 2017 yılı itibariyle dünya petrol rezervlerinin ön görülen kullanım süreleri (British Petroleum 2018).	14
Çizelge 2.3. 2017 yılı itibariyle dünya doğal gaz rezervlerinin ön görülen kullanım süreleri (British Petroleum 2018).	17
Çizelge 2.4. Türkiye'de aylık ortalama güneş enerjisi değerleri	30
Çizelge 2.5. Türkiye'de 2009 Yılı Faaliyetine Giren Rüzgar Çiftlikleri	37
Çizelge 2.6. Türkiye'de 2009 Yılı Türbin Tedarik Sözleşmeli Rüzgar Çiftliği Projeleri	38
Çizelge 3.1. Ülkemizde elektrik enerjisinin 2013 yılı itibariyle kurulu gücü ve üretim miktarı (Anonim 2013).	64
Çizelge 3.2. Ülkemizde üretilen elektrik enerjisinin birincil enerji kaynaklarına göre dağılımı (TEİAŞ 2013).	65
Çizelge 3.3. Ülkemizde elektrik enerjisi üretim santralleri ve yakıt tipleri (Anonim 2013).	65
Çizelge 4.1. 2003-2008 yılları arasında termik santrallerden çıkan katı atıkların miktarları ve bertaraf yöntemleri (Topal vd. 2011).	76
Çizelge 4.2. Termik santrallerden kaynaklı emisyonların insan sağlığına etkileri ile ilgili	87
bazı çalışma sonuçları (Pala 2012) (Yardımoğlu 2014).	87

ŞEKİL DİZİNİ

Şekil 2.1. Dünyadaki birincil enerji kaynakları kullanımının yıllara bağlı Değişimi (British Petroleum 2018).....	6
Şekil 2.2. 2017 yılındaki birincil enerji kaynakları kullanımının kıtalara göre dağılımı (British Petroleum 2018).....	7
Şekil 2.3. 2017 yılındaki birincil enerji kaynakları kullanımının kaynak türüne göre dağılımı (British Petroleum 2018)	7
Şekil 2.4. Dünyadaki elektrik enerjisi tüketiminin yıllara göre dağılımı (British Petroleum 2018).....	8
Şekil 2.5. 2017 yılındaki dünya elektrik enerjisi tüketiminin kıtalara göre dağılımı (British Petroleum 2018).....	8
Şekil 2.6. Dünyadaki enerji tüketiminden kaynaklı ortaya çıkan karbondioksit emisyon değerleri (TKİK 2011).....	9
Şekil 2.7. 2017 yılındaki dünya kömür rezervlerinin yüzdelik dağılımı (British Petroleum 2018).....	11
Şekil 2.8. Yıllara bağlı olarak petrol rezervlerinin bölgelere göre dağılımı (British Petroleum 2018).....	13
Şekil 2.9. 2017 yılındaki dünya petrol rezervlerinin yüzdelik dağılımı (British Petroleum 2018).	14
Şekil 2.10. Yıllara bağlı olarak doğal gaz rezervlerinin bölgelere göre dağılımı (British Petroleum 2018).....	16
Şekil 2.11. 2017 yılındaki dünya doğal gaz rezervlerinin yüzdelik dağılımı (British Petroleum 2018).....	16
Şekil 2.12. Bölgelere göre dünya nükleer üretim kapasitesi, 2006, 2015 ve 2030-(Energy Information 2009).....	23

Şekil 2.13. Dünya kaynaklarından yenilenebilir elektrik üretimi, 2006-2030 (Energy Information 2009).....	25
Şekil 2.14. Güneş enerjisi kapasitesi (2003-2008) (Finley 2009).	27
Şekil 2.15. Rüzgar kapasitesi (2003-2008) (Finley 2009).....	34
Şekil 2.16. Türkiye'deki rüzgar çiftliği kapasiteleri	38
Şekil 2.17. Dünya enerji tüketimi (Energy Information 2009).....	48
Şekil 2.18. Dünya enerji tüketimi; OECD ve OECD Dışı, 1980-2030 (Energy Information 2009).	49
Şekil 2.19. Bölgelere göre pazarlanan enerji kullanımı (1990-2030) (Energy Information 2009).	50
Şekil 2.20. OECD Dışı Ekonomilerde Bölgelere Göre Pazarlanan Enerji Kullanımı (1980-2030) (Energy Information 2009).....	51
Şekil 3.1. Bir termik santralinin akış şeması (Ünal 2009).....	58
Şekil 3.2. Standart kombine çevrim sistemi (http://exergyproject.blogspot.com/)	60
Şekil 3.3. Kazan ve türbin sistemli kojenerasyon (Combined Higher Plants) sistemi (Sungur vd. 2017)	61
Şekil 3.4. Ülkemizdeki bazı enerji üretim santrallerinin haritası (ÇATES 2015).	68
Şekil 4.1. Baca emisyonlarının etki alanları (Gümüşel ve Stauffer 2015).	72
Şekil 4.2. Termik santral devreye alınma anı (Anonim 2015).	74
Şekil 4.3. Kömür konveyör bantları (Anonim 2015).....	78
Şekil 4.4. Cıva kirliliğinin sektör bazında çevreye salınım oranları (Uslu ve Gökmeşe 2009).	79

Şekil 4.5. Radyoaktif maddelerin kömür çevriminde geçiş yolları (Charro ve Pena 2012).	80
Şekil 4.6. Sağlık risklerinin değerlendirilmesinde tamamlayıcı çalışma tipleri (McClellan 1983).....	83
Şekil 4.7. Türkiye’de taşkömürü ve linyit yakıtlı termik santrallerin kirletici emisyonları ile bağlantılı sağlık etkileri (Gümüşel ve Stauffer 2015).....	84
Şekil 4.8. Emisyonların doğada döngüsü ve biyobirikim süreci.	86



SİMGELER VE KISALTMALAR

KAK	:Kazan Altı Külü
WHO	:World Health Organization,Dünya Sağlık Örgütü
OECD	: Organisation for Economic Co-operation and Development, Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü
%	: Yüzde
°	: Derece
°C	: Santigrad Derece
IARC	: The International Agency for Research on Cancer , Uluslararası Kansere Araştırmaları Ajansı
LPG	: Liquified Petroleum Gas , sıvılaştırılmış petrol gazı
AB	: Avrupa Birliği
SO ₂	: Kükürtdioksit
SO _x	: Kükürtoksit
NO ₂	: Azotdioksit
NO _x	: Azotoksit
SPM	: Asılı parçacıklar
RSPM	: Solunabilir asılı parçacıklar
CIS	: Commonwealth Of Independent States , Bağımsız Devletler Topluluğu
BDT	: Bağımsız Devletler Topluluğu
CH ₄	: Metan

C ₂ H ₆	: Etan
TEP	: Ton Eşdeğer Petrol
MW	: Megawatt
kWh	: Kilowatthour
h	: Saat
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
PV	: Photovoltaik
O ₃	: Ozon
CSP	: Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi
CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
EIA	: Environmental Impact Assessment , Çevresel Etki Değerlendirme
ÇED	: Çevresel Etki Değerlendirme
KÇDS	: Kombine Çevrim Doğalgaz Sistemi
CHP	: Kombine Güç Santralleri
Pm	: Partikül Madde
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
Ca	: Kalsiyum
Mg	: Magnezyum

K : Potasyum

m² : Metre Kare



ÖNSÖZ

Termik Santrallerin Çevresel Etkileri Üzerine Bir Araştırma adlı bu çalışma Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı Peyzaj Mimarlığı programında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca desteğini esirgemeyen en başta danışman hocam Prof. Dr. Aslı KORKUT'a, Prof. Dr. Tuba KİPER'e, Dr. Öğr. Üyesi Esra ÖZEL'e ve tüm Peyzaj Mimarlığı Bölümü hocalarıma, her konuda maddi ve manevi desteği olan aileme ve tüm dostlarıma teşekkür ediyor, saygı ve sevgilerimi sunuyorum.



1. GİRİŞ

Ekonomik ve sosyal hayatın, sanayileşmenin en önemli faktörü olan elektrik enerjisi; kullanım kolaylığı, istenildiği anda diğer enerji türlerine dönüştürülebilmesi, günlük hayattaki kullanılabilirliği ile günümüzün vazgeçilmezi haline gelmiştir. Yılda kişi başına tüketilen enerji, ülkelerin gelişmişlik durumunun saptanmasında birinci sırada kabul edilen bir ölçüt olmuştur. Her şeye rağmen büyümek zorunda olan ve kişi başına tüketilen yıllık enerji miktarı dünya ortalamasının çok altında olan ülkemiz, enerji krizini son yıllarda sürekli olarak yaşamaktadır.

Dünya nüfusunun ve refah seviyesinin artması, enerji tüketimini yoğun olarak arttırmıştır. Yoğun enerji kullanımı; hem enerji tedarikinde sorunlara yol açmakta, hem de kirlilik sorunu oluşturmaktadır. Oluşan kirlilik küresel ısınmayı da tetiklemektedir. Bu nedenle günümüzde enerji çok önemli bir konudur. Ayrıca enerjiyi sadece elektrik enerjisi ya da yakıt olarak düşünmemek gerekir. Gıda (hem hayvan hem insan gıdası) olarak da enerji dün olduğu gibi bugün de dünyadaki en önemli ihtiyaçlardan biridir. Gün geçtikçe tarımsal olarak birim alandan üretilen kalori arttırılmaya çalışılmakta ve çeşitli yöntemlerle bu alanda ciddi başarılar elde edilmektedir. Ancak, bu tip enerji üretiminde de çevre etkilenmektedir. Üretim arttıkça çevreye olan etkileri de daha detaylı incelenmelidir.

Gelişmiş ülkelere bakıldığında, çevreye zararı en az olan ve tükenmeyen yenilenebilir enerji kaynaklarına karşı ilginin arttığı görülmektedir. Dünya ülkelerinde de temiz enerji konusunda önemli adımlar atılmaktadır. Bunun en önemli sebebi, enerjinin hiç tükenmeyen ve doğada var olan kaynaklardan üretilmesidir. Fosil yakıtlar dünyanın enerji ihtiyacının oldukça büyük bir kısmını karşılamaktadır. Bu yakıtların zamanla tükenecek olması ve çevreye olan zararları nedeniyle, yenilenebilir enerji kaynakları daha da fazla önem kazanmaktadır. Bu durumda doğal kaynaklarımızın korunması ve enerji üretirken çevreye olan zararlı etkilerinin en az olduğu kaynaklara yönelmesi gerekir. Bu kaynaklar yenilenebilir enerji kaynakları olarak tanımlanmaktadır. Bu tür kaynakların kullanımının yaygınlaşmasıyla çevre kirliliği büyük oranda azalacak ve bu teknoloji ihtiyaçlar doğrultusunda hızla gelişecektir. Böylece her ülke kendi öz kaynaklarından yararlanarak temiz, güvenilir ve çevresel zararları en az olan kaynakları kullanarak dışa bağımlılığı büyük ölçüde azaltabilecektir.

1.1. Tezin Amaç ve Önemi

Bu çalışmada; fosil yakıtlar olarak adlandırılan doğalgaz, petrol, kömür ve nükleer ile yenilenebilir enerji olarak sınıflandırılan rüzgar, güneş, biokütle, jeotermal, hidrolik, hidrojen, gel-git ve dalga enerjisinin mevcut durumları, olumlu ve olumsuz yönleri ve çevre üzerindeki etkileri incelenmiş, termik genel yapısı, çevresel etkileri ve bu etkilerin giderilmesine yönelik önlemler esas alınmıştır.

Tez kapsamında termik santraller tanımlanıp, çevreye bırakılan atıklar saptanarak, çevreye, canlılara ve insan sağlığına etkileri belirlenmiştir. Ayrıca çevreye olan etkilerini gidermeye yönelik önlemler ele alınmıştır. Birçok enerji kaynağı bulunmakla birlikte, herhangi bir kaynağın diğerine tercih sebebi çevreye olan zararının en az, uzun vadeli ve yenilenebilir olmasına bağlıdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve ülkemize olan faydaları bu bağlamda değerlendirilmiştir.

1.2. Kaynak Özetleri

Literatürde termik santrallerle ilgili çalışmaların çoğu verilmeye çalışılmıştır. Özellikle, bilimsel çalışmalar termik santrallerin çevresel etkilerine odaklanmıştır. Bununla birlikte, termik santrallerle ilgili diğer genel çalışmalardan da bahsedilmiştir.

Ehrenfeld ve Gertler (1997); Danimarka'nın Kalundborg şehrinde sanayi alanları üzerinde çalıştılar ve özellikle bu bölgedeki kömür kaynaklı Asnaes Termik Santraline yoğunlaştılar. Firmalar arasındaki birçok bağlantı nedeniyle, bir şirket atıklarının başka bir şirketin girdisi olarak işlenebileceğini belirttiler. Böylece bölgeyi "endüstriyel ekosistem" veya "endüstriyel ortak yaşam" olarak sınıflandırdılar. Enerji santralinin yakınında bulunan diğer şirketler arasında kömür kaynaklı Asnaes Termik santralinin israfının endüstriyel ekolojik ilkelerin uygulamalarının ayırt edici özelliklerinden biri olduğunu göstermiştir. Sıfır emisyon ve sıfır atık mantığı ile, bu döngü diğer potansiyel endüstriyel mekanizmalar biçimlerini inceledi. Kalundborg'da takip edilen evrimsel modelin gelişmemiş bölgelere kolayca taşınamayacağını da belirttiler.

Yüksel ve Bilir (2006); yaptıkları çalışmada, termik santrallerde kömürün yanmasıyla oluşan kazan altı külü (KAK) atıklarının herhangi bir kullanım alanına sahip olmadığı ve depolamanın her geçen gün yüksek maliyet gerektirdiğini belirtmektedir. Çalışmalarında, KAK

briket üretiminde ince agrega olarak kullanma olasılığı iki aşamada araştırılmıştır. Birinci kademe KAK'ın kumla yer değiştirmesinin deneysel araştırmasında, çeşitli oranlarda KAK kumu yerine TS406'ya uygun olarak bir dizi içi boş beton briket örneği üretilmiştir. Örneklerle birim ağırlık, basınç dayanımı ve donma direnci testleri incelenmiştir. İkinci kademe KAK yer değiştirmeli briketlerin maliyet analizi, hafifliği ve örnek uygulama sonuçları üzerinde durulmuştur. KAK yer değiştirmeli briketlerin basınç dayanımının ve donma-çözülme direncinin azaldığını, ancak ilgili standardın minimum gereksinimlerini karşılayan briketlerin üretilebileceğini göstermiştir. Ayrıca, düşük maliyet, çevrecilik ve binanın ağırlığının azaltılması gibi önemli olumlu sonuçların elde edilebileceği vurgulanmıştır.

Nuhoğlu, Yıldırım ve Dündar (2015); Gökova Kemerköy termik santralinin oluşturduğu hava kirleticilerinin oluşturduğu, kızılçam iğne yaprak en kesitlerinde anatomik ve morfolojik anomalilerin saha ve mikroskopik etkileri üzerine saha çalışmaları gerçekleştirdiler. Kükürt dioksit, azot oksit ve uçucu küllerinin ciddi hasara neden olduğu ve 3 yaşındaki ibrelerin çok hızlı bir şekilde dökülmesine neden olduğu bulunmuştur. Mikroskopik gözlemler, ana ve özellikle ikincil reçine kanallarının genişlediğini ve reçine kanallarının sayısının arttığını göstermiştir. İstatistiksel sonuçlarla, endodermis tabakasında ve iletim demetlerinde inceltme meydana geldiğini ve hücre içi dokuların kontaminasyondan zarar gördüğünü doğrulamışlardır.

Pokale (2012); yaptığı çalışmada, kömürle çalışan termik santrallerin yakınlarındaki alanları, çevresel bakımdan çok kötü etkilediğini belirtti. Çevresel dengenin bozulmasına neden olan büyük miktarlarda SO_x, NO_x & SPM (asılı parçacıklar) ve RSPM (solunabilir asılı parçacıklar) emisyonlarının, yaklaşık 25 km'lik bir yarıçap içinde hayvanlarda ve insanlarda rahatsızlığa neden olduğu ve bunların solunumla ilgili sorunlara yol açtığı bildirilmiştir. Ayrıca, etkili bir fotosentez sürecini, çevredeki küçük besin ve mineral dengesini, toprağın yapısını etkilediğini ve aynı zamanda yapı ve binalarda korozyona neden olduğunu, boşaltılan suyun, su sıcaklığını 4-5 °C arttırdığını ve stenotermik organizmaların oksijen miktarının azalması ile stenotermik organizmaların öldüğünü belirtmiştir. Ölçülen sonuçlar standart değerler ile karşılaştırılmış ve yüksek değerler bulunmuştur.

Çiçek ve Koparal (2004); Tunçbilek Termik Santrali yakınlarında 10 km'lik bir yarıçap içinde toprak ve ağaç yapraklarındaki ağır metal ve kükürt miktarını incelemişlerdir. Termik santralden gaz ve toz emisyonlarının çevreye etkilerini tanımlamak için toprak ve ağaç

yapraklarından örneklerin alınması tercih edilmiştir. Çalışmada, farklı mesafelerde yapılan çalışmalarda, doğrudan rüzgar yayılımının etkisi ile ilk 5 km ve 10 km uzaklıkta kükürt ve ağır metallerin çok yoğun ve etkili bir şekilde etkileri olduğunu belirtmişlerdir. Kükürt ve ağır metal etkileri artan mesafe arttıkça azalmıştır. Termik santrallerde çevresel etkiler açısından sert önlemlerin alınması gerektiği vurgulanmıştır.

Vardar ve Yumurtacı (2010) çalışmalarında; Türkiye’de linyit yakıtlı termik santrallerinde en büyük gaz emisyonu (kükürt dioksit, azot dioksit, karbondioksit, karbon monoksit vb.), bazı organik emisyonlar (benzen, toluen, ksilen, vb.) ve bazı metal (arsenik, kobalt, magnezyum, nikel vb.) semptomların olduğu tahmin edilmiştir. Linyit kömürünün yakıt olarak kullanıldığı, kömür yataklarının santralde olduğu, bölgenin kömür içeriği ve karakteristik olarak farklı olduğunu belirtmişlerdir. Emisyon faktörü metodolojik olarak tahmin edilmiştir. Literatürde en iyi bilinen emisyon faktörü linyit kömürünün nem içeriğine göre düzenlenmiştir. Santralin emisyonlarının ve spesifik emisyonların (MWh başına) yakıt gaz kükürt giderme (desülfürizasyon) ve elektrostatik filtrelelere sahip olmayan santrallerden daha fazla emisyon yaydığı tespit edilmiştir. Termik santrallere olan talebin 2008-2017 yılları arasında %30 artacağını tahmin ettiklerini belirtmişlerdir.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Enerji ve Enerji Kaynakları

Enerji tarih boyunca insanlık için önemli bir kavram olmuştur. İnsanların hayatlarını sürdürmek için, hayatlarının her alanında enerji kavramı ile ilişkilendirilmiştir. Farklı alanlarda kullanılan farklı enerji tanımları vardır. Fizik biliminde iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanırken; termodinamik açısından bakıldığında nesnede bir değişime sebep olan etki olarak tanımlanabilmektedir (Çengel ve Boles 2007). Kullanım alanı ve tanımları farklı olsa da, enerji kavramının ortak noktası, insan yaşamı ve gerekliliği üzerinde doğrudan ve dolaylı etkilere sahip olmasıdır.

İnsan yaşamı için doğrudan etkileri incelersek; insan vücudu kimyasal reaksiyonlar yoluyla aldığı besinleri yakarak biyolojik enerji elde eder. Bu şekilde, vücut tarafından gerekli olan enerji besinler yoluyla elde edilir. Öte yandan, enerji dolaylı yollarla insan yaşamında önemli bir rol oynar. Örneğin, insanların bir yerden diğerine yürümeleri ve onlara araç ile ulaşmaları mümkündür. Bu durumda, araçlarda insan vücudundakilere benzer birtakım reaksiyonlar meydana gelir. Kullanılan yakıtın yapısındaki mekanizmalar sayesinde araç hareket enerjisini yakar ve üretir. Görüldüğü gibi, enerjinin ortaya çıkma şekli ve kullanıldığı alanlar farklı olabilir, ancak bir şekilde insan hayatını etkiler.

Dünyada birçok enerji kaynağı vardır. Kömür, petrol, doğal gaz, güneş, rüzgar, jeotermal, hidro, biokütle bu enerji kaynaklarından bazılarıdır. Dünyadaki enerji kaynakları için farklı sınıflandırmalar yapılır. Enerji kaynakları, doğalarına göre birincil ve ikincil enerji kaynakları olarak sınıflandırılır. Birincil olarak sınıflandırılan enerji kaynakları doğada var oldukları için kullanılır; bu enerji kaynakları ikincil enerji kaynakları olarak sınıflandırılır. Kömür, petrol, doğal gaz, nükleer, biokütle, hidrolik, güneş, rüzgar dalga, gel-git ve jeotermal gibi enerji kaynakları birincil enerji kaynaklarına örnektir. İkincil enerji kaynağı olarak elektrik, 8 benzin, mazot, motorin, ikincil kömür, kok, Petro kok, hava gazı ve sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) verilebilir (Koç ve Şenel 2013).

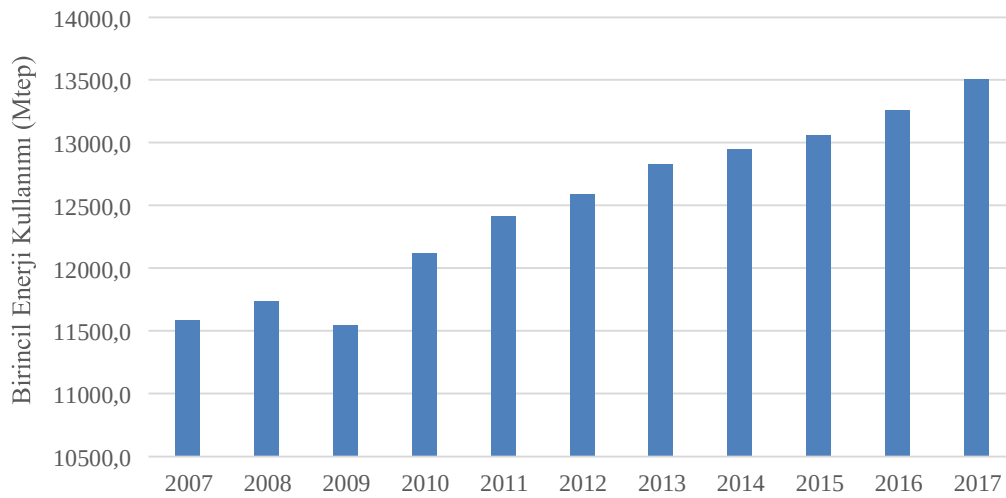
Yeryüzündeki enerji kaynakları için bir diğer sınıflandırma da bu kaynakların tekrar kullanımlarının mümkün olup olmamasına göre yapılmaktadır. Bir defa kullanıldıktan sonra tekrar tekrar kullanılabilen kaynaklar yenilenebilir enerji kaynağı; tekrar kullanımı mümkün

olmayan, bir müddet sonra doğada tükenme tehlikesi bulunan kaynaklara da yenilenemeyen veya tükenebilir enerji kaynakları denir. Güneş, hidrolik, biokütle, rüzgar, jeotermal, dalga, gelgit ve hidrojen yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil temelli enerji kaynakları ile uranyum ve toryum gibi çekirdek temelli enerji kaynakları da yenilenemeyen enerji kaynaklarına örnek verilebilmektedir (Koç ve Şenel 2013).

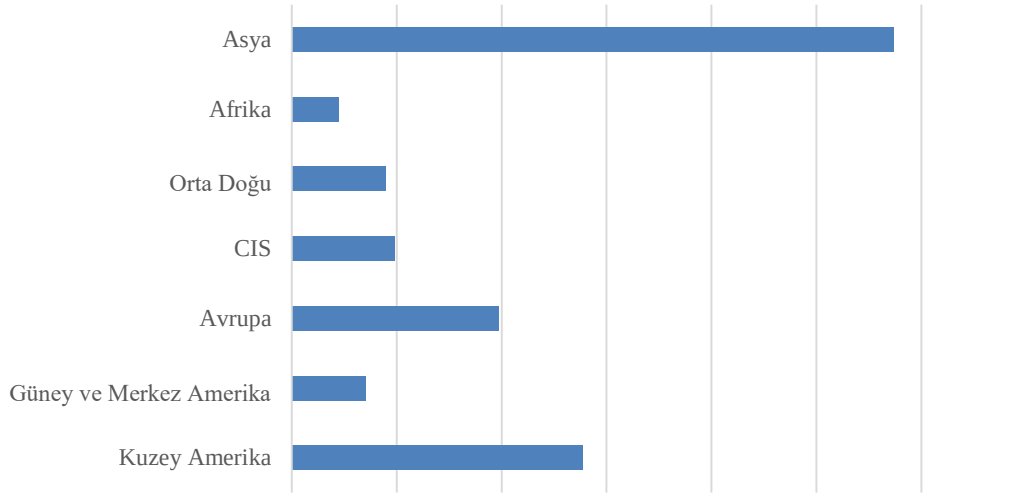
Sınıflandırma, enerji kaynaklarının doğada var oldukları şekilde mi yoksa farklı enerji türlerinin dönüşümü şeklinde mi kullanıldığına dayanır. Kömür, doğal gaz ve kömür gibi enerji kaynakları doğrudan kullanılabilir; enerji kaynaklarını farklı enerji türlerinden dönüştürmek için elektrik ve LPG gibi enerji kaynakları kullanılır.

Birincil, primer ya da konvansiyonel enerji kaynakları;

Dünya üzerindeki birincil enerji kaynaklarının 2007-2017 yılları arasındaki değişim Şekil 2.1’de gösterilmiştir. 2009 yılından sonra birincil enerji kaynaklarının kullanımı artmaya devam etmektedir. Birincil enerji kaynaklarının 2017 yılı için kıtalara göre dağılımı incelendiği zaman en fazla birincil enerji kaynağı kullanımı Asya kıtasında gerçekleşmiştir (Şekil 2.2). Bu durumun başlıca sebeplerinden biri Asya kıtasında yaşayan nüfusun diğer kıtalara göre daha fazla olmasıdır. Bir diğer sebepte enerji kaynağını doğrudan kullanıyor olmasından kaynaklanmaktadır. Asya kıtasını, birincil enerji kaynaklarının kullanımı açısından Kuzey Amerika ve Avrupa takip etmektedir (British Petroleum 2018).

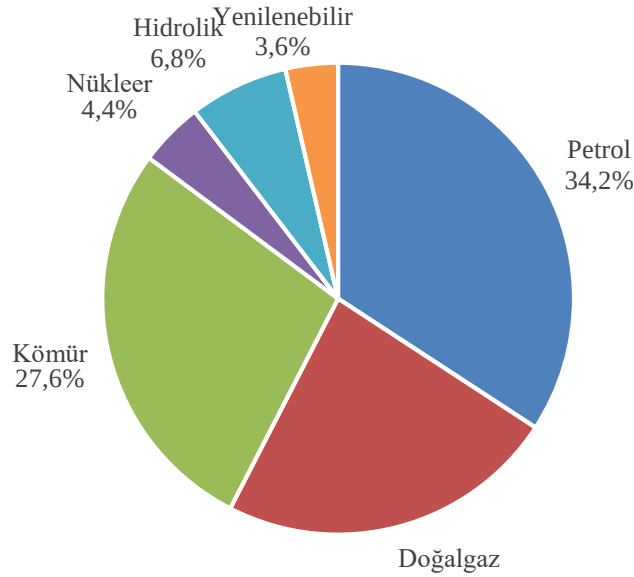


Şekil 2.1. Dünyadaki birincil enerji kaynakları kullanımının yıllara bağlı Değişimi (British Petroleum 2018).



Şekil 2.2. 2017 yılındaki birincil enerji kaynakları kullanımının kıtalara göre dağılımı (British Petroleum 2018).

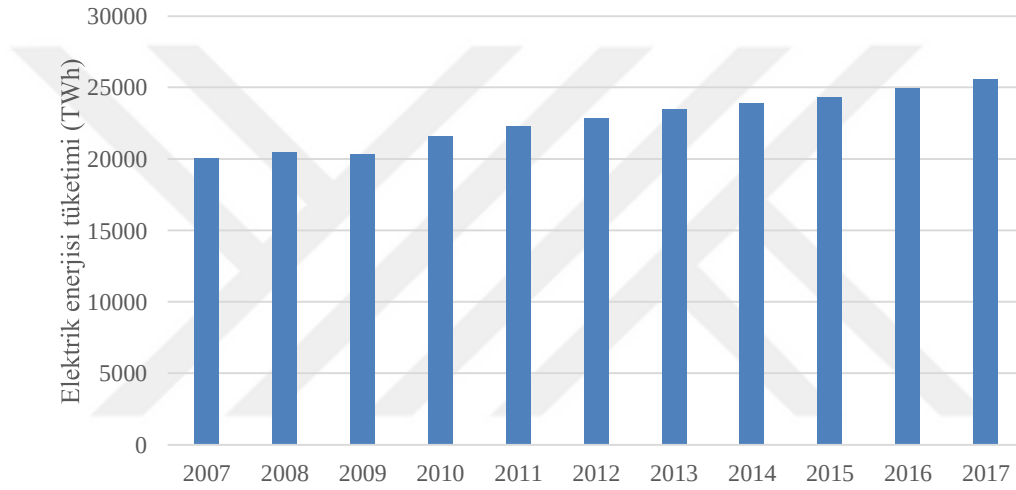
2017 yılındaki verilere göre birincil enerji kaynaklarının kaynak türlerine göre dağılımı Şekil 2.3'te verilmiştir. Birincil enerji kaynakları içindeki en yüksek kullanım oranı %34,2 ile petroldedir. Petrolü, %27,6 ile kömür, %23,4 ile doğal gaz izlemektedir (British Petroleum 2018).



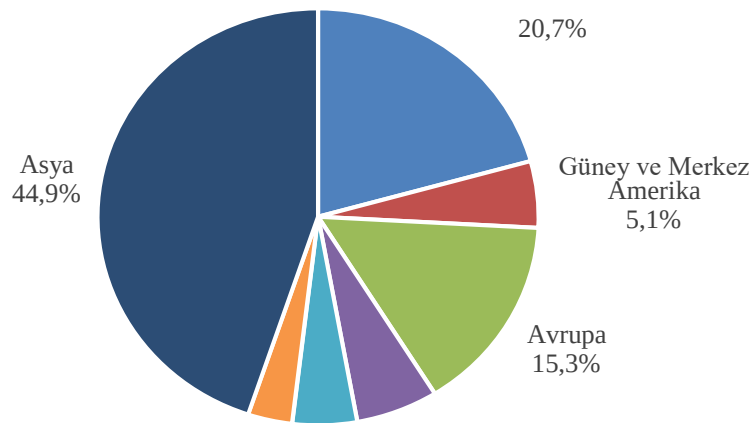
Şekil 2.3. 2017 yılındaki birincil enerji kaynakları kullanımının kaynak türüne göre dağılımı (British Petroleum 2018)

İkincil, sekonder ya da alternatif enerji kaynakları;

İkincil enerji kaynaklarının oluşması, diğer bir enerji türünde meydana gelecek değişim veya dönüşüme bağlıdır. Elektrik enerjisini ele alacak olursak, elektrik enerjisinin üretilmesi için hidro, güneş, rüzgar gibi farklı enerji türlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kaynakların geçireceği dönüşüm sonucu enerji elektrik enerjisi formuna dönüşmüş olur. Şekil 2.4'te dünyanın toplam elektrik tüketiminin 2007-2017 yılları arasındaki değişimi gösterilmiştir. Dünyada 2017 yılındaki elektrik enerjisi tüketiminin kıtalara göre dağılımı da Şekil 2.5'te verilmiştir (British Petroleum 2018).



Şekil 2.4. Dünyadaki elektrik enerjisi tüketiminin yıllara göre dağılımı (British Petroleum 2018).



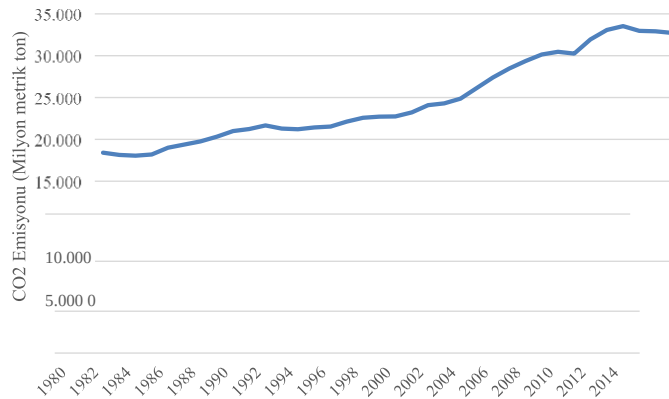
Şekil 2.5. 2017 yılındaki dünya elektrik enerjisi tüketiminin kıtalara göre dağılımı (British Petroleum 2018).

2.1.1. Enerjinin Sınıflandırılması

2.1.1.1. Yenilenemeyen (Fosil Bazlı) Enerji Kaynakları

Günümüzde yaygın olarak kullanılan petrol, kömür ve gaz gibi fosil yakıtlar yenilenebilir kaynaklar değildir çünkü yanar ve tükenir. Ölü bitki ve hayvanlardan oluşmaktadır. Fosil yakıtlar; ısıtma, ulaştırma, elektrik üretimi ve diğer kullanımlar dahil olmak üzere dünyanın enerji talebinin büyük bir kısmını karşılamaktadır. İlk bakışta, yenilenemeyen kaynaklar bizim için çevremizden bir hediyedir, ancak yenilenebilir değildirler. Fakat fosil yakıtların da avantajları vardır. Bu yüzden uzun zamandır tercih edilmektedir. Fosil yakıtlarla, kömür kullanarak ve oldukça ucuza tek bir yerde çok büyük miktarda elektrik üretilmektedir. Petrol ve gazın elektrik santrallerine taşınması kolaydır. Gazla çalışan elektrik santralleri çok verimlidir. Fosil yakıtlı bir elektrik santrali, büyük miktarda yakıt alınabildiği sürece hemen hemen her yere kurulabilmektedir. Temel olarak, fosil yakıtların ana dezavantajı kirliliktir. Fosil yakıtların yakılması, “sera etkisine” katkıda bulunan ve dünyayı ısıtan karbondioksit üretmektedir. Yanan kömür, yanan yağ veya gaza göre daha fazla karbon dioksit üretmektedir (Toraman, 2009).

Enerji türleri arasındaki çevrim esnasında doğaya yayılan karbon içerikli gazlar, çevre ve insanlık için tehlike oluşturmaktadır. Çevreye yayılan bu gazlar sera gazı olarak isimlendirilmekte olup, sera gazları dünya sıcaklık ortalamasında artışa sebep olmaktadır. Bu sıcaklık artışı küresel ısınma olarak adlandırılmaktadır ve fosil yakıt kullanımı küresel ısınmanın ortaya çıkmasındaki temel sebeplerden biridir (Toraman, 2009). Şekil 2.6’da dünyadaki karbondioksit emisyonunun yıllara bağlı değişimi gösterilmiştir (TKİK 2011).



Şekil 2.6. Dünyadaki enerji tüketiminden kaynaklı ortaya çıkan karbondioksit emisyon değerleri (TKİK 2011).

Fosil bazlı kaynakların fiyatı önemlidir; çünkü tercihleri ve yerine koyma seçeneklerini etkilemektedir. Genel olarak, sanayileşmenin başlamasıyla birlikte fosil kaynaklı yakıtlar giderek daha fazla talep görmektedir. Bu bakış açısına göre, kaynaklar politik alanda da önem kazanmıştır.

Kömür çıktısı lider olmasına rağmen, petrol, özellikle ulaştırma ve sanayi sektörlerinde daha yaygın kullanılmaktadır. Ayrıca, bu sektörlerde gazın popülaritesi artmaktadır. Teknolojinin ilerlemesi ve ilerleyen medeniyetler içindeki yaşam standartlarının iyileştirilmesi, daha temiz bir yakıcı kaynak olduğu için popülaritesi artmış olan doğal gazla kömür kullanım seviyesini düşürmüştür. Doğal gaz şu anda, ocaklardan evlere boru hatları koymak yerine evlerde tercih edilen kaynaktır (Solar 2010).

Kömür

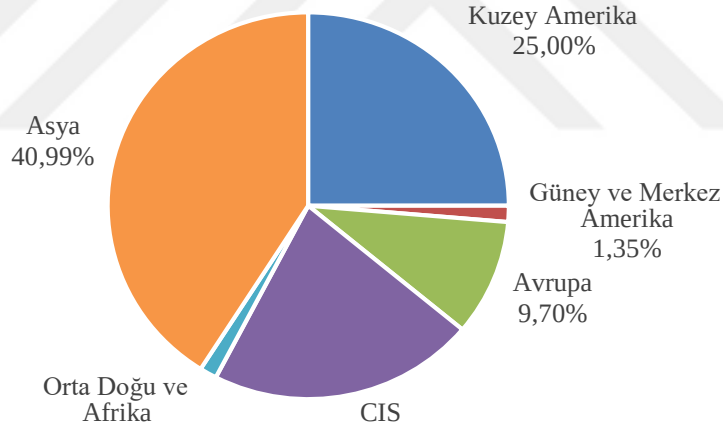
Kömür karbon kaynaklı fosil enerji kaynaklarından biridir. Kömürün oluşumu, doğadaki organik yapılı bitki kalıntılarının ve inorganik maddelerin özellikle bataklık gibi alanlarda birikmesi ile başlar. Kömürün oluşum süreci çok uzun yıllar almaktadır. Kömürün yapısı esas olarak oksijen, hidrojen ve karbon elementleridir. Kömür, iç yapısındaki elementlerin oranına, oluştuğu fiziksel ortama ve çevre koşullarına göre sınıflandırılabilir. Antrasit, sert kömür, linyit, grafit ve kok kömürü en yaygın kömür tipleridir.

Kömür çoğunlukla ısıtma ve elektrik üretimi için kullanılır. Bu amaçlar için, kömür bir yanma reaksiyonundan geçmelidir. Yanma reaksiyonundan sonra ısı ve bazı gazlar serbest bırakılır. Bu gazlar, küresel ısınma üzerinde olumsuz bir etkisi olan sera gazları olarak adlandırılır. Artan küresel ısınma etkisi ile, kömürden elektrik ve ısı üretimine daha fazla dikkat edilmelidir.

Çizelge 2.1. 2017 yılında dünya kömür rezervlerinin dağılımı (British Petroleum 2018).

Kömür Türü	Rezerv miktarı (milyon ton)	Yüzdelik oran
Taş Kömürü	718310,00	%69,70
Linyit	316702,00	%30,30

Çizelge 2.1'e göre dünya kömür rezervinin %69,40'ını taş kömürü, %30,60'ını linyit kömürü oluşturmaktadır (British Petroleum, 2018). 2017 yılı sonu itibariyle dünya kömür rezervlerinin dağılımı Şekil 2.7'de verilmiştir.



Şekil 2.7. 2017 yılındaki dünya kömür rezervlerinin yüzdelik dağılımı (British Petroleum 2018).

Enerji tüketiminde kömür %28'lik önemli bir paya sahiptir. Linyit, genellikle düşük ısıtma değeri ile yüksek kül ve nem içeriğine sahip olduğundan ve tipik olarak termik santraller için yakıt olarak kullanıldığı için kömür listesinin en altına yerleştirilen bir kömür türüdür. Bununla birlikte, yer kabuğundaki bolluğundan dolayı sıkça kullanılan bir enerji hammaddesidir. Sert kömür, yüksek kalorili kömür olarak sınıflandırılır. Yurt içi kaynak potansiyelimizin 10, 4 milyar tonu linyit ve 1, 33 milyar tonu taş kömürüdür. Ülkemiz, küresel ölçekte, linyit rezervleri ve üretim miktarları bakımından orta seviye bir ülke ve taş kömüründe daha düşük seviyededir.

Dünyadaki toplam linyit rezervinin yaklaşık %1,6'sına sahip olan Türkiye'nin toplam linyit rezervi 8,3 milyar tondur. Ancak sömürülebilir rezervler 3,9 milyar tondur. Ayrıca, düşük bir ısıtma değerine sahip olan linyitin çoğunluğu tipik olarak termik santrallerde kullanılır. 2008 yılında satılan 33 milyon ton kömürün %82'si termik santrallerde, %12'si ısıtma ve sanayide kullanılmıştır. 2008 yılı sonu itibariyle ülkemizdeki linyit bazlı termik santrallerin kurulu gücü 8.110 MW olup toplam kurulu gücün %19,4'üne tekabül etmektedir. Kömürün toplam kurulu güce katkısı 10.097 MW olup, toplam kurulu gücün % 24,1'ini oluşturmaktadır. Ülkemizdeki kömürlü termik santrallerin kurulu gücü 335 MW olup toplam kurulu gücün %0, 8'ini karşılamaktadır (Energy Ministry Of Turkey 2009).

Petrol

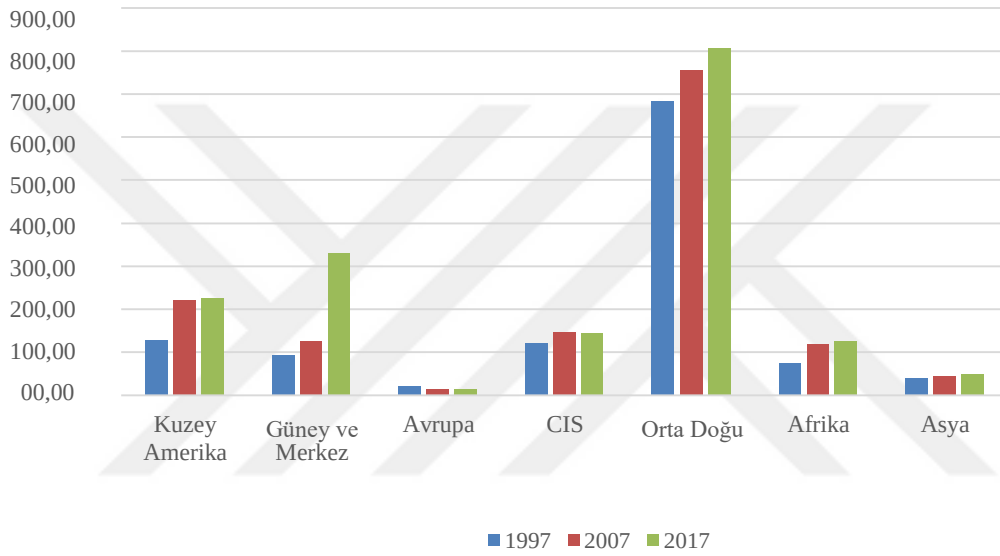
Petrol, enerjinin %40'ını sağlar ve doğrudan yanabilmektedir. Petrol denilen ham petrol, borulardan akabildiği için yerden kömürden daha kolay çıkmaktadır. Bu da taşımayı daha ucuz hale getirmektedir. Bazı bilim adamları, petrolün bir 'fosil' yakıt olmadığını iddia etmektedir, çünkü tarih öncesi organizmaların kalıntıları değildir. Biyolojik olmayan başka bir işlem tarafından yapıldığını iddia etmektedirler. Halen bu, bilim insanlarının çoğu tarafından kabul edilmemektedir (Energy Resources 2010).

Petrol ilk olarak 3000 yıl önce katran oluşumu ile kullanılmıştır. Mezopotamya ülkesi, doğadaki su eksikliklerini telafi etmek için katran kullanmıştır. Ayrıca, Antik Çağ'da petrol; yaraları temizlemek, romatizma, vb. rahatsızlıkları ve diğer rahatsızlıkları gidermek için ve savaşlar sırasında araçlarla savaşmak için de kullanılmıştır. Buradan anlaşılan, petrolün bir enerji kaynağı olmasının yanı sıra başka amaçlar için de kullanılmış olduğudur (Oluklulu 2003).

Petrol; hidrojen ve karbondan oluşan kompleks bir formülden oluşmaktadır ve biraz azot, oksijen ve kükürt içermektedir. Sıvı, katı ve gaz halde bulunabilmektedir. Ham petrolün aksine, rafine edilmiş sıvı petrol ticari olarak en önemlisidir. Gaz halindeki petrol, tipik olarak sentetik gazdan ayırt edilmek için doğal gaz olarak adlandırılmaktadır. Yarı katı ve katı petrol, ağır hidrokarbon ve katrandan oluşmaktadır. Bu petrol türüne asfalt, bitüm, katran ile özelliklerine ve yerel kullanımlarına bağlı olarak diğer adlar verilmektedir. Ham petrol ve doğal gazın ana bileşenleri hidrojen ve karbon olduğundan, bunlar "Hidrokarbonlar" olarak da adlandırılmaktadır. Dünyanın mevcut enerji kaynakları, kanıtlanmış rezervlerden ve yıllık

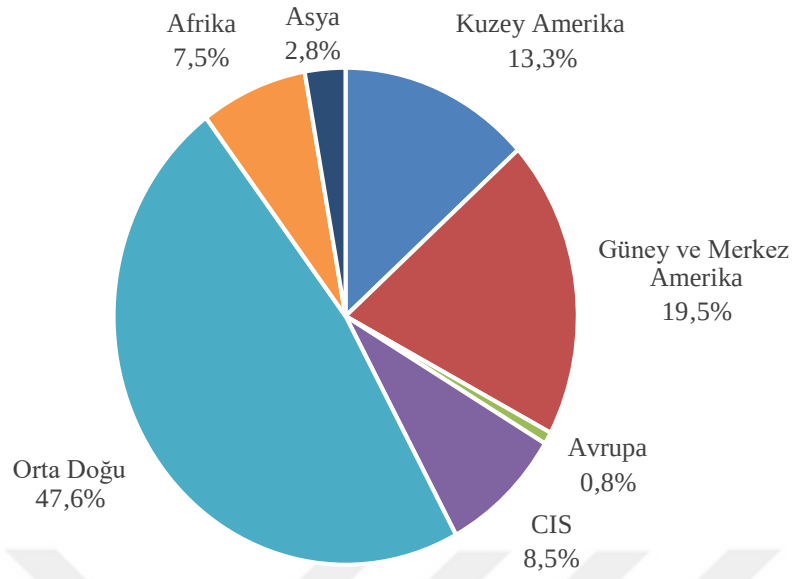
Üretim miktarları dikkate alınarak, petrolün rezerv ömrünün 42 yıl olduğu tahmin edilmektedir. Dünya genelinde birincil enerji kaynağı olan petrol, 2007 yılı itibariyle küresel enerji talebinin %35,6'sını karşılamaktadır. Petrol rezervlerinin 100 milyar tonu (%62) Orta Doğu lkelerinde, 16,7 milyar tonu (%10) Rusya ve BDT’de ve 14,9 milyar tonu (%9) bulunmaktadır (Energy Ministry Of Turkey 2009).

Petrol Rezervi (Milyar varil)



şekil 2.8. Yıllara bağlı olarak petrol rezervlerinin bölgelere göre dağılımı (British Petroleum 2018).

1997, 2007 ve 2017 yıllarının sonu itibariyle dünyadaki toplam petrol rezervlerinin kıtalara göre dağılımı şekil 2.8’de verilmiştir. Buna göre, petrol rezervi Avrupa kıtasında en az iken, petrol rezervleri açısından en zengin bölge Orta Doğu’dur. Son yıllarda Antartika’da petrol rezervi açısından büyük sıçrama yapmıştır. 2017 yılındaki rezervlerin yüzdesel dağılımı incelendiği zaman, dünyadaki toplam petrol rezervlerinin neredeyse yarısının Orta Doğu’da bulunduğu görülmektedir (şekil 2.9) (British Petroleum 2018).



Şekil 2.9. 2017 yılındaki dünya petrol rezervlerinin yüzdelik dağılımı (British Petroleum 2018).

Çizelge 2.2’de verilen petrol rezervlerinin bölgesel ve dünya genelindeki kullanılabilme süreleri incelendiği zaman, dünyadaki toplam petrol rezervi için 2017 yılı itibariyle ön görülen süre 50,2 yıldır (British Petroleum 2018).

Çizelge 2.2 : 2017 yılı itibariyle dünya petrol rezervlerinin ön görülen kullanım süreleri (British Petroleum 2018).

Bölge	Ön görülen kullanım süresi
Kuzey Amerika	30,8 yıl
Güney ve Merkez Amerika	125,9 yıl
Avrupa	10,40 yıl
CIS ülkeleri	27,80 yıl
Orta Doğu	70,0 yıl
Afrika	42,90 yıl
Asya	16,70 yıl
Dünya geneli toplam	50,2 yıl

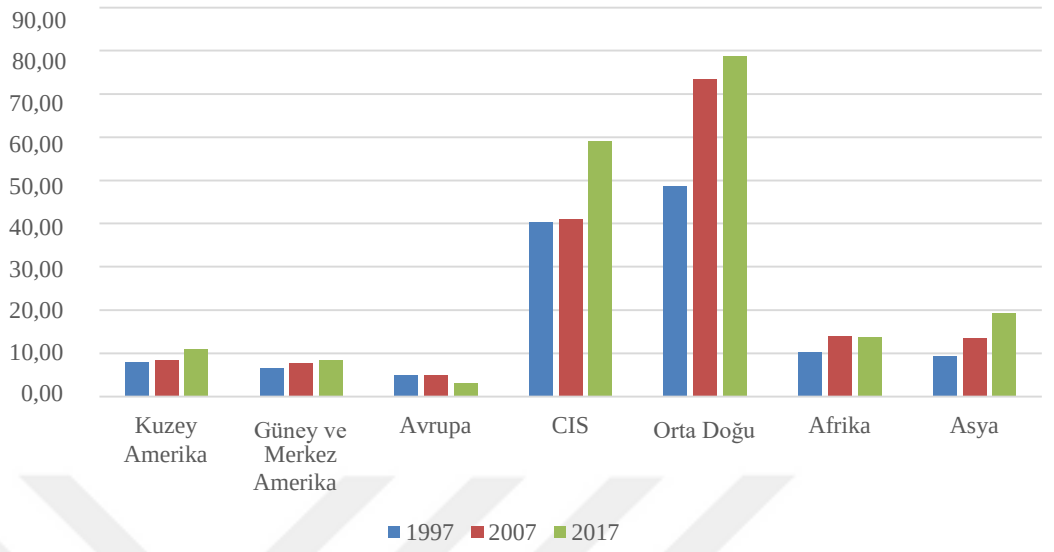
Doğalgaz

Doğal gaz, dünyanın alt katmanlarındaki organik malzemelerin milyonlarca yıllık doğal dönüşümünün sonucudur. Kaynağından çıkarıldığı için, daha fazla işlem yapılmadan kullanılabilir. Doğal gaz, çeşitli hidrokarbonlar, (C₂H₆) (CH₄) özellikle Metan ve Etan oluşan yanıcı bir gaz karışımıdır. Renksiz, kokusuz hava hafif bir gazdır. Doğal gaz temiz bir gazdır. Yakıldığında kül, karbon monoksit ve kükürt bileşikler oluşturmaz ve çevrede asit yağmuru oluşturmaz. Sadece karbondioksit ve su buharı üretilir. Azot oksit emisyonları diğer yakıtlara kıyasla daha düşüktür (www.igdas.com.tr).

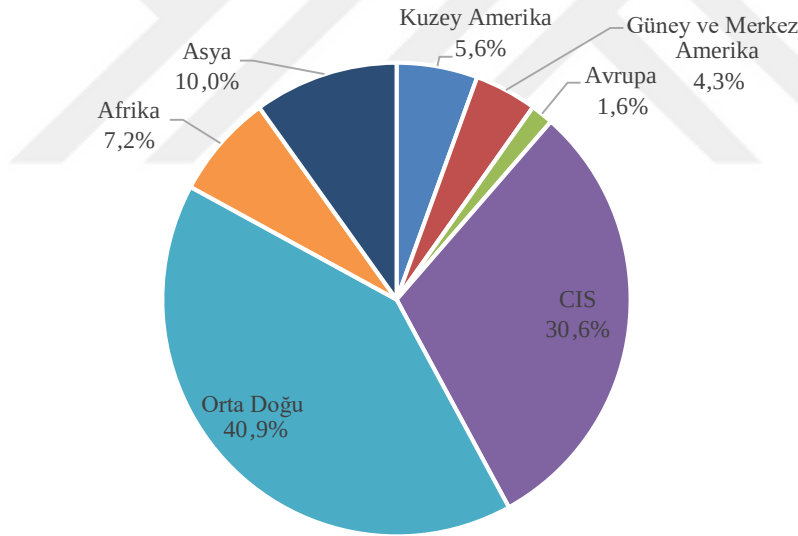
Doğal gaz, doğrudan yanabileceği için petrole benzer özelliktedir. Doğal gaz, dünyadaki enerji tüketiminin yaklaşık %20'sini oluşturmaktadır. Doğal gaz havadan daha hafiftir; çoğunlukla metan denilen bir gazdan oluşmaktadır. Metan, karbon ve hidrojen atomlarından oluşan basit bir kimyasal bileşiktir. Doğal gaz genellikle petrol gibi yeraltında bulunmaktadır. Yerin altından pompalanmakta ve boru hatlarından depo alanlarına gitmektedir. Petrolle aynı şekilde elde edilmekte ve daha sonra büyük boru hatları aracılığıyla iletilmektedir (Sloan 2003).

Dünyadaki toplam doğal gaz rezervlerinin kıtalara göre yıllar içindeki dağılımı Şekil 2.10'da verilmiştir. Doğal gaz açısından en zengin bölge petrolde de olduğu gibi Orta Doğudur. 1997-2007 yılları arasında hızlı bir artış göstermiştir. 2007-2017 yılları arasında rezerv artış hızı azalmış olmasına rağmen rezerv miktarı artmıştır. Bu durum petrol fiyatlarında da artışa sebep olmuştur. Orta Doğu'nun doğal gaz rezerv oranı %40,9, CIS ülkelerindeki rezerv oranı da %30,6'dır (Şekil 2.11) (British Petroleum 2018).

Doğal gaz rezervi (trilyon m3)



Şekil 2.10. Yıllara bağlı olarak doğal gaz rezervlerinin bölgelere göre dağılımı (British Petroleum 2018).



Şekil 2.11. 2017 yılındaki dünya doğal gaz rezervlerinin yüzdelik dağılımı (British Petroleum 2018).

Doğal gaz rezervlerinin kullanılabilme süreleri Çizelge 2.3’de verilmiştir. Bu çizelge incelendiği zaman, dünyadaki toplam doğalgaz rezervi için 2017 yılı itibariyle ön görülen süre 52,6 yıldır (British Petroleum 2018).

Çizelge 2.3. 2017 yılı itibariyle dünya doğal gaz rezervlerinin ön görülen kullanım süreleri (British Petroleum 2018).

Bölge	Ön görülen kullanım süresi
Kuzey Amerika	11,40 yıl
Güney ve Merkez Amerika	45,90 yıl
Avrupa	12,20 yıl
CIS ülkeleri	72,60 yıl
Orta Doğu	119,90 yıl
Afrika	61,40 yıl
Asya	31,80 yıl
Dünya geneli toplam	52,60 yıl

Enerji Bakanlığı'nın resmi internet sitesinde, doğal gaz rezervleri hakkında ayrıntılı bilgiler bulunmaktadır. Türkiye dışında, 73 trilyon m³ (%41) küresel doğal gaz rezervi Orta Doğu ülkelerinde; Rusya ve BDT'de 59 trilyon m³ (%33); ve Afrika / Asya Pasifik ülkelerinde 28 trilyon m³ (%16). Türkiye'nin doğal gazdaki iç potansiyeli yaklaşık 27 milyar m³'tür. 2008 yılı sonunda doğal gaz tüketiminin bir önceki yıla göre yüzde 5, 5 artarak 33, 6 milyon TEP'ye ulaşması beklenmektedir. Türkiye'nin doğal gazdaki kurulu gücü 13.337 MW'tır, bu da toplam kurulu gücün %31'idir. Doğal gaz araştırmalarında da bahsedildiği gibi, yıllık gaz talebini karşılamada sorunların 2011 yılına kadar olması beklenmemektedir. Bu çerçevede, 1, 6 milyar m³ kapasiteli Silivri doğalgaz deposunun 2007 yılında devreye alınması mevsimsel arzın mevcudiyetini sağlamak için faydalıdır. Günümüzde, mevcut doğal gaz depolarının kapasitesinin arttırılması ve özellikle Tuz Gölü'nde ek yeraltı depolarının inşası için önlemler alınacaktır. Ayrıca Akçakoca ilinde de yeni doğal gaz rezervleri keşfedilmiştir (Solar 2010).

Enerji Bakanlığı'nın belirttiği gibi, Hazar doğal gaz kaynaklarını Türkiye ve Avrupa pazarlarına taşımayı hedefleyen Bakü-Tiflis-Erzurum (BTE) Doğal Gaz Boru Hattı (Şah Deniz Projesi) devreye alınmıştır. Gaz iletimi 26 Kasım 2006'da başlamış ve Şah Denizi Projesi'nin ilk üretimi 15 Aralık 2006'da devreye girmiştir. Ayrıca, Türkmen ve Kazak kaynakları

bağlamında Hazar-ötesi petrol ve doğal gaz boru hatlarının oluşturulması süreci diğer projelerle ilgili olarak planlanmıştır. 2007'de Hazar ve Ortadoğu gaz kaynaklarını AB pazarlarına aktarmayı hedefleyen Güney Avrupa Gaz Halkası'nın (Türkiye-Yunanistan-İtalya Boru Hattı) Yunanistan bağlantısı devreye alınmıştır. İtalya bağlantısının 2012 yılında tamamlanması beklenmektedir. Yıllık 12 milyar m³ kapasiteye sahip olan bu proje, Yunan ve İtalya gaz piyasalarında önemli bir paya sahip olacaktır ve Türkiye gaz sisteminin AB ile entegrasyonunda ilk adımı oluşturmaktadır. Avrupa'ya doğal gaz getirme faaliyetleri kapsamında Türkiye'yi Avusturya, Bulgaristan, Romanya ve Macaristan'a bağlayacak, Hazar ve Ortadoğu gaz kaynaklarını Orta Avrupa'ya taşıyacak olan NABUCCO Projesi ile ilgili çalışmalar devam etmektedir. AB resmi belgelerinde en öncelikli projelerden biri olarak listelenen NABUCCO projesinin amacı, ilk aşamasında yıllık 3.400 km'lik bir hat üzerinden 25 ila 30 milyar m³ gaz taşımaktır. Bu rakamın önümüzdeki yıllarda artması beklenmektedir. Mısır doğal gaz kaynaklarını ülkemize aktarmak için Arap Doğal Gaz Boru Hattı Projesi ile ilgili çalışmalar devam etmektedir (Solar 2010).

Enerji Bakanlığı'na göre; Bakü-Tiflis boru hattı, NABUCCO projesi, Türkiye-Yunanistan-İtalya projeleri ve diğer tüm doğal gaz taleplerini karşılamak için proje anlaşmaları kurulmuştur. Isıtma enerjisi, özellikle de doğal gaz önemli bir paya sahiptir. Kömür dışındaki kaynaklar daha temiz oldukları için tercih edilmektedir.

Nükleer enerji

TAEK (2009) tarafından yapılan tanıma göre; hem ağır atom çekirdeklerinin nötronlar tarafından bombardımanı hem de hafif atom çekirdeklerinin füzyon reaksiyonlarının bir sonucu olarak, büyük miktarda enerji salınır. Füzyon reaksiyonuna "füzyon" denir ve fisyon reaksiyonuna "fisyon" denir ve fisyon ve füzyon reaksiyonları ile elde edilen enerjiye nükleer enerji denir. Fisyon ürünleri, enerji ve nötronlar her parçalanmanın bir sonucu olarak serbest bırakılır. (Şekil 2.1) uygun şekilde tasarlanmış bir sistemde, reaksiyonun bir sonucu olarak salınan nötronlar kullanılarak parçalanma reaksiyonunun (zincir reaksiyonu) sürekliliği elde edilebilir (TAEK 2009).

Türkiye Enerji Bakanlığı'na göre, nükleer reaktörler nükleer enerjiyi elektriğe dönüştüren sistemlerdir. Temel olarak ifade edilirse; bölünmenin bir sonucu olarak salınan

nükleer enerji, nükleer yakıt ve diğer malzemeler içindeki termal enerjiye dönüşür ve bu da kinetik enerjiye ve daha sonra jeneratör sistemi içinde elektriğe dönüştürülür. Jeolojik olarak stabil alanlarda yüzeye 1.000 m. inşa edilecek korumalı beton yeraltı galerilerinde depolanır. 1.000 MW'lık bir nükleer reaktör yılda yaklaşık 27 ton kullanılmış yakıt üretmektedir. (<https://www.enerji.gov.tr/>)

Diğer sektörlerin aksine, nükleer enerji sektörü bir ulusal bağımsızlık stratejisi öncülüğünde başlamıştır. Bu sektörün yatırım projeleri hükümet tarafından finanse edilmektedir (Oluklulu 2003).

1979 yılına kadar nükleer santraller hızlı bir şekilde genişlemiştir. Ancak 1979'dan sonra genişleme durmuştur, çünkü gelişmiş ülkelerde elektrik daha fazla sermaye sağlamaktadır. Geçmişteki petrol enerjisi tüketimine ilişkin sorunlar azalmakta, merkezi maliyetler sürekli artmakta ve nükleer enerjinin güvenilirliği konusundaki belirsizlik devam etmektedir (Yücel 1994).

Enerji Bakanlığı tarafından vurgulandığı gibi, elektrik üretimi için nükleer enerji santralleri; diğer kaynaklara kıyasla daha güvenli ve daha erişilebilir durumdadır. Küresel gelişmelerle, yenilenebilir enerji kaynakları daha yaygın ve daha fazla talep görmeye başlamıştır. Nükleer enerji yatırım projeleri de dünya çapında ivme kazanmaktadır. Elektrik enerjisi arz ve talep projeksiyonlarına istinaden, 2015 yılı itibarıyla 5.000 MW nükleer santral kapasitesinin devreye alınması planlanmaktadır. Bu amaçla, 5710 sayılı Nükleer Santrallerin İnşaat ve İşletme Kanunu ile Enerji Satışı Kanunu (2007) yürürlüğe konmuştur. Nükleer santrallerin yapımı devam etmektedir. Mersin-Akkuyu'da yapılması planlanan Türkiye'deki ilk nükleer santral için bir lisans alınmıştır ve Sinop için lisans çalışmaları devam etmektedir (Solar 2010).

Nükleer enerjinin kullanımı yeni, teknolojik gelişimi çok hızlı. Bu enerjinin birçok kullanımı vardır. Bunların en önemlisi elektrik üretimidir. Ayrıca, nükleer enerji tıp, Sanayi ve silah endüstrisinde (kıtalararası balistik füzeler gibi) yaygın olarak kullanılmaktadır. Bugün, dünyadaki nükleer silahlar birçok gezegeni yok edebilir. ABD, Rusya, Fransa, İngiltere, İsrail, Çin, Hindistan, Pakistan ve Güney Kore gibi ülkeler nükleer silahlara sahip ana ülkelerdir.

Bilindiği gibi, bu silahların yerel değil, küresel önemi vardır. Herhangi bir savaşta, sadece savaşan ülkeleri değil, tüm dünyayı da tehdit edecektir (Eş, H., Mercan, S. I., ve Ayas, C. 2016).

Nükleer enerjinin avantajları ve dezavantajları hakkında çelişkili ve çeşitli fikirler vardır.

Nükleer enerjinin avantajları hakkındaki fikirler aşağıdaki gibi listelenebilir:

1. Potansiyel rezervler yüksektir. Bugünkü rezervlerin nükleer santralleri 150 yıl boyunca besleyebileceği tahmin edilmektedir.
2. Hammadde hacmine göre çok yüksek miktarda enerji sağlar. 3 kWh 1 kg kömürden, 4 kWh ise 1 kg petrolden, 50.000 kWh ise 1 kg uranyumdan üretilmektedir.
üretir (TAEK 2000).
3. Hammadde maliyeti fiyatları çok düşüktür. Çünkü enerji üretiminde çok az miktarda hammadde kullanılır.
4. Nükleer santraller diğer bitkilerden daha az arazi kullanır.
5. Nükleer atık geri dönüştürülür. İleri teknolojilerde, yeniden işleme ile yakılan yakıtta kalan fosil malzeme (uranyum, plütonyum), fisyon ürünlerinden ayrılır ve yakıt üretiminde kullanılır.
6. Nükleer enerjide, yakıt on yıl boyunca saklanır. Bu nedenle, dış bağımlılığı azaltma olasılığı vardır (TAEK, 2000).
7. Nükleer silah üretmek için bir nükleer santral gerekli değildir. Başka bir deyişle, nükleer santraller nükleer silahların üretimi için uygun tesisler değildir (TAEK, 2000).
8. Nükleer santrallerde alınan önlemler nedeniyle, her insan yapımı cihazda kaza riski çok düşüktür, ancak kaza riski vardır. Reaktör ve yardımcı cihazlar, 2.5 m kalınlığında betonun dış kabuğunda korunmaktadır. büyük bir kaza durumunda, bu duvarda radyoaktif buhar kalacaktır. Reaktörün etrafında 800-1500 m yarıçaplı insanlar için yasak olan bir kemer de vardır. buna ek olarak, 8 km çapında bir alanda nüfus yoğunluğu düşük olmalıdır. Çernobil reaktör kazası mümkün olan en büyük kazadır. Bu kazada, reaktörden 3 km uzaklıktaki 49 bin nüfuslu Pripyat

kasabasının nüfusunun dozu 0.1 ila 1 Sv1 idi ve hiç kimse akut radyasyon hastalığına bile maruz kalmadı. Ani kesin etkisi olan 31 ölüm ve 237 akut radyasyon hastalığı vardı. Ölen ve hasta olan herkes personel işletiyor. Ç Uluslararası Çernobil Projesi " raporuna göre (25 ülkeden 200 bağımsız uzman tarafından hazırlanan) kazaya atfedilecek bir sorun yok (Aybers Bayülken 1997).

9. Nükleer santraller çevreyi korur. 1000 MW kömür santrali yılda yaklaşık 3 milyon ton kömür tüketir ve 7 milyon ton CO₂, 140.000 ton asit içeren gazlar (kükürt ve azot oksitler) ve 750.000 ton kül üretir. Bu değerlere bakıldığında, 38 yıllık geçmişi olan nükleer enerji santralleri, bu 38 yılda 5500 milyon ton daha az kömürün yakılmasına neden olmuştur. Buna karşılık 1000 MW gücündeki nükleer santralin bacasından çıkan değişik maddeler (günde 10 milyon Bq¹³¹, 100 milyar Bq Trityum) atmosfer ve sulara karışarak kolayca müsaade edilen yoğunluğa inerler. Örnek olarak Fransa'da Loire nehri üzerinde 16 adet nükleer santral çalışmaktadır. Buna karşılık nehrin suları sulamada kullanılmakta; ağız kısmında balıklar yaşama imkanı bulmaktadır. Benzer çalışmalar ABD ve İngiltere'de yapılmış, nükleer santralleri destekleyen sonuçlar elde edilmiştir (Aybers, Bayülken 1997).

Yukarıda belirtilen avantajlara rağmen, nükleer enerjinin bazı dezavantajları hakkında fikirler vardır. Bunlar:

1. Hem üretimden önce, hem de üretim sırasında ve atık nedeniyle radyoaktivite ile tehlikelidir. Atıklar 600 yıl sonra toksisitelerinin %99'unu kaybeder (Cohen 1996).
2. Uranyum madeni hacimde hafif olmasına rağmen, ekstraksiyon sırasında çok fazla toprak işlediği için büyük miktarda atık malzeme üretilir. Örneğin, 1 ton uranyum elde ettikten sonra, 20 bin ton atık kalır.
3. Kullanılmış yakıtın reaktörlerden alınarak işleme tesislerine ve çıkan yüksek seviyeli atığın ise gömülmesi için taşınması gerekmektedir. Bu arada, potansiyel bir tehlike var (Cohen, 1996a: 183). Öte yandan, ticari nükleer reaktör atıklarının nihai depolanması uygulamaya geçmemiştir (Tanrıkut 2001).
4. Enerji santralleri belirli coğrafi özelliklere sahip yerlere kurulmalıdır. Bir yer seçerken hammadde önemli değil. Bu konuda önemli olan pazara ve soğutma suyuna yakınlıktır. Bu

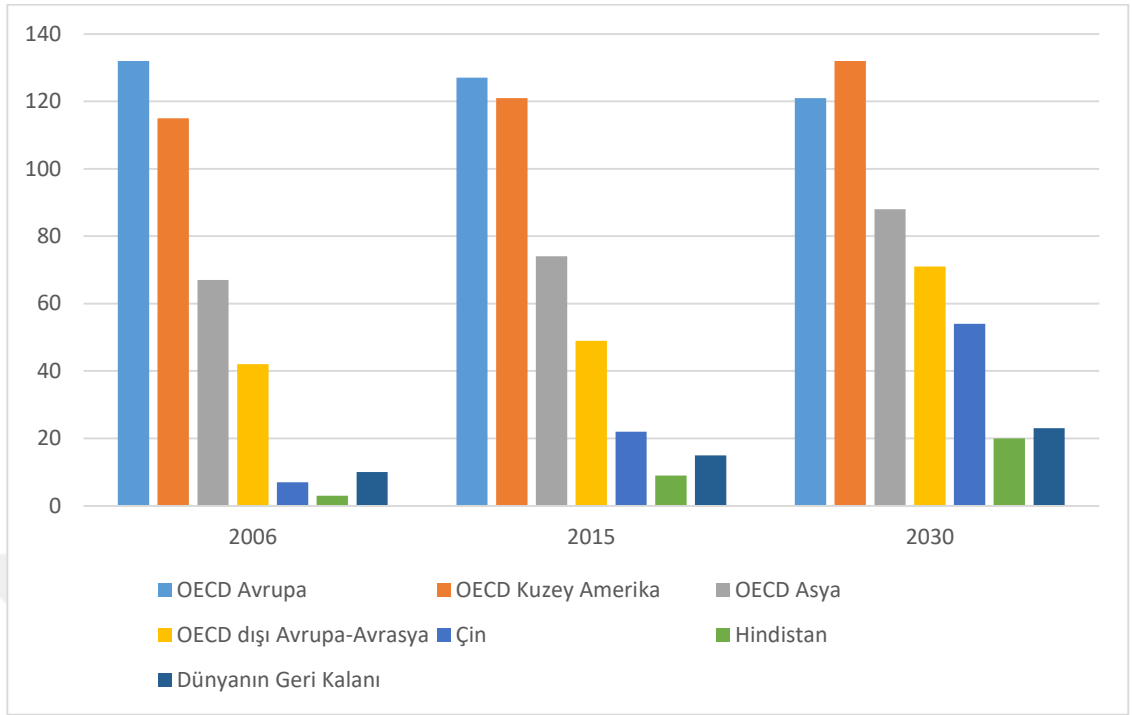
nedenle, deniz ve göl kıyıları, haliçler, büyük nehir kıyıları uygun coğrafi konumlardır. Pazara ilişkin olarak sanayi bölgelerine yakınlığı önemlidir (Tümertekin Özgüç 1999).

5. Nükleer santrallerde kaza riski yüksektir. Doğal afetler ile Risk artar. Bu nedenle, bitkilerin yerini seçerken deprem, heyelan ve çığ gibi doğal afetler dikkate alınmalıdır. Buna ek olarak, nükleer santraller büyük şehirlerden ve yoğun nüfuslu bölgelerden uzak olmalıdır. Teknik arızalar nedeniyle radyoaktif kirleticiler çevreye ve havaya yayılan, büyük hasara neden olabilir. Bu konuda birçok örnek var. 1957'de İngiltere'deki Vindscale kazık nükleer santralinde meydana gelen kazada, 200 km²'lik bir alan, bitkinin yakılmasının bir sonucu olarak işe yaramaz hale geldi. Kuşkusuz, bu kazaların en önemlisi Çernobil nükleer santralinde meydana gelen kazadır. 1972'de Ukrayna'da kurulan enerji santrali 25 Nisan 1986'da patladı. Radyasyon yayılımı 25 Nisan ve 15 Ağustos tarihleri arasında etkili bir şekilde devam etti. Bu arada, 3200 kişi hayatını kaybetti ve 150 bin kişi 50 km yarıçapından tahliye edildi. Kaza, İsveçli bilim adamları tarafından radyoaktivite ölçümleri ile keşfedilene kadar gizli tutuldu. Bununla birlikte, radyoaktif maddelerle yüklü bulutlar geniş bir alana yayılmıştır. Kaza, ülkemizin yanı sıra birçok ülkeyi de etkiledi. Özellikle Karadeniz Bölgesi tarımı kazadan etkilendi.

6. Nükleer güç insanlık için büyük bir tehlikedir. Atomik, hidrojen ve nötron bombaları bu gücün eseridir ve sırasıyla yanma etkilerini arttırır.

7. Bitki çok büyük bir ağırlık çekebilecek temellere yerleştirilmelidir. Bu nedenle, yerin doğası yer seçimini etkileyebileceğinden, tesisin kurulması sırasında getirilecek parçaların deniz taşımacılığı tercih edilmektedir (Tümertekin ve Özgüç 1997).

Nükleer üretim kapasitesi (GW)



Şekil 2.12. Bölgelere göre dünya nükleer üretim kapasitesi, 2006, 2015 ve 2030-(Energy Information 2009).

Son zamanlarda Güney Kore, Rusya ve Ukrayna'da yeni nükleer santraller kurulmuştur. Toplamda, elektrik üretiminin yaklaşık %17'si nükleer santraller tarafından sağlanmaktadır (Ültanır 1998).

Thomas (2002)'a göre; kısmen nükleer sübvansiyonun kaldırılması nükleer sektördeki verimlilik iyileştirmelerinden dolayı mümkündür ve bu memnuniyetle karşılanmıştır. Bununla birlikte, kısmen radyoaktif atıkların bertaraf edilmesi ve hizmetten çıkarılması gibi uzun vadeli maliyetler için ödeme yapmanın yükü, bugünün elektrik tüketicilerinden gelecek nesil vergi mükelleflerine aktarıldığından dolayı mümkündür. Bu, “kirleten öder” ilkesine aykırıdır ve kabul edilemez.

Thomas (2010)'a göre eğer nükleer enerji, iklim değişikliğiyle mücadelede gerçekten önemli bir unsur olsaydı, o zaman ekonomik ve diğer sorunların olduğunu kabul etmekten başka bir alternatif olmayabilirdi ve bunların etkilerini azaltmanın yolları da bulunurdu. Ancak, elektrik kullanılan enerjinin % 20'sinden daha azını oluşturmaktadır ve şu anda elektriğin %20'sinden daha azı nükleer kaynaklardan alınmaktadır. Nükleer elektriğin payını %60'a

(toplam 20 reaktöre) kadar getiren ilave tesisler, nükleer enerji ihtiyacının sadece %10'unu sağlayacaktır.

2.1.1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Kömür, petrol ve doğal gaz gibi yakıtlar fosil enerji kaynaklarıdır ve dünyadaki rezervleri çok sınırlıdır. Bu nedenle, bu kaynakların gelecekteki tükenmesi kaçınılmazdır. Bununla birlikte, yenilenebilir enerji kaynakları olarak tanımlanan güneş enerjisi, jeotermal enerji, hidrolik enerji, hidrojen, dalga enerjisi, biyokütle enerjisi ve rüzgar enerjisi, enerjilerini doğrudan veya dolaylı olarak güneşten alır ve bu nedenle sürekli yenilenir. Bu tez kapsamında güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, gel git enerjisi, hidroelektrik enerji ve jeotermal enerji kaynakları incelenecektir.

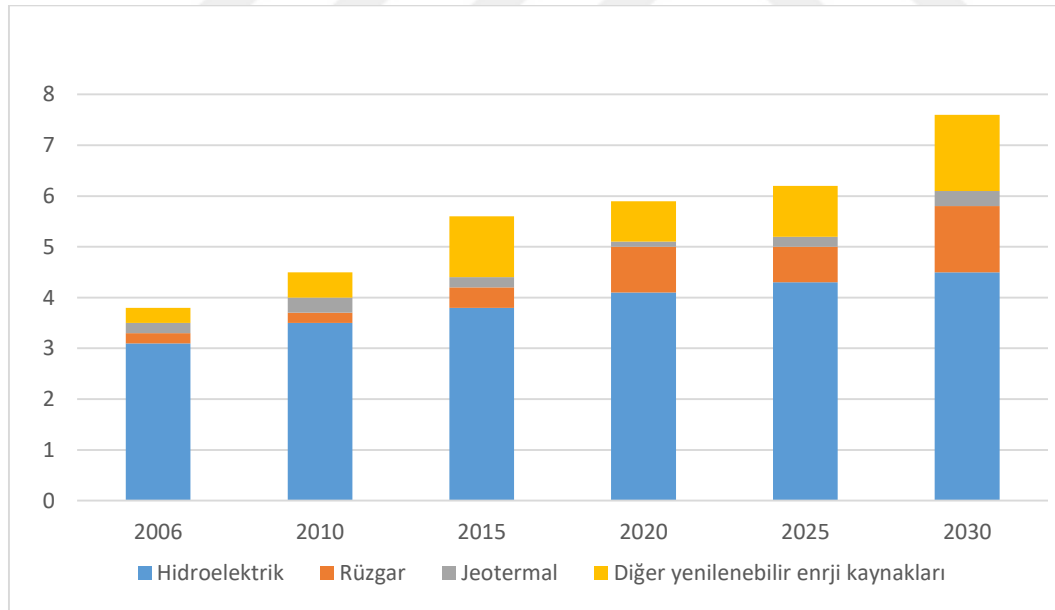
Yenilenebilir enerji kaynakları; yenilenebilir kaynakları, minimum çevresel etkileri, düşük işletme ve bakım maliyetleri ve güvenilir enerji kaynağı nedeniyle ülkemiz için çok önemli bir yere sahiptir. Bu bölümde yenilenebilir enerji kaynakları olarak; güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, hidrojen enerjisi, hidroelektrik, jeotermal enerji, dalga enerjisi ve Türkiye'deki biyokütle enerjisi ve potansiyel alanların ülkemizde bu enerji kaynağına sahip olması araştırılmıştır (Gençoğlu, M. T. 2002).

Yenilenebilir enerji, doğanın ertesi gün aynı şekilde kullanılabilecek bir enerji kaynağındaki kendi evrimi olarak tanımlanır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının fosil bazlı ve nükleer kaynaklardan daha az enerji sağladığı doğru değildir. 1850'lerde enerjinin bağımlı olduğu elektrik ve ısı kaynaklarından faydalanma teknolojisi bulunmamaktadır. Fosil ve nükleer kaynaklardan, son 30 yıl boyunca tam olarak yararlanabilecek teknolojiye sahip olunmuştur. Yenilenebilir enerji ile tüm ihtiyaçları yerine getirmek mümkündür. Ülkeler; ulaşım, sanayi, konut ve tarım sektörlerine ısı ve elektrik enerjisi sağlamak için yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanma yeteneğine sahiptirler (Uyar 2006).

Şekil 2.13'de sunulan Enerji Bilgi Yönetimi verileri, dünya genelinde 2006'dan 2030'a kadar yenilenebilir enerjinin fiili ve beklenen elektrik üretimini göstermektedir. Burada, toplam artışın yıllar içindeki payı ve beklenen yıllık tahsisatı görülmektedir. Önceki yıllarda olduğu gibi, kilowatt saatteki oranlar beklendiği gibi değişmektedir. Hidroelektrik santralleri bugünlerde yaygındır ve gelecekte daha fazla yaygın olması beklenmektedir. Barajların elektrik

kaynağı olarak kurulum ve bakım maliyetleri daha yüksektir. Bununla birlikte, bu özel kaynağa yönelik gelecekteki talep, masrafsız, kazançlı bir yatırım haline getirmektedir. Günümüzde, bu sektördeki şirketler tarafından sıkça bahsedildiği gibi, rüzgar enerjisi gelecekte yenilenebilir enerjinin büyük bir kısmını alacaktır. Bu tür bir enerji çevreye zarar vermez ve ihtiyaç duyduğu çok sayıdaki tribüne rağmen, göreceli olarak az gürültü üretmektedir. Mevcut türbinler, yüksek miktarda rüzgarın olduğu ve insan yerleşiminin olmadığı tepelerde kuruludur. Bir başka temiz ve çevre dostu kaynak, dünyada çok yaygın olmasa da, jeotermal enerjidir. Her noktaya yüksek buhar enerji istasyonu kurulması zorunluluğu pratik değildir. Jeotermal enerji, toplam yenilenebilir enerjinin büyük bir kısmını teşkil etmemektedir (Energy Information 2009).

Yenilenebilir elektrik üretimi (TW)



Şekil 2.13. Dünya kaynaklarından yenilenebilir elektrik üretimi, 2006-2030 (Energy Information 2009).

Almanya parlamentosu 2002 yılında, Almanya'nın tüm enerji ihtiyaçlarını 2050 yılına kadar yenilenebilir enerjiden sağlama konusundaki amaçlarını belirten bir plan hazırlamıştır. Bu küçük önlem, büyük bir adım olarak kabul edilebilir. 2050 yılına gelindiğinde, bugün dünya çapında kullanılan toplam enerjiden daha fazlasının, yenilenebilir enerji kaynaklarından temin edilebilmesi mümkündür. Küresel enerji ihtiyaçları; farklı teknolojilerin kullanımı ile güneş enerjili ısıtma ve elektrik üretim tesisleri, rüzgar enerjisi santralleri, barajlar ve organik atıklardan enerji üretilerek karşılanabilir. Ayrıca, dünya enerji talebindeki artışı sınırlamak için, enerji tasarruf teknolojilerinin kullanılması gerekmektedir (Uyar 2008).

Yenilenebilir enerji kaynakları da temiz enerji kaynakları olarak adlandırılır, ancak tamamen çevre dostu olarak değerlendirilmemektedir. Bunun nedeni, her bir enerji kaynağının avantaj ve dezavantajlarına sahip olmasıdır. Buna ek olarak, iyi planlama gerektiren enerji üretim tesisleri sürekli izlenmelidir.

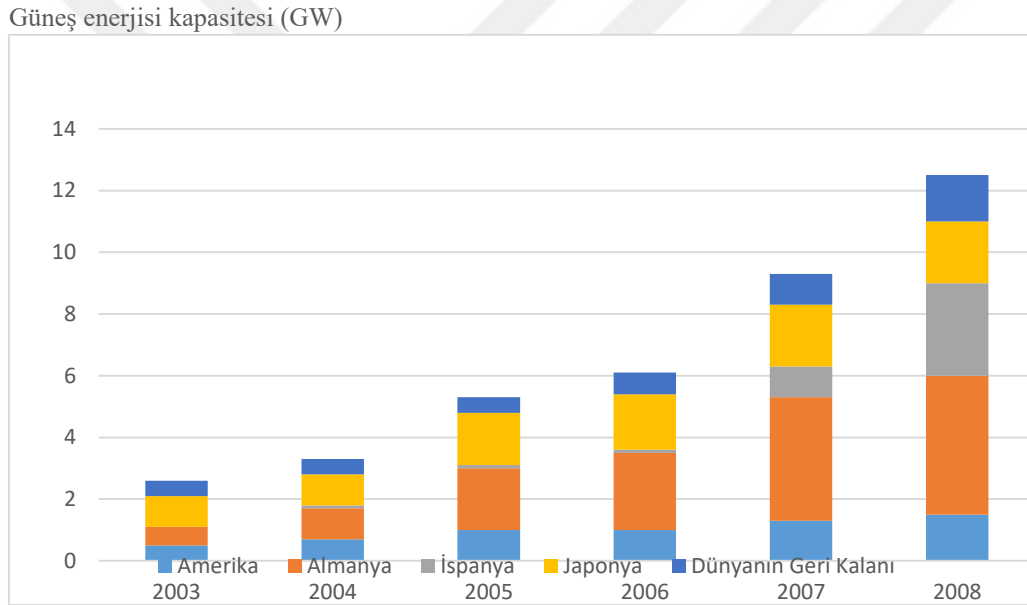
Güneş enerjisi

Güneş enerjisi, özellikle daha gelişmiş teknolojilerin geliştirilmesinden önce tarih boyunca yaygın olarak kullanılan doğal bir enerji kaynağıdır. Teknoloji ve malzemeye bağlı olarak oldukça değişken yöntemler uygulanmıştır. Mevcut teknoloji Termal Güneş Teknolojileri ve Konsantre Güneş Enerjisi (CSP) olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Güneş enerjisinin ısı üretmek için kullanıldığı bu teknolojilerde, ısı doğrudan ya da elektrik üretmek için kullanılabilir. CSP ile santraller, güneş enerjisini yüksek sıcaklıkta ısıya dönüştürerek elektrik üretmek için farklı ayna konumları kullanır. İstenilen güç değerlerinde kurulabildiklerinden, tipik olarak sinyal ekipmanlarına güç vermek, kırsal elektrik talebini vb. karşılamak için kullanılırlar. Güneş Pilleri, fotovoltaiik hücreler de denilen yarı iletkenler güneş ışığını doğrudan elektriğe dönüştürürler. Ancak bu fotovoltaiik hücreler çok pahalıdır (Solar 2010).

Her dakika dünyaya düşen güneş enerjisi, dünyanın yıllık enerji tüketiminden daha yüksektir. Ancak, bu enerjinin büyük bir kısmı kullanılmıyor. Güneş enerjisi uygulamaları çok geniştir. Mevcut güneş enerjisi uygulamaları şunlardır: Elde edilen elektrikle bina ısıtması, su ısıtma, havuz suyu ısıtması, kaynatma ve pişirme, tatlı ve tuzlu su damıtma, sıcak hava

motorları ve diğer termodinamik ısı çevrimi üretimi, sera ısınması, bitkisel ürünlerin kurutulması, gündüz ve gece aydınlatma, fotokimyasal ve fotosentetik döngüleri gerçekleştirmedir (Solar 2010).

Aşağıda yer alan Şekil 2.8’de, 2003’ten 2008’e kadar güneş enerjisindeki ülkeler arasındaki yatırım dağılımındaki eğilimler sunulmuştur. 2003 itibariyle, Japonya güneş enerjisinde en aktif yatırımcı olmuştur. Almanya’nın ilerlemesinin önemini görmek zor değildir. Almanya ve İspanya’nın güneş enerjisi üretimi üzerindeki vurgusunun arttığı söylenebilir. 2003’te, ABD’de güneş enerjisine olan talep çok az olmakla birlikte 2008’e doğru bir artış vardır (Finley 2009).



Şekil 2.14. Güneş enerjisi kapasitesi (2003-2008) (Finley 2009).

Coğrafi konumu nedeniyle güneş enerjisi için yüksek potansiyele sahip olan Türkiye'nin yıllık ortalama toplam güneş ışığı süresi 2.640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam radyasyon basıncı 1,311 kWh / m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh / m²), güneş enerjisi potansiyeli 380 milyar kWh / yıl olarak hesaplanmıştır (Solar 2010).

Ortalama güneş enerjisi Güneydoğu bölgesinde, daha sonra Akdeniz, Ege, İç Anadolu, Doğu Anadolu ve Marmara bölgelerinde en yoğundur. Ülkedeki en yoğun yağış Karadeniz Bölgesi'ndedir ve en az miktarda güneş enerjisi burada üretilmektedir.

Enerji Bakanlığı'na göre, güneş pillerinin en büyük dezavantajı; silikon kristallerinin ve ince film teknolojisinin kullanılması nedeniyle üretimlerinin inanılmaz derecede pahalı olmasıdır. Güneş pillerinin kullanım maliyetlerinin azalması ve verimliliğinin artması ile birlikte Türkiye'de güneş piline bağlı enerji üretiminin artması beklenmektedir. Ayrıca, Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlas ve CSP teknolojisi kullanılarak, yıllık 380 milyar kWh üretim yapılabileceği hesaplanmaktadır (Solar 2010).

Ülkemizde kurulu güneş kolektörleri miktarı 76 TEP olan teknik güneş enerjisi potansiyeli ile yaklaşık 12 milyon m² ve yıllık üretim hacmi 750.000 m² olup, bir kısmı ihraç edilmektedir. Böyle bir miktar, kişi başına 0,15 m² güneş kolektörünün kullanıldığını göstermektedir. Yıllık güneş enerjili ısı üretimi miktarı 420.000 TEP civarındadır. Bu verilere göre, Türkiye küresel olarak güneş kolektörlerinin üretimi ve kullanımı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Türkiye'de, az miktarda güç sağlamak ve araştırma amacıyla çoğunlukla kamu kurumlarında kullanılan kurulu güneş pili kapasitesi 1 MW'a ulaşmıştır. Savunma sanayimiz ve askeri kullanımımız da dahil olmak üzere ülkemizdeki enerjinin geleceği için güneş ve hidrojen enerjisi alanında çalışmak büyük önem taşımaktadır (Solar 2010).

Alternatif Bir Kaynak Olarak Güneş Enerjisinin Değerlendirilmesi

Güneş enerjisi, tarih boyunca kullanılmış bir diğer antik enerji kaynağıdır. Güneş teknolojisindeki en eski gelişmelerden biri 18. yüzyılda 1700°C güneş fırını inşa etmeyi başaran Lavoisier tarafından yapılmıştır (Tester vd. 2005). Günümüzde güneş termal ısıtma sistemleri, güneş PV sistemleri ve güneş binaları gibi çok çeşitli güneş enerjisi teknolojileri mevcuttur (Brower 1992).

Solar PV (Fotovoltaik) sistemleri, solar radyasyondan yararlanan PV hücreleri üzerinden güç üretir. Güneş enerjisi termal ısıtma sistemleri ise yassı plaka toplayıcıları veya güneş enerjisi termik elektrik santralleri tarafından sıcak su ve elektrik üretmektedir (IEA 2008). Güneş sistemleri pasif veya aktif sistemlere sahip olabilir. Pasif sistemlerin gerekçesi binaları daha verimli bir şekilde tasarlamaktır, böylece bina güneş ışığından yararlanabilir (Brower 1992). Aktif ve pasif sistemler arasındaki fark, aktif sistemlerin güneş enerjisinden yararlanmak için kolektörü kullanmasıdır (Tester vd. 2005).

Son yıllarda güneş enerjisi konusunda çok sayıda araştırma yapılmıştır. Araştırmalar çoğunlukla güneş enerjisi sistemlerinin fizibilitesini, çevresel etkilerini ve ekonomik yönlerini vurgulamaktadır. Örneğin, Paoli ve diğ. (2008), geleneksel enerji sistemlerini termal ve PV enerji santralleri ile karşılaştırmıştır. Çalışma ayrıca, güneş enerjisi teknolojilerinin enerji verimliliğini vurgulamaktadır. Martins ve diğ. (2008), Brezilya'da elektrik üretimi için güneş enerjisi uygulamalarının uygulanabilirliğini araştırmıştır. Çalışmada, güneş enerjisi potansiyeli SWERA veri tabanı kullanılarak değerlendirilmiş. ve şebekeye bağlı PV sistemlerinin mevcut enerji sistemine önemli bir katkı sağlayabileceği sonucuna varılmıştır.

Güneş sistemlerinin ekonomik ve çevresel uygulanabilirliği diğer popüler araştırma alanlarıdır. Bhuiyan ve diğ. (2000), Bangladeş'in kırsal alanlarındaki bağımsız PV güç sistemlerinin ekonomik fizibilitesi üzerinde çalışmıştır. Çalışma, kırsal alanlardaki PV sistemlerinin yaşam döngüsü maliyetini sunmaktadır. Analizler, PV sistemlerinin Bangladeş'in uzak bölgelerinde ekonomik olarak uygulanabilir olduğunu göstermiştir. Tsoutsos ve diğ. (2005), güneş enerjisi sistemlerinin çevre üzerindeki olası olumsuz etkilerine genel bir bakış açısı sunmaktadır. Bu etkiler; gürültü ve görsel izinsiz giriş, üretim sırasındaki sera gazı emisyonları, su ve toprak kirliliği, enerji tüketimi, iş kazaları, arkeolojik alanlar veya hassas ekosistemler üzerindeki etkiler olarak tanımlanmıştır. Carrion ve diğ. (2008), şebekeye bağlı PV santrallerinin saha seçimi için çevresel karar destek sistemi önermiştir. Çalışmada bu bağlamda, CBS ortamındaki en uygun alanları belirlemek için çok kriterli analiz ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) kullanılmıştır.

Türkiye'de Güneş Enerjisi

Türkiye'nin coğrafi konumu güneş enerjisinin maksimum seviyede kullanılmasını sağlar. Yıllık ortalama güneş radyasyonu $3.6 \text{ kWh} / \text{m}^2\text{-gün}$ iken, toplam radyasyon periyodu yaklaşık 2640 saattir. Aylık güneş enerjisi değerleri Çizelge 4.4'te verilmektedir. Güneş enerjisi değerlendirmelerine göre; Güneydoğu Anadolu Bölgesi en yüksek güneş enerjisi potansiyeline, Akdeniz Bölgesi ise Türkiye'de en yüksek ikinci güneş enerjisi potansiyeline sahiptir (Kaygusuz ve Sarı 2003).

Çizelge 2.4. Türkiye'de aylık ortalama güneş enerjisi değerleri

Aylar	Aylık Toplam Güneş Enerjisi (3,6 kWh/m ² -gün)	Güneşlenme süresi (saat/gün)
Ocak	51.75	103
Şubat	63.27	115
Mart	96.65	165
Nisan	122.23	197
Mayıs	153.86	273
Haziran	168.75	325
Temmuz	175.38	365
Ağustos	158.40	343
Eylül	123.28	280
Ekim	89.90	214
Kasım	60.82	157
Aralık	46.87	103
Toplam	1311	2640
Average	3.6	7.2

Ülkemizde en sık kullanılan sıcak su ısıtma güneş kolektörleri sistemleridir. Türkiye'de yüklü güneş enerjisi hal miktarı 2001 yılı için yaklaşık 7,5 milyon m²'dir. Bu sistemlerin çoğu Akdeniz ve Ege bölgelerinde kullanılmaktadır, yılda yaklaşık 290 bin TEP ısı enerjisi üretilmektedir. Sektörde 100'den fazla imalat şirketi olduğu ve 2000 kişinin istihdam edildiği tahmin edilmektedir. Yıllık üretim hacmi 750 bin m² olup, bu üretimin bir kısmı ihraç edilmektedir. Bu nedenle, ülkemiz dünyadaki güneş kolektörünün önemli bir üreticisi ve kullanıcısıdır (Türkiye Çevre Vakfı 2003).

Türkiye'de güneş enerjisinin kullanımı (sıcak su elde etmek hariç) genel olarak bilinmemekte, tanıtımı yapılmamakta ve devletçe teşvik edilmemektedir. Bu nedenle, bu alanda hizmet verecek mühendislik, danışmanlık ve müteahhitlik firmaları ve ilgili endüstriler

gelişmemektedir. İlk yatırım maliyeti yüksek olan, ancak yakıt maliyetlerinin olmaması nedeniyle çevre ile uyumlu, güneş tabanlı enerji üretim sistemlerinin gerçekleştirilmesi için gerekli uzun vadeli finansman sağlandığında bu kaynağın en iyi şekilde yararlanmanın yolu ülkemizde açılmış olacaktır (Binark A. K. 2004)

Güneş Enerjisinin Çevresel Etkileri

Güneş enerjisi sistemleri kamuya ve sanayilere temiz ve güvenli enerji sağlasa da, diğer insan yapımı projelere benzer şekilde, güneş enerjisi sistemlerinin çevre üzerinde belirli etkileri vardır. Bu sistemlerle ilgili çevresel sorunların çoğu, genellikle uygunluk kaybına neden olan projelerin boyutlarına (büyüklüğü ve doğası) bağlıdır (Tsoutsos vd. 2005).

Farklı güneş enerjisi sistemlerinin çevre üzerinde farklı etkileri vardır. Örneğin, PV (Fotovoltaik) sistemleri kullanım sırasında herhangi bir gürültü veya kimyasal kirletici madde üretmez (Tsoutsos vd., 2005). Bununla birlikte, çoğu yaşam döngüsü ile ilgili olan diğer çevresel kaygılar PV sistemleri için mevcuttur. Bu kaygılar, PV modülleri hizmet dışı bırakıldıktan sonra nakliye, üretim ve atık yönetimi sırasında oluşan hava kirliliğidir. Öte yandan, PV sistemlerinin doğrudan etkileri arazi kullanımı ve görsel etki ile ilgilidir. Görsel etki, PV sistemlerinin çevresine bağlıdır. PV modülleri doğal güzellik alanının yakınında konumlandırılmışsa, bu alandaki görsel etki kaçınılmaz olacaktır (Tsoutsos vd. 2005).

PV sistemlerinin arazi kullanımına etkisi; PV sistemlerinin kapsadığı arazinin alanına, arazinin türüne (ekilebilir arazi büyük ölçekli tesisler tarafından zarar görmüş olabilir) ve doğal güzelliğin veya hassas ekosistemlerin alanlarına ve biyolojik çeşitliliğe olan mesafeye bağlıdır. (Tsoutsos vd., 2005). Ayrıca, Türkiye'deki tarım arazileri 5403 Sayılı Toprak koruma ve Arazi Kullanım Kanunu ile korunmaktadır (). Toprak Koruma ve Arazi Kullanım Kanunu'na göre, arazinin doğal fonksiyonlarını sürdürebilmek için tarımsal alan korunmalıdır. Bununla birlikte; savunma, petrol ve doğal gaz araştırmaları, kamu yararı için madencilik faaliyetleri, doğal afetler sonrası geçici yerler, tarım arazileri gibi bazı tesisler için alternatif bir yer yoksa kalkınma için tarım arazileri kullanılabilir (5403 sayılı kanun 2005).

Carrion ve diğ. (2008), şebekeye bağlı PV modüllerinin yer seçimi için çevresel karar destek sistemi geliştirmiştir. Öncelikli bölgeleri belirlemek için çevresel konum ve iklim kriterleri kullanılır. Bu kriterler faktörlere ayrılmıştır. Çevresel ölçütlerde, arazi kullanımı ve

PV modüllerinin görsel etkisi olan iki faktör vardır. Bunun yanı sıra arazi kullanım kısıtlamaları çevre koruma yasalarına dayanmaktadır.

Carrion ve diğ. (2008)'na göre, arazi kullanım kısıtlamaları çevre koruma yasalarına dayanmaktadır. PV sistemleri için en çok tercih edilen yerler, bitki örtüsü olmayan alanlardır. Türkiye'deki çevre koruma yasaları; orman alanları, milli parklar, doğal koruma bölgeleri, kıyı şeridi ve sulak alanlar ile ilişkilidir. 6831 sayılı Orman Kanunu'na göre, ormanlık alanda her türlü inşaat yapılması yasaktır. Bununla birlikte, Çevre ve Orman Bakanlığı; bu faaliyetlerin halkın ilgisini çeken ormanlık alanlara inşa edilmesi için çok gerekli olması durumunda; savunma, altyapı, iletişim, petrol araştırmaları, doğal gaz, katı atık bertaraf kurumları için inşaatlara izin verilebileceğini ifade etmektedir (Kanun no: 6831 1956).

Ormanlık alanlara benzer şekilde, milli parklardaki yapılar da Türkiye'deki mevzuatla sınırlandırılmıştır. 2873 sayılı Milli Parklar Kanunu'na göre; yaşam alanlarını olumsuz yönde etkileyen yapılar, bu alanların korunması gerektiği için milli parklar üzerine inşa edilemez. Yalnızca ziyaretçiler, yönetim ve araştırma yapılarına izin verilir (Resmi Gazete numarası: 19309 1983). Ek olarak, doğal varlıkları korumak ve çevresel bozulmayı azaltmak için önlemler almak amacıyla 2872 Sayılı Çevre Kanunu ve uluslararası koruma anlaşmalarına göre ulusal koruma bölgeleri belirlenmiştir. Bu alanlar ekolojik olarak hassas kabul edilir ve yalnızca restoranlar, mağazalar, bakım ve onarım tesisleri vb. gibi doğaya uygun yapılara izin verilir (Resmi Gazete numarası: 20341 1983).

PV sistemlerinin ekosistem üzerinde toksik ve tehlikeli maddelerin serbest bırakılması ile ilgili başka olumsuz etkileri de vardır. PV modülleri, toksik ve tehlikeli maddeler içerdiğinden, anormal tesis işlemleri bu toksik maddelerin çevreye boşalmasına neden olabilir. Bununla birlikte, bitişik bölgelerdeki flora ve fauna dikkate alınarak doğru yer seçimi riskleri azaltabilir (IEA, 1998). Bu nedenle, yüksek ekolojik değerlere ve biyolojik çeşitliliğe sahip olduklarından, PV sistemlerinin saha seçiminde sulak alanların dikkate alınması gerekir. 3958 sayılı Sulak Alanların Korunması Yönetmeliği'ne göre, bu alanların ekolojik ve topografik özelliklerini korumak için en az 2,5 km tampon bölge bulunmalıdır (Resmi Gazete No: 21937 1994).

Güneş ısı ısıtma ve güneş ısı elektrik sistemleri gibi diğer güneş enerjisi sistemleri de arazi kullanımına ve görsel etkilere sahiptir. Ek olarak, güneş enerjisi sistemleri elektrik üretmek için soğutucu su kullanmaktadır. Bu, termal deşarjlar sırasında su kaynaklarının kirlenmesine neden olabilir. Soğutma suyu sıvı su veya erimiş tuzları içerir ve bu malzemelerin salınması sağlık tehlikesine neden olabilir (IEA 1998).

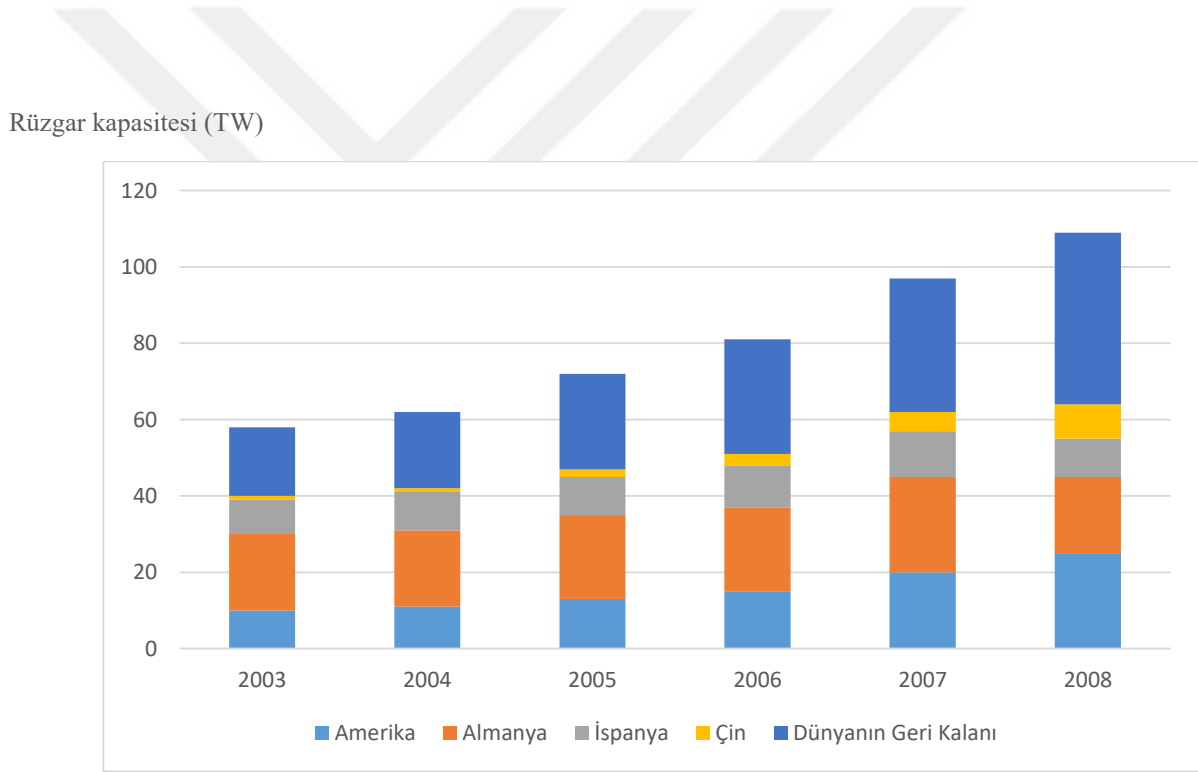
Rüzgar enerjisi

Farklı sıcaklıktaki hava kütleleri yer değiştirdiğinde rüzgar enerjisi oluşur. Dünyaya ulaşan güneşten gelen enerjinin sadece yüzde 1 veya 2'si rüzgar enerjisine dönüşür. Rüzgar türbinleri, yenilenebilir nitelikteki havayı elektrik enerjisine dönüştürür. Rüzgar enerjisi yenilenebilir enerji kaynaklarında çok aktiftir. Sıfır karbon emisyonu vardır. Rüzgar türbinlerinin çalışması çevreye zararlı gazların emisyonuna neden olmadığından, herhangi bir iklim değişikliğine yol açmamaktadır. Konvansiyonel enerji santrallerinin aksine, yakıt maliyetlerini ve uzun vadeli risklerle ilgili yakıt fiyatlarını enerji güvenliği açısından ortadan kaldıran ve diğer ülkelere ekonomik, politik ve tedarikle ilgili destek açısından bağımlılığı azaltan yerli ve mevcut bir kaynaktır (Energy Ministry Of Turkey, 2009).

Binlerce yıldır enerji amaçlı çok çeşitli rüzgâr kullanımları olmuştur. Rüzgar enerjisinden elektrik üretimi bir asır önce başlamıştır. 1970 petrol krizi, tarla tarımı, otlatma ve sulama gibi amaçlarla rüzgar türbinlerinin gelişimi başlatılmıştır. Modern rüzgar türbinleri, 1 ila 30 metre arasında değişen kanat çaplarına sahip 2-3 kanat içerir. Rüzgar türbinlerinden elde edilen enerji, o bölgedeki rüzgar hızına ve kanat uzunluğuna bağlıdır. Rüzgar enerjisi temiz ve çevre dostu bir enerji kaynağıdır (Solar 2010).

Enerji Bakanlığı'na göre, dünyanın toplam rüzgar kaynağının 53 TWh / yıl olduğu ve şu anda toplam kurulu rüzgar enerjisi gücünün 40.301 MW olduğu tahmin edilmektedir. Bu gücün üçte biri Almanya'dadır. 2020'de 1.245 GW dünya rüzgar enerjisi hedefine ulaşmak için gerekli yatırım miktarı 692 milyar Euro'dur. O zamana kadar üretim maliyetlerinin 3,79 Euro-sent / kWh'den 2,45 Euro-sent / kWh'ye düşmesi beklenmektedir. Rüzgar türbinlerinde küresel iş hacmi 2020 yılına kadar yıllık 8 milyar Euro'dan 80 milyar Euro'ya yükselecektir. Toplam potansiyeli en az 48.000 MW ve yıllık ortalama 7,5 m / s olan bölgelerde potansiyel olarak yapılması mümkündür (Energy Ministry Of Turkey 2009).

Aşağıda yer alan Şekil 2.9'da, 2003'ten 2008'e kadar borsaların beş yıllık orta vadeli süresi boyunca, rüzgar enerjisinin önemi gösterilmiştir. Almanya ve ABD'deki gelişmeler açık bir şekilde görülmektedir. Çin'in bu sektöre yaptığı yatırımın 2005'ten sonra daha aktif hale geldiği göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca dünyanın geri kalanında, enerji tesisatıyla ilgili eğilimler artmaktadır. Amerika, Almanya ve İspanya ile karşılaştırıldığında bile, dünyanın geri kalanı bu kaynaklara ciddi bir ilgi sağlamıştır. Bu kaynak, kurulumu maliyetli olmadığından büyük bir yatırım gerektirmemektedir. Bu kaynak için en önemli şey hava sirkülasyonudur (Finley 2009).



Şekil 2.15. Rüzgar kapasitesi (2003-2008) (Finley 2009).

Avrupa'da en büyük kurulu güç (rüzgar enerjisi) Almanya'dadır. Almanya'yı Danimarka, Hollanda, İngiltere, İspanya, İsveç, İtalya ve Yunanistan izlemektedir. Ülkemiz, kıyı bölgeleri rüzgar enerjisi bakımından zengindir: bu bölgeler; Marmara, Ege, Akdeniz ve Karadeniz'dir. 15.000 türbinli, dünyanın en büyük rüzgar enerjisi çiftliği, Amerika Birleşik Devletleri'nde Altamonte Geçidi'nde bulunmaktadır (Solar 2010).

Türkiye'de önemli rüzgar enerjisi kapasitesi vardır ancak yalnızca 380 Mw güç kurulum kapasitesi bulunmaktadır. Enerji Bakanlığı web sitesi ve 2007 yılında kurulan Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA) uyarınca, ülkemizin yıllık rüzgar hızı; 8,5 m/s olan bölgelerde 5.000 MW minimum rüzgar enerjisi potansiyeline sahip olduğu hesaplanmaktadır. Daha yüksek ve rüzgar hızı 7, 0 m / s'den daha yüksek olan 48.000 MW olan bölgelerde 2004 yılı itibariyle sadece 18 MW seviyesinde olan kurulu rüzgar enerjisi gücünü artırma çabalarında ilerleme kaydedilmiştir. Rüzgar enerjisi için kurulu gücümüz 2008 yılı başından itibaren 354,7 MW seviyesine ulaşmıştır. Yenilenebilir Enerji Kanunu'nun etkisi ile toplam 3.363 MW kurulu güce sahip 93 yeni rüzgar projesine ruhsat verilmiştir. Bu projelerden 1.100 MW kurulu güce karşılık gelen santraller şu anda yapım aşamasındadır (Energy Ministry Of Turkey 2009).

Alternatif Bir Kaynak Olarak Rüzgâr Enerjisinin Değerlendirilmesi

Rüzgarlar, dünyadaki güneş ısınmasının eşit olmayan şekilde dağılmasının bir sonucu olarak ortaya çıkar. Topografyanın özelliklerine göre rüzgâr hızı ve yönü farklı olabilir (Brower 1992). Diğer yenilenebilir enerji kaynakları kadar, insanların fosil yakıtlar gibi daha güvenilir enerji kaynakları kullanmasına neden olan modern sanayileşmeye kadar yüzyıllardır rüzgar gücünden yararlandığını belirtmektedir. Bununla birlikte, 1970'lerin ortasında meydana gelen petrol krizi, ülkeleri fosil yakıtlara bağımlılığı ortadan kaldırmak için yeni enerji kaynakları aramaya zorlamıştır (IEA 2006).

Rüzgar enerjisi gibi yeni enerji kaynaklarının uygulanmasında, fosil yakıtlara bağımlılığın azaltılması ülkelerin tek endişesi değildir. Rüzgar enerjisinin bir diğer önemli katkısı, CO₂ emisyonlarını azaltma ve çevre koruma konusundaki yardımlarıdır (Caralis vd. 2008). Rüzgar türbinleri, güç üretirken atmosferik emisyon yaymaz (Bilgili ve Şimşek 2010).

Birçok araştırmacı, rüzgar enerjisinin ekonomik faydaları, saha seçim prosedürleri, çevresel etkiler vb. rüzgar enerjisinin çeşitli yönleri üzerinde çalışmaktadır. Örneğin, Williams ve ark. (2008); bir rüzgar enerjisi sistemi kurmanın ve işletmenin ekonomik faydalarını değerlendirmek için Monte Carlo simülasyonu ile birlikte bir ekonomik girdi / çıktı analizi uygulamışlardır.

CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi) araçlarını kullanarak rüzgar enerjisi sistemlerinin değerlendirilmesi, son zamanlarda popüler olmuştur. Rodman ve Meentemeyer (2006), rüzgar türbinleri için saha uygunluğunu değerlendirmede CBS kullanarak analitik bir çerçeve önermiştir. Çerçeve, farklı senaryolarla ilişkili kuralla dayalı mekansal analiz içermektedir. Uygunluk kriterleri fiziksel gereksinimlere, çevresel ve insan etki faktörlerine dayanmaktadır. Çalışma ayrıca, rüzgar santrallerinin halk tarafından kabul seviyesini belirlemek için halk algısını da içermektedir. Başka bir yer seçimi çalışması Parry'in 2001 yılında yapmış olduğu rüzgar santrallerinin konumlandırılması adlı çalışmada İngiltere'deki rüzgar santrallerinin yer seçimi için iki farklı yaklaşım önerilmiştir. Rüzgar çiftliği lokasyon kriterleri iki farklı yaklaşım kullanılarak birleştirilmiştir. İlk olarak, tüm katmanların eşit derecede önemli olduğu kabul edilmiş, bu nedenle tüm ölçütlere eşit ağırlıklar verilmiştir. İkinci yaklaşımda, katmanlar önem düzeylerine göre gruplanarak 0 ile 10 arasında derecelendirilmiştir. 0 ideal yerleri belirtirken, 10 uygun olmayan yeri temsil etmektedir. Bu çalışmanın temel amacı, rüzgâr çiftliği sahası seçiminde karar verme sürecine yardımcı olmaktır.

Türkiye'nin rüzgar potansiyeli, Elektrik Enerjisi Kaynakları Araştırma ve Geliştirme İdaresi Genel Müdürlüğü tarafından incelenmiştir ve Türkiye rüzgar enerjisi atlası geliştirilmiştir. Çeşitli araştırmacılar; rüzgar enerjisi potansiyeli ile rüzgar enerjisinin teknolojik ve ekonomik yönleri üzerinde de çalışmışlardır. Örneğin, Eskin vd. (2008), Gökçeada'nın Türkiye'deki rüzgar enerjisi potansiyelini değerlendirmiştir. Rüzgar verileri, rüzgar hızı dağılım eğrilerinin üretilmesi için Weibull olasılık yoğunluğu fonksiyonları ile toplanmış ve temsil edilmiş; bunun sonucunda Gökçeada'nın rüzgar enerjisi potansiyeli olduğu sonucuna varılmıştır. Daha yakın tarihli bir çalışmada, Uçar ve Balo (2009); Uludağ'ın Türkiye'deki rüzgar karakteristiğini ve rüzgar enerjisi potansiyelini tanımlamıştır. İlk olarak, rüzgar hızı verileri toplanmış ve daha sonra bu veriler Weibull ve Rayleigh olasılık yoğunluğu fonksiyonları kullanılarak analiz edilmiştir. Teknik ve ekonomik değerlendirmeler yapılmış ve son olarak üç farklı rüzgar türbinü seçilerek elektrik enerji maliyetleri hesaplanmıştır.

Türkiye'de Rüzgar Enerjisi

İlk Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Atlas, 2002 yılında Türkiye Devlet Meteoroloji Servisi ve Elektrik Enerjisi Kaynakları Araştırma ve Geliştirme İdaresi Genel Müdürlüğü tarafından üretildi (Türkiye Çevre Vakfı 2006). Türkiye'deki rüzgar enerjisi dağılımı hakkında genel bir

fikir verir. Rüzgar Atlası'na göre, Ege, Marmara ve Türkiye'nin Akdeniz bölgelerinin doğu bölgeleri 50 m yükseklikte yüksek rüzgar potansiyeline sahiptir. Günümüzde Türkiye'nin mevcut rüzgar potansiyelinin 88000 MW, teknik potansiyelin 10000 MW olduğu varsayılmaktadır (Türkiye Çevre Vakfı 2006).

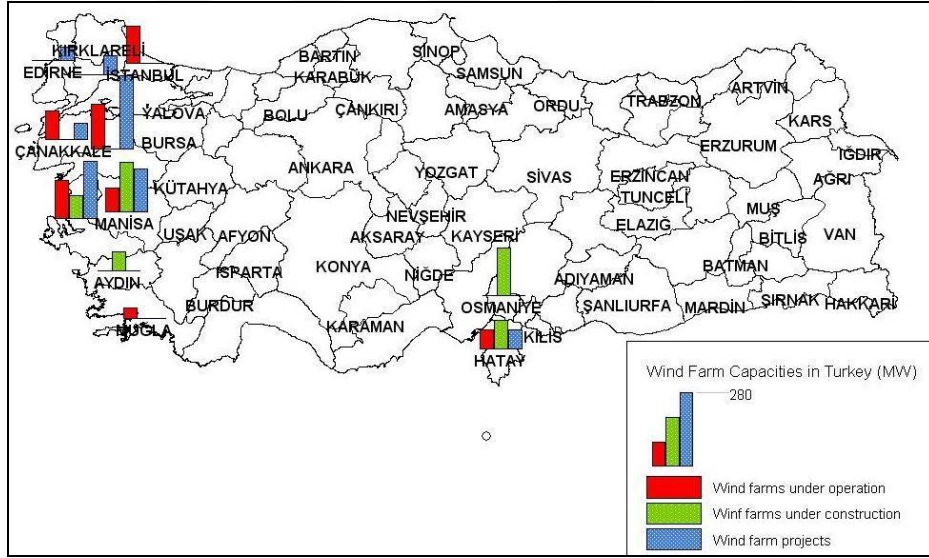
2009 yılı Elektrik Enerjisi Kaynakları Araştırma ve Geliştirme İdaresi Genel Müdürlüğü verilerine göre, Türkiye'de 17 operasyonel rüzgar santrali bulunmaktadır. Bu rüzgar santrallerinin çoğu İzmir ve İstanbul'dadır; ancak en büyük rüzgar santrali kapasitesi 120 MW olup Balıkesir - Samlı'da bulunmaktadır. Ayrıca, yapım aşamasında 7 adet rüzgar çiftliği bulunmaktadır. Bu rüzgar santrallerinin yeri ve kapasiteleri Çizelge 3.1'de görülmektedir. Türbin tedarik sözleşmesi olan 15 proje bulunmaktadır. Çizelge 3.2'de görülebileceği gibi, bu projelerin çoğu Balıkesir ve İzmir'de bulunmaktadır. Yapım aşamasında olan rüzgar santrallerinin kapasiteleri, çalışan rüzgar santralleri ve türbin tedarik sözleşmeli projeleri de Şekil 2.16'da görülebilir. Ayrıca, rüzgar enerjisi için 117 yeni uygulama var ve özel şirketlere 53 adet ruhsat verildi.

Çizelge 2.5. Türkiye'de 2009 Yılı Faaliyetine Giren Rüzgar Çiftlikleri

Yer	Toplam Kurulu Güç (MW)	Rüzgar Çiftliği Sayısı
İzmir	90.4	4
Çanakkale	55.5	3
İstanbul	86.05	4
Balıkesir	120	2
Manisa	41.4	2
Hatay	30	1
Muğla	10	1
Total	433.35	17

Çizelge 2.6. Türkiye'de 2009 Yılı Türbin Tedarik Sözleşmeli Rüzgar Çiftliği Projeleri

Yer	Toplam Kurulu Güç (MW)	Rüzgar Çiftliği Sayısı
Balıkesir	277.4	5
Tekirdağ	28.8	1
Çanakkale	20.8	1
Hatay	30	1
Manisa	115.6	2
Edirne	15	1
İzmir	180	4
Total	667.6	15



2009

Şekil 2.16. Türkiye'deki rüzgar çiftliği kapasiteleri

Rüzgar Enerjisinin Çevresel Etkileri

Rüzgar enerjisinin çeşitli çevresel etkileri bilim adamları tarafından yaygın olarak kabul edilmektedir. Bu etkiler, hayvan habitatları (özellikle kuş çarpışmaları), gürültü oluşumu,

görsel etki, güvenlik sorunları ve elektromanyetik girişim üzerindeki etkiler olarak sıralanabilir. Her rüzgar türbini için ortalama kuş çarpması yılda 0,1 ile 0,6 arasındadır. Rüzgar türbinlerinin dönen kanatları, kuşların gözlerinde bulanık görüntüye neden olur. Bu nedenle kuşlar, kuşların çarpışmasına neden olan bu görüntünün içinden geçmenin, güvenli olduğunu düşünürler (Morrison ve Sinclair 2004). Kuş çarpışmalarını gidermek için, rüzgar türbinlerinin kuşların geçiş yollarından belirli bir mesafede konumlandırılması gerekir. Yue ve Wang (2006)'a göre; rüzgar türbinleri, vahşi yaşamı koruma alanlarından en az 500 metre uzakta bulunmalıdır. Clarke (1991)'a göre ise rüzgar türbinlerinin kuş habitatından en az 300 m uzağa yerleştirilmesi kuşların korunmasını sağlayabilecektir.

Rüzgar enerjisinin habitat üzerindeki diğer bir etkisi de gürültüdür. Toplulukların algılanmasına bağlı olarak kabul edilebilir gürültü seviyeleri konusunda bazı düzenlemeler olmasına rağmen, ortak gürültü ilkeleri oluşturmak kolay değildir.

Rüzgar türbinlerinin diğer bir yan etkisi olan görsel etki, bireyler arasında değişmektedir. Ramirez-Rosado ve diğ. (2008)'na göre; rüzgar enerjisi temiz enerji imajını oluşturduğundan, bazı insanlar onları görmekten keyif alabilir. Öte yandan, diğer insanlar kentsel peyzaj üzerinde olumsuz etkileri olduğunu düşünebilirler. Baban ve Parry'in 2001 yılında yapmış olduğu çalışmada rüzgar türbinlerinin estetik kaygılar nedeniyle büyük yerleşim yerlerinden 2000 m uzağa yerleştirilmesi gerektiğini belirtmektedir.

Voivontas ve diğ. (1998), güvenlik nedenlerinden dolayı şehirlerden minimum mesafenin 1000 m olması gerektiğini ve aynı etkinin görsel etkiyi azaltmak için de geçerli olduğunu belirtmiştir. Nguyen (2007), Vietnam'da rüzgar enerjisi üzerine çalışmış ve şehir merkezlerinin etrafındaki 2000 m'lik bir tampon bölgenin güvenlik ve görünürlükle ilgili nedenlerden dolayı rüzgar gelişimi için uygun olmadığı sonucuna varmıştır.

Nguyen (2007)'e göre, rüzgar türbinlerinin yerini seçerken göz önünde bulundurulması gereken diğer bir kısıtlama da; güvenlik ve görünürlük nedenlerinden dolayı havaalanlarına yakınlıklarıdır. Nguyen (2007), rüzgâr türbinlerinin en yakın havaalanı bölgesinden en az 2500 m uzakta olması gerektiğini belirtmiştir. Ayrıca, Türkiye'deki Sivil Navigasyon Genel Müdürlüğü, havaalanları etrafındaki yapılar hakkında bazı kısıtlamalar getirmektedir. Temel olarak, bu kısıtlamalar; uçuş güvenliğini, insan hayatını ve mallarını korumayı amaçlar. İlk

3000 m bölgesinde; hastaneler, okullar veya yansımaya neden olabilecek ortak binalar gibi hiçbir yapı olmamalıdır. İkinci 3000 m alanda ise 45 metreden daha az yükseklikteki binalara izin verilmektedir (Sivil Navigasyon Genel Müdürlüğü 2007).

Gelgit enerjisi

Gelgit enerjisi, insanlar tarafından kullanılan en eski enerji formlarından biridir. Nitekim İspanyol, Fransız ve İngiliz kıyılarında kullanılan gelgit değirmenleri M.S. 787'e kadar geri gitmektedir. Gelgit değirmenleri, bir su birikintisi içinden gelen (taşkın) gelgit tarafından doldurulmuş ve geçerken gelgit sırasında boşaltılmış bir depolama havuzundan oluşmuştur. Gelgitler su çarklarını çevirmiş ve değirmen tahılı için mekanik güç üretmiştir (<http://www.eonturcasdenizlienerjisantrali.com/>).

Gelgit enerjisi arzı güvenilir ve fazladır ancak onu yararlı elektrik enerjisine dönüştürmek kolay değildir. Dünyada, 8 tanesi İngiltere'de bulunan, gelgit santrallerinin kurulumuna uygun görülen 20 tanınmış saha bulunmaktadır. Gelgit istasyonları hidroelektrik santrallerine benzer şekilde çalışır ancak daha büyük barajlar gerektirir. Dünyanın en büyük gelgit santrali (ve Avrupa'da tek olan), 1966 yılında inşa edilen Kuzey Fransa'daki St. Malo yakınlarında bulunan Rancé eyaletindedir. Gelgit enerji santralleri, büyük çaplı bir bölgeyi korumak da dahil olmak üzere birçok avantaj sağlayacaktır. Fırtına gelgitlerinden kaynaklanan hasara karşı sahil şeridi ve hazır bir yol köprüsü sağlanması gerekmektedir. Bununla birlikte, haliçteki akıntılarda meydana gelen şiddetli değişikliklerin ekosistem üzerinde çok büyük etkileri olabilir ve gelgit beslendiğinde hiçbir yere sahip olamayacak şekilde, haliçteki çamur düzlerinde beslenen çok sayıda kuş bulunmaktadır (Energy Resources 2010).

Gelgit gücü yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Kirlenici, güvenilir ve öngörülebilir değildir. Kışlalar (deniz altı gelgit türbinleri) rüzgar türbinlerine benzer, ancak denizin gücü tarafından tahrik edilir. Katkıları rüzgâr veya hidroelektrik enerjisine benzer.

Gelgit aralığı, bölgeden bölgeye geniş bir aralıkta (4.5-12.4m) değişebilir. Ekonomik çalışma ve türbinler için yeterli su basıncı için en az 7 m gelgit aralığı gerekir. (<http://www.eonturcasdenizlienerjisantrali.com/>).

Okyanus Enerjisi Konseyi'nin belirttiği gibi, “Kuzeybatı Pasifik'ten çıkan sular yeni geliştirilen denizaltı türbinlerini kullanarak bir güç okyanusuna girmek için idealdir. Kuzeybatı sahili boyunca gelgitler günde 12 feet kadar çarpıcı bir şekilde dalgalanmaktadır. Özellikle Alaska, Britanya Kolombiyası ve Washington kıyıları olağanüstü enerji üretme potansiyeline sahiptir. Atlantik sahilinde, Maine de mükemmel bir adaydır. Deniz altı ortamı sert olduğundan makinenin sağlam olması gerekir ” (<http://www.eonturcasdenizlienerjisantrali.com/>).

Hidroelektrik enerji

Hidroelektrik santralleri dünyadaki en yaygın yenilenebilir enerji kaynağıdır. Bunun nedeni; çevre dostudur ve düşük risk potansiyeline sahiptir. Hidroelektrik santralleri; çevre dostu, temiz, yenilenebilir, uzun ömürlü ve verimli bir işletme kaynağıdır ve düşük işletme maliyetine sahiptir. Harici olarak bağımlı olmayan ve aynı zamanda enerji fiyatları için sigorta görevi gören yakıt maliyeti yoktur (Solar 2010).

Hidroelektrik santral teknolojisi, uzun süredir geliştirilmiştir. Artık hemen hemen her ülkede yaygındır. Hidroelektrik enerji önce kinetik enerjiye, daha sonra da jeneratörler yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürülür. Hidroelektrik enerji üretimi 1927'de başlamıştır. Daha önceleri, 1910'dan sonra; bu tür enerji için büyük barajlar ve hidroelektrik santrallerinin kurulmasından önce Avrupa, Kuzey Amerika ve Japonya'daki türbinlerden üretilmiştir (Yücel 1994).

Hidroelektrik santrallerin yapılandırılması maliyetlidir ancak üretim başladıktan sonra bu enerji çok verimlidir. Kapasite kullanım oranı diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından çok daha yüksektir. Yapım aşamasında büyük hidroelektrik santral barajları kurulu olmalıdır. Devlet desteği veya dış finansman sürecinde baraj kurulum finansmanı için gereken çok büyük yatırımlar kaçınılmazdır.

Türkiye'de 26 adet nehir havzasında hidroelektrik santral kurulmuştur. Enerji üretimi payının dağılımı; Fırat'ta %17, Dicle'de %11, Doğu Karadeniz'de %8, Doğu Akdeniz'de %6, Antalya'da %5,9, Batı Karadeniz %5'dir. Enerji santralleri inşa edilirken, yatırım maliyetleri

gerçekten aşırıdır ve bu, inşaatın tamamlanmasını geciktirir, çünkü gerekli fonları bulmak zordur. İnşaatı geciktiren bir diğer faktör ise yağıştır (Solar 2010).

Enerji Bakanlığı'nın 2008 verilerine göre, Türkiye'de teknik olarak uygulanabilir hidroelektrik potansiyel, 36000 MW gücündedir. Bu, toplamda gerçekten yüksek bir orandır. Halen işletilmekte olan 150 hidroelektrik santrali (HES) 13830 MW kurulu güce ve toplam potansiyel gücün %38'ine tekabül etmektedir. 2008 yılında üretilen elektriğin % 16,77'si hidroelektrik santrallerinden gelmektedir. 2004 yılında, hidroelektrik santralleri 46 milyar kWh enerji üretmiştir. 2004'den 2008'e kadar 600 MW'lık yeni bir hidroelektrik santrali devreye alınmış olmasına rağmen, Türkiye için 2008 yılına ait hidroelektrik üretimi 33 milyar kWh seviyesinde kalmıştır. Arızalar, bakım / onarım çalışmaları, operasyonel politikalar, taslaklar vb. nedenlerden ötürü, enerji üretiminde toplam kapasite kullanımı %73 civarındadır. Kapasite kullanımı termik santrallerde %68, hidroelektrik santrallerde %94'tür (Solar 2010).

Alternatif Bir Kaynak Olarak Hidroelektrik Enerjinin Değerlendirilmesi

Barajlardaki suyun, elektrik üreten santralleri çalıştırması ile oluşan enerjiye hidroelektrik enerji denir ve bu enerji yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelir. Temel olarak nehirlerle karışan yağmur suyu ya da eriyen kar, su enerjisine barajlar yardımıyla dönüştürülebilir. Su toplama havzalarında bırakılan su, dik borulardan aşağıya hızla akar ve türbinleri döndürür. Bu türbinlere bağlı olan jeneratörlerle de elektrik üretilir. Hidroelektrik santraller, büyük ölçekli ve küçük ölçekli olmak üzere iki gruba ayrılır. Ancak büyük ölçekli hidroelektrik santrallerin sürdürülebilirliği de tartışmalıdır (http://www.bbc.co.uk/turkish/indepth/story/2006/02/060216_energy_renewables.shm).

Su enerjisi birçok Avrupa ülkesinde, özellikle İskandinavya'da ana enerji kaynağıdır. Su rezervleri oluşturmak için barajlar kurulmaktadır (http://www.bbc.co.uk/turkish/indepth/story/2006/02/060216_energy_renewables.shm).

Norveç, enerji ihtiyacının %99'unu hidroelektrik santrallerden karşılamaktadır. Gelişmiş ülkeler, hidroelektrik potansiyellerini neredeyse tamamen geliştirip devreye sokmuş durumdadır ve bu alanda genişleme potansiyelleri yoktur. Hatta ABD gibi bazı ülkelerde tam tersine, yol açmış oldukları çevre değişiklikleri nedeniyle bazı mevcut barajların kaldırılarak,

su yollarının eski haline getirilmesi düşünülmektedir. Bu konuda en büyük genişleme potansiyeli, gelişmekte olan ülkelerdedir. Fakat Çin, Hindistan, Malezya, Türkiye (İlusu) gibi bazı ülkelerin büyük çaplı projeleri de aynı yönde eleştiriler almaktadır. Dolayısıyla küçük çaplı barajlara yönelinmesi de söz konusudur. Dünya elektrik enerjisi gereksiniminin %18'i hidroelektrik santrallerden sağlanmaktadır ve iletim şebekesinin ulaşmakta zorluk çektiği uzak ve küçük yerleşim merkezlerinde ekonomik olabilecektir (Altın 2002).

Türkiye’de Hidroelektrik Enerji

Türkiye’de elektrik ihtiyacının %35’lik kısmı hidroelektrik santrallerden elde edilmektedir. Keban, Karakaya, Atatürk, Hirfanlı, Seyhan, Kemer ve Demirköprü gibi birçok baraj, elektrik ihtiyacımızı karşılamaktadır. Dışarıya akıntısı olan bazı göllerimiz, tabii baraj özelliğindedir ve bunlardan elektrik üretilir. Başlıcaları; Hazar, Çıldır, Tortum ve Kovada gölleridir. Hidrolik potansiyel ulusal ve yenilenebilir bir kaynaktır. HES'lerin ekonomiye faydaları ve yerli yapım oranının diğer santrallere oranla daha yüksek olması gibi sebepler dikkate alınarak, hidroelektrik potansiyelini değerlendirme oranının önümüzdeki 20 yıl içerisinde asgari %90 düzeyine getirilmesi ülkemizin yararına olacaktır.

DSİ Hidroelektrik Enerji Raporu (2010)’na göre Türkiye’de 172 hidroelektrik santrali bulunmaktadır. Bu santraller 13.700 MW kurulu güce ve ekonomik potansiyelin %35’ine karşılık gelen 48.000 GWh yıllık ortalama üretim kapasitesine sahiptir. 148, 8.600 MW kurulu bir kapasiteye ve toplam %14 potansiyeline sahip 20.000 GWh yıllık üretim kapasitesine sahip 148 HES halen inşa halinde bulunmaktadır. Geriye kalan 72.540 GWh/yıl’lık potansiyeli kullanabilmek için ileride Türkiye’de 1.418 HES yapılacak ve ilave 22.700 MW kurulu güçle hidroelektrik santrallerin toplam sayısı 1.738’e çıkacaktır. Gelecekte yapılacak HES ile Türkiye’nin toplam ekonomik kurulu gücü olan 45.000 MW, 1.738 HES ile ülkenin nehirlerindeki tüm ekonomik hidroelektrik enerji potansiyelden faydalanılması söz konusudur (DSİ, Hidroelektrik Enerji Raporu 2010).

Biyo-dizel yakıt

Biyo-dizel yakıt; kanola, ayçiçeği, soya, aspir vb. gibi yağlı tohumlara sahip bitkilerden elde edilen hayvansal ve bitkisel yağlardan üretilir. Evsel kızartma yağları ve hayvansal yağlar da biyodizel hammadde olarak kullanılabilir. Biyodizel yakıt petrol içermez ancak saf halde yakıt olarak veya herhangi bir oranda petrol bazlı dizel ile karıştırılarak kullanılabilir (Solar 2010).

Biyokütle, fotosentez ile elde edilen bir enerji örneğidir ve çevre dostudur. Modern biyokütle kaynakları arasında orman ürünleri, ormancılık ve ağaç endüstrisi atıkları, tarım ürünleri, bitki ve hayvan atıkları, kentsel atıklar, tarımsal ve endüstriyel atıklar bulunmaktadır (Demirbaş 2000).

Biyokütle; biyodizel, biyoetanol ve biyogaz şeklinde kullanılır. Biyodizelin parlama noktası; kullanım, nakliye ve depolama sırasında biyodizelin daha güvenli bir yakıt olmasını sağlayan dizelden ($> 110\text{ }^{\circ}\text{C}$) daha yüksektir. Biyokütle yakıtı, ısı ve elektrik üretmek için kullanılır. Bu yakıt, geleneksel yakıt teknolojilerine benzer teknolojiler gerektirir.

Biyo-dizel, çok soğuk bölgeler hariç, dizellerin kullanıldığı her yerde kullanılabilir bir tür yakıttır. Biyo-dizel, taşımacılık sektöründe dizel yakıtın yerini alırsa, yakıt yerine konut ve imalat sanayinde de kullanılabilir. Başka bir tür biyodizel olan biyo-etanol, şeker pancarı, mısır, buğday ve diğer odunsu bitkiler gibi tarımsal ürünler içeren şeker, nişasta veya selülozun fermentasyonu yoluyla elde edilen ve belirli oranlarda benzen ile karıştırılarak kullanılan alternatif bir yakıttır. Taşımacılık sektöründe benzen karışımı, küçük ev aletleri ve kimya endüstrisinde kullanılır. Biyo-etanol yakıtın oksijen seviyesini yükselterek yanmayı daha verimli hale getirir, egzozdaki zararlı gazları azaltır, kanserojen maddelere çevre dostu bir alternatiftir ve egzoz emisyonlarını azaltır. Türkiye'de toplam akaryakıt tüketimi 22 milyon tondur. Bunun toplamı 3 milyon ton benzenden oluşur ve kurulu biyo-etanol kapasitesi 160.000 tondur (Solar 2010).

Jeotermal enerji

Jeotermal enerji; yer kabuğunun altındaki sıcak kayalardan, ince bir tabakadan yerin akışkan sıcaklığını ısıtan ısıdan elde edilir. Eski Romalılar jeotermal enerjiyi doğal sıcak sudaki

banyolarda ve ayrıca tedavi amaçlı kullanmışlardır. Jeotermal enerji ABD'de ilk kez 1891'de konut ısıtması için kullanılmıştır. İlk kez elektrik için (kuru buhardan) 1904'te İtalya'da üretilmiştir. Jeotermal enerji; ısıtma evlerinde, üretimde ve soğutma sistemlerinde kullanılır. Seracılık, kültür balıkçılığı, saunalar ve karı eritmek için kaldırımların ısıtılmasında da kullanılmıştır.

Jeotermal enerji, hava değişikliklerinden etkilenmeden sürekli güç üretir. Çevre dostu olmanın yanı sıra güvenilir bir kaynaktır. Jeotermal enerji hava kirliliğini azaltır. ABD'de her yıl jeotermal enerjiden üretilen elektrik, 22 milyon ton CO₂ ve 200 bin ton kükürt dioksit salınımını engellemektedir. 1964 yılında Türkiye'de ilk jeotermal ısıtma sistemi Balıkesir'deki (Gönen) bir otelde kullanılmıştır. Türkiye'nin jeotermal bölgeleri şunlardır: Aydın (Slavatlı, Buharkent, Germencik), Denizli (Kızıldere), Nevşehir (Acıgöl), Çanakkale (Tuzla), İzmir (Balçova, Seferihisar) ve Kütahya (Simav)'dır (Kagel 2007).

Jeotermal enerjiyle ilgili bir dezavantaj, çevreye zarar verebilecek kükürt dioksit üretimidir. Ancak, bu çok ciddi bir durum değildir. Küresel olarak, kurulu jeotermal enerji toplamı yıllık 80 milyar kWh üretim ile 9700 MW'tır. Jeotermal elektrik üretimindeki ilk beş ülke ABD, Filipinler, Meksika, Endonezya ve İtalya'dır. Elektrik dışı kullanım 33.000 MW'tır. Isıtma ve spa uygulamaları için jeotermal enerji kullanan ilk 5 ülke Çin, Japonya, ABD, İzlanda ve Türkiye'dir (Solar 2010).

Enerji Bakanlığı'na göre, Türkiye Alp-Himalaya kuşağında olduğu için büyük ölçüde yüksek jeotermal potansiyele sahiptir. Türkiye'nin jeotermal potansiyeli 31.500 MW'tır. Potansiyeli olan bölgeler Batı Anadolu'da yoğunlaşmıştır (%77, 9). Halen, söz konusu potansiyelin %13'ü (4.000 MW) MTA Genel Müdürlüğü tarafından sağlanmıştır. Türkiye'deki jeotermal alanların %55'i ısıtma uygulamalarına uygundur. Ülkemizde 1200 hektar sera ve 15 yerleşim yerindeki 100.000 hane jeotermal enerji ile ısıtılmaktadır (Solar 2010).

Dalga enerjisi

Okyanus dalgaları, güneş enerjisinin üçüncü bir şeklidir. Çünkü Dünya yüzeyinin eşit şekilde ısıtılmaması, rüzgar ve su üzerinden esen rüzgar dalgaları oluşturur. Dünya yüzeyinin yaklaşık %75'inin su ile kaplı olmasına rağmen, özellikle güneş ve rüzgâr enerjisinden yararlanılarak kaydedilen ilerlemeye kıyasla, dalga enerjisi verimli bir şekilde araştırılmamıştır.

Sorun, bu enerjiden yararlanmanın ve onu büyük miktarlarda elektriğe dönüştürmenin kolay olmamasıdır. Bu nedenle, dalga enerji santralleri nadirdir (Hagerman 1991).

Dalga gücünden enerji elde etmenin farklı yöntemleri vardır. Bunlardan biri, tersine bir yüzme havuzu dalga makinesi gibi çalışır. Bu tasarımla ilgili bir sorun, türbin üzerine bir susturucu takılmadığı sürece, akan havanın çok gürültülü olabilmesidir. Ancak, dalgalar oldukça fazla gürültü yaptıkları için, akan havanın gürültüsü çok büyük bir problem değildir. Bir dalga elektrik santrali kurulduktan sonra; enerji serbesttir, yakıt gerektirmez ve atık ya da kirlilik üretmez. Büyük sorunlardan biri, denizdeki en zorlu koşullara dayanabilecek, ancak küçük dalgalardan makul miktarda güç üretebilecek bir araç inşa etmektir. Yalnızca fırtınalar sırasında işe yararsa fazla kullanmaz (Energy Resources 2010).

Okyanus dalgaları, denizden esen rüzgardan kaynaklanır. Dalgalar güçlü bir enerji kaynağıdır. Türkiye'de gelgit enerjisinin kullanımı, dalga enerjisi gibi olası değildir, çünkü okyanus akıntıları onlar için en iyi kaynaktır. İstanbul ve Çanakkale Boğazı'nda, yoğun deniz trafiği ve deniz akıntıları nedeniyle, yeterli enerji kullanılamaz.

Heath (2010)'e göre; iki yüzyıldan fazla bir süredir buluş sahipleri, dalgalardan güç elde etmek için sistemlerin patentlerini almaktaydılar, ancak yine de güç jeneratörleri olarak dalga enerjisi cihazlarının geniş bir uygulaması mevcut değildi. Uzun vadeli problem; teknolojiyi, bir tüketicinin ödemeye razı olduğu bir güç maliyetinde çalıştırmasıdır. Gelecekte maliyetler azaltılacak, ancak o zamana kadar, henüz teknolojisini ticari kullanıma sokma ihtiyacı nedeniyle dalga gücünün gelişimi engellenmektedir. Yirmi yıl önce, rüzgar endüstrisi benzer sıkıntılar yaşamıştır ancak, büyük ölçüde Danimarka Hükümeti tarafından sunulan ve üreticilere verilen uzun vadeli destek sayesinde, o ülke, primleri yeşil güç için sunulan, şimdi ticari bir dayanakta rekabet edebilecek bir endüstri geliştirebilmiştir.

1980'lerde rüzgar endüstrisi; geliştirilmekte olan prototip cihazlarını kamu desteği ve kamu parası ile özel olarak finanse etmiştir. Şimdi dalga enerjisi endüstrisi benzer bir şekilde gelişmekte ve destek almaktadır. Elbette, teknik gelişme gerektirdiği için bazı başarısızlıklar görülecektir. Ancak piyasaya yeni enerji kaynaklarının getirilebileceği koşullar sağlamak için halk desteği ile dalga gücünden büyük bir katkı beklenmiştir. Dalga enerjisindeki teknik zorluk ticari zorluktan kaynaklanmaktadır. Dalga enerjisinin diğer enerji tedarik teknolojilerine ilişkin

başarısı, sonuçta piyasaya siyasi kaygılar olmadan güç sağlayabileceği fiyatla belirlenir. Dalgadan elektrik üretmenin maliyeti, esas olarak; cihazın yapımında, kurulmasında ve elektrik şebekesine bağlanmasındaki sermaye harcamasından oluşmaktadır. Sermaye harcaması tipik olarak dalga enerjisi üretme maliyetinin %90'ından fazlasını oluşturur. Bu, giriş yakıtı maliyetinin yüksek bir oranda olduğu fosil yakıt tesislerine belirgin bir şekilde karşılık gelir. Başarılı bir dalga enerjisi cihazı bu nedenle minimum sermaye harcamasına ve maksimum elektrik çıktısına sahip olacaktır. Oldukça açık olan bu gerçek, dalga enerjisi tesisinin tasarımcısı için bir ikilem yaratır (Heath 2010).

2.2. Dünya Pazarı Açısından Enerji

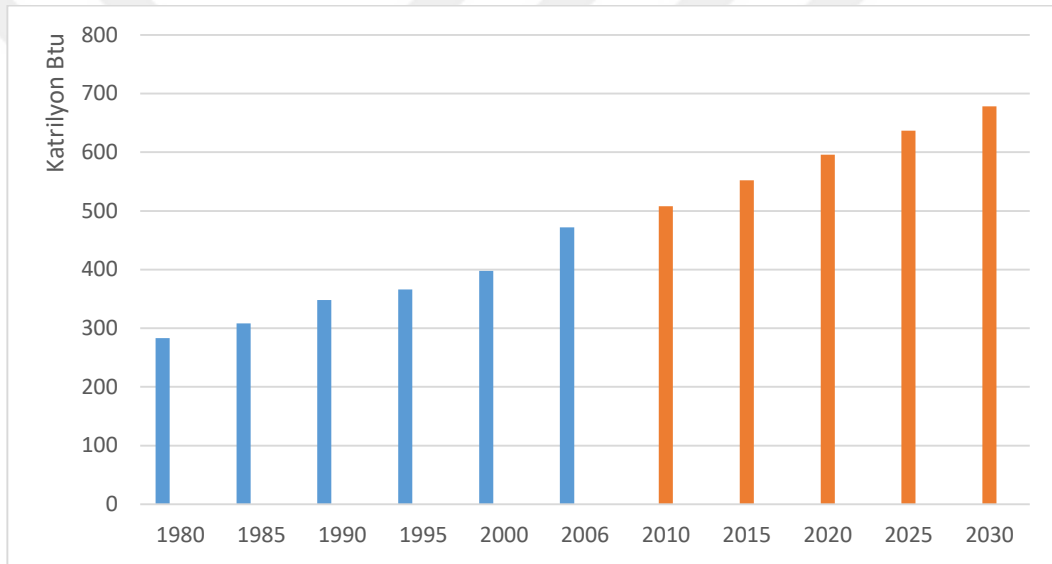
Enerji kaynaklarının sosyal yaşam üzerindeki etkisi ve onlara olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır, nüfus artışı ve ekonomik gelişme gibi başlıca nedenler, sosyal ilişkilerde değişiklikler ve giderek daha enerji yoğunluklu bir yaşam tarzının oluşmasından kaynaklanmaktadır. İnsanlığın ilk dönemlerinden bu yana gelişen enerji kaynakları ile ilişkimiz özellikle sanayi devrimi ile ivme kazanmış ve son iki yüz yılda baş döndürücü bir hız kazanmıştır. Tabii ki, insanların enerji ihtiyacındaki artış, toplumların genel gelişim düzeyi ile doğru orantılıdır ve gelişmiş ülkelerdeki kişi başına enerji tüketimi, daha az gelişmiş ülke ve bölgelere göre daha hızlı artmıştır. Sosyal gelişmenin yarattığı ihtiyaçlar enerji kaynaklarının kullanım şeklini değiştirirken, enerji kaynaklarının değişimi teknolojik, ekonomik ve sosyal gelişimin itici gücü olmuştur (Pala 1996).

Küresel olarak, enerji kaynaklarına yapılan toplam yatırımın 22 trilyon dolar olduğu enerji sektöründe; dağılım petrol için %25, doğal gaz için %25, elektrik için %50 olarak saptanmıştır (World Energy Council 2008).

Enerji sektörü sadece enerji üretiminden değil, aynı zamanda enerjinin diğer enerji türlerine dönüştürülmesinden, elde edilen atığın depolanmasından, tüketilmesinden ve değerlendirilmesinden de sorumludur (Pala 1996).

Anonim (2009)'e göre (Şekil 2.10), dünya enerji tüketiminin 2006 yılından 2030 yılına kadar %44 artması beklenmektedir. 1980'den 2006'ya kadar dünya enerji tüketimi %66 artmıştır. Yeni kaynak arayışı sayesinde, gelecek enerji tüketiminde tahmini olarak önceki yıla

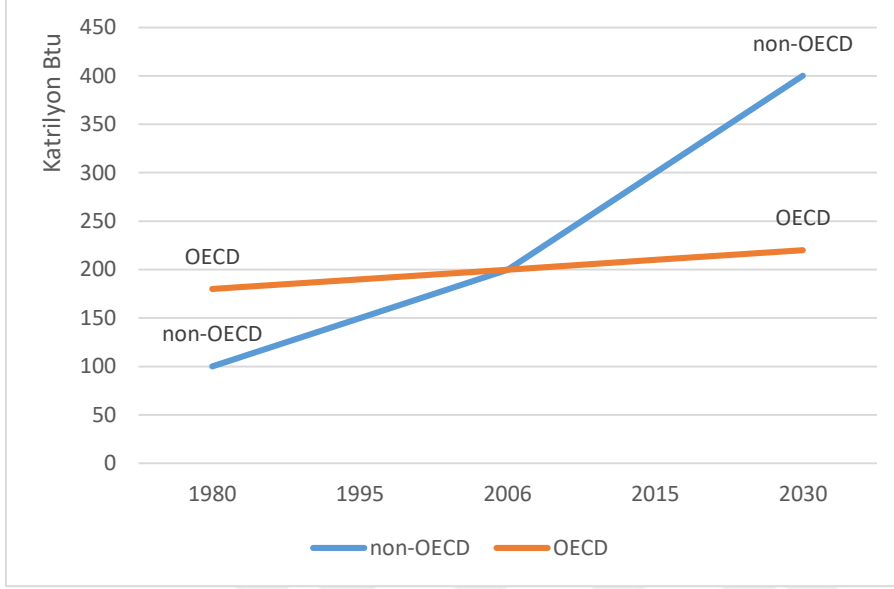
göre düşüş vardır. Bunun dışında enerji tüketimine ilişkin farkındalık ve duyarlılık gelecekteki tüketimi de etkileyen faktörlerdir. Geçmişte, enerji tüketimi keskin bir şekilde artmıştır. Ancak gelecekte, bunu önlemek için ülkeler yeni politikalarla önlemler alacaktır. 1980-2030 yılları arasındaki tüketim seviyeleri incelendiğinde, %140'lık bir artış vardır. Parlak tarafa bakarsak, bu gelişen bir medeniyet ve büyümeyi göstermektedir. Bununla birlikte, tüketim oranına bakıldığında, sürdürülebilir enerjiyi korumak için bazı önlemler alınması gerektiği görülmektedir. Bu önlemlerden en etkili olanı eski yöntemlerden vazgeçmek ve yenilenemeyen kaynakları yenilenebilir olanlarla değiştirmek olacaktır (Anonim 2009).



Şekil 2.17. Dünya enerji tüketimi (Energy Information 2009).

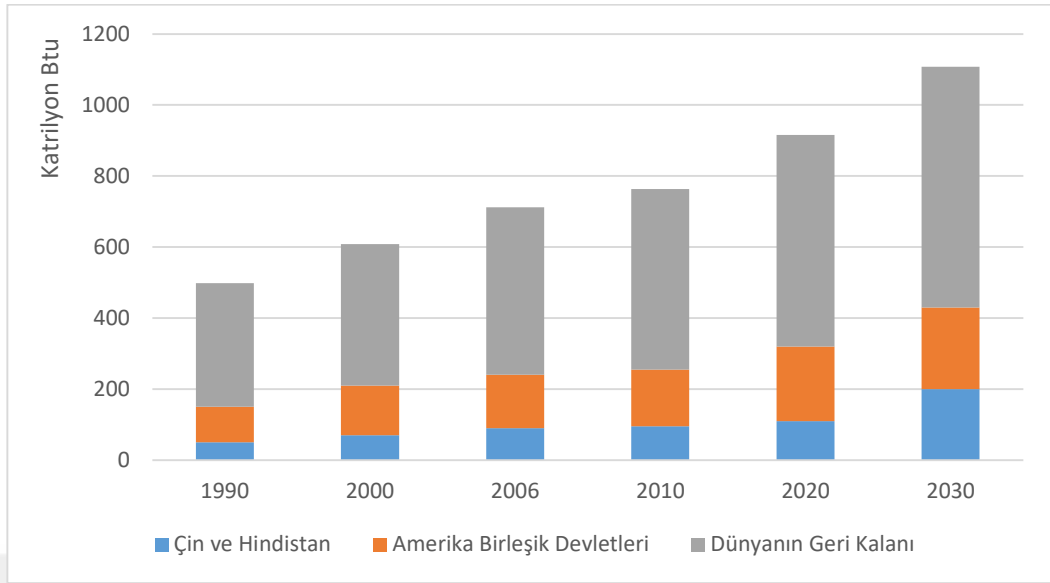
Şekil 2.17'a bakıldığında; OECD ve OECD üyesi olmayan ülkelerin yıllık tüketim oranlarında bir tutarsızlık olduğu görülmektedir. 2006 yılına kadar OECD ülkelerinde enerji tüketimi OECD üyesi olmayan ülkelere daha yüksektir. Ancak 2006'dan sonra tahminler değişmekte ve OECD üyesi olmayan ülkelerin tüketimi daha da artmaktadır. Bunun en önemli nedeninin teknoloji ve sanayinin gelişmesi ve OECD üyesi olmayan ülkelerin Çin ve Hindistan gibi enerji taleplerinin artması olduğu düşünülmektedir. Bunun yanı sıra, enerji kaynakları tüketilirken daha dikkatli uygulamalar benimsemek için Kyoto anlaşması gibi OECD ülkeleri

tarafından imzalanan, çevre ile ilgili yeni karbon emisyonu anlaşmaları dikkate alınmaktadır (Energy Information 2009).



Şekil 2.18. Dünya enerji tüketimi; OECD ve OECD Dışı, 1980-2030 (Energy Information 2009).

Şekil 2.18 ve Şekil 2.19'un birlikte incelenmesi önemlidir. Bu rakamlarda enerji kaynaklarının farklı bölgelerde kullanıldığı görülmektedir. Bunun yanı sıra ülkeler yoğunluk bakımından farklılık göstermektedir ve dağıtım dengede değildir. Genel inceleme sonucunda; özellikle Çin ve Hindistan, enerji tüketimi ve kullanımında liderdir. 2010 yılından sonra bu iki ülke önemli bir paya sahip olmuştur (Energy Information 2009).



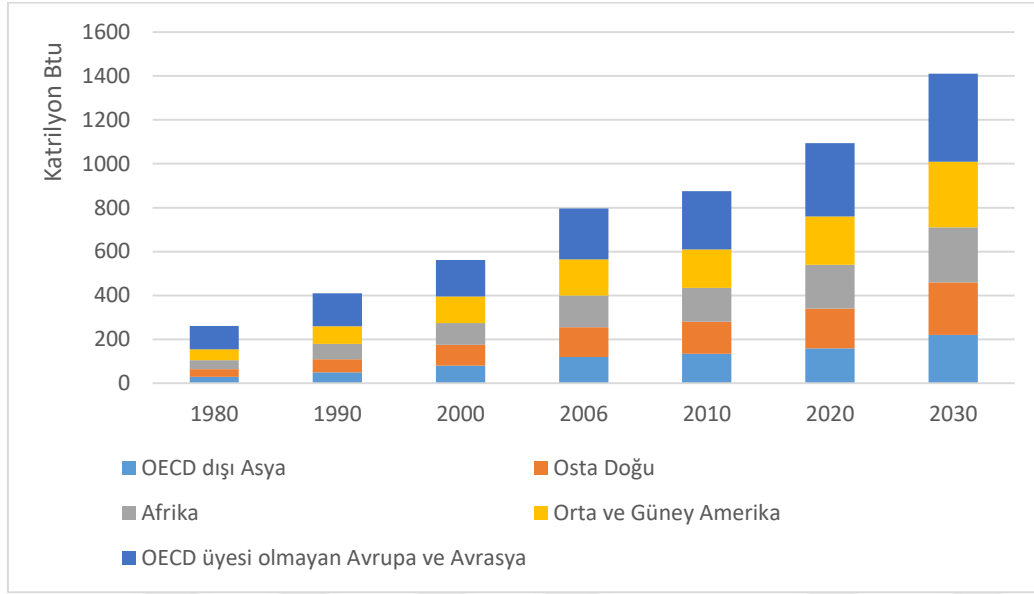
Şekil 2.19. Bölgelere göre pazarlanan enerji kullanımı (1990-2030) (Energy Information 2009).

Enerji Bilgi İdaresi verilerine göre (Anonim 2009):

Çin ve Hindistan en hızlı büyüyen OECD üyesi olmayan ekonomilerdir ve gelecekte dünyadaki kilit enerji tüketicileri olacaklardır. 1990'dan bu yana, toplam dünya enerji kullanımının bir parçası olarak enerji tüketimi her iki ülkede de önemli ölçüde artmıştır. Çin ve Hindistan, birlikte 1990 yılında dünyanın toplam enerji tüketiminin yaklaşık% 10'unu oluştururken 2006'da toplam payları yüzde 19'dur. Her iki ülkede de güçlü ekonomik büyüme projeksiyon döneminde devam etmekte, referans enerji kullanımında 2030 yılında toplam enerji kullanımı yaklaşık iki kat artış tahmin edilmektedir ve dünya enerji tüketiminin% 28'ini oluşturmaktadır.

Şekil 2.18 incelendiğinde, OECD üyesi olmayan ülkelerin enerji kaynaklarından pay aldıkları hakkında bir fikir edinilmiştir. Rusya, Çin ve Hindistan gibi OECD üyesi olmayan ülkeler, küresel enerji tüketiminde ciddi bir etken oluşturmaktadır. Bu nedenle OECD üyesi olmayan ülkelerin bölgelerini dikkate almak önemlidir. Çin ve Hindistan gibi OECD üyesi olmayan Asya ülkeleri yıllar içinde enerji tüketiminde önemli artışlar yaşamıştır. Rusya gibi OECD üyesi olmayan Avrasya ülkeleri ve eski Sovyetler Birliği'ni (BDT) oluşturan ülkeler büyük tüketici değildir. Bu ülkeler arasında enerji tüketimi istikrarlı olmaya devam etmektedir. İran, Irak gibi OECD üyesi olmayan Ortadoğu ülkeleri de çok büyük bir paya sahip

değillerdir. Ayrıca, Afrika ülkelerinde, enerji tüketimi asgari düzeydedir çünkü sanayi bu bölgede çok fazla gelişmemiştir. Genel olarak bilindiği gibi; Rusya, İran ve Irak enerji üretimi ve ihracatında liderdir ancak büyük tüketici değildir. Çin ve Hindistan'da hızlı büyüyen sanayi, enerji tüketimi üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olmuştur ve bu ülkelerde tüketilen enerjinin büyük bir bölümünü kaplamaktadır (Energy Resources 2010).



Şekil 2.20. OECD Dışı Ekonomilerde Bölgelere Göre Pazarlanan Enerji Kullanımı (1980-2030) (Energy Information 2009).

Ek olarak, OECD üyesi olmayan ülkelerin enerji kullanımına atıfta bulunarak, Şekil. 2.20’de gösterildiği gibi, Enerji Bilgi İdaresi’nin küresel krizlerin finansal sistemler üzerindeki etkilerinin enerji maliyetleriyle ilgili açıklamaları ayrıntılı olarak belirtilmek istenmektedir. Küresel finansal sistemdeki son sorunlar, OECD üyesi olmayan Avrupa ve Avrasya ülkelerinde Rusya, Kazakistan ve Ukrayna gibi bankalardan ve diğer kurumlardan borç almayı zorlaştırmıştır. Etki, emtia ihracatı için yüksek dünya pazarı fiyatlarının bir miktar yumuşamasına karşın, emtia fiyatlarının çöküşü ve küresel ekonomik durumu kötüleştirilmesi nedeniyle kısa vadede yumuşatılmamıştır. Yüksek küresel petrol fiyatları, enerji sektörünü, özellikle de Hazar Bölgesi’ni etkileyerek yatırım umutlarını etkilemektedir. Enerji piyasası fiyatlarındaki değişikliklerle birlikte, OECD üyesi olmayan Avrupa ve Avrasya ülkelerinin ekonomilerinin enerji üretimi ve ihracatından daha geniş kapsamlı bir çeşitlilik elde edene kadar son zamanlarda elde edilen büyüme oranlarını sürdürebilmeleri muhtemel değildir. Eski Sovyet

Cumhuriyeti ülkelerinin ekonomileri çeşitli şekillerde ekonomik olarak desteklenmekte ve uzun vadede finansal piyasalarında yurt içinde daha da iyileştirmeler yapmaktadır (Energy Information 2009).

Yukarıdaki ifadeler incelenirse, nükleerlerin fazla talep göremeyeceğini gösteren birçok gösterge bulunmaktadır. Bu da küresel pazarın büyük bir kısmını oluşturmamaktadır. Kömür ve sıvı yakıtlar gibi fosil bazlı enerji kaynakları, bu toplam kaynakların önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına yer açmak için girişimlerde bulunulmuştur ve yıllar içinde kullanımın artması beklenmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı yeni bir kavram olduğundan, gerekli yatırımların yapılması ve işlerin verimli bir şekilde yürütülmesi, yaklaşık 7-8 yıl alacaktır. Elektrik üretiminde tüm kaynaklar verimli bir şekilde kullanılmaktadır. Sıvı yakıtlar, elektrik üretimi için tercih edilen kaynak değildir. Aksine kömür, doğal gaz ve yenilenebilir kaynaklara olan talep paraleldir. Buradaki en önemli nokta, nükleer enerjinin sıvı yakıtlardan daha fazla talep görmesidir. Sonuç olarak, fosil bazlı kaynaklar hala popüler olmaya devam etmektedir; yeni kaynakların eklenmesi ve yenilenebilir kaynakların kullanımı olumlu bir şekilde görülmeye başlamaktadır. (EIA 2009)

Enerji Bilgi İdaresi (EIA) tarafından sağlanan tabloda yer alan veriler ayrıntılı olarak analiz edilirken, hangi alanların en fazla enerji talep ettiğini ve bunların yıldan yıla ortalama artan talep olduğunu belirlemenin önemli olduğu görülebilir. Enerji kaynakları en çok ticaret sektöründe, sanayi sektöründe ve ulaştırma sektöründe kullanılmaktadır (EIA 2009).

Enerji Bilgi İdaresi web sitesine göre; ticari sektör bazen hizmetler sektörü veya hizmetler ve kurumsal sektör olarak adlandırılır ve hizmetler sunan işletmeleri, kurumları ve kuruluşları içermektedir. Ticari sektör birçok bina türü ve enerji hizmetleriyle ilgili geniş bir faaliyet yelpazesi içermektedir. Bu sektördeki imkanlar; okullar, oteller, mağazalar, restoranlar ve müzeler vb.dir. Ancak en çok enerji; ısıtma, aydınlatma, su ısıtma ve soğutma gibi hizmetleri sağlayan binalarda veya yapılarda kullanılmaktadır. Ayrıca binaların yanı sıra, trafik ışıkları ve şehir suyu için de enerji gereklidir ve bu tür kullanımlar da ticari enerji kullanımı kategorisine girmektedir. Ayrıca ekonomik büyüme, ticari sektörde ilave tesislerin ve faaliyetlerin ne derece sunulacağını ve kullanılma derecesini belirlemektedir. Sürdürülebilir ekonomik büyümenin yüksek seviyeleri varsa, bu; otel ve restoranlarda, kültürel konsollarda, tiyatrolarda, galerilerde ve spor salonlarında enerji talebinin iş döngüsünü etkileyeceği anlamına gelmektedir. EIA'e

göre, “Ticaret sektöründe, konut sektöründe olduğu gibi, OECD üyesi olmayan ülkelerde kişi başına düşen enerji kullanımı, OECD ülkelerinde olduğundan çok daha düşüktür. Kişi başına düşen OECD dışı ticari enerji tüketimi, 2006 yılında OECD ortalaması olan 16,3 milyon Btu ile karşılaştırıldığında yalnızca 1,3 milyon Btu olarak gerçekleşmiştir.” Bu istatistikler ekonomik büyümeyi sürdüren ülkelere de gönderme yapmaktadır (Energy Information 2009).

Enerji tüketimi açısından yoğun olarak ele alınması gereken bir diğer önemli sektör sanayi sektörüdür. Sanayi sektörü, imalat, tarım, madencilik ve inşaat gibi çeşitli alanları kapsar; ve ayrıca işleme ve montaj, alan koşullandırma ve aydınlatma gibi geniş bir faaliyet yelpazesini içerir.. Ayrıca, bu sektördeki talebin çeşitliliği bölgeden bölgeye ve diğer faktörlerin yanı sıra teknolojik ve ekonomik gelişimin düzeyine ve karışımına bağlı olarak da değişmektedir. Sanayi sektöründeki diğer faktörler arasında enerji dışı ürünler üretmek için yem stoklarında doğal gaz ve petrol kullanılması sayılabilir. Agregalar için, sanayi sektörü; dünyadaki toplam tedarik enerjisinin yaklaşık yarısını tüketerek, diğer son kullanım sektörlerinden daha fazla enerji kullanmaktadır (Energy Information 2009).

EIA'ye göre, ulaşım sektöründe enerji; insanları ve malları karayolu, demiryolu, hava, su ve boru hattıyla taşımak için kullanılır. Ulaştırma bileşenleri; otomobiller, spor hizmet araçları, minivanlar, küçük kamyonlar ve motosikletler gibi hafif hizmet araçları ve ayrıca yolcu taşımacılığı için yükleri ve otobüsleri hareket ettirmede kullanılan büyük kamyonlar gibi ağır hizmet araçlarıdır. Ulaştırma sektöründeki enerjiye olan talep doğrudan ekonomik büyüme ve nüfus büyüklüğü ile bağlantılıdır. EIA web sitesinde de belirtildiği gibi ekonomik büyüme; hammaddelerin imalat sahalarına taşınmasını gerektiren endüstriyel çıktının yanı sıra, mamul ürünlerin son kullanıcılara taşınmasını gerektirir. Ulaşım sektöründeki enerji talebi hem OECD üyesi olmayan hem de OECD ülkelerinde istikrarlı bir şekilde artmaktadır. Kişisel seyahat, ulaşım için enerji talebinde öngörülen artışların altında yatan birincil etkidir (Energy Information 2009).

3. TERMİK SANTRALLER

Yakıtla oluşan ısıdan elektrik üreten santrallere termik santral denir (<http://www.tdk.gov.tr>). Termik elektrik güç santrallerinde yakıt olarak daha çok kömür, doğalgaz ve petrol kullanılmaktadır. Bunlar katı, gaz ve sıvı yakıtlar olarak da sınıflandırılabilir. Dünyada mevcut doğal yakıtların başında yer alırlar. Elektrik enerjisinin üretiminde yakıt olarak en önemli yeri katı yakıtlar denilen taş kömürleri ve linyit kömürleri almaktadır. Dünyada elektrik enerjisi üretmek amacıyla termik santrallerde yakıt olarak kullanılan kömürlerin orijinal ısı değerleri 800 kcal/kg'dan 5000-7000 kcal/kg seviyelerine kadar çıkmaktadır. Bu kömürlerin içerdikleri kül oranı ise ağırlık olarak %6-7'den % 30~40'lara kadar çıkmaktadır. Taş kömürleri denilen kömürlerin ısı değerleri 5000~7000 kcal/kg arasında değişirken içerdikleri kül oranı ağırlık olarak % 6-12 arasında almaktadır. Linyit kömürlerin ısı değerleri 1000 ile 4000 kcal/kg arasında değişirken içerdikleri kül yüzdeleri ise % 20 ile % 40 arasında değişmektedir (Aslan 1996).

Türkiye'de termik elektrik santrallerinde kullanılan kömürlerin ısı değerleri 1000 kcal/kg ile 3500 kcal/kg değerleri arasında, içerdikleri kül miktarları ağırlıklı olarak % 15 ile % 35 arasında değişen linyit kömürleridir (Kaya ve Koç 2015).

Termik elektrik güç santralinde, yakıttaki kimyasal enerji önce kazanda ısı enerjisine çevrilerek buhara verilir. Daha sonra bu buhardaki ısı enerjisi türbinde mekanik enerjiye ve arkasından jeneratörde elektrik enerjisine çevrilir (Aktaş ve Alioğlu 2012).

Termik elektrik güç santrallerinde ilk enerji dönüşümü buhar kazanlarında olur. Burada yakıttaki kimyasal enerji yakılarak elde edilen ısı su buharına verilir. Suyun buharlaştırılarak, buharın elde edildiği kazanlara buhar kazanı veya buhar üretici adı da verilir (Aslan 1996).

Dünyada, ısı enerjisinin ve elektrik enerjisinin büyük kısmı buhar kazanlarında elde edilen buharla sağlanır. Termik elektrik santrallerinde ana işletme şekli, su buhar çevrimiyle yapılır ve buhar kazanı ile turbo-jeneratör gurubunu içerirler. Kazan ünitelerinin de, turbo jeneratör grupları gibi binlerce saat kesintisiz olarak işletmede olmaları gerekir. Büyük güçlü termik elektrik santralleri çok büyük miktarlarda yakıt tüketirler ve bu durum buhar kazanları dâhil tüm ünitelerin mümkün olabilecek en yüksek verimde çalıştırılmalarını önemli kılmaktadır (Aslan 1996).

Termik santrallerde kalitesiz linyit kömürleri kullanıldığı için çevre kirliliğine neden olur. Termik santrallerin bacalarından çıkan kükürt, azot ve karbondioksitler havada su buharı ile birleşerek asit yağmurlarını oluştururlar. Atık madde olan küllerin aşırı birikimi toprağın ve suyun kirlenmesine sebep olur. Uçucu külleri tutmak için bacalarına takılan filtreler çoğu kez yetersiz kalır ve atmosferi kirletir. Aşırı çevre sorunlarına neden olduklarından tercih edilmemesi gerekir. Fakat ülkemizde elektrik enerjisi gereksinimini karşılamak için vazgeçemeyeceğimiz enerji üretim kaynağıdır (TKİ 2011).

3.1. Termik Santrallerin Tarihçesi ve Gelişimi

Buhar santrallerinin gerçek anlamdaki gelişimi 1892'lerde türbinlerin gelişmesi ile başlamıştır. Bu senelerde yalnızca iç ihtiyaç için elektrik üretimi devri kapanmış ve önce bir binanın tümü, daha sonra da bir caddedeki binaların tümü için elektrik üretilmeye başlanmıştır (EMO 2008).

Buhar santrallerinin tarihsel gelişimi şöyle başlamıştır (EMO 2008);

1804	İlk su borulu kazan	J.Stevens
1866	Dinamo	W.V.Simens
1882	İlk güç nakli	O.V.Miller
1882	İlk elektrik santrali (NewYork)	T.A.Edison
1883	Sabit basınç buhar türbini	C.G.Laval
1884	Aksiyal buhar türbini	C.A.Parson
1885/88	Alternatif akım makinası	Ferraris
1890	Yağlı transformatör	C.E.L.Brown
1891	Alternatif akım iletimi	O.V.Miller
1892	Kızgın buhar makinası	W.Schmind
1908	Radyal buhar türbini	B.Ljungström

Uygarlığın ilerlemesi, enerjinin kullanılabilmesiyle çok yakından ilgilidir. Bu nedenle yeterli miktarda enerjinin mümkün olan en düşük fiyatla halkın hizmetine sunulabilmesi, bir ülkenin endüstriyel gelişmesi ve hayat standardının yükselebilmesi için şarttır. İşte bu nedenle eski zamanlardaki küçük ve ilkel buhar santralleri; teknolojinin ilerlemesine paralel olarak yerlerini daima daha güçlü, daha modern ve daha ekonomik santrallere bırakmışlardır (Heper 1979).

3.2. Termik Santrallerin Yer Seçim Kriterleri

Termik santraller için en önemli alternatif değerlendirmelerden biri de saha seçim alternatifidir. Proje yeri ile ilgili alternatifler değerlendirilirken çevresel (ve sosyal) elemanları ve hassasiyetleri dikkate alınarak, tüm taraflar açısından en sürdürülebilir ve kabul edilebilir bir yerin seçilmesini sağlamak, sadece ekonomik ve teknik açıdan değil, çevresel açıdan da en sürdürülebilir ve tüm taraflarca kabul edilebilir yerin seçilmesini sağlayacaktır. Projenin hazırlanması (ön fizibilite veya fizibilite) sırasında ÇED sürecinin başlaması, çevre sorunları ve kamuoyu açısından en kabul edilebilir çözümü sağlayacaktır. Projenin uygulama aşamasında belirtilen konuların dikkate alınmaması nedeniyle ortaya çıkabilecek sorunlar ve maliyetler de bu şekilde önlenecektir. Çevresel, ekonomik ve sosyal açıdan en uygun yer seçimi için önerilen adımlar aşağıdaki gibi sıralanmaktadır (Gürbüz, 2016).

Yer seçim süreci;

- Potansiyel bölgelerin detaylı bir listesinin hazırlanması (hem tercih edilen hem de alternatif bölgeleri içerecek şekilde),
- Her bölgenin ekolojik ve sosyo-kültürel anlamda tanımlanması,
- Doğal ve sosyo-kültürel kaynakların bozulması anlamında her bölgenin etkileri kaldırma kapasitesinin analiz edilmesi,
- Önemli çevresel sınırlamaları olan bölgelerin tespit edilmesi ve değerlendirilmesi.
- Etkilenen halkın görüşlerinin alınması,
- Alternatiflerin uygunluğa göre sıralanmasını ve sebepler ortaya konularak yerin seçilmesi.

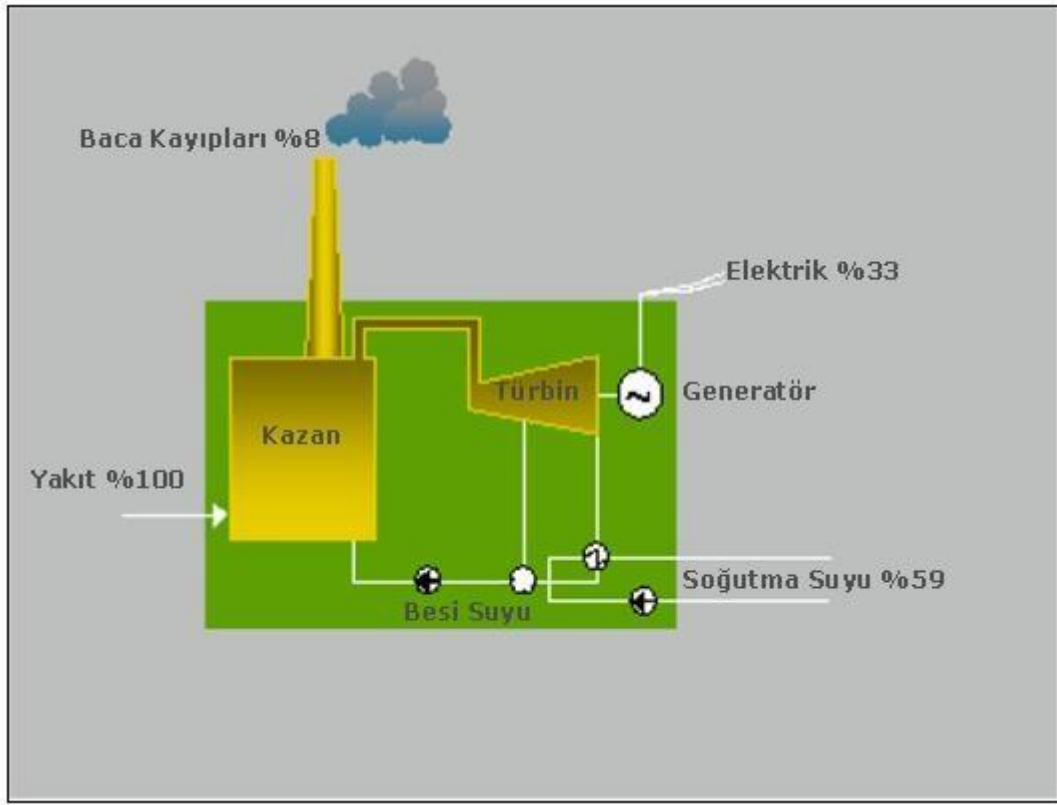
Aşağıda verilen hususlar da termik enerji santralleri için yer seçimi sürecinde göz önünde bulundurulmalıdır:

- Su kaynağı olarak kullanılan besleme bölgeleri veya halkın kullanımında olan baraj gölleri.
- Alıcı ortama deşarj edilmeden önce atık suların arıtılması gerekliliği.
- Mevcut hava kalitesi.
- Nesli tükenme tehlikesi altında olan türlerin yaşam alanları.
- Yerleşim merkezlerine yakınlık.
- Alanın (veya geçiş yollarının) sağlık kuruluşları, okullar ve konutlar gibi alanlara uzaklığı.
- Deprem ve göçük riski olan alanlar.
- Jeolojik bakımdan sakıncalı alanlar.
- Çeşitli nedenlerle koruma altındaki alanlar ve askeri bölgeler.

Termik santrallerin hizmet edebilecekleri Sanayi bölgelerine kurulması planlandığında, o bölgedeki diğer endüstriyel tesisler dikkate alınarak, bazı olası çevresel etkilerin kümülatif olarak değerlendirilmesi gerektiği göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin, planlanan proje yerinin yakınında yoğun hava emisyonları, projeden kaynaklanan hava emisyonlarının daha önemli etkilerine neden olabilmektedir (Gürbüz, 2016).

3.3. Termik Santrallerin Genel Yapısı ve Çeşitleri

Termik santraller; kömür santralleri, jeotermal santraller, nükleer santraller ve doğal gaza dayalı santraller olarak sınıflandırılabilir. Dördünde de ortak olarak bir buhar üretime bağlı enerji üretimi mevcuttur. Bunlardan sadece doğalgaza dayalı doğalgaz kombine çevrim santrallerinde; ilk enerji üretimi gaz türbininde olup, çıkan atık gazdan kazanda elde edilen buhar diğer enerji üretim aşamasıdır. Buhar üretim prosesine Şekil 4.1’de incelenecek olursa, ham (işlenmemiş) enerjinin kazan vasıtasıyla termal enerjiye, oluşan termal enerjinin buhar türbinleriyle mekanik enerjiye, mekanik enerjinin de jeneratörler vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürüldüğünü görülmektedir.



Şekil 3.1. Bir termik santralinin akış şeması (Ünal 2009).

Ham enerji kazan sistemine girdiği zaman kazan içerisinde oluşturulan buhar farklı basınçlarda elde edilir. Elde edilen bu yüksek basınçtaki buhar, buhar türbininde mekanik enerji elde edilirken kullanılarak ortaya çıkan çürük buhar yoğunlaştırıcı yardımıyla yoğunlaştırılıp su haline getirilir. Daha sonra elde edilen kinetik enerjisini kaybetmiş çürük buhar kazan besleme pompalarıyla kazana gönderilerek döngü devam ettirilir. Kazan içerisinde buhar elde edilmesine yarayan hammadde ise baca gazı olarak baca gazı arıtma tesisinden geçirilerek dışarı atılmaktadır. Buhar türbininden elde edilen mekanik enerji de jeneratör ile elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Yakıt enerjisinin % 8'i baca gazına, % 92'si yüksek basınçlı buhara verilir (Ünal 2009).

Güç santralleri, gerekli olan elektrik enerjisi dışında, termal enerjinin bazı temel formlarını üretmek için de tasarlanmış olabilir. Proses buharı üretmek için kullanılan birçok endüstriyel santraller (örneğin bir kimya endüstrisindeki güç santralleri) yanında, bölgesel bir ısıtma için gerekli buharı sağlamak üzere ısı ve güç santralleri kullanılabilir. Tüm bu güç

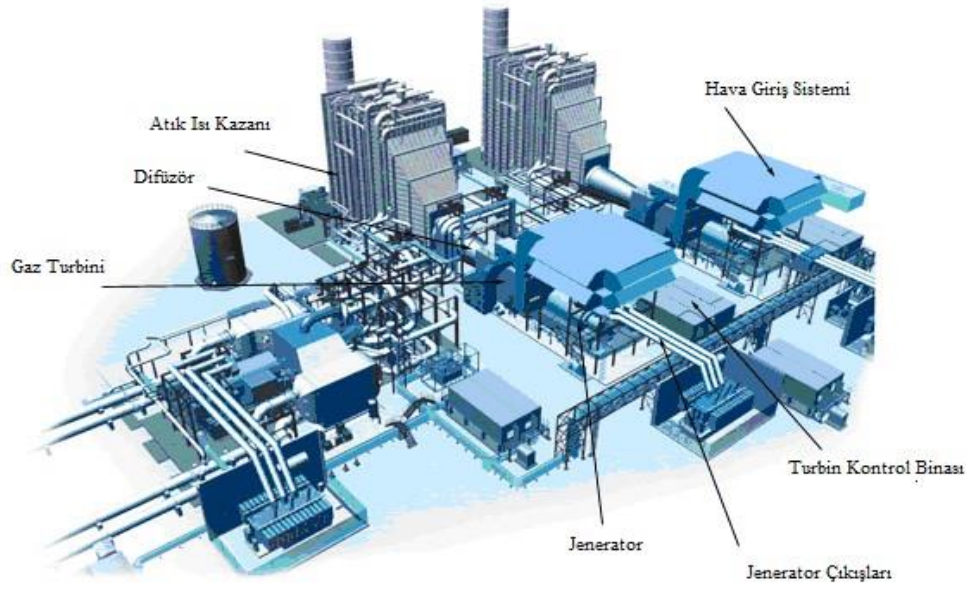
santralleri içerisinde elektrik enerjisi, üretilen belirli bir üründür. Enerji üretimindeki bu değişiklikler, güç santrallerinin şu şekilde sınıflandırılmasına olanak verir;

- Yoğunlaştırma güç santralleri (sadece elektriksel enerji üretimi için)
- Isı ve güç santralleri (öncelikle ısı üretimi için) (co-generation santralleri)

Sıkça kullanılan bir diğer sınıflandırma kriteri, kullanılan yakıta göredir. Temel olarak nükleer ve fosil yakıtlar olmak üzere iki sınıfa ayrılır. Fosil yakıtlar ise katı yakıtlar (linyit, taş kömürü, vb.), sıvı yakıtlar (petrol) ve gaz yakıtlar (patlayan ocak gazı, havagazı, doğal gaz, vb.) olarak sınıflandırılabilir (Armstrong 1996).

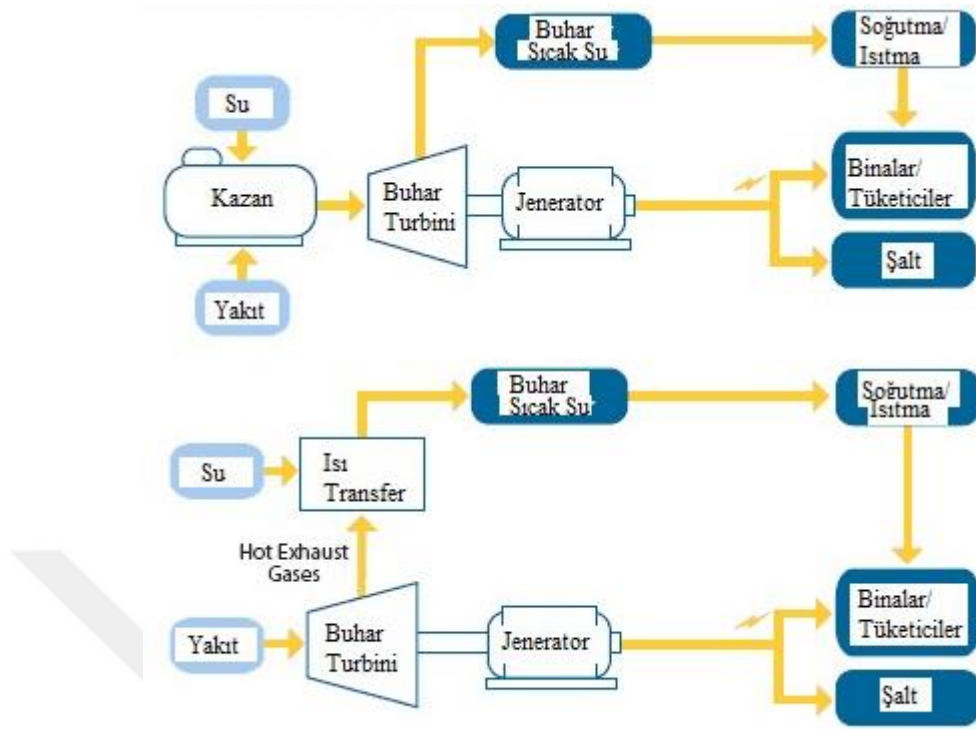
Kombine çevrim doğalgaz santralleri (KÇDS) adı verilen gaz ve buhar türbin çevrimlerinden oluşan güç santral sistemleri, sadece elektrik üretimi için kullanılır. Üstelik türbinler bir çevrim içinde birbiriyle bağıntılı olmalıdır. Bu sayede bu enerji bir türbin tipinden diğerine transfer edilebilir. Şekil 3. 2'de bir kombine çevrim doğalgaz santrali şeması görülmektedir (Klevenz ve Vladimir 1986).

Doğalgaz kombine çevrim santrallerinde gaz türbininden çıkan gaz atık ısı kazanında değerlendirilerek kazana su girdisiyle buhar enerjisi elde edilir (Şekil 3. 2). Doğalgaz kombine çevrim güç santralinde kazan, türbin, jeneratör ve tüm diğer yardımcı birimler bir ünite şeklinde düzenlenmekle beraber her bir birim diğerlerinden bağımsız olarak da işletilebilir. 300 MW üzeri geniş ünitelerde, bir ünite tek bir türbini besleyen iki kazandan oluşabilir. Bu, "Harmanlama Ünite Düzenlemesi" veya "İkiz-Kazan Harmanlama Sistemi" olarak adlandırılır (Klevenz ve Vladimir 1986).



Şekil 3.2. Standart kombine çevrim sistemi (<http://exergyproject.blogspot.com/>)

Kimyasal fabrika ve rafineriler gibi birçok büyük ölçekli endüstriyel işletmelerde elektrik enerjisi yanında çoğunlukla kimyasal reaksiyonlar ve ısınma amaçları için sıcak su ve/veya buhara da ihtiyaç duyulur. Yani, termal enerjinin doğru buhar sıcaklığı ve/veya buhar basıncında üretilmesi gerekir. Bu yapıyı, yerel bir yerdeki kombine edilmiş ısı ve güç istasyonu karşılar. Kombine Güç Santralleri (CHP) (Combined Higher Plants) olarak adlandırılan bu sistemler, tüm güç ve termal işlem taleplerinin istendiği yer olan ticari ve endüstriyel uygulamalarda verimli olarak kullanılabilir. Kojenerasyon diye de adlandırılan bu Kombine Isı ve Güç Santrali gerekli elektrik ve ısıyı üretir (<http://exergyproject.blogspot.com/>). (Şekil 4. 3).



Şekil 3.3. Kazan ve türbin sistemli kojenerasyon (Combined Higher Plants) sistemi (Sungur vd. 2017)

Termik Santrallerin Sınıflandırılması

Tekel (2006)'e göre termik santrallerin sınıflandırılması şu şekildedir:

Üretim türüne göre;

- Kuvvet ve ısı'nın bağlı olmadığı santraller
- Kuvvet ve ısı'nın bağlı olduğu santraller

Buharın türbin içerisinde genişlemesine göre;

- Karşı basınçlı santraller
- Ara buharlı, karşı basınçlı santraller
- Ara buharlı, kondensasyon santralleri

- d. Kondensasyon santralleri

Kuruluş şekline göre;

- a. Çapraz beslemeli santraller
- b. Blok santraller

Çalıştırma şekline göre;

- a. Baz yük santralleri
- b. Orta yük santralleri
- c. Pik yük santralleri
- d. Kullanılan yakıta göre
- e. Soğutma suyu sistemine göre

3.3.1. Katı Yakıtlı (Kömür-Linyit) Termik Santraller

Ülkemizde çıkarılan kömürler genellikle kül, nem ve kükürt içeriği yüksek ve kalori değeri düşüktür. Toz haline getirilmiş enerji santralleri özellikle kaliteli kömürü başarıyla yakabilir. Bu sistemde kömür, termik santrallerde yakılmadan önce değirmenlerin yardımıyla öğütülür. Bu nedenle, bu sistemlerde yüksek miktarda enerji elde etmek için sisteme beslenmesi gereken kömür miktarı oldukça yüksek olabilmektedir (Bentli 2005).

3.3.2. Sıvı Yakıtlı (Fuel-Oil) Termik Santraller

Yakıt-yağ gibi yakıtlar genellikle buhar santrallerinde veya su-buhar tesislerinde brülörlerde doğrudan yakılır. Bu sistemlerde, Sox emisyonunu yakıttaki kükürt içeriğine bağlı olarak sınır değerlerinde tutmak için baca gazı kükürt arıtma tesislerinin kurulması gerekmektedir (Bentli, 2005).

Enerji üretiminde akaryakıt gibi yakıtların kullanılması için bir başka alternatif, gazlaştırma ünitelerine entegre edilmiş kombine çevrim prosesleridir. Bu süreçte yüksek kükürtlü akaryakıt, petrol kok kömürü ve ağır atık yağlar gibi her türlü rafineri son ürünleri

kullanılabilir. Bu sistemde bir gazlaştırma ünitesine akaryakıt tedarik edilir. Burada, buhar ve hava, daha yüksek bir enerji gazı oluşturmak için yüksek sıcaklık ve basınç altında ayırma ünitesinden oksijen ile reaksiyona girer. Isı ve kükürt giderme gazı daha sonra kombine çevrim sisteminde gaz türbinine beslenir. Bununla birlikte, doğal gaz dışındaki yakıtların yakılması durumunda, tesisin verimliliği dizel için yaklaşık %3 daha düşük ve doğal gaz bazlı akaryakıt için yaklaşık %10 daha düşüktür (Bentli, 2005).

3.3.3. Gaz Yakıtlı (Doğalgaz) Termik Santralleri

Doğal gaz, fosil yakıtlı enerji sistemlerinde en çok tercih edilen yakıttır ve son yıllarda hızlı teknolojik gelişmeler gösteren gaz türbinlerinde doğrudan yakılmaktadır. Bununla birlikte, gaz türbinlerinde basit döngüde elde edilen verimlilik yaklaşık %38 olduğundan, daha yüksek termal verimliliklerin elde edildiği kombine çevrim sistemleri, bugün doğal gazdan enerji üretmek için en çok uygulanan enerji teknolojilerinden biri haline gelmiştir. Modern gaz türbin teknolojileri özetle kompresör, yakma ünitesi, güç türbini ve jeneratörü kapsayan sistemlerdir (Bentli, 2005).

3.4. Türkiye’de Termik Santrallere Genel Bakış

Ülkemizde elektrik üretimi kamu ve özel olmak üzere farklı kurumlar tarafından sağlanmaktadır. Çizelge 4. 1’de ülkemizde elektrik enerjisinin 2013 yılı itibarıyla kurulu gücünün ve üretim miktarlarının kuruluşlara göre dağılımı görülmektedir (Anonim 2013).

Çizelge 3.1. Ülkemizde elektrik enerjisinin 2013 yılı itibariyle kurulu gücü ve üretim miktarı (Anonim 2013).

KURULUŞLAR	KURLU GÜÇ (MW)	ORAN %	ÜRETİM (GWh)	ORAN (%)
Elektrik Üretim AŞ (EÜAŞ)	23781.6	37.15	80117.8	33.36
Serbest Üretim Şirketleri (SÜŞ)	27429.5	42.85	84078.6	35.01
Yap-İşlet (Yİ)	6101.8	9.53	44343.3	18.46
Otoprodüktörler (OTOP)	3421.4	5.34	13481.6	5.61
Yap-İşlet-Devret (YİD)	2335.8	3.65	13071.5	5.44
İşletme Hakkı Devri (İHD)	938.3	1.47	5161.1	2.15
Toplam	64008.4	100.00	240153.9	100.00

Çizelge 3.2. Ülkemizde üretilen elektrik enerjisinin birincil enerji kaynaklarına göre dağılımı (TEİAŞ 2013).

Kullanılan Yakıt	Üretim (GWh)	Oran (%)
Kömür	63768.1	26.6
Sıvı Yakıtlar	1738.8	0.7
Doğal Gaz	105116.3	43.8
Yenilenebilir+Atık+Atık Isı	1171.2	0.5
Hidrolik	59420.5	24.7
Jeotermal+Rüzgar	8921.0	3.7
Toplam	240153.9	100.0

Çizelge 3.3. Ülkemizde elektrik enerjisi üretim santralleri ve yakıt tipleri (Anonim 2013).

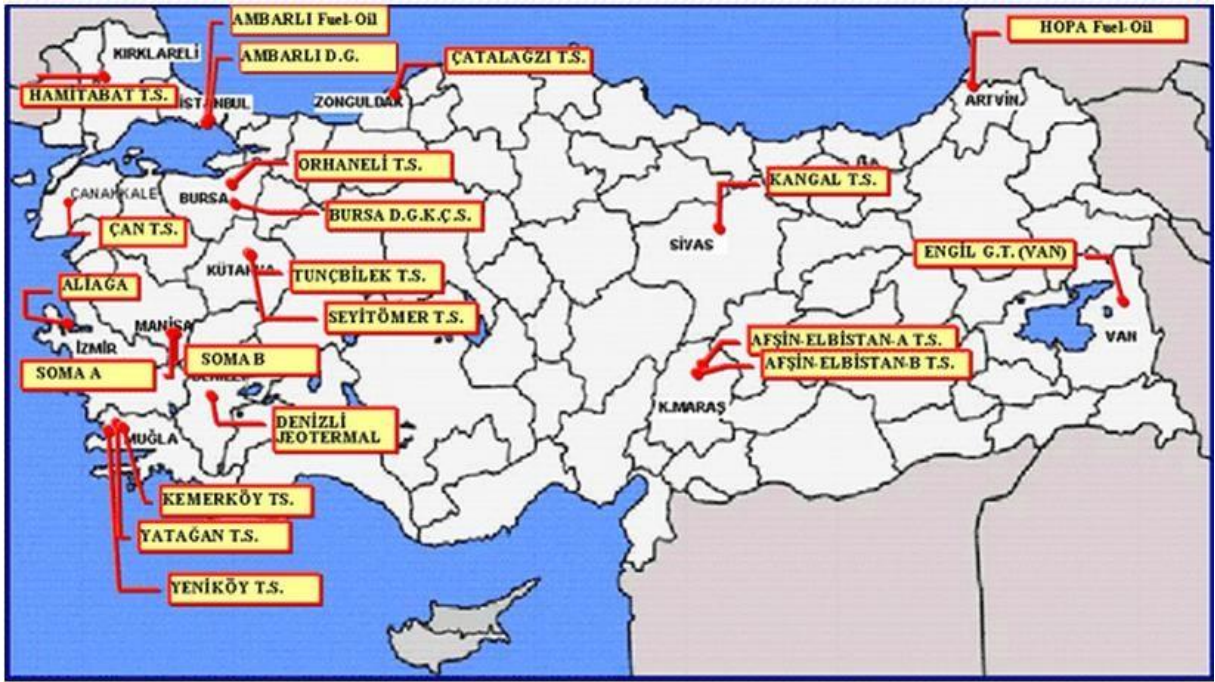
Santral Adı	Kullanılan Yakıt	İl	Kurulu Güç (MW)
Afşin Elbistan A Termik Santrali	Linyit	Kahramanmaraş	1335.0
Afşin Elbistan B Termik Santrali	Linyit	Kahramanmaraş	1440.0
Aliğa GTKÇ Santrali	Motorin	İzmir	180.0
Ambarlı Fuel Oil-KÇ Santrali	Fuel Oil	İstanbul	630.0
Ambarlı Doğal gaz-KÇ Santrali	Doğal Gaz	İstanbul	1350.9
Batman Santrali	Fuel Oil	Batman	117.9

Bursa DGKÇ Santralı	Doğal Gaz	Bursa	1432.0
Çan 18 Mart Termik Santralı	Linyit	Çanakkale	320.0
Çatalağzı Termik Santralı	Taş Kömürü	Zonguldak	300.0
Çayırhan Termik Santralı	Linyit	Ankara	620.0
Engil Gaz Türbinleri	Motorin	Van	15.0
Entek A.Ş.	Doğal Gaz	Bursa	140.0
Entek A.Ş.	Doğal Gaz	İzmit	140.0
Esenboğa Santalı	Fuel Oil	Ankara	53.8
Hakkari II Santralı	Fuel Oil	Hakkari	24.8
Hamitabat DGKÇ Santralı	Doğal Gaz	Kırklareli	1120.0
Hopa Termik Santralı	Fuel Oil	Artvin	50.0
Isparta Mobil Termik Santralı	Fuel Oil	Isparta	27.9
İç Taş Termik Santralı	Taş Kömürü	Çanakkale	130.0
İdil II Mobil Termik Santralı	Fule Oil	Şırnak	24.4
Jeotermal Santralı	Doğal Buhar	Denizli	15.0
Kangal Termik Santralı	Linyit	Sivas	457.0
Kemerköy Termik Santralı	Linyit	Muğla	630.0
Kırıkkale Mobil Termik Santralı	Fuel Oil	Kırıkkale	153.9

Mardin Mobil Termik Santralı	Fuel Oil	Mardin	34.1
Orhaneli Termik Santralı	Linyit	Bursa	210.0
Soma A ve B Termik Santralı	Linyit	Manisa	1034.0
Samsun Mobil Termik Santralı	Fuel Oil	Samsun	131.3
Samsun II Mobil Termik Santralı	Fuel Oil	Samsun	131.3
Seyitömer Termik Santralı	Linyit	Kütahya	600.0
Siirt Mobil Termik Santralı	Fuel Oil	Siirt	25.6
Tunç Bilek Termik Santralı	Linyit	Kütahya	365.0
Van II Mobil Termik Santralı	Fuel Oil	Van	24.7
Yatağan Termik Santralı	Linyit	Muğla	630.0
Yeniköy Termik Santralı	Linyit	Muğla	420.0
Yumurtalık Sugözü Termik Santralı	İthal Kömür	Adana	1210.0

Çizelge 4. 3’de ülkemizdeki elektrik enerjisi üretim santralleri ve kullanılan yakıt tipleri görülmektedir. Çizelgede görüldüğü gibi ülkemizde elektrik enerjisi üretiminin önemli bir bölümü termik santrallerden sağlanmaktadır.

Ülkemizde kurulu durumdaki bazı enerji üretim santrallerini ve bulundukları iller Şekil 3. 4’de görülmektedir.



Şekil 3.4. Ülkemizdeki bazı enerji üretim santrallerinin haritası (ÇATES 2015).

Ülkemizdeki en büyük kömürle çalışan termik santral, Afşin-e-Sırbistan'da toplam 340 MW kurulu güce ve toplam 4 ünite 1360 MW kurulu güce sahip termik santraldir. Afşin-Elbistan linyit tarlalarında yeni termik santrallerin inşası devam etmektedir. Afşin-Elbistan-B termik santralinin ihale çalışmaları 1998 yılında tamamlanmış ve inşaat çalışmalarına başlanmıştır.

Manisa Soma linyit termik santralleri, Türkiye'de elektrik üreten ikinci büyük kömür fabrikasına dayalı olarak tesis alanında yer almaktadır. Bu bölgede, 1958'de her biri 22 MW gücünde iki ünitelerden oluşan bir termik santral olan Soma devreye alındı. Bölgede Soma-B adı verilen ikinci termik santral 6 ünitelerden oluşmaktadır. Bu santralin ilk 4 ünitesinin her biri 165 MW gücünde toplam 660 MW güce sahiptir. Soma-B termik santralinin ilk birimi 1983-1986 yılları arasında tamamlanmış ve devreye alınmıştır. Soma-B termik santralinin 5 ve 6 birimleri toplam 330 MW güce sahiptir.

Kütahya'nın 28 km kuzeybatısındaki Seyitömer termik santrali'nde, Türkiye Kömür İşletmeleri her bir tesise entegre olarak 150 MW ve 600 MW olmak üzere toplam 4 adet kurulmuştur. Tunçbilek Termik Santrali "A" ve "B"olarak ikiye ayrılır. Tunçbilek-bir enerji

santrali 3 üniteden oluşmaktadır. İlk iki ünite, 2x32 MVV ile toplam 64 MW güce sahiptir ve üçüncü ünite 65 MW güce sahiptir. 2 adet ve 3 adet 1956 ve 1966 yılında elektrik üretmeye başladı. Tunçbilek-B Termik Santrali, her biri 150 MW'lık iki üniteye toplam 300 MW'lık bir güce sahiptir. Bu iki birim 1979'da görevlendirildi. Orhanlı Termik Santrali Türkiye'nin yeni termik santrallerinden biridir. 1992 yılında kurulmuştur. Bu tek üniteli santral 210 MW kapasiteye sahiptir ve Orhanlı'ya (Bursa) 15 km uzaklıktadır.

Ülkemizin yeni kurulan enerji santrallerinden biri olan çayırhan Termik Santrali, 1987 yılında işletmeye açılmış ve 2 üniteye toplam 300 MW'lık bir güce sahiptir. Ankara'ya yaklaşık 130 km uzaklıktaki Çayırhan kasabasına çok yakındır. Türkiye'nin ilk ve tek baca gazı arıtma tesisi (baca gazı kükürt giderme) termik santralidir. Bu santral yakınında 2x165 MW gücünde 3 ve 4 ünitenin inşaatı ve montajı tamamlanmış ve deneme çalışmaları devam etmektedir.

1991 yılında devreye alınan Kangal ilçesi Sivas ilindeki kangal Termik Santrali, iki üniteye toplam 300 MW kapasiteye sahiptir. Bu termik santral için 150 MW'lık üçüncü bir ünite inşa ediliyor. Bu 3. ünite de dahil olmak üzere tüm üniteler için baca gazı arıtma tesisleri de inşa edilmektedir.

Çatalağzı, ülkemizde taş kömürle çalışan ilk ve tek termik santraldir. Zonguldak ve Çatalağzı lavvar, atıklar kullanılarak elektrik enerjisi elde etmek amacıyla kurulmuştur. İki üniteye toplam 300 MW güce sahiptir (Onacak 1999).

Düzensiz yerleştirilmiş termik santral katı atıkların karasal ve su ekosistemleri üzerinde etkileri olabilir (Carlson ve Adrianoj 1993). Küllerde bulunan toksik safsızlıklar toprak ve yeraltı sularında kolayca çözülür, bitki kompozisyonundaki değişiklikler ve verimde azalma, besin zinciri ve insanlar üzerindeki etkileri Karasal ve su ekosistemleri üzerindeki ana etkilerdir.

Termik santrallerde katı atıklardan kaynaklanan çevresel etkileri önlemek için, atıklar düzensiz bertaraf yerine doğru seçilmiş çöplüklerde toplanmalıdır. Katı atıkların (uçucu ve taban külü) bertaraf) için temel olarak çöktürme havuzları ve düzenli olarak hazırlanmış depo alanları olmak üzere iki yöntem bulunmaktadır (Carlson and Adriana, 1993). Çökeltme havuzlarında katı atıklar su ile karıştırılır ve göletlere pompalanır ve alt kısımda kül parçacıkları biriktirilir. Üst kısımdaki kalan su santrale geri pompalanır ve tekrar kullanılır.

Düzenli depolama alanlarında, santralden çıkan kül, baz geçirimsiz ve belirli zamanlarda toprakla kaplanmış ve depolama alanının doldurulmasından sonra yeniden ıslatıldıktan sonra doğrudan nemlendirilir. Uygun depolama alanı seçimine ek olarak, dikkate alınması gereken diğer önemli unsurlar şunlardır:

- Depolanmış katı atıklarla temas eden su miktarını en aza indirmek için depolama alanı çevresinde drenaj kanalları açılmalı ve temiz yüzey akışı sağlanmalıdır,
- Kül yığınlarıyla temas ederek kirlenen yüzey akışının temiz alanlara ulaşmasını önlemek için setler oluşturulmalıdır,
- Gerekli durumlarda, kül yığının içerisine liç toplama ve drenaj sistemleri kurulmalıdır (Carlson ve Adriana 1993).

4. TERMİK SANTRALLERİN ÇEVRESEL ETKİLERİ

Kömürden elektrik üretimi çevreye ve insan sağlığına ağır bedelleri beraberinde getirir. Ağır metaller içeren termik santrallerden gelen kirleticiler bu yükü yeraltı sularına, nehirlere ve göllere taşır; böylece sucul flora ve fauna etkilenir. Uçucu kül kalıntıları ve atık toprağı kirletir, özellikle bu kirlilik tarımsal faaliyetler için çok zararlı ve önemlidir. Kömürün yanmasında insan sağlığı için en önemli nokta, bacadan atmosfere geniş alanlarda dağıtılabilen emisyonlardır (SO₂, NO_x vb.) (Guttikunda ve Jawahar 2014).

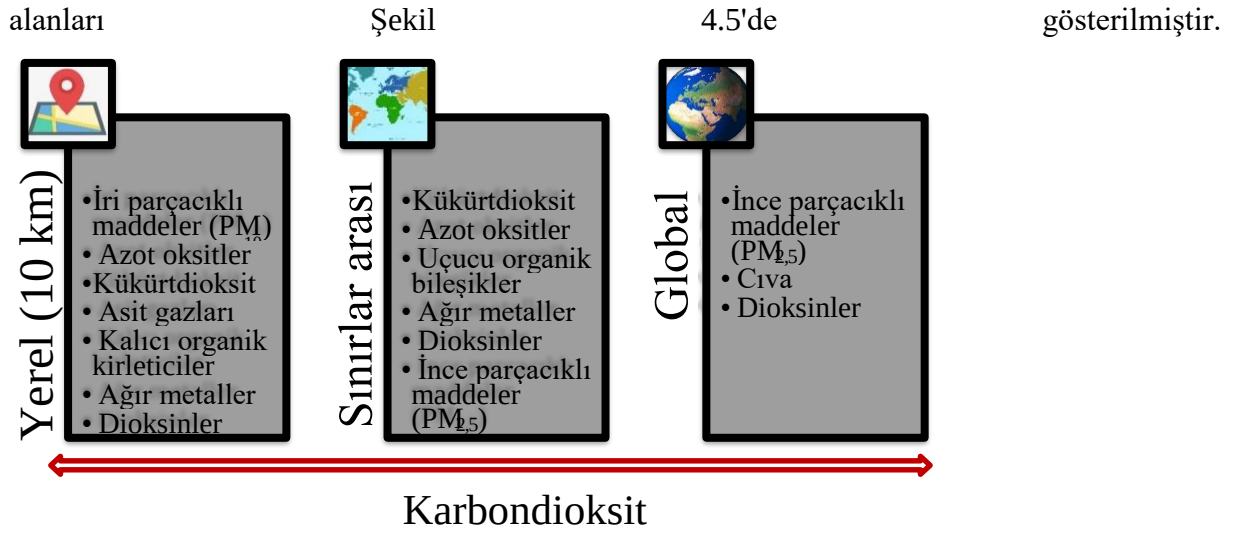
4.1. Fiziksel Çevre Üzerine Olan Etkileri

Genel olarak, termik santraller, kullanılan yakıta bağlı olarak önlemler alınmadığı sürece baca gazları, sıvı ve katı atıklar da dahil olmak üzere çevreyi olumsuz yönde etkileyebilecek enerji üretim tesisleridir. Üç fiziksel ana etkisi vardır:

- Hava kalitesine etkisi
- Su kalitesine etkisi
- Toprak kalitesine etkisi

4.1.1. Termik Santrallerin Hava Kalitesine Etkisi

Karbondioksit (CO₂), karbon monoksit (CO), kükürt dioksit (SO₂), azot oksit türleri (NO_x), ozon (O₃), hidrokarbon türleri, partikül madde (PM) ve kül emisyonlarının çalışması sırasında kullanılan yakıtlar nedeniyle değişen miktarlarda. Ana yakıt olarak düşük kaliteli linyit kullanan termik santraller daha kirletici özelliklere sahiptir. Baca gazı emisyonları genellikle rüzgar gücü ve yönüne bağlı olarak yerel hava kalitesini etkiler. Bu kirleticilerin etki



Şekil 4.1. Baca emisyonlarının etki alanları (Gümüsel ve Stauffer 2015).

Günümüzde iklim değişikliği en ciddi çevresel konulardan biridir ve iklim değişikliğinin başlıca nedenlerinden biri karbon dioksittir. Gelişmiş ülkelerde, enerji sektörü CO₂ emisyonlarının %90'ından ve toplam sera gazı emisyonlarının %75'inden sorumludur. Bu emisyonların yaklaşık yarısı, enerji santrallerinde yanma süreci ve rafinerilerden kaynaklanmaktadır (Jeon vd., 2009). 2009 yılında, dünyanın toplam elektrik üretiminin %41'i kömür tarafından sağlanırken, dünyanın elektrik ve ısı üretimi tarafından üretilen CO₂ 11.8 Gt'ye ulaştı ve %73'ü kömürün yanmasından sorumludur (Goto vd. 2013). İki ülke toplam CO₂ emisyonlarının yaklaşık %45'ini oluşturuyor: Çin ve ABD. Avrupa Birliği, Hindistan ve Japonya'nın bu iki ülke ile birlikte toplam payı %65'tir. Kömür fosil yakıtlarda en büyük paya sahiptir (Tamzok 2012). Fosil yakıtların yanma işlemi sırasında, karbonun büyük kısmı CO₂ olarak salınır. Küçük bir karbon oranı da karbon monoksit, metan ve metan olmayan uçucu organik bileşikler olarak yayılır. Küçük bir karbon oranı da karbon monoksit, metan ve metan olmayan uçucu organik bileşikler olarak yayılır. CO₂ için, emisyon faktörleri genellikle yanma koşullarından ziyade yakıtın karbon içeriğine bağlıdır. Bu nedenle, CO₂ emisyonları yanma işlemi sırasında kullanılan yakıt üzerinde oldukça doğru bir şekilde hesaplanabilir (Jeon vd.,

2009).Öte yandan, Co, SO₂, NO ve dolaylı olarak etkileyen CO₂ emisyon oranları doğrudan iklim değişikliğini etkiler genellikle aşağıdaki koşullara bağlıdır:

- Kömür karışımının kalitesi,
- Yağ kalitesi (eğer kullanılıyor ise),
- Ünite üretimi başına gereken kömür ve yağ miktarına,
- Santralin yaşına ve bakım standardına,
- Kazana beslenen fazla hava miktarına (Chakraborty vd. 2008).

Fosil yakıtta bulunan sülfürün %90'ı yanma sırasında kükürt dioksit şeklinde gaz fazına girer ve kasıtlı olarak çürümüş gazdan çıkarılmadıkça yılda yaklaşık 65 Tg SO₂ (S) 'nin küresel antropojenik emisyonuna neden olur. Buna ek olarak, yüksek sıcaklık yanma süreçleri kaçınılmaz olarak yılda yaklaşık 21-25 Tg NO_x (mN) küresel emisyonlara neden olur. SO₂ ve NO_x, sağlık ve çevresel etkileri nedeniyle büyük önem taşımaktadır. Buna ek olarak, yüksek sıcaklık yanma süreçleri kaçınılmaz olarak yılda yaklaşık 21-25 Tg NO_x (mN) küresel emisyonlara neden olur. SO₂ ve NO_x, sağlık ve çevresel etkileri nedeniyle büyük önem taşımaktadır (Hewitt, 2000). Büyük miktarlarda asidik kirletici (SO₂, NO_x vb.) salınımına bağlı olarak bölgesel hava kirliliğinde ve ekosistemin asitleşmesinde termik santraller özellikle kömür yakıtlı olanlar önemli birer kaynak olarak kabul edilir (Zhao vd., 2008). Bacalardan gelen kükürt ve azot oksitler, atmosferdeki hakim rüzgarlar tarafından ortalama 2-7 gün içinde taşınır. Asit yağmuru sadece canlılar için değil, aynı zamanda taş ve Antik Sanat için de önemli bir tehlike oluşturmaktadır (Anonim 2014) (Gümüşel ve Stauffer 2015).



Şekil 4.2. Termik santral devreye alınma anı (Anonim 2015).

Toz emisyonları çevreye hem fiziksel hem de içerik açısından zararlı olabilir. Özellikle, 2.5 μm ve 10 μm çaplı parçacıklar, akciğerlere kolayca ulaşabildikleri için özellikle önemlidir. Termik santrallerde çok yüksek miktarlarda çıkan uçucu küller, kül havuzu ya da barajları şeklinde düzenlenir. Blissett ve Rowson (2012), kömürle çalışan enerji üretimi tarafından küresel düzeyde üretilen kül miktarının yılda 750 milyondan fazla olduğunu, Izquierdo ve Querol (2012) ise bu miktarın %50'sinden daha azının değerlendirildiğini belirtmişlerdir (Ram vd. 2014). Türkiye, atık külün %65'ini kül barajında depolanmaktadır (Türkmenoğlu ve ark. 2014). Kömürle çalışan santrallerde üretilen toplam uçucu külün %0.5-2'si atmosfere kaçar ve tesisin çevresinde potansiyel bir tehlike oluşturur. Baca yüksekliğine bağlı olarak santrale yakın ya da daha uzağa taşınabilir (Gür ve Yaprak 2010).

Linyitin yanması sonucu eser miktarda organik bileşik salınır. Yayılan organik bileşiklerin oranı, kazanın yanma verimliliğine bağlıdır. Bu nedenle, yanma süresi, sıcaklık veya türbülans gibi değişiklikler çürüme gazındaki organik bileşikleri artırabilir (Vardar ve

Yumurtacı 2009). Organik bileşiklerden gelen polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH'lar) kömürde daha zengindir, uçucu kül ve alt kül çok daha düşüktür ve kömürün yapısında doğal olarak bulunan radyonüklidler de dahil olmak üzere eser elementler, uçucu kül ve alt külden daha kömürde daha düşüktür (Verma vd. 2015) (Gür ve Yaprak 2010). Kömürün yanma işlemi sırasında, mineral maddeler bir dizi fiziksel ve kimyasal değişikliğe tabi tutulur, böylece büyük, küçük ve eser elementler alt kül, uçucu kül ve yanma gazlarında yoğunlaşabilir. Clarke (1993), yanma elemanları sürecinde kömür, farklı davranış türlerine göre üç gruba ayrılır: 1. Grup elemanları, ince parçacıkta ince kül konsantreleri olan kaba kalıntı (alt kül) veya hatta küllerdir, ikinci grup elemanları yanma odasında buharlaşır, ancak sistemden kaçabilen ince parçacıklarda aşağı akım yoğunlaşmasını kontrol eder. Grup 3 elementleri en uçucu olanlardır ve gaz fazında kalan tüm katı fazları tüketirler (Arditsoglou vd. 2003). PAH'lar için endişe kaynağı bazı mitojen ve / veya kanserojen özellikte olmasıdır. Buna ek olarak, arsenik, Kobalt, Krom, manganez ve nikel salınımı oluştururlar (Vardar ve Yumurtacı 2009).

Bugün, dünya çapında cıva salınımının %33'ü volkanik aktivite ve okyanus emisyonları gibi doğal kaynaklardan ortaya çıkıyor ve bugün antropojenik cıva emisyonları yılda yaklaşık 2200 ila 4000 ton. Antropojenik cıvanın büyük bir kısmı kömürle çalışan enerji santralleridir. 2000 yılında, Hg emisyonlarının yaklaşık %60'ı fosil yakıtların yakılmasından kaynaklanmıştır (Martin ve Nanos 2016). Günümüzde, cıva emisyonları endüstriyel faaliyetlerden üç kat daha fazladır ve Kuzey Kutbu biotasında çok yüksek Hg miktarları bulunmuştur. Cıva, doğada ve canlı organizmalarda cıva bir nörotoksindir, Metilcıva olarak doğada ve canlılarda biyobirikime uğrar ve cıva gaz durumunda bulunabilir. Kirlilik kaynaklarından salınan atmosferik cıva uzun mesafelerde taşınabilir ve uzak noktalarda çökme yapabilir. Parçacıklarda, cıvanın bir kısmı, gaz cıvasının dönüşümü ile oluşabilir. Parçacıklar atmosferde cıvanın biyojeokimyasal işleminde, adsorpsiyon için yüzey alanında ve gaz cıva kimyasal dönüşümünde önemli bir rol oynamaktadır (Gao vd. 2016).

4.1.2. Termik Santrallerin Su Kalitesine Etkisi

Termik santrallerden çıkan kül, cüruf ve çürük gaz içerisinde kirliliğe neden olan, arsenik (As), kadmiyum (Cd), baryum (Ba), kurşun (Pb), krom (Cr), selenyum (Se), çinko (Zn) ve cıva (Hg) gibi toksik iz elementler bulunur. Bu iz elementler yağmur suyu ile karışabilir ve

uygun pH gibi bazı koşulların olduğu durumunda yüzey suyu ve yeraltı suyu ile karışabilir. Sonuç olarak, toksik eser elementler hem toprakta, yüzey suyunda hem de yeraltı sularında çeşitli çevresel sorunlara neden olabilir. Termik santrallerden katı atıkların en büyük payı %99.4 oranında (kül, cüruf, uçucu kül ve alçı) mineral atıklardır (Topal vd. 2011). Tunçbilek Termik Santrali çevresinde sekiz yerleşim yerinden alınan su örneklerinin civa değerleri Dünya Sağlık Örgütü (WHO) sınır değerlerine yakındı. Yatagan Termik santralinin kontrol kuyukarında yapılan çalışmada, bazı kuyularda DSÖ limit değerinin (0.025 ppm) aşıldığı gözlenmiştir (Uslu ve Gökmeşe 2009).

Çizelge 4.1. 2003-2008 yılları arasında termik santrallerden çıkan katı atıkların miktarları ve bertaraf yöntemleri (Topal vd. 2011).

Yıl	Atık Miktarı	Uygulama (milyon)
2003	11,84	□ %10' u geri kazanım (tesis dışı)
2004	13,34	□ %90' ı bertaraf (%79'u kül dağı/kül barajı)
2006	16,01	
2008	25,62	• %79' u kül dağı/kül barajı • %16' sı maden sahasına depolama/gömme • %3' ü satış/geri kazanım

Depolama alanına kömür yakma sonucu oluşan uçucu külün sevkıyatında, uçucu kül parçalanmayı önlemek için nemlendirilir. Kül nemlendirmesinin bir sonucu olarak, kül barajlarında büyük hacimli atık su barajları oluşur. Küldeki iz elementlerin suya geçişinde pH önemli bir rol oynar. Genel olarak, kül sahasındaki atık sular (pH 9-11,5) bazik özelliklidir. Temel ortamlarda ağır metallerin çökmesi nedeniyle, düşük toksisiteye sahip eser elementler varlığını sürdürür ve asidik ortamlarda suya aktarılabilir (özellikle pH <5).Örneğin, Yatağan Termik Santrali atık depolama barajından sızan suların pH'ları iz elementlerin suya geçişi için gerekli pH'a (pH 8-10) sahip değilse de atmosfere bırakılan SO₂, NO_x emisyon salınımı ve

bunların atmosferdeki nem ile reaksiyona girip çeşitli yağışlarla ile asidik ortamlar oluşturmaları sonucunda pH düşebilir ve toksik iz elementler yeraltı sularına karışabilir (Topal vd. 2011).

Termik santraller ve su kalitesi üzerindeki etkileri, özellikle deniz, nehir ve göl gibi su kaynaklarına yakın tesislerde tek geçiş sistemi ile soğutma suyu olarak bu kaynakların kullanılmasının bir sonucu olarak termal kirliliktir. Bu noktada, atık suyun nerede boşaltılması gerektiği konusu önemlidir. Atık suyun kaynağa su kaynağından daha yüksek sıcaklıklarda boşaltılması, su ekosistemine zarar verebilir. Son zamanlarda sucul ortam etkilenmesinden kaçınmak için termal deşarjın çıkış noktasında su kaynağına karıştığı andaki sıcaklıkta ilk yükselmenin 5°C den düşük olması gerektiği kabul edilmektedir. Sudaki oksijen çözünürlüğü, artan sıcaklık ile azalır ve bu da su ortamına zarar verebilir. Rosen vd. (2015) Romanya'daki Jiu Nehri boyunca üç 330 MW termik santral (Rovinari, Turceni ve Craiova) etkisini araştırdı ve sınır değerlerine yakın olmasına rağmen Jiu Nehri'ne yapılan deşarjların kabul edilebilir olduğunu buldu. Bununla birlikte, bu durum üç termik santral devrede olması durumunda sorunlara yol açabilir (Rosen vd. 2015).

4.1.3. Termik Santrallerin Toprak Kalitesine Etkisi

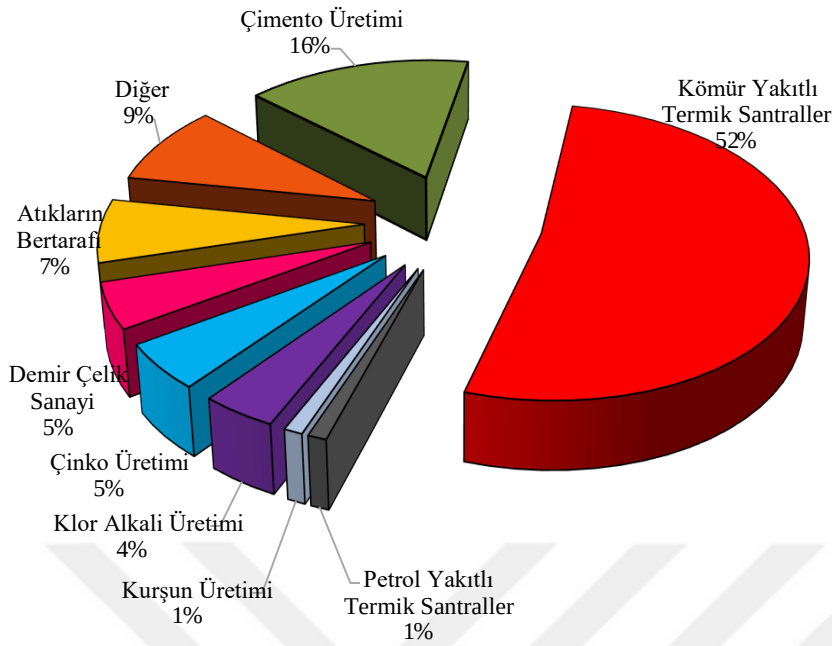
Kömürle çalışan enerji santrallerinden kaynaklanan iz elementler, uçucu fazların atmosferik emisyonları, yanma atığının taşınması, depolanması veya yanması sırasında sızıntı veya toprak yüzeyinde çökme sonrasında çevreye dağılır. İz elementlerin emisyon seviyeleri, kömürdeki her bir elementin orijinal konsantrasyonuna, kömür külünün spesifik kimyasına, kömür külünün bir kısmına, yanma koşullarına ve hava kirliliği kontrol ekipmanının kaldırma verimliliğine bağlı olarak değişir (Dragovic 2013). Ağır metal terimi, 4 g/cm³'ten daha büyük bir atom ağırlığı olan metaller ve metaloidler için kullanılır. Kömürün kimyasal içeriğinde iz seviyeleri olmasına rağmen, kömür tüketimindeki artışla atmosfere salınan ve hem toprak hem de yüzey sularında saklanan ağır metallerin emisyonunda önemli bir artış olmuştur. Sulamada kullanılan ağır metaller ve deşarj suları ile kirlenmiş düşük seviyeli toprak, toksik kirleticilerin tarımsal bitkilerde birikmesine ve insan besin zincirine girmesine neden olmuştur (Noli ve Tsamos 2016). Toprakta bulunan ağır metaller mikrobiyal veya kimyasal azalmaya maruz kalmaz ve toplam konsantrasyonları toprağa ulaştıktan sonra uzun yıllar devam eder. Geçen yüzyılda, kömür depolama ve işleme çalışmaları ve kül nakliye ve bertaraf prosedürleri artan endişe konusu olmuştur. Çiçek ve Koparal (2004), Türkiye'de linyit kullanan enerji santralinin

Çevresel etkisi ile ilgili yaptıkları çalışmada, topraktaki kükürt ve iz elementlerin, santralden 5 km uzaklıkta olduğunu ve normal değerin üzerindeki konsantrasyonlarda yaşayan türlere zarar verme tehlikesini oluşturduğunu göstermiştir (Dragovic 2013).



şekil 4.3. Kömür konveyör bantları (Anonim 2015).

Termik santrallerin toprak kalitesi üzerindeki etkisinde önemli bir rol oynayan kirlilik türü, Biyoakümülasyon özelliklerinden dolayı cıva kirliliğidir. Cıva ve diğer birçok iz element içeren kömürün yanma sürecinde, iz elementlerin %70'i uçucu kllere geçerken cıvanın 200'Cde buharlaşması sebebiyle neredeyse tümü uçucu kllere geçer. Toksik etkileri, insan ve evre sağlığını tehdit eden en tehlikeli iz element olarak kabul edilen cıva ile ilgili kirliliğinin



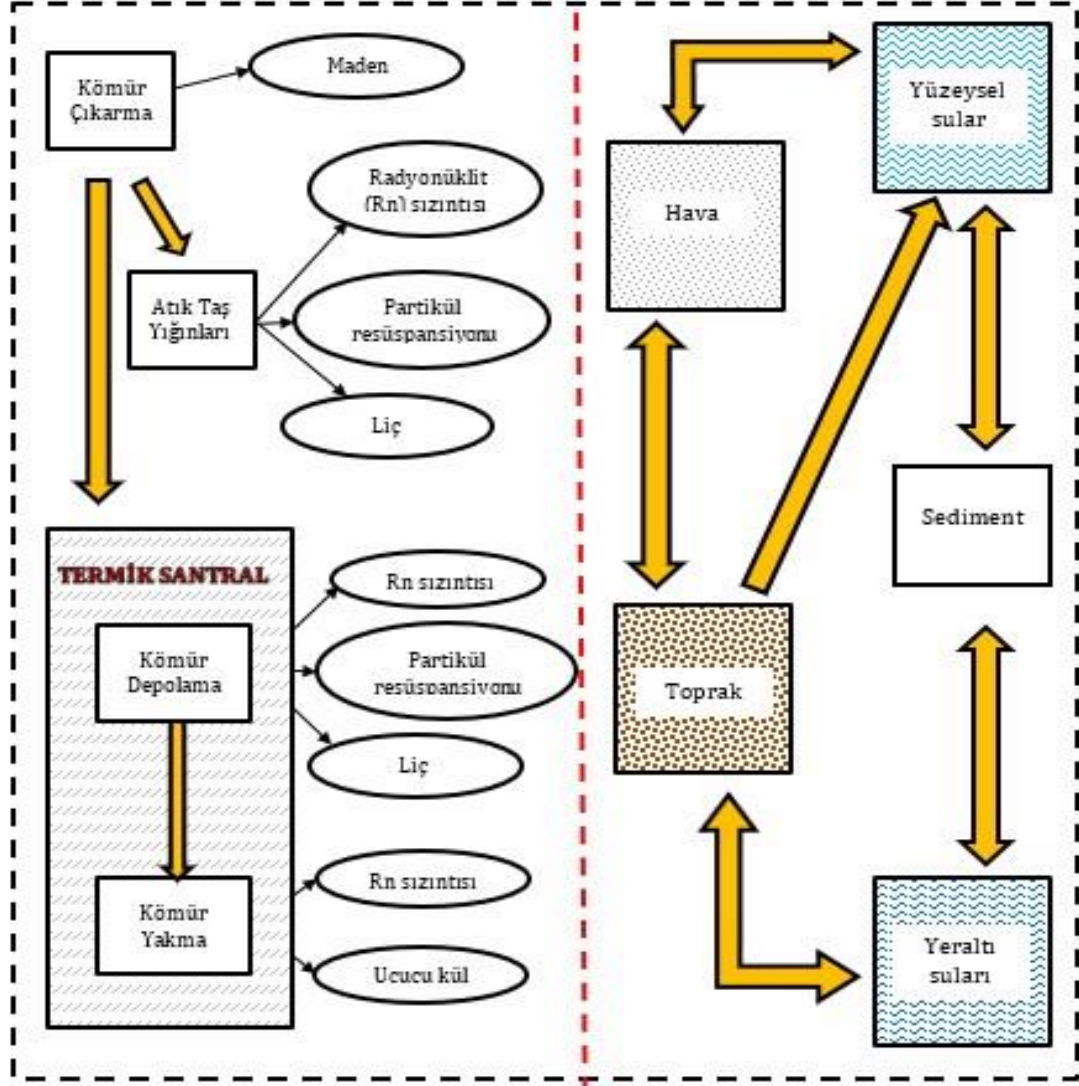
Şekil 4.4. Cıva kirliliğinin sektör bazında çevreye salınım oranları (Uslu ve Gökmeşe 2009).

en önemli nedeni nedeniyle Şekil 4.4’de görüldüğü gibi 52% emisyon oranı ile kömür yakıtlı enerji santralleridir (Uslu ve Gökmeşe 2009).

Antropojenik cıva emisyonları doğal konsantrasyonları önemli ölçüde artırdı. Topraktaki cıva genellikle atmosferik çökeltme ile ilişkilidir. Cıva, çökmeden önce 2 yıla kadar atmosferde kalır. Öte yandan, termik santrallerde kömürün yanması, karbon tarafından tamamen yakılmayan uçucu kül üretir ve sonuç olarak cıva daha hızlı yağışa uğrar. Birçok çalışma, Termik santral çevresinde cıvanın varlığının ve birikiminin önemli olduğunu göstermiştir. Kömür termik santrallerinin yakınında topraktaki cıvanın %70’i kömür yanmasından kaynaklanır (Martin ve Nanos 2016).

Kömür, diğer katman kayaçlarına benzer konsantrasyonlarda doğal radyoaktif elementler içerir. Kömür madenciliği, yıkama, depolama ve yakma, radyonüklidlerin yerel ortam arka plan konsantrasyonlarının üzerinde yükselmesine neden olur. Radyonüklidler kömür yanması ile uçucu külde zenginleştirilmiştir. Kömürle çalışan sistemlerde üretilen toplam külün %0.5 ila %2’si atmosfere kaçır ve santral yakınında hasar potansiyeli yaratır. Kaçan küldeki radyonüklitlerin ortalama konsantrasyonları, ^{238}U 200 Bq/kg, ^{226}Ra 240 Bq/kg, ^{210}Pb 930

Bq/kg, ^{210}Po 1700 Bq/kg, ^{232}Th 70 Bq/kg, ^{228}Th 110 Bq/kg, ^{228}Ra 130 Bq/kg, ^{40}K 265 Bq/kg'dır (Gür ve Yaprak 2010). Radyoaktif maddelerin kömür çevrimindeki geçiş yolları Şekil 4.5'de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Radyoaktif maddelerin kömür çevriminde geçiş yolları (Charro ve Pena 2012).

4.2. Biyolojik Çevre Üzerine Olan Etkileri

Hem yerleşim alanlarının, hem de tarım alanlarının ve doğal yaşam alanlarının termik santral çıkışlarından olumsuz etkilendiği bilimsel araştırmalarla kanıtlanmıştır ve insanlar ve

tüm canlılar sağlık açısından bu olumsuz etkilerle karşı karşıyadır. Termik santrallerin alıcı ortamlar üzerindeki her olumsuz etkisi canlılara yansır.

4.2.1. Termik Santrallerin Fauna Üzerine Etkisi

Binaların ve tarihi eserlerin erozyonunda, ormanların ve su kirliliğinin azaltılmasında rol oynayan asit yağmuru birincil kaynağı, kömürü yakıt olarak kullanan termik santrallerdir ve bu yağmurların asitlenme etkileri birçok tür için önemlidir. Asit birikiminin etkileri, nehirler ve göllerdeki su ekosistemlerini olumsuz yönde etkilerken, ormanlar ve tarım ürünleri gibi muazzam, zararlı bitki örtüsü olabilir. Ötrofikasyon, su kalitesini azaltarak büyük hasara neden olabilir, ancak aynı zamanda biyolojik çeşitliliğin azalmasına, tür dağılımındaki değişikliklere ve baskınlığa ve toksik etkilere neden olabilir (Baleta vd. 2016). Kuşlar, amfibiler, böcekler ve memeliler gibi birçok türün bağlı olduğu sucul ekosistemler, özellikle asitleşmeye duyarlıdır. Genel olarak, yüksek asit seviyesi, daha fazla hasar türleri ve sayıları. Midye ve kerevit gibi kabuklular ve mayıs sineği gibi bazı böcekler, artan asitliğe sahip sulara en duyarlı olanlardır (Glick 2001).

Asit yağmurlarının neden olduğu sucul ekosistemlerdeki değişiklikler memelileri etkilerken, sucul türlerle ilgili memeliler bu değişimden en çok etkilenir. Göller ve nehirler ve bunların ilişkili doğal yaşam ek olarak, asit birikimi orman ekosistemleri için birçok sorunlara neden olur. Ağaçları yapraklar boyunca doğrudan etkilerken, büyüdüleri toprağın kimyasını dolaylı olarak değiştirmektedirler (Glick 2001). Örneğin; Afşin Elbistan Termik santralinin kazı alanı 1987 yılından bu yana çam ve sahte akasya ile süslenmiş ve son yıllarda ağaçların %27'sinin kuruduğu gözlenmiştir. Toprağın fiziksel-kimyasal özelliklerine ek olarak, asit yağmurunun yaprak düşüşünde etkili olduğu düşünülmektedir (Özcan vd. 2014).

Kömürün yakılmasıyla havaya verilen cıva yağmur, kar veya kuru parçacıklarla, göller, nehirler ve kıyı suları sağlık sorunlarına neden olabilir. Su ile karıştırıldığında, cıva mikroorganizmalar tarafından kimyasal olarak stabil ve yağda çözünen bir form olan metilmerküreye dönüştürülebilir. Birçok canlı üzerindeki yıkıcı etkisi ile besin zincirinde birikmeye hazır hale gelmiş olur (Glick 2001).

4.2.2. Termik Santrallerin Flora Üzerine Etkisi

Termik santrallerde soğutma, buhar üretimi ve temizliği gibi amaçlar için kullanılan sular, yüksek sıcaklıklara sahip olup toprak, yeraltı suyu, nehir ve denizlere boşaltılmaktadır. Suyun sıcaklığı yüksek olduğundan, canlı organizmaları etkilemektedir.

Asit yağmurları yaprakların stomasına girer ve yaprağın su dengesini sağlayan sitoplazmanın asitleşmesine neden olur. Sonuç olarak, yaprak sıvı kaybeder ve kısa sürede ölür. Bu şekilde, ağacın hastalık direnci azalır ve zararlı böceklerin istilasına uğrayarak ölümü hızlanır. Buna ek olarak, yavaş yavaş zayıflayan ve yapraklarını kaybeden ağacın çatıları seyrek hale gelir ve ağaç rüzgardan yıkılabilir (Gürbüz, 2016).

Asit yağmuru topraktaki asit yağmuru sonucunda artar ve bu güçlü asidik çözeltiler topraktaki Ca^{++} , Mg^{+} , K^{+} gibi minerallerin kaybına sebep olur. Bu mineraller ağaçların büyümesi ve kendilerini yenilemesi açısından hayati önem taşımaktadır. Topraktaki pH oranı %5'in altına düşerse, toprak sıvısındaki alüminyum ve ağır metallerin konsantrasyonu artar. Kuru mevsimlerde, topraktaki nem azalmasının bir sonucu olarak, bu maddeler yoğunlaşır ve bitki kökleri için ölümcül bir etkiye sahiptir. Buna ek olarak, kloroplastlarda biriken SO_2 , yaprağın fotosentezini önler ve böylece ağaca zarar verir. Bunun bir sonucu olarak, ağaçların yeşil sürgünleri gelişmez ve kurur, yapraklar düşer, çiçek ve meyve vermez.

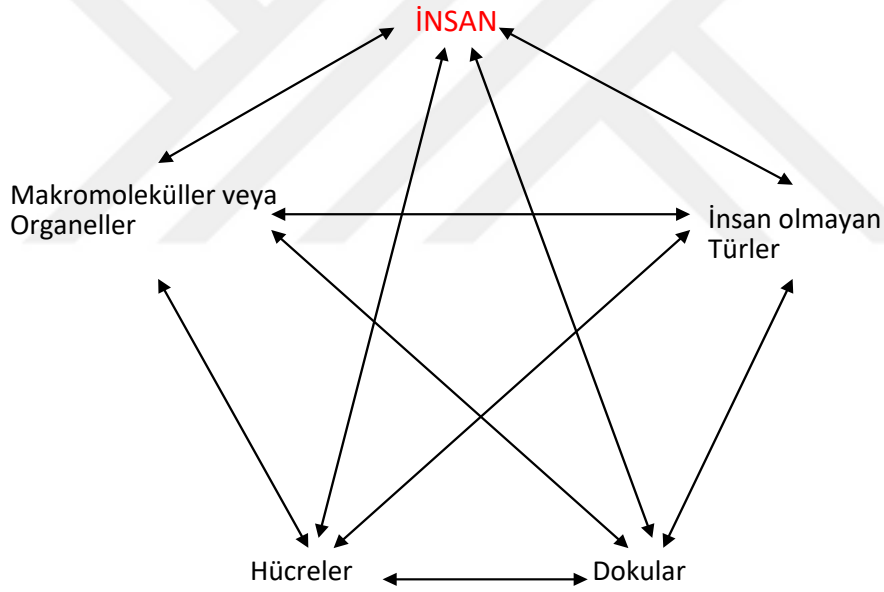
Termik santrallerin doğal çevre üzerindeki bir diğer olumsuz etkisi ise, baca gazı kükürt giderme tesislerindeki küllerin veya su kaynaklarının neden olduğu kirliliktir. Özellikle baca gazı kükürt giderme tesisine sahip olmayan veya çalışmayan bitkiler büyük miktarda kükürt dioksit çıkışına sahiptir. Bu gazın canlılar üzerinde birçok olumsuz etkisi vardır. Bunlardan biri bitkiler üzerindeki etkidir. Linyit yakıtlı termik santrallerin aktivasyonu ile ormanlarda kirleticilerin kümülatif bir etkisi vardır. Bu etki, çam gibi iğne yapraklı ağaçların iğne yapraklı ağaçlarında kükürt birikimi ve ağaçların yıllık büyüme halkalarının daralması olarak ortaya çıkmaktadır. Sonuç olarak, zararlı gaz etkisi hem yavaşlayarak bitki örtüsünün büyümesini kesintiye uğratar hem de odun üretiminde verim kaybına neden olmaktadır (Gürbüz, 2016).

4.2.3. Termik Santrallerin İnsan Sağlığına Etkisi

Termik santrallerin çevre üzerindeki olumsuz etkileri hem seviyeler hem de sonuçlar açısından netleşti ve bunların kamu ve insan sağlığı üzerindeki etkileri araştırma konularının

ön saflarında yer almıştır. Bu araştırmalardan bazılarında, doğrudan sağlık için ortaya çıkan riskler üzerine laboratuvar çalışmaları yapılırken, bazılarında hastalık yükü veya modelleme çalışmaları gibi küresel kavramlardan yararlanılarak risk faktörü hesaplamaları ile değerlendirilmiştir.

Emisyonların kimyasal ve fiziksel özellikleri, termik santrallerde kullanılan yakıtın doğasına, yanma ve ileri yanma için sıcaklık ve zaman profilinin çeşitliliğine bağlı olarak da değişir. Tipik bir yanma işlemi emisyonu yoktur. Bu, yanma süreci emisyonlarının sağlık risklerini belirlemeyi zorlaştırır. Öte yandan, tek bir yanma sürecinden kaynaklanan emisyonlara maruz kalan laboratuvar hayvanları gerçek dünyayı yansıtmamaktadır. Bu noktada, insanlar için toksik atıkların sağlık risklerini değerlendirmede birbiriyle ilişkili tamamlayıcı çalışmaların türleri Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Sağlık risklerinin değerlendirilmesinde tamamlayıcı çalışma tipleri (McClellan 1983).

Son yıllarda, siyasi kararların tıbbi ve çevresel sonuçlarının karşılaştırılmasını, değerlendirilmesini ve anlaşılmasını kolaylaştırmak, çevresel durumu ve ilişkili sağlık

rezervlerini ölçmek, birden fazla yer ve zaman periyodu için çevre sağlığı etkilerinin karşılaştırılmasına yardımcı olmak, çevre sağlığı konusunda kamu bilincini yaratmak amacıyla “Çevresel Sağlık Göstergeleri” kullanılmaktadır. Bu göstergeler, çevre koşulları ya da olumsuz sağlık etkilerine sebep olan eğilimleri içeren “sağlığa bağlı çevresel göstergeler” (maruziyet kaynaklı göstergeler) ve solunum ile ilgili semptomların sıklığı gibi doğrudan tıbbi sonuçları kullanan “çevreye bağlı tıbbi göstergeler” (sonuç kaynaklı göstergeler) olmak üzere ikiye ayrılır. Göstergeler nitelik, nicelik ya da mekânsal ölçekli gibi pek çok farklı ihtiyaç için farklı şekillerde sınıflandırılabilir (Bell vd. 2011).

Örneğin Türkiye’ de yakıt olarak kömür kullanan termik santrallerin hastalık yüküne olan etkisi Şekil 5.7’de gösterilmiştir. Toplam sağlık maliyetinde partikül maddeye bağlı kalp rahatsızlıkları ve kronik solunum baz alınmıştır.



Şekil 4.7. Türkiye’de taşkömürü ve linyit yakıtlı termik santrallerin kirletici emisyonları ile bağlantılı sağlık etkileri (Gümüşel ve Stauffer 2015).

Termik santrallerin insan sağlığı üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesinde izlenecek yol ve kriterlere ek olarak, neden-sonuç ilişkisinde ne tür tıbbi vakalarla karşılaşıldığını bulmak da önemlidir. Nedenleri alıcı ortama göre sınıflandırmak mümkündür:

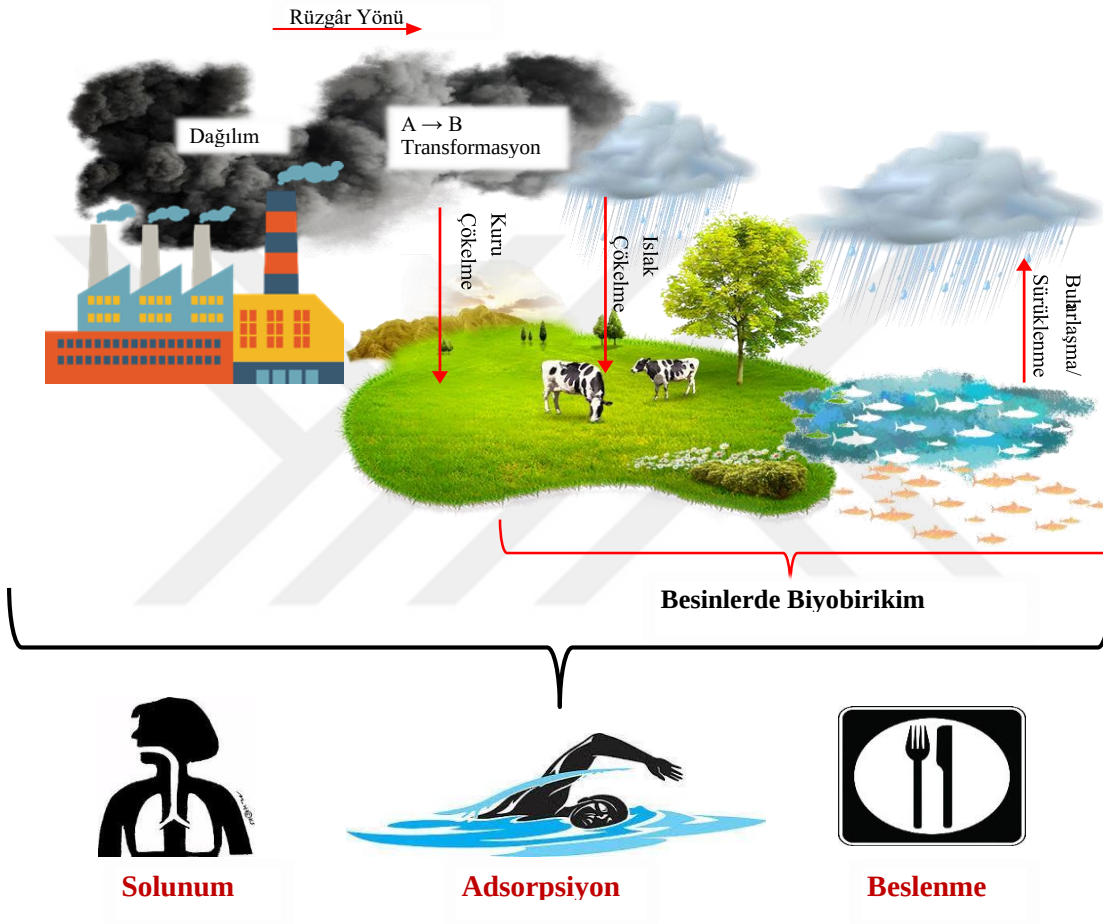
1. Hava kirliliği ile alakalı olarak sağlık etkisi,
2. Su kirliliği ile alakalı olarak sağlık etkisi,
3. Toprak kirliliği ile alakalı olarak başta gıda güvenliği olmak üzere sağlık etkisi,
4. Doğanın zarar görmesi ile alakalı olarak sağlık etkisi (Pala 2012).

Termik santrallerde fosil yakıtların özellikle düşük kaliteli kömürlerin yakılması, farklı endüstrilerin ve insan faaliyetlerinin neden olduğu hava kirliliğini arttırmaktadır. Termik santraller, birçok atmosferik kirleticiler için birincil kaynaktır. Termik santraller, solunum yolu hastalıkları, kronik bronşit, erken ölümler gibi istenmeyen sonuçlarla ilişkili SO₂, NO_x, PM gibi baca gazı emisyonlarına neden olmaktadır. Bu kirleticilerin bazıları doğrudan insan sağlığını etkilerken (PM, ozon), bazıları ise dolaylı olarak etkilemiştir (NO_x ve SO₂ kaynaklı asit yağmurları) (Dai vd. 2013).

Hava kirleticileri arasında insan sağlığı açısından ilk dikkat çekici olan partükül maddedir. Kömürün kimyasal özelliklerine ve yanma koşullarına bağlı olarak, partikül madde hem içerik olarak (ağır metaller, radyoaktif elementler, vb.) hem boyut olarak tehlikelidir. Kömürün yanmasıyla oluşan kl %95-99'luk bir verimle elektrofiltrede tutulmasına rağmen, bacanın %1-5'inde depolanan külden dağılmış partikül madde, insan sağlığı için hastalığın yükünü arttıran öncülerden biridir. Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TİİK) termik santrallerde üretilen atıkların rakamlarına göre yaklaşık %65'i kl barajlarında kalan %35 oranında depolandığı, özellikle kuru ve rüzgarlı hava koşullarında dağınık toprak, su ve besin zincirinin insan vücuduna müdahale ettiği bildirilmiştir (Yardımoğlu vd. 2014). Uçucu küller, kömürlü termik santraller yakınında yaşayanlar ve bu tesislerde çalışan personeller için uçucu kül parçacıklarının solunması, mera ve tarımsal ürünler üzerinde birikmesi sonucunda besin olarak tüketmek insan sağlığına ciddi zararlar vermektedir (Charro ve Pena 2012).

Hava kirleticileri, özellikle partikül madde, solunum sorunlarına neden olduğu bilinmektedir. Bu küçük parçacıklar akciğer dokusundan kan dolaşımına girebilir ve böylece kan dolaşımını ve birçok organı etkilemektedir. Türkiye'de, partikül maddeler ile ilişkili rahatsızlığın %20'si kömürle çalışan termik santrallerden kaynaklanmaktadır. WHO' ya bağlı

Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı (IARC)' a göre, 2013 yılı itibariyle partikül maddeler, insanlarda kansere neden olan bir faktör olarak sınıflandırılmıştır. Dünya Sağlık Örgütü' nün yine üzerinde önemle durduğu, güvenli maruziyet seviyesi dahi belirlemediği ozonda yine solunum sistemleri için oldukça tehlikelidir. Ozona maruziyet sonrası astım ve KOAH gibi solunum bozuklukları ortaya çıkabilir veya atakları tetikleyebilir (Gümüsel ve Stauffer 2015).



Şekil 4.8. Emisyonların doğada döngüsü ve biyobirikim süreci.

Kömürle çalışan termik santraller, düşük dozlarda bile, minimum kalıcı nörolojik ve beyin hasarına neden olabilen ve yüksek dozlarda engelliliğe ve hatta ölüme neden olabilen çevreye önemli cıva salgılanmaktadır. Cıvanın, en çok zarar verme potansiyeli çocuklara ve henüz dünyaya gelmemiş bebeklere olması nedeniyle, bu konudaki en büyük kaygı çocuklar ve hamileler için duyulmaktadır. Metil cıva yutulduğunda hemen emilir, kolayca plasenta ve kan-beyin bariyerlerine geçer. Metil cıva çok yavaş ayrışır ve vücuttan çıkarılır. Son araştırmalar, annelerin gebelik sırasında cıva maruziyetinin miktarına göre çocuklarının konuşmasında,

hafızasında ve dikkatinde yan etkileri olduğunu göstermiştir. Çay kaşığının 1/70'i kadar cıva, yaklaşık 10 hektarlık bir gölden balık yenilmesinin tehlike arz ettirecek kadar kirletici özelliğe sahiptir (Glick 2001).

Cıva ve arseniğe maruz kalma nedeniyle termik santral yakınında yaşayan ve çalışan insanlarda cilt kanserlerinde artış gözlenmiştir. Termik santrallerden kaynaklanan emisyonların insan sağlığına etkileri üzerine yapılan bazı çalışmalar Çizelge 4.5'te özetlenmiştir.

Çizelge 4.2. Termik santrallerden kaynaklı emisyonların insan sağlığına etkileri ile ilgili bazı çalışma sonuçları (Pala 2012) (Yardımoğlu 2014).

Ülke	Çalışma Grubu	Bulgular
Türkiye (Seyitömer Termik Santrali)	Yetişkinler	Solunum fonksiyonlarında
	(Sigara içmeyenler)	azalma
İsrail	Çocuklar	Solunum fonksiyonlarında azalması
Tayland	Çocuklar (Astımlı)	Akciğer fonksiyonlarında azalma
Tayland	Tüm yaş grupları	Ölüm oranında artma Solunum/Kalp nedenli yatışlarda artma
Slovakya	Tüm yaş grupları	Arsenik kaynaklı melanom dışı deri kanserinde artma (%21)

Türkiye (Afşin-Elbistan Termik Santrali)	Yetişkinler	Sitogenetik hasarda yükselme
Türkiye (Yatağan Termik Santrali)	Tüm yaş grupları	Solunum fonksiyonlarında azalma
Tayvan	Kadınlar (Gebe)	Erken doğum miktarında artma
Türkiye (Orhaneli Termik Santrali)	Tüm yaş grupları	Solunum fonksiyonlarında azalma

4.4. Termik Santrallerin Negatif Etkilerinin Azaltılmasına Yönelik Alınabilecek Teknik Önlemler

Karbondioksit giderimine yönelik önlemler

Kömürle çalışan enerji santrallerinde CO₂'nin kirli gazdan uzaklaştırılması, sera gazı emisyonlarının azaltılması ve çevre yasalarındaki sınırların karşılanması için büyük önem taşıyan bir teknolojidir. CO₂'nin yakalanması için bilinen bir teknolojik alternatif, alkanolamin veya bunların bir karışımı gibi sulu çözücülerle emilim / ayırma yöntemidir (Ziaii vd. 2009). Bu teknolojinin temel süreci 1930 yılında patenti alınmıştır ve 2030 yılına kadar termik santrallerde CO₂ yakalama için hakim teknoloji olması beklenmektedir (Rochelle 2009).

Son yıllarda, temiz kömür teknolojileri üzerine yapılan çalışmalar artan verimlilik ve CO₂ tutma ve depolama (KTD; CCS) sistemlerine odaklanmıştır. Özellikle, süperkritik ve ultra-süperkritik, CO₂ emisyonlarının ilk aşamada 1/3 oranında azaltılması, sonraki adımlarda daha gelişmiş sistemlerle verimliliğin artırılması, ikinci bir 1/3 oranında düşme sağlanması ve son etapta KTD sistemlerinin devreye alınması gelişmiş ülkelerde yol haritası olarak belirlenmiştir (Tamzok 2012).

Kükürtdiosit giderimine yönelik önlemler

Kükürt dioksit, düşük kaliteli linyit nedeniyle emisyonlardaki en önemli sorunlardan biridir. SO₂ emisyonlarını azaltmak için kullanılan yöntemler, kaynak bazlı iyileştirme (düşük kükürt içerikli yakıt kullanımı, kükürt içermeyen yakıt kullanımı), yanma sırasında SO₂ çıkarma ve yanmadan sonra SO₂ çıkarma gibi ıslak, yarı kuru ve kuru baca gazı arıtma teknolojileri olarak sınıflandırılmaktadır.

Baca gazı kükürt giderme (BGA, FGD) sistemi, büyük ölçekli elektrik üretmek için kullanılan kazanlardan SO₂ emisyonlarını gideren ıslak yıkayıcı kuleleri için yaygın olarak kullanılan bir terimdir. BGA sistemleri 1970'lerin başında Amerika Birleşik Devletleri ve Japonya'da ortaya çıkan kömür yakıtlı santrallerin sanayi alanında ve bazı endüstriyel süreçlerde kullanılmak üzere, ve hızla 1980'lerde Avrupa'ya yayıldı. BGA sürecinde, baca gazı emici veya yıkayıcı Kulesi yüksek katı kükürt içeren çamur oluşturmak için bir emici ile reaksiyona girer. Yüksek kükürt giderme verimliliği ve düşük işletme maliyeti nedeniyle literatürde genel görüşe göre %87 kullanım oranına sahip ıslak kireçtaşı sürecini desteklemektedir (Cordoba 2014).

Azot oksit türevlerinin giderimine yönelik önlemler

Son yıllarda, enerji talebindeki aşırı artış, hava kirleticisi emisyonlarının konsantrasyonunu ve düşük kaliteli hava ile gün sayısını artırmıştır. Çevresel kaygılar arasında önemli bir yere sahip olan hava kirliliğini önlemek için, kömürle çalışan enerji santralleri, baca gazındaki SO₂, NO_x ve partikül madde (PM) gibi emisyonların giderilmesine odaklanmaktadır. Kazanın çıkışındaki gazın içerisindeki NO_x emisyonlarının %95'i azot oksit (NO) olarak bulunur. Azot dioksit (NO₂) yüksek sıcaklıklarda kararsızdır. Çürüme gazı atmosfere salındıktan sonra, NO_x sonuçta NO₂'ye dönüştürülür. Asit yağmuru, fotokimyasal sis (ozon) ve artan ince parçacık seviyeleri gibi önemli çevresel sorunlara neden olan NO_x emisyonlarıdır (Zhang vd. 2016). NO_x emisyon kontrolü uluslararası düzeyde büyük endişe kaynağıdır. Avrupa Çevre Ajansı'nın verilerine göre, NO_x emisyonları 1990 ve 2011 yılları arasında %44 oranında düşmesine rağmen, emisyonların mevcut ve gelecekteki çevresel etkilerini en aza indirme çabalarını sürdürülmektedir. 2011 yılında en yüksek NO_x emisyonlarının kaynakları sırasıyla karayolu taşımacılığı (%41), enerji üretimi ve dağıtımı (%23) ve ticari, kamu ve yerli

sektörler (%13) idi. Oluşan NO_x miktarı, yanma sıcaklığı, yanma odasındaki akış hızı alanı, yanma odası ve brülör tasarımı, yakıt yapısı, yakıt-hava oranı gibi birçok faktörden etkilenir. NO_x kontrol yöntemleri, NO_x oluşumunu engelleyen birincil yöntemler ve zaten oluşturulmuş NO_x 'un azaltılmasına odaklanan ikincil yöntemler olarak kategorize edilebilir (Baleta vd. 2016).

Birincil NO_x kontrol yöntemlerinde, ilk tercih yanmamış karbon miktarını doğrudan etkileyen aşırı havanın düzenlenmesidir. Başka bir seçenek daha düşük bir sıcaklıkta yanma yapmaktır. Örneğin sirkülasyonlu akışkan yataklı kazan (AYK; Circulating fluidized bed, CFB) yanma odasında düşük sıcaklık özelliklerine sahiptir. Bu nedenle, dış koşullar aynı olduğu sürece, yanma odasında meydana gelen NO_x miktarı kazanları toz kömür daha düşüktür. Bugün, AYK kazanları birçok ülkede yaygın olarak kullanılmaktadır. (Kang vd., 2017). Düşük NO_x yakıcıları gibi kazanla ilgili tasarımlarda da mevcuttur. Bununla birlikte, bu yöntemler emisyon sınır değerlerinin karşılanmasında zorluk çekecektir. Bu nedenle, yanmadan sonra NO_x azaltma / çıkarma için ikincil yöntemler büyük önem taşımaktadır. Son araştırmalar, seçici katalitik olmayan indirgemenin (Skor; Selective Non-Catalytic Reduction, SNCR) ve seçici katalitik indirgemenin (SKI) hem maliyet hem de indirgeme verimliliği için en uygun seçenek olduğunu göstermiştir (Baleta vd. 2016).

Diğer teknolojik önlemler

Bu tezde, termik santraller çevresel etkileri kapsamında değerlendirilmekte ve yanma sonrası ortaya çıkan koşullar araştırılmakta, ancak teknoloji destekliyorsa, kömür yapısından önce alınabilecek önlemler bulunmaktadır. Bunlar, gazlaştırma, zenginleştirme, briketleme, pişirme, sıvılaştırma veya sülfürün yapısında çeşitli yöntemlerle ayrılması gibi temiz kömür teknolojileri olarak özetlenebilir (İlgar 2008).

Çevre ve dolayısıyla sağlık üzerindeki etkisinin ciddiyeti nedeniyle kömürle çalışan termik santrallerden kaynaklanan katı atıklardan uçucu külün depolanması için zemin sızdırmazlığı teknik olarak önemlidir. Küller seyreltilir ve doğal bir vadide saklanır. Bu kül barajlarının yerleşim alanlarına yakınlığı, sakinler için (radyoaktif içerik, ağır metaller, vb.) bir tehlike oluşturmaktadır.). Aynı zamanda, yeraltı suyu / yüzey suları ve tarım, orman vb.

alanlarda zararlı. Kül Barajı zemini iyi boşaltılmalıdır. Söz konusu alanların kullanımlarının sona ermesi durumunda, korunması ve rehabilitasyonu zorunludur (Karadağ 2006).

Kül barajlarında nemlenmeye bağlı su birikimleri genellikle santrallerde sisteme geri pompalanarak değerlendirilir. Öte yandan, uçucu kül, çimento, beton ve yapı malzemeleri üretiminde kullanılabilir. Bu atıkları değerlendirerek enerji tasarrufu sağlanacak ve daha ucuz ve daha kaliteli malzemeler üretmek mümkün olacaktır. Atık geri dönüşümü sayesinde, ülke ekonomisi ekolojik dengenin korunmasına ve çevre kirliliğinin önlenmesine katkıda bulunacaktır (Aruntaş, 2006). Aynı şekilde desülfürizasyon ünitesinde yan ürün olarak çıkan alçı taşının inşaat sektöründe kullanımı mümkündür. Ayrıca Erdal vd. (2012) termik santral uçucu külünün nohut ve buğday bitkilerinin gelişimi üzerindeki etkilerini değerlendirerek bazı besin değerlerinin arttığını tespit etmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, çevre ve sağlık bakımından zarar potansiyeli yüksek fosil yakıtların özellikle kömür ve linyitle çalışan termik santrallerin genel yapısı, çevre ve insan sağlığına etkileri, bu etkilerin azaltılmasına yönelik önlemler ve yakma sonrası alınabilecek teknolojik önlemler incelenmiştir.

Enerji her zaman insanların en önemli ve vazgeçilmez ihtiyaçlarından biridir. Ayrıca her sektörde kullanılan en önemli ihtiyaç da enerjidir. Artan nüfusla birlikte enerjiye olan ihtiyaç da gün geçtikçe artmaktadır. Teknoloji, beraberinde enerjiye olan talebi de arttırmaktadır. Örneğin; insanlar ısıtma, endüstri ve teknolojik gelişmeler için enerjiye ihtiyaç duyarlar. Küreselleşmenin ve sanayileşmenin etkisiyle tüm dünyada enerji talebi hızlı bir şekilde artmış, ancak enerji arzı yavaş yavaş artmıştır. Bu nedenle, enerji arzı enerji talebini karşılamamaktadır. Haksız enerji erişimi, birçok ülkenin enerji bağımlılığının temel nedenidir.

Günümüzde, kişi başına düşen enerji tüketimi gelişme kriteri olarak kullanılmaktadır. 21. yüzyılda, halkın enerjiye olan talebi, nüfusun etkisiyle geçmişte gelişen teknoloji ile birlikte artmıştır. Ayrıca, nüfus dünyada hızla artmaya devam etmektedir. Bu faktörler nedeniyle ihtiyaçlar ve istekler de artmaktadır. Enerji talebini karşılamak için kullanılan yenilenemeyen enerji kaynaklarının (fosil yakıtlar), çevre üzerinde son derece olumsuz etkileri bulunmaktadır. Fosil yakıtların yoğun olarak kullanıldığı termik santrallerin çevre üzerindeki olumsuz etkileri aşağıda özetlenmiştir:

- ✓ Termik santrallerde kullanılan yakıtlar, sera gazı (GHG) emisyonlarını ozon tabakasına yayar. Bu gazlar, çeşitli insan faaliyetleri nedeniyle yükselmekte ve bu artış, küresel ısınmayı ve iklim değişikliğini olumsuz yönde etkilemektedir.
- ✓ Termik santrallerde üretim sırasında azotoksit, kükürtdioksit ve pek çok küçük yapıllı partikül açığa çıkmaktadır. Bu zararlı maddeler, salındıkları çevredeki insanların sağlığı için tehdit oluşturmaktadır. Yapılan araştırmalara göre bu maddeler yöre insanının sinir sisteminde olumsuz etkilere yol açmaktadır.
- ✓ Üretim sırasında bacalardan salınan küller insanlar tarafından solunmaktadır. Bu durumda çevre yörelerde kanser riskini arttırmaktadır.

- ✓ Açığa çıkan gazlardan insanlar ile birlikte tüm canlılar da etkilenmektedir. Ayrıca yakın çevredeki tarım arazileri, su kaynakları, toprak, bitki örtüsü gibi tüm doğal kaynaklara zarar verici etkileri bulunmaktadır.
- ✓ Bacalardan yayılan zararlı gazlar asit yağmurlarının oluşmasına neden olmaktadır. Asit yağmurları sonucunda da termik santralinin inşa edildiği bölgelerdeki toprakların yapısının bozulması ve verimin düşmesi gibi pek çok olumsuz durumla karşılaşmaktadır. Ayrıca asit yağmurlarının etkilediği başka canlılar da ağaçlardır. Ağaçların tahrip olması hayvancılığı da etkilemektedir.
- ✓ Santrallerde yüksek sıcaklıklarda elde edilen buharın soğutulması amacıyla yer altı suları veya akarsular kullanılmaktadır. Santraldeki sıcak su ile soğuk su değişimi yapılarak ortam soğutulmaktadır. Çekilen soğuk su yerine bırakılan sıcak su, ortamdaki canlılara zarar vermektedir. Ayrıca bu su, akarsu veya yer altı kaynaklarını kirletmekte ve bitki dokusunu tahrip etmektedir.

Termik santrallerin çevre üzerindeki olumsuz etkileri, ülkeleri yeni enerji kaynakları aramaya yöneltmiştir. Bu kaynaklar yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Kolayca üretilir ve yenilenebilirler. Ayrıca, daha az kirletici maddeyi doğaya yayarlar. Yenilenebilir enerji kaynakları güneş, rüzgar, hidroelektrik, jeotermal, biyokütle ve denizciliktir herhangi bir zaman dünya çapında tüketilemez.

Türkiye’de fosil kaynaklı yakıtlarla üretilen enerjinin kullanımı çevre sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Bu sorunlar, uzun vadede daha tehlikeli sorunlara yol açmaktadır. Bu durumda temiz enerji kullanımının önemi daha da artmaktadır. Ülkemizde su, rüzgar, güneş ve jeotermal gibi temiz enerji kaynaklarına dayanan enerji santrallerinin kurulması gerekmektedir. Bu konuda son yıllarda önemli çalışmalar yapılmış ve temiz enerji üretiminin artırılmasının gerekli olduğu kanısına varılmıştır. Bu alternatif enerji kaynaklarının kullanımı, hem çevreye zararlı olan sera gazı etkilerini azaltacak hem de yeni iş sahalarının kurulmasına yardımcı olacaktır. Bunun yanı sıra, enerji de dışa bağımlılığı azaltarak ülke ekonomisine de büyük oranda katkıda bulunacaktır.

Sonuç olarak, her türlü insan yapımı girişim doğada bir iz bırakmaktadır. Bu tezde belirtilen önlemlerin çevre üzerinde etkisi olacağı kesindir. Enerji üretiminin bağımsız olamayacağı gerçeği kapsamında optimum noktaları bulmak önemlidir. Kanunlar tarafından

belirlenen sınırların azaltılması ve uygulanması ve gelecekteki projeksiyonlar baca gazı emisyonlarında yarı yarıya azalma ile elde edilebileceği literatürde vurgulanan konulardan biridir. Bu nedenle, küresel bir sorun olan karbon emisyonunun neden olduğu küresel iklim değişikliğini önlemek için alternatif enerji kaynaklarının kullanılması artırılmalıdır. Tez kapsamında elde edilen bulgular çerçevesinde, termik santrallerin çevresel etkilerini azaltmak ve yakın gelecekte karşılaşılabileceğimiz çevresel sorunları önlemek amacıyla tezde önerilen tedbir ve yaptırımlara uymak önem arz etmektedir.



KAYNAKLAR

- Aktaş, E., & Alioğlu, O. (2012). Türkiye’de enerji sektörü analizi: Marmara bölgesi termik santraller örneği. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 21(1), 281-297.
- Altın, V. (2002). Enerji. *Bilim Teknik Dergisi* ücretsiz eki-Yeni Ufuklara, 2-23. (2002 sf.18)
- Anonim 2013, Yıllık Rapor, Elektrik Üretim Anonim Şirketi, Ankara.
- Anonim, 1987. International Energy Agency. Renewable Sources of Energy. I IEA, Paris
- Anonim, 2003. International Energy Agency. Renewables for power generation status and prospects. I IEA, Paris, France.
- Anonim, 2006. International Energy Agency. Renewable energy: RD&D priorities. Insights from IEA technology programmes. I IEA, Paris, France.
- Anonim, 2015. <http://www.cates.gov.tr/tarihce/tarihce.html>, Elektrik Üretim Anonim Şirketi. Çatalağzı Termik Elektrik Santrali, ÇATES Tarihçemiz.
- Arditsoglou, A., Petaloti, C., Terzi, E., Sofoniou, M., Samara, C. 2003. Size Distribution of Trace Elements and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Fly Ashes Generated in Greek Lig.
- Armstrong, T. R., Stevenson, J. W., Pederson, L. R., & Raney, P. E. (1996). Dimensional instability of doped lanthanum chromite. *Journal of The Electrochemical Society*, 143(9), 2919-2925.
- Aruntaş, H.Y., 2006. Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyeli. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21, 1, 193-203.
- Aslan, H. (1996). Kömüre Dayalı Termik Elektrik Santrallerinde Verim Ve Kapasite Kullanım Oranı Düşüklüğünün Nedenleri Ve Bunların Yükseltilmeleri İçin Alınması Gerekli Tedbirler, Tmmob 1. Enerji Sempozyumu, Ankara, 1-2.
- Aybers, N. (1997) “Nükleer Enerji” Enerji Dünyası Türk Milli Komitesi, Ankara.
- Baletta, J., Mikulcic, H., Vujanovic, M., Petranovic, Z., Duic, N., 2016. Numerical Simulation of Urea Based Selective Non-Catalytic Reduction de-NOx Process for Industrial Applications. *Energy Conversion and Management*, 125, 59-69.
- Bell, M.L, Cifuentes, L.A., Davis, D.L., Cushing, E., Telles, A.G., Gouveia, N., 2010. Environmental Health Indicators and a Case Study of Air Pollution in Latin American Cities. *Environmental Research* 111 (2011), 57-66.
- Bhuiyan, M. M. H., Asgar, M. A., Mazumder, R. K., Hussain, M. (2000). —Economic evaluation of a stand-alone residential photovoltaic power system in Bangladesh. I *Renewable Energy*, 21, 403-410.
- BİLGİLİ, M., ŞAHİN, B., & ŞİMŞEK, E. (2010). Türkiye’nin güney, güneybatı ve batı bölgelerindeki rüzgar enerjisi potansiyeli. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 30(1), 1-12.
- Binark, A. K., “Ülkemizdeki Güneş Enerjisi Uygulamaları için Öneriler”, *Mimar ve Mühendis Dergisi*, Sayı: 33, Nisan-Mayıs-Haziran, 80-82, 2004.

- Bp, Statistical Review of World Energy, 2008, www.bp.com/statisticalreview (Erişim Aralık 2018) pp.1-48.
- British Petroleum (BP), (2018). BP Statistical Review of World Energy, 2018. London: British Petroleum.
- Brower M. (1992). Cool Energy. The MIT Press, London.
- Caralis, G., Perivolaris, Y., Rados, K., Zervos, A. (2008). —On the effect of spatial dispersion of wind power plants on the wind energy capacity credit in Greece.” Environmental Research Letters, 3, 3-15.
- Carlson, C. L. and Adriano, C. A., 1993, Environmental impacts of coal combustion residues, J. Environ Qual, 22, 227-247.
- Carrion, J. A., Estrella, A. E., Dols, F. A., Toro, M. Z., Rodriguez, M., Ridao, A. R. (2008). —Environmental decision-support systems for evaluating the carrying capacity of land areas: Optimal site selection for grid-connected photovoltaic power plants.” Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12, 2358–2380.
- Chakraborty, N., Mukherjee, I., Santra, A.K., Chowdhury, S., Chakraborty, S., Bhattacharya, S., Mitra, A.P., Sharma, C., 2008. Measurment of CO₂, CO, SO₂ and NO Emissions from Coal-based Thermal Power Plants in India. Atmospheric Environment, 42, 1073-1082.
- Charro, E., Pena, V., 2012. Environmental Impact of Natural Radionuclides from a Coal-fires Power Plant in Spain. Radiation Protection Dosimetry, 153, 4, 485-495.
- Clarke, A. (1991). —Wind energy progress and potential. I Energy Policy, 19, 742-755.
- Cohen, L.B. (1996) Çok Ge Olmadan (eviren: Miyase Gktepli). Tbitak, Ankara.
- Cordoba, P., 2014. Status of Flue Gas Desulphurisation (FGD) Systems from Coal-fired Power Plants: Overview of the Physic-Chemical Control Processes of Wet Limestone FGDs. Fuel, 144, 274-286.
- icek, A., Koparal, A.S. (2004). Accumulation Of Sulfur And Heavy Metals In Soil And Tree Leaves Sampled From The Surroundings Of Tuncbilek Thermal Power Plant. Chemosphere, 57 (8), 1031–1036.
- Dai, C., Cai, X.H., Cai, Y.P., Guo, H.C., Sun, W., Tan, Q., Huang, G.H., 2013. An Integrated Simulation and Optimization Approach for Managing Human Health Risks of Atmospheric Pollutants by Coal-Fired Power Plants. Journey of the Air& Waste Management Association, 64 (6), 704-720.
- Demirbaş, A., 2000. Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals. Energy Conversion and Management.42 (11), pp. 1357- 1378.
- Devlet Su İşleri Genel Mdrlğ, Hidroelektrik Enerji Raporu, “<http://www.dsi.gov.tr/hizmet/enerji.htm>” (Erişim tarihi, 18.11.2010)
- Dragovic, S., Cujic, M., Beskoski, L.S., Gajic, B., Bajat, B., Kilibarda, M., Onjia, A., 2013. Trace Element Distribution in Surface Soils from a Coal Burning Power Production Area: A Case Study from the Largest Power Plant Site in Serbia. Catena, 104, 288-296.

- Ehrenfeld, N., Gertler, N.(1997). Industrial Ecology İn Practice The Evolution Of Interdependence At Kalundborg. The Massachusetts Institute Of Technology And Yale University. USA, 10 (2), 67-77.
- EMO,2008.Türkiye’de Elektrik Enerjisi Gelişiminin Kısa Tarihçesi ve Genel Üretim Bilgileri’’, s. 1. <www.eme.org.tr/resimler/ekler/0082ac261d74f5a_ek.pdf> (28.08.2008).
- Energy Information Administration, International Energy Outlook, 2009, [http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/pdf/0484\(2009\).pdf](http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/pdf/0484(2009).pdf)
- Energy Ministry of Turkey, Electricity Energy Market and Supply Security Strategy Paper,2009,http://www.enerji.gov.tr/yayinlar_raporlar_EN/Arz_Guvenligi_Strateji_Belgesi_EN.pdf.
- ENERGY RESOURCES, 2010: Energy Resources. 2010. <http://home.clara.net/darvill/altenerg/index.htm>.
- Erdal, İ., Özkul, M., Yavuz, G., Küçükyumruk, Z., 2012. Kireçli Bir Toprakta Yetiştirilen Nohut ve Buğdayın Gelişimi ve Mineral Beslemesi Üzerine Termik Santral Uçucu Külünün Etkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 7(2), 65-72.
- Eskin, N., Artar, H., Tolun, S. (2008). —Wind energy potential of Gökada Island in Turkey. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12, 839–851.
- Eş, H., Mercan, S. I., & Ayas, C. (2016). Türkiye için yeni bir sosyo-bilimsel tartışma: Nükleer ile yaşam. *Turkish Journal of Education*, 5(2), 47-59.
- Finley, M., 2009. Volatility and Structural Change, BP Statistical Review of World Energy, London, U.K
- Gençoğlu, M. T. (2002). Yenilenebilir enerji kaynaklarının Türkiye açısından önemi. Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 14(2), 57-64.
- Glick, P., 2001. The Toll from Coal: Power Plants, Emissions, Wildlife and Human Health. Bulletin of Science, Technology & Society, 21, 6. 482-500.
- Goto, K., Yogo, K., Higashii, T., 2013. A Review of efficiency Penalty in a Coal-fired Power Plant with Post-combustion CO2 Capture. Applied Energy, 111, 710-720.
- Guttikunda, S.K., Jawahar, P., 2014. Atmospheric Emissions and Pollution from Coal-fired Thermal Power Plants in India. Atmospheric Environment, 92, 449-460.
- Güler, G., Güler, E., İpekoğlu, Ü., & Mordoğan, H. (2005). Uçucu Küllerin Özellikleri ve Kullanım Alanları. Türkiye, 19, 419-423.
- Gümüşel, D., Stauffer, A., 2015. Ödenmeyen Sağlık Faturası: Türkiye’de Kömürlü Termik Santraller Bizi Nasıl Hasta Ediyor? ISBN: 978-605-5867-96-6, 44s.
- Gür, F., Yaprak, G., 2010. Natural Radionuclide Emission from Coal-fired Power Plants in the Southwestern of Turkey and the Population Exposure to External Radiation in Their Vicinity. Journal of Environmental Science and Health, Part A, 45, 1900-1908.
- Gürbüz, M., & Özdemir, Y. (2016). Afşin-Elbistan termik santrallerinin insan sağlığı üzerindeki etkilerinin mesafe tabanlı algı analizi. Türk Coğrafya Dergisi, (66), 43-50.

- Heper, Y., Buhar Santralleri Teorisi Ve Uygulaması. Ankara, 1979.
- Hewitt, C.N.,2000. The Atmospheric Chemistry of Sulphur and Nitrogen in Power Station Plumes. *Atmospheric Environment*, 35, 1155-1170.
- <http://exergyproject.blogspot.com/>
- http://www.bbc.co.uk/turkish/indepth/story/2006/02/060216_energy_renewables.shm
- <http://www.Eonturcasdenizlienerjisantrali.Com/>, (Erişim Tarihi: 28.12.2018).
- <http://www.tdk.gov.tr>
- <https://www.enerji.gov.tr/>
- İlgar, R., 2008. Çan Termik Santrali Projesi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 17, 154- 171.
- J.W. Howe, J.J. Tarrani, J.A. Martin, *Energy and Development*, London, Cambridge University Press, 1985, s.19.
- Jeffrey, Ga, Ve Sundaralingam, M. (1974). Karbonhidratların Kristal Yapılarının Bibliyografyası, * Nükleositler Ve Nükleotitler ** 1970-1972. *Gelen Karbohidrat Kimyası Ve Biyokimya İlerlemeler* (Cilt. 30, S. 445-466). Akademik Basın.
- Jeon, E., Myeong, S., Sa, j., Kim, J., Jeong, J., 2009. Greenhouse Gas Emission Factor Development for Coal-fired Power Plants in Korea. *Applied Energy*, 87, 205-210.
- Kagel, A., Bates, D. & Gawell, K., 2007. A Guide to Geothermal Energy and Environment. Washington, Geothermal Energy Association, <http://www.geoenergy.org/reports/Environmental%20Guide.pdf>
- Kang, Z., Yuan, Q., Zhao, L., Dai, Y., Sun, B., Wang, T., 2017. Study of the Performance, Simplification and Characteristics of SNCR de-NO_x in Large Scale Cyclone Separator. *Applied Thermal Engineering*, 123, 635-645.
- Karadağ, A., 2006. Linyit İşletmeleri ve Termik Santralin Ardından Soma'da Değişen Çevre, Kent ve Kimlik. *Ege Coğrafya Dergisi*, 15, 31-50.
- Kaya, K., & Koç, E. (2015). ENERJİ ÜRETİM SANTRALLERİ MALİYET ANALİZİ. *Engineer & the Machinery Magazine*, (660).
- Kaygusuz, K., Sari, A. (2003). —Renewable energy potential and utilization in Turkey. *Energy Conversion and Management*, 44, 459–478.
- Klefenz, G., Vladimir, F.T., *Automatic Control Of Steam Power Plants*. Germany, 1986.
- Martin, J.A.R., Nanos, N., 2016. Soil as an Archive of Coal-fired Power Plant Mercury Deposition. *Journal of Hazardous Materials*, 308, 131-138.
- Martins, F. R., Ruther, R., Pereira, E. B., Abreu, S. L. (2008). —Solar energy scenarios in Brazil. Part two: Photovoltaics applications. *Energy Policy*, 36, 2865– 2877
- McClellan, R.O., 1983. Role of Inhalation Studies with Animals in Definining Human Health Risks for Vehicle and Power Plant Emissions. *Environmental Health Perspectives*, 47, 283-292.
- Morrison, M., Sinclair, K., (2004). —Wind energy technology, environmental impacts of. *Encyclopedia of Energy*, 6, 435-448.

- Nguyen, K. Q. (2007). —Wind energy in Vietnam: Resource assessment, development status and future implications. *Energy Policy*, 35, 1405–1413.
- Noli, F., Tsamos, P., 2016. Concentration of Heavy Metals and Trace Elements in Soils, Waters and Vegetables and Assesment of Health Risk in the Vicinity of a Lignite-Fired Power Plant. *Science of the Total Environment*, 563-464, 377-385.
- Oluklulu, E., (2003), Enerji sektörü yatırımlarının finansmanı, Türkiye uygulaması, sorunlar ve çözüm önerileri. Thesis for the M.A. Degree. Ankara: Gazi University SBE.
- Onacak, T. (1999) Türkiye’deki Termik Santrallara Beslenen Kömürlerin ve Yanma Sonucu Oluşan Katı Atıkların Çevresel Etkileri. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Pala, K., 2012. Termik Santrallerin Sağlığa Etkisi. *Hekimce Bakış*, Eylül, 43-45.
- Paoli, C., Vassallo, P., Fabiano, M. (2008). —Solar power: An approach to transformity evaluation. *Ecological Engineering*, 34, 191–206.
- Pokale, W., K.(2012). Effects Of Thermal Power Plant On Environment. *Science Reviews & Chemical Communications*, 2 (3), 212-215.
- Ram, L.C., Masto, R.E., Srivastava, N.K., George, J., Selvi, V.A., Das, T.B., Pal, S.K., Maity, S., Mohanty, D., 2014. Potentially Toxic Elements in Lignite and Its Combustion Residues from a Power Plant. *Environ Monit Assess*, 187, 4148.
- Ramirez-Rosado, I. J., Garcia-Garrido, E., Fernandez-Jimenez, L. A., ZorzanoSantamaria, P. J., Moneteiro, C., Miranda, V. (2008). —Promotion of new wind farms based on a decision support system. *Renewable Energy*, 33, 558–566.
- Rochelle, G.T., 2009. Amine Scrubbing for CO₂ Capture. *Science*, 325, 1652-1654.
- Rodman, L. C., Meentemeyer R. K. (2006). —A geographic analysis of wind turbine placement in Northern California. *Energy Policy*, 34, 2137–2149.
- Rosen, M.A., Bulucea, C.A., Mastorakis, N.E., Bulucea, C.A., Jeles, A.C., Brindus, C.C., 2015. Evaluating the Thermal Pollution Caused by Wastewaters Discharged from a Chain of Coal-Fired Power Plants along a River, *Sustainability*, 7, 5920-5943.
- Rosenshtein, J.S. 1970. Sanitary toxicological assesment of low concentrations of As₂O₃ in the athmospher. *G.G. Sanit.*, 35(1): 15-20.
- Sloan, E. D. (2003). Fundamental principles and applications of natural gas hydrates. *Nature*, 426(6964), 353.
- Solar Energy Ministry of Turkey, Solar energy, 2010, www.enerji.gov.tr
<http://www.altenergy.org/renewables/solar.html>
- Sungur, B., Özdoğan, M., Topaloğlu, B., & Namlı, L. (2017). Küresel Enerji Tüketimi Bağlamında Mikro Kojenerasyon Sistemlerinin Teknik ve Ekonomik Değerlendirilmesi. *Engineer & the Machinery Magazine*, 58(686).
- TAEK. (2000) Sürdürülebilir Kalkınma ve Nükleer Enerji, Ankara.
- TAEK. (2009). Nükleer Enerji Nedir?. <http://www.taek.gov.tr/nukleerguvenlik/nukleer-enerjive-reaktorler/169-nukleer-enerji/457-nukleer-enerjinedir.html>
- TAEK-Türkiye Atom Enerjisi Kurumu.(Turkish Atomic Energy Authority) www.taek.gov.tr

- Tamzok, N., 2012. Jeopolitik ve Teknolojik Gelişmeler Perspektifinden Kömürün Geleceği. TMMOB 8. Enerji Sempozyumu, 17-19 Kasım, İstanbul, 247-291.
- Tanrıkut, A. (2001) “Nükleer enerji ve gelecekte beklenenler”, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Bülteni, 39, 37-43.
- Tekel, E. (2006). *Termik santrallerin enerji ve ekserji analizi*(Master's thesis, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Tester, J. W., Drake, E. M., Driscoll, M. J., Golay M. W., Peters W. A. (2005). Sustainable energy; choosing among options. The MIT Press, Cambridge, MA
- Thomas, S., 2002. The impact of privatization on electricity prices in UK. IDEC National Seminar on Public Utilities. Sao Paulo: Public Service International Research Unit, pp.1-9
- Tidal energy. 2010. <http://www.oceanenergycouncil.com/index.php/TidalEnergy/Tidal-Energy.html>
- TKİK, Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu. (2011). Kömür Sektör Raporu; Tki. Ankara.
- TMMOB 8. Enerji Sempozyumu, 17-19 Kasım, İstanbul, 247-291.
- Topal, M., Topal Arslan E.I., Aslan, S., Kılıç, M., 2011. Termik Santral Uçucu Külü, Cürufu ve Arıtma Çamurundan Ağır Metallerin Liçlenebilirliği. SAÜ Fen Bilimleri Dergisi, 15, 2, 97-104.
- Tsoutsos, T., Franzteskaki, N., Gekas, V. (2005). —Environmental impacts from the solar energy technologies. Energy Policy, 33, 289–296.
- Tümertekin, E., Özgüç, N. (1997) Ekonomik Coğrafya, Çantay Kitabevi, İstanbul. Pala, C., 1996. 20. yüzyılın şeytan üçgeni: ABD-Petrol-Dolar. İstanbul: Kavram Yayınları.
- Tümertekin, E., Özgüç, N. (1999) Ekonomik Coğrafya: Küreselleşme Ve Kalkınma, Çantay Kitabevi, İstanbul.
- Türkiye Çevre Vakfı, “Türkiye’nin Çevre Sorunları 2003”, Ankara, 2003.
- Ucar, A., Balo, F. (2009). —Investigation of wind characteristics and assessment of wind generation potentiality in Uludag-Bursa, Turkey. Applied Energy, 86, 333–339.
- Uslu, İ., Gökmeşe, F., 2009. Termik Santral Kaynaklı Civa Kirliliği. TÜBAV bilim Dergisi, 2, 1, 10-13.
- UYAR T. S., 2006. " Türkiye'de RES Politikalarının Uygulanması ve Planlanmasında En Son Gelişmeler ", Yeni Üye Ülkeler ve Aday Ülkeler İçin Yenilenebilir Enerji Verileriyle İlgili Atölye Verileri.
- Uyar, T. S., 2005. Country report: Turkey. Wind Energy International 2005/2006. India: Everest Pres, pp.123-124.
- Uyar, T. S., 2008. Nükleer enerji santrallerinin ve fosil yakıt kullanan termik santrallerin kuruluş amaçları ve terk edilmelerinin nedenleri. Nükleer enerji, October 2008, pp.15-18
- Uyar, T.S., 2007. Yenilenebilir enerji. YAPI Aylık Mimarlık Tasarım Kültür Sanat Dergisi. ISSN: 1300-3437 (312), pp.6-9.

- Ünal, F. (2009). Bir termik santralin ekserji analizi.
- Vardar, N. ve Yumurtacı, Z. (2010). Emissions Estimation For Lignite-fired Power Plants In Turkey. *Energy Policy*, 38 (1), 243–252.
- Vardar, N., Yumurtacı, Z., 2009. Emissions Estimation for Lignite-fired Power Plants in Turkey. *Energy Policy*, 38, 243-252.
- Verma, S.K., Masto, R.E., Gautam, S., Choudhury, D.P., Ram, L.C., Maiti, S.K., Maity, S., 2015. Investigations on PAHs and Trace Elements in Coal and its Combustion Residues from a Power Plant. *Fuel*, 162, 138-147.
- Voivontas, D., Assimacopoulos, D., Mourelatos, A., Corominas, J. (1998). —Evaluation of renewable energy potential using a GIS decision support system. *Renewable Energy*, 13(3), 333-344.
- Williams, S. K., Acker, T., Goldberg, M., Greve, M. (2008). —Estimating the Economic Benefits of Wind Energy Projects Using Monte Carlo Simulation with Economic Input/Output Analysis. *Wind Energy*, 11, 397–414.
- World Energy Council, *Energy Efficiency Policies around the World: Review and Evaluation*, 2008, http://www.worldenergy.org/documents/energy_efficiency_es_final_online.Pdf.
- Xiong, T., Jiang, W., Gao, W., 2015. Current Status and Prediction of Major Atmospheric Emissions from Coal-fired Power Plants in Shandong Province, China. *Atmospheric Environment*, 124, 46-52.
- Yardımoğlu, M., Ataş, H., Fidan, A., Karadağ, U., 2014. Temiz Enerji ve İnsan Sağlığı. *Uluslararası Enerji ve Güvenliği Kongresi*, 23-24 Eylül 2014, Kocaeli, 1133-1140.
- Yue, C. D., Wang, S. S. (2006). —GIS-based evaluation of multifarious local renewable energy sources: a case study of the Chigu area of southwestern Taiwan. *Energy Policy*, 34, 730–742.
- Yüksel, İ., Özkan, Ö. ve Bilir, T. (2006). Kazanaltı Külü İle Briket Üretimi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(3), 527-532.
- Zhao, Y., Wang, S., Nielsen, C.P., Li, X., Hao, J., 2009. Establishment of a Database of Emission Factors for Atmospheric Pollutants from Chinese Coal-Fired Power Plants. *Atmospheric Environment*, 44, 1515-1523.
- Ziaii, S., Rochelle, G.T., Edgar, T.F., 2009. Dynamic Modeling to Minimize Energy Use for CO₂ Capture in Power Plants by Aqueous Monoethanolamine. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 48, 6105-6111.

ÖZGEÇMİŞ

Zafer KARACA 1988 Yılında Tekirdağ Saray Sinanlı Mahallesi'nde doğdu. İlk ve orta öğrenimini Saray ilçesinde Atatürk ilkokulunda tamamladı.2006 da İstanbul Halkalı Ziraat Meslek Lisesinden sonra 2009 yılında Muğla Üniversitesi Ali Sıtkı Koçman Meslek Yüksek Okulu Peyzaj Teknikerliği bölümünden mezun oldu.2011 yılında Bartın Üniversitesi Orman Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümüne Dikey Geçiş yaptıktan bir yıl sonra Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Güzel Sanatlar Tasarım ve Mimarlık Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümüne Yatay Geçiş yaptı, 2014 yılında mezun oldu.2018 yılında Anadolu Üniversitesi Açık Öğretim Fakültesi İşletme Bölümü'nden mezun oldu.Halen Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı Ana Bilim Dalı Peyzaj Mimarlığı Bölümü'nde tezli yüksek lisans eğitimini sürdürmektedir ve özel sektörde çalışmaktadır.