

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOĞALGAZ YAKITLI KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALLERİ VE TÜRKİYE
ELEKTRİK ÜRETİMİNDEKİ YERİ**

MEHMET GÜNASLAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENERJİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. ŞÜKRÜ BEKDEMİR**

İSTANBUL, 2016

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOĞALGAZ YAKITLI KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALLERİ VE TÜRKİYE
ELEKTRİK ÜRETİMİNDEKİ YERİ

Mehmet GÜNASLAN tarafından hazırlanan tez çalışması 13.07.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Şükrü BEKDEMİR
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Şükrü BEKDEMİR
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Recep ÖZTÜRK
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. İbrahim GİRGİN
Deniz Harp Okulu

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, dünyada ve Türkiye’de güncel enerji görünümü incelendikten sonra, ülkemiz elektrik üretiminde ilk sırada bulunan doğalgaz yakıtlı kombine çevrim santrallerinin teknik ve ekonomik değerlendirmeleri yapılmıştır. Daha sonra bu santrallerin Türkiye elektrik üretimindeki yeri analiz edilerek, enerji yatırımlarında tercih edilmelerinin nedenleri incelenmiştir. Ayrıca ülkemizin dışa bağımlı olduğu bir enerji kaynağı ile elektrik üretiminin büyük bir kısmını gerçekleştirmesinin oluşturacağı riskler dikkate alınarak, ülkemiz enerji politikalarında uygulanabilecek öneriler sıralanmıştır.

Çalışmamda her konuda yardımcı olan Sevgili Hocam Doç.Dr. Şükrü BEKDEMİR’e, yüksek lisans eğitimim boyunca sayısız faydalı bilgileri aktaran Makine Mühendisliği Anabilim Dalı hocalarıma, desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili eşime ve aileme sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Haziran, 2016

Mehmet GÜNASLAN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMALAR.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖZET.....	xiii
ABSTRACT	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Hipotez	3
BÖLÜM 2	4
DÜNYA VE TÜRKİYE GENELİNDE GÜNCEL ENERJİ GÖRÜNÜMÜ	4
2.1 Enerji Kavramı ve Kaynakları.....	4
2.2 Güncel Enerji Görünümü	5
2.2.1 Kömür.....	8
2.2.1.1 Dünya Genelinde.....	8
2.2.1.2 Türkiye Genelinde	10
2.2.2 Petrol.....	13
2.2.2.1 Dünya Genelinde.....	13
2.2.2.2 Türkiye Genelinde	15
2.2.3 Doğalgaz.....	16
2.2.3.1 Dünya Genelinde.....	17
2.2.3.2 Türkiye Genelinde	19
2.2.4 Nükleer Enerji	21
2.2.4.1 Dünya Genelinde.....	21

2.2.4.2	Türkiye Genelinde	22
2.2.5	Hidroelektrik Enerji	23
2.2.5.1	Dünya Genelinde.....	23
2.2.5.2	Türkiye Genelinde	24
2.2.6	Güneş Enerjisi	25
2.2.6.1	Dünya Genelinde.....	26
2.2.6.2	Türkiye Genelinde	27
2.2.7	Rüzgar Enerjisi.....	28
2.2.7.1	Dünya Genelinde.....	28
2.2.7.2	Türkiye Genelinde	29
2.2.8	Jeotermal Enerji	32
2.2.8.1	Dünya Genelinde.....	32
2.2.8.2	Türkiye Genelinde	32
2.3	Kişi Başına Düşen Elektrik Tüketimi	35
2.3.1	Dünya Genelinde.....	35
2.3.2	Türkiye Genelinde	37
BÖLÜM 3		40
KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALLERİ		40
3.1	Kombine Çevrimin Tanıtılması	40
3.1.1	Kombine Çevrimde Verim İfadesi	40
3.2	Kombine Çevrim Santralleri	43
3.2.1	Kombine Çevrim Santrali Elemanları	44
3.2.1.1	Gaz Türbinleri	44
3.2.1.2	Atık Isı Kazanları	45
3.2.1.3	Buhar Türbinleri	46
3.2.1.4	Kondenser	47
3.2.1.5	Jeneratör	48
3.2.2	Kombine Çevrim Santrallerinin Teknik Değerlendirmesi.....	49
3.2.3	Kombine Çevrim Santrallerinin Ekonomik Değerlendirmesi	51
BÖLÜM 4		55
DOĞALGAZ YAKITLI KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALLERİNİN TÜRKİYE ELEKTRİK ÜRETİMİNDEKİ YERİ		55
4.1	Türkiye Elektrik Enerjisi Genel Görünümü.....	55
4.2	Türkiye Elektrik Enerjisi Kurulu Gücü.....	57
4.3	Türkiye’de İşletmede Olan Doğalgaz Yakıtlı Kombine Çevrim Santralleri.....	60
4.4	Türkiye’de İnşa Halinde Olan Doğalgaz Yakıtlı Kombine Çevrim Santralleri.....	64
4.5	Doğalgaz Yakıtlı Kombine Çevrim Santrallerinin Elektrik Üretimindeki Payı.....	65
BÖLÜM 5		68
SONUÇ VE ÖNERİLER		68

KAYNAKÇA.....	76
ÖZGEÇMİŞ.....	80

SİMGE LİSTESİ

KJ	KiloJoule
kW	KiloWatt
kWh	KiloWatt-saat
MW	MegaWatt
MWh	MegaWatt-saat
MWe	MegaWatt-elektrik
MWt	MegaWatt-termal
MJ	Megajoule
GJ	Gigajoule
GW	GigaWatt
GWh	GigaWatt-saat
TWh	TerraWatt-saat
Btu	British Thermal Unit
ft ³	Feetküp
g	Gram
kg	Kilogram
%	Yüzde
m ³	Metreküp
m	Metre
km	Kilometre
°C	Santigrat Derece
Prc	Kompresör sıkıştırma oranı
η	Verim
C	Özgül ısı
m _b	Buhar kütlesi
s	Entropi
T	Sıcaklık
CH ₄	Metan
CO ₂	Karbondioksit
ORC	Organic Rankine Cycle

KISALTMALAR

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AIK	Atık Isı Kazanı
CSP	Concentrated Solar Power
DEKTMK	Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi
DSİ	Devlet Su İşleri
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu
ETKB	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
EÜAŞ	Elektrik Üretim Anonim Şirketi
FV	Foto Voltaik
GEPA	Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
GSYİH	Gayri Safi Yurtiçi Hâsıla
HES	Hidroelektrik Santrali
HRSG	Heat Recovery Steam Generator
IAEA	International Atom Energy Agency
LNG	Liquid Natural Gas
LPG	Liquid Petroluem Gas
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
ORC	Organic Rankine Cycle
REPA	Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası
RES	Rüzgâr Enerjisi Santrali
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
TEDAŞ	Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TEP	Ton Eşdeğer Petrol
TKİ	Türkiye Kömür İşletmeleri
TPAO	Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı
TTK	Türkiye Taşkömürü Kurumu
TÜREB	Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği
YEKDEM	Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2. 1	2015 yılı dünya birincil enerji tüketiminin kaynaklara göre dağılımı.....	6
Şekil 2. 2	2015 yılı Türkiye birincil enerji tüketiminin kaynaklara göre dağılımı.....	7
Şekil 2. 3	1990-2014 Türkiye enerji talebinin dışa bağımlılık oranları	8
Şekil 2. 4	Dünya kömür rezervlerinde ülkelerin payı	9
Şekil 2. 5	Türkiye kömür sahaları ve potansiyel kullanım alanları	11
Şekil 2. 6	Türkiye’de kömür üretimi yapan başlıca iller	12
Şekil 2. 7	Yıllara göre Türkiye kömür ithalatı miktarları	12
Şekil 2. 8	2014 yılı Türkiye kömür ithalatında ülke payları.....	13
Şekil 2. 9	Bölgelere göre dünya ispatlanmış petrol rezervleri.....	14
Şekil 2. 10	2015 yılı Türkiye petrol ithalatının ülkelere göre dağılımı.....	16
Şekil 2. 11	İşlenmemiş doğalgazın temel elemanları	17
Şekil 2. 12	Bölgelere göre dünya ispatlanmış doğalgaz rezervleri	17
Şekil 2. 13	2004-2015 yılları Türkiye’nin doğalgaz arzı ve yerli üretim oranları	19
Şekil 2. 14	2015 yılı ülkelere göre Türkiye doğalgaz ithalat dağılımı.....	20
Şekil 2. 15	Türkiye nükleer enerji hammadde madenleri	22
Şekil 2. 16	Akkuyu nükleer santral projesi	23
Şekil 2. 17	Türkiye hidroelektrik potansiyeli ve kurulu güç miktarları	25
Şekil 2. 18	Dünya’da yüksek güneş ışınımına sahip bölgeler	26
Şekil 2. 19	Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası	27
Şekil 2. 20	Türkiye güneşlenme süreleri.....	28
Şekil 2. 21	Yıllara göre dünya rüzgar enerjisi değişimi	29
Şekil 2. 22	Türkiye REPA 50 metre yükseklik için ortalama rüzgar hızları.....	30
Şekil 2. 23	Yıllara göre Türkiye rüzgar enerjisi kurulu gücü.....	30
Şekil 2. 24	Türkiye rüzgar enerji kurulu gücünün bölgelere göre dağılımı.....	31
Şekil 2. 25	Türkiye rüzgar enerji kurulu gücünün illere göre dağılımı.....	31
Şekil 2. 26	Türkiye volkanik hareketler ve jeotermal kaynaklar haritası.....	33
Şekil 2. 27	Jeotermal kaynaklar ve uygulama haritası	33
Şekil 2. 28	Elektrik üretimine uygun jeotermal saha haritası.....	34
Şekil 2. 29	Dünya kişi başına elektrik tüketimi haritası	36
Şekil 2. 30	Dünya ve Türkiye kişi başına elektrik tüketimi durumu.....	37
Şekil 2. 31	Türkiye bölgelere göre kişi başına elektrik tüketimi durumu	38
Şekil 2. 32	Türkiye illere göre kişi başına elektrik tüketimi durumu	39
Şekil 3. 1	Kombine çevrim şematik gösterimi	41
Şekil 3. 2	Kombine çevrim için T-s diyagramı	41

Şekil 3. 3	Kombine çevrim enerji santralinin genel görünümü	43
Şekil 3. 4	Gaz türbini genel görünümü	44
Şekil 3. 5	Gaz türbini kısımları	45
Şekil 3. 6	Atık ısı kazanı.....	46
Şekil 3. 7	Buhar türbini	47
Şekil 3. 8	Kondenser	48
Şekil 3. 9	Jeneratör	48
Şekil 4. 1	2014 yılı elektrik üretiminin illere göre dağılımı	56
Şekil 4. 2	2014 yılı elektrik tüketiminin illere göre dağılımı	56
Şekil 4. 3	Kurulun gücün kaynaklara göre yüzdesel gelişimi	57
Şekil 4. 4	Türkiye kurulu gücünün illere göre dağılımı	58
Şekil 4. 5	Hamitabat doğalgaz kombine çevrim santrali	60
Şekil 4. 6	Ambarlı doğalgaz kombine çevrim santrali.....	61
Şekil 4. 7	Ovaakça doğalgaz kombine çevrim santrali.....	61
Şekil 4. 8	Doğalgaz kurulu gücün illere göre dağılımı	63
Şekil 4. 9	ENKA Adapazarı doğalgaz yakıtlı kombine çevrim santrali.....	64
Şekil 4. 10	Kaynak bazında ülkemiz elektrik enerjisi üretim oranları.....	65
Şekil 4. 11	Yıllara göre Türkiye elektrik üretiminde doğalgazın payı.....	67
Şekil 5. 1	Elektrik üretiminin kamu ve özel sektöre göre Dağılımı	69

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1	Enerji kaynakları sınıflandırılması..... 5
Çizelge 2. 2	2015 yılı dünya kömür rezervinde önde gelen ülkeler..... 8
Çizelge 2. 3	2015 yılı dünya kömür üretiminde önde gelen ülkeler..... 9
Çizelge 2. 4	2015 yılı dünya kömür tüketiminde önde gelen ülkeler 10
Çizelge 2. 5	TTK ruhsatlı kömür sahalarına ait rezervler 10
Çizelge 2. 6	Kurumlara ait linyit rezervleri 11
Çizelge 2. 7	2015 yılı dünya kanıtlanmış petrol rezervinde önde gelen ülkeler..... 14
Çizelge 2. 8	2015 yılı dünya petrol üretiminde önde gelen ülkeler..... 15
Çizelge 2. 9	2015 yılı dünya petrol tüketiminde önde gelen ülkeler..... 15
Çizelge 2. 10	2015 yılı dünya kanıtlanmış doğalgaz rezervinde önde gelen ülkeler 18
Çizelge 2. 11	2015 yılı dünya doğalgaz üretiminde önde gelen ülkeler 18
Çizelge 2. 12	2015 yılı dünya doğalgaz tüketiminde önde gelen ülkeler 19
Çizelge 2. 13	Ülke ve yıllara göre Türkiye doğalgaz ithalatı 20
Çizelge 2. 14	Dünya genelinde nükleer enerji 21
Çizelge 2. 15	2015 yılı hidroelektrik enerji üretiminde önde gelen ülkeler 24
Çizelge 2. 16	2015 yılı Türkiye hidroelektrik santral sayıları ve kurulu güçleri 25
Çizelge 2. 17	2015 yılı dünya güneş enerjisi kurulu gücünde önde gelen ülkeler..... 27
Çizelge 2. 18	2015 yılı dünya rüzgar enerjisi kurulu gücünde önde gelen ülkeler 29
Çizelge 2. 19	2015 yılı en büyük jeotermal kapasiteye sahip 10 ülke 32
Çizelge 2. 20	Türkiye jeotermal enerji elektrik üretimi kurulu gücü 35
Çizelge 2. 21	2015 yılı dünya elektrik üretiminde zirvede yer alan 5 ülke 36
Çizelge 2. 22	2014 yılı dünya brüt kişi başı elektrik tüketiminde önde gelen ülkeler .. 37
Çizelge 2. 23	2014 ve 2015 yılları Türkiye brüt kişi başına elektrik enerjisi tüketimi... 38
Çizelge 3. 1	Enerji santrali verim değerleri..... 49
Çizelge 3. 2	Enerji santrali inşa süreleri 50
Çizelge 3. 3	Enerji santrali maliyetleri 52
Çizelge 3. 4	Enerji santrali ilk yatırım maliyeti..... 52
Çizelge 3. 5	Referans santral ile birim enerji maliyeti kıyaslaması..... 54
Çizelge 4. 1	2013-2015 yılları arası Türkiye elektrik enerjisi genel görünümü 55
Çizelge 4. 2	Türkiye elektrik enerjisi kurulu gücü 58
Çizelge 4. 3	Yakıt kaynaklarına göre Türkiye elektrik kurulu gücü ve santral sayıları 59
Çizelge 4. 4	2013-2015 yılları arası işletmeye giren santral sayısı ve kurulu gücü 62
Çizelge 4. 5	Kapasitesine göre ilk 10 sırada yer alan kombine çevrim santralleri..... 63
Çizelge 4. 6	İşletmeye girmesi beklenen kombine çevrim santral kurulu güçleri 64
Çizelge 4. 7	Yıllara göre Türkiye elektrik üretiminde doğalgazın payı..... 66

Çizelge 5. 1	Elektrik üretiminin kuruluşlara ve kaynaklara göre dağılımı.....	69
Çizelge 5. 2	Elektrik enerjisi alanında yapılan özel sektör yatırımları	70
Çizelge 5. 3	Termik santral kurulu gücü dağılımı.....	71

DOĞALGAZ YAKITLI KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALLERİ VE TÜRKİYE ELEKTRİK ÜRETİMİNDEKİ YERİ

Mehmet GÜNASLAN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Şükrü BEKDEMİR

Türkiye’de son yıllarda doğalgaz yakıtlı kombine çevrim santralleri; ilk yatırım maliyetlerinin düşük olması, kısa sürede inşa edilebilmeleri, yüksek verimlerde çalışabilmeleri, kullanılan yakıt itibariyle çevreye verilebilecek zararın daha kontrol edilebilir olması ve ani yük taleplerinde kısa sürede işletmeye alınabilmeleri sayesinde diğer fosil yakıtlı termik santrallere göre yatırımcılar tarafından en çok tercih edilen santraller olmuştur. Ülkemizde 2002-2015 yılları arasında yapılan yatırımlarla, doğalgaz yakıtlı kombine çevrim santrallerinin kurulu gücü %150 artarak 21.785,1 MW’a ulaşmıştır. Sadece son üç yılda ülkemizde değişik güçlerde 97 adet doğalgaz yakıtlı kombine çevrim santrali işletmeye alınmıştır. İşletmeye alınan bu santrallerin toplam gücü 5.466,1 MW’tır. 2016-2019 yılları arasında inşa edilerek işletmeye alınması beklenen doğalgaz yakıtlı kombine çevrim santrallerinin toplam kurulu gücü ise 5.502,3 MW’tır.

2015 yılı sonu itibariyle Türkiye elektrik üretiminin yaklaşık olarak %38’i doğalgaz yakıtlı kombine çevrim santralleri tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu santrallerde kullanılan doğalgazın %99’u ithal edilmektedir.

Bu çalışmada, dünyada ve Türkiye’de güncel enerji görünümü incelendikten sonra, ülkemiz elektrik üretiminde ilk sırada bulunan doğalgaz yakıtlı kombine çevrim santrallerinin teknik ve ekonomik değerlendirmeleri yapılmıştır. Ayrıca, bu santrallerin Türkiye elektrik üretimindeki yeri analiz edilerek, enerji yatırımlarında tercih edilmesinin nedenleri incelenmiştir. Sonuç bölümünde ise jeopolitik olarak hassas bir coğrafyada bulunan Türkiye’nin, %99 dışa bağımlı olduğu bir enerji kaynağı ile elektrik

üretiminin büyük bir kısmını sağlamanın oluşturacağı riskler dikkate alınarak, ülkemiz enerji politikalarında uygulanabilecek öneriler sıralanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Enerji kaynakları, doğalgaz, kombine çevrim santrali, Türkiye elektrik üretimi

**NATURAL GAS FIRED COMBINED CYCLE POWER PLANTS AND THEIR ROLE
ON TURKEY ELECTRICITY GENERATION**

Mehmet GÜNASLAN

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Şükrü BEKDEMİR

Owing to the low initial investment cost, can be built in a short time, high efficiency, its controllable environment damage and can be put into operation in a short period even sudden load demands, natural gas fired combined cycle power plants are mostly preferred by investors in Turkey in comparison with the other fossil fuel thermal power plants in recent years. Between the years of 2002 and 2015, installed capacity of natural gas fired combined cycle plants are increased by 150% to 21.785,1 MW with the investments in Turkey. In the last three years, 97 of natural gas fired combined cycle power plants at various powers have been commissioned with the totally power of 5.466,1 MW. Between 2016 and 2019, 5.502,3 MW power of natural gas fired combined cycle power plants have been expected to be commissioned.

Approximately 38% of Turkey's electricity production was carried out by natural gas fired combined cycle power plants in the end of 2015. 99% of the natural gas used in these plants is imported.

In this study, after examining the current energy outlook in the world and in Turkey, technical and economic evaluations of natural gas fired combined cycle power plants which is at the first place in electricity production in Turkey are made. Then, the place of these plants in Turkey's electricity production was analyzed and the reasons for the choice were investigated in energy investments. In the conclusion, the risks of Turkey's

electricity production with an energy source that is 99% dependent on external supply are emphasized and suggestions which can be applied to our country's energy policy are listed.

Keywords: Energy resources, natural gas, combined cycle power plant, Turkey's electricity production

1.1 Literatür Özeti

İki veya daha fazla güç çevriminin tek bir güç santralinde beraber kullanılması fikri yapılan çalışmalarda sıklıkla önerilmektedir. Bu fikir ile istenen tek bir çevrimden elde edilecek verimden daha fazla verim elde etmektir.

1950'li yıllardan itibaren kombine çevrim santralleri bu fikirler arasında yaygın şekilde kabul gören santrallerden biri olmuştur. Kombine çevrim terimi, üst çevrim olarak çalışan gaz türbin çevrimi ile alt çevrim olarak çalışan buhar çevriminin bir sistem içinde birbirini tamamlayıcı şekilde çalıştırılmasını ifade eder. Gaz türbini ile buhar türbini arasında bir atık ısı kazanı mevcuttur. Kombine çevrim sistemleri, gaz türbin çevrimlerinin üst sıcaklığının yüksek olması ve buhar türbinli çevrimlerin alt sıcaklıklarının düşük olması avantajını birleştirerek, gaz türbinlerini terk eden sıcak gazların, buharlı güç çevriminin ısı kaynağı olarak kullanılmasını sağlarlar. Böylelikle tek bir gaz türbini ya da buhar türbini çevriminden elde edilecek verimin çok üzerinde verim elde edilir [1].

Günümüzde, diğer fosil yakıtlı termik santrallere göre yüksek verimlerde çalışabilmesi, kısa sürede inşa edilmesi, düşük ilk yatırım maliyeti, pik yükleri karşılamak amacıyla kısa sürede devreye girebilmeleri ve daha az çevresel etkilerinin olması gibi başlıca özellikler doğalgaz yakıtlı kombine çevrim santrallerine artan ilginin nedenidir [2-6].

Kombine çevrim santralleri ile ilgili literatürde ise genel olarak santralin yapısını, çalışma prensibini ve elemanlarını anlatan ayrıca termodinamik ve ekonomik analizi ile

bu santrallerin performansına etki eden parametrelerin incelendiği yerli ve yabancı birçok çalışma ortaya konmuştur [7-10].

1.2 Tezin Amacı

Türkiye'nin enerji talebi, gelişen ekonomisine paralel olarak her geçen gün artmaktadır. Türkiye elektrik enerjisi tüketimi, 2015 yılında %3'lük bir artış ile 264 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir. Bu yüksek enerji talebini karşılamak amacıyla 31 Mayıs 2016 sonu itibariyle ülkemiz kurulu gücü 75.081,5 MW'tır. Türkiye'de elektrik talebinin 2024 yılında düşük senaryoya göre 400,6 milyar kWh, yüksek senaryoya göre ise yaklaşık 473,1 milyar kWh düzeyine ulaşacağı hesaplanmaktadır [11].

Türkiye, enerji talebindeki bu artışı karşılayabilmek amacıyla enerji üretim piyasasında önemli özelleştirmeler gerçekleştirerek, rekabete dayalı ve şeffaf bir piyasa yapısını oluşturulmaya çalışmıştır. Son yıllarda enerji üretim piyasasında oluşan güçlü rekabet nedeniyle, yatırımcı firmalar diğer fosil yakıtlı termik santrallere göre kıyaslandığında birçok konuda üstün olan doğalgaz yakıtlı kombine çevrim santrallerine yönelmişlerdir. İlk yatırım maliyetlerinin düşük olması, kısa sürede inşa edilebilmeleri, yüksek verimlerde çalışabilmeleri, daha az olumsuz çevresel etkilerinin olması ve ani yük taleplerinde kısa sürede işletmeye alınabilmeleri doğalgaz yakıtlı kombine çevrim santrallerinin tercih edilmelerinin başlıca sebepleri olmuşlardır.

Ülkemizde özellikle 2002-2015 yılları arasında yapılan yatırımlarla, değişik güçlerdeki doğalgaz yakıtlı kombine çevrim santrallerinin sayısı 242'ye, kurulu gücü ise %150 artarak 21.785,1 MW'a ulaşmıştır. Sadece son üç yılda değişik güçlerde 97 adet doğalgaz yakıtlı kombine çevrim santrali işletmeye alınmıştır. İşletmeye alınan bu santrallerin toplam gücü 5.466,1 MW'tır. 2016-2019 yılları arasında inşa edilerek işletmeye alınması beklenen doğalgaz yakıtlı kombine çevrim santralinin toplam kurulu gücü ise 5.502,3 MW'tır. Önümüzdeki yıllarda da bu eğilimin devam edeceği tahmin edilmektedir.

2015 yılı sonu itibariyle Türkiye elektrik üretiminin yaklaşık olarak %38'i doğalgaz yakıtlı kombine çevrim santralleri tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu santrallerde kullanılan doğalgazın %99'u ithal edilmektedir.

Bu çalışmanın amacı, dünyada ve Türkiye’de güncel enerji görünümü incelendikten sonra, ülkemiz elektrik üretiminde ilk sırada bulunan doğalgaz yakıtlı kombine çevrim santrallerinin teknik ve ekonomik değerlendirmeleri yapılarak enerji yatırımlarında tercih edilmesinin nedenleri incelemek ve bu santrallerin Türkiye elektrik üretimindeki yerini analiz etmektir. Ayrıca, jeopolitik olarak hassas bir coğrafyada bulunan Türkiye’nin, %99 dışa bağımlı olduğu bir enerji kaynağı ile elektrik üretiminin büyük bir kısmını sağlamasının oluşturacağı riskleri dikkate alarak, ülkemiz enerji politikalarında uygulanabilecek önerileri sıralamaktır.

1.3 Hipotez

Türkiye genelinde büyük güç santrali ve sanayide kullanılan küçük güçteki santraller olmak üzere 242 adet doğalgaz yakıtlı kombine çevrim santrali vardır. Bu santraller ile 2014 yılında Türkiye elektrik üretiminin yaklaşık olarak %48’i ve 2015 yılı sonu itibariyle de yaklaşık olarak %38’i doğalgaz yakıtlı kombine çevrim santralleri tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu santrallerde kullanılan doğalgazın %99’u ithal edilmektedir. Bu da demektir ki; Türkiye’nin %99 oranında dışa bağımlı olduğu bir enerji kaynağı, üretilen elektriğin %40-50 arasında bir oranını oluşturmaktadır.

Bu çalışma ile Türkiye’nin, yüksek oranda dışa bağımlı olduğu bir enerji kaynağı ile elektrik üretiminin büyük bir kısmını sağlamasının oluşturacağı riskler dikkate alınarak ülkemiz enerji politikalarında uygulanabilecek öneriler sıralanmıştır. Sonuç bölümünde belirtilen önerilerin uygulanabilmesi sayesinde, jeopolitik olarak hassas bir coğrafyada bulunan Türkiye’nin enerjideki dışa bağımlılığı mümkün mertebe azaltılacak ve ülkenin sosyoekonomik gelişimine katkı sağlanacaktır.

DÜNYA VE TÜRKİYE GENELİNDE GÜNCEL ENERJİ GÖRÜNÜMÜ

2.1 Enerji Kavramı ve Kaynakları

Enerji kelimesi köken olarak Yunanca “Energeia” kelimesinden gelmektedir. Enerji kavramı; fizik, kimya, biyoloji ve ekonomi alanlarında kendi içinde farklı anlamlar barındırmaktadır.

Enerji, kısaca iş yapabilme yetisi olarak tanımlansa da, günümüzde tanımını aşarak ekonomiden sosyal hayata önemi her geçen gün artan bir kavram olmuştur.

Enerji, kaynağına ve dönüştürülebilirliklerine göre sınıflandırılmaktadır. Kaynağına göre yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları; dönüştürülebilirliklerine göre de birincil ve ikincil enerji kaynakları olmak üzere sınıflandırılmaktadır (Çizelge 2.1).

Enerjinin herhangi bir değişim veya dönüşüme uğramamış şekline birincil enerji kaynakları denmektedir. Birincil enerji kaynakları; petrol, kömür, doğalgaz, nükleer, hidrolik, deniz kökenli enerjiler, güneş, biyokütle ve rüzgardır. Birincil enerjinin dönüştürülmesi veya değiştirilmesi sonucu elde edilen enerji kaynakları da ikincil enerji olarak adlandırılmaktadır. Elektrik, benzin, ikincil kömür, kok kömürü, mazot, motorin, LPG, petro kök bu tip enerji kaynakları kapsamındadır [12].

Kısa sürede tükenmeyen ve kendini sürekli yenileyebilen enerjiye yenilenebilir enerji kaynakları denir. Hidrolik enerji, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji, güneş enerjisi, hidrojen enerjisi, biyokütle enerjisi ve deniz kökenli enerjiler bu kaynaklar arasında sayılabilmektedir. Yenilenemez enerji kaynakları; kısa bir sürede tükeneceği tahmin

edilen enerji kaynakları olup, fosil kaynaklılar (kömür, petrol ve doğalgaz) ve nükleer kaynaklılar (uranyum ve toryum) olmak üzere iki farklı şekilde tasnif edilmektedir.

Çizelge 2.1 Enerji kaynakları sınıflandırılması [12]

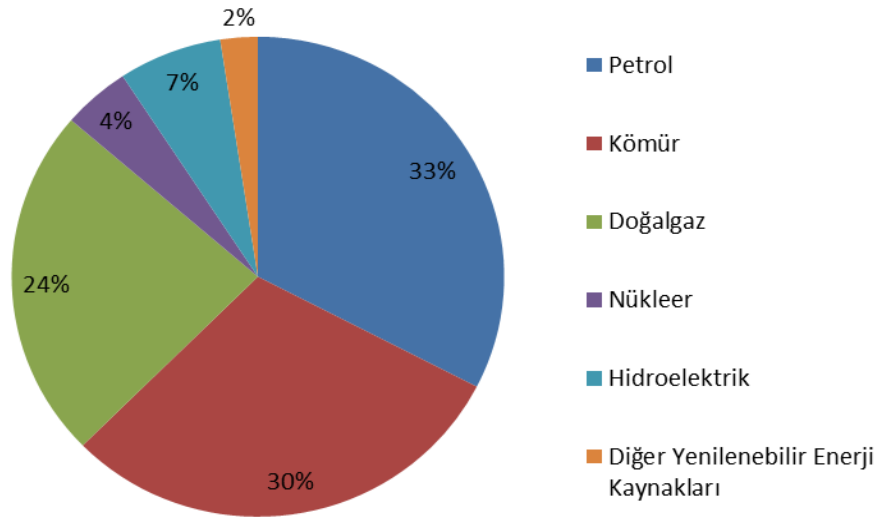
KAYNAĞINA GÖRE	DÖNÜŞTÜRÜLEBİLİRLİKLERİNE GÖRE
A) YENİLENEMEZ (TÜKENİR)	A) BİRİNCİL (PRİMER)
a) Fosil Kaynaklı <ul style="list-style-type: none">• Kömür• Doğalgaz• Petrol b) Nükleer Kaynaklı <ul style="list-style-type: none">• Uranyum• Toryum	<ul style="list-style-type: none">• Kömür• Doğalgaz• Petrol• Nükleer• Hidrolik• Güneş• Rüzgar• Biyokütle• Deniz Kökenli Enerjiler
B) YENİLENEBİLİR (TÜKENMEZ)	B) İKİNCİL (SEKONDER)
<ul style="list-style-type: none">• Güneş• Rüzgar• Jeotermal• Hidrolik• Hidrojen• Biyokütle• Deniz Kökenli Enerjiler	<ul style="list-style-type: none">• Elektrik, Benzin, Motorin• İkincil Kömür• Kok, Petro Kök• Hava Gazı• LPG

2.2 Güncel Enerji Görünümü

Bu kısımda dünya ve Türkiye genelinde enerji görünümü en güncel kaynaklardan faydalanılarak verilmeye çalışılmıştır. Dünya ve Türkiye genel enerji talepleri incelendikten sonra, enerji talebini karşılamada büyük paya sahip olan birincil enerji kaynakları (kömür, petrol, doğalgaz, nükleer, hidroelektrik, güneş, rüzgar ve jeotermal) başlıklar altında hem dünya genelinde hem de Türkiye özelinde incelenecektir.

Dünya üzerindeki enerji tüketimi, nüfus artışı, şehirleşme, sanayileşme ve teknolojinin yaygınlaşmasına paralel olarak gün geçtikçe artmaktadır. Sınırlı olan enerji kaynakları ise, enerji talebi ile ters orantılı olarak, dünya üzerinde sürekli azalmaktadır.

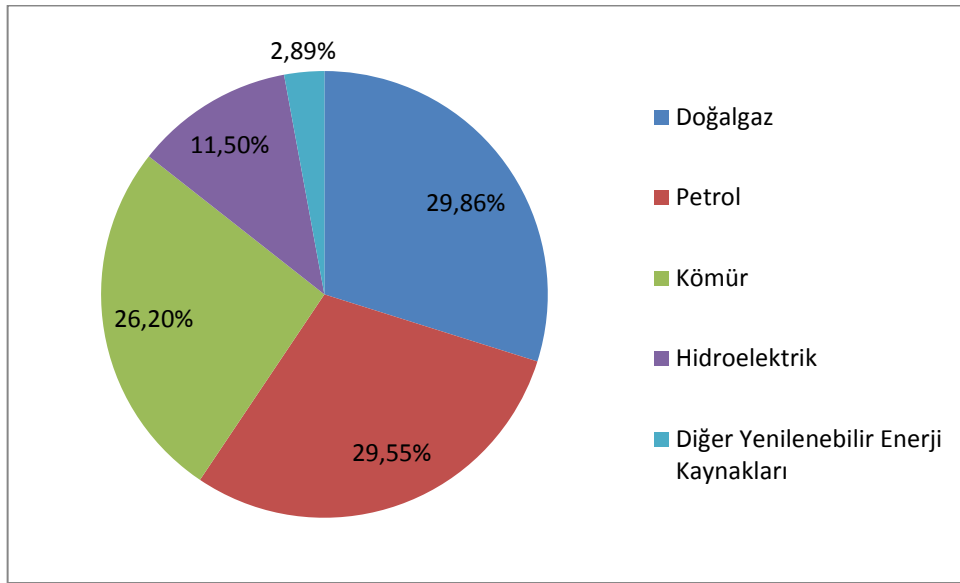
2015 yılı sonu verilerine göre dünyada birincil enerji tüketim miktarı yaklaşık olarak 13,2 milyar TEP (ton eşdeğer petrol) olarak gerçekleşmiştir [13]. Bugün dünyada tüketilen enerjinin kaynaklara göre dağılımına bakıldığında, petrol, doğalgaz ve kömür gibi fosil kaynakların toplam oranının %87 olduğu görülmektedir. Petrol, özellikle ulaştırma sektörünün temel enerji kaynağı olarak, dünya birincil enerji tüketimi içinde en büyük paya sahiptir. Petrolü takip eden doğalgaz ve kömür ise büyük ölçüde elektrik üretiminde kullanılmaktadır. 2015 yılı sonu itibariyle petrol dünya enerji talebinin %33'ünü, kömür %30'unu ve doğalgaz ise %24'ünü karşılamıştır. Geriye kalan %13'lük oranı ise nükleer, hidroelektrik ve diğer yenilenebilir enerji kaynakları oluşturmaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 2015 yılı dünya birincil enerji tüketiminin kaynaklara göre dağılımı

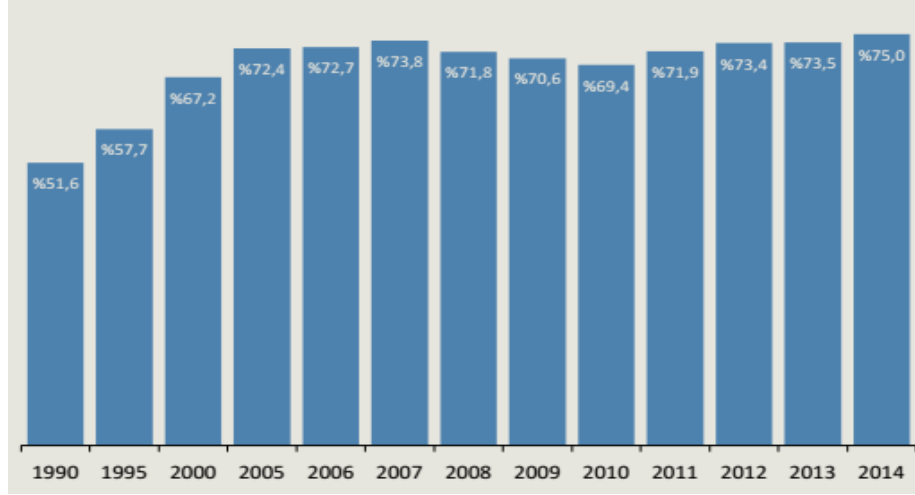
British Petrol (BP) tarafından yapılan tahminlerde petrol, doğalgaz ve kömür gibi fosil kaynakların 2035 yılına gelindiğinde birincil enerji tüketiminin %81'ini karşılayacağı belirtilmiştir. Birincil enerji tüketiminde fosil kaynakların kullanım oranının az da olsa düşüş göstereceği beklense de bu yüzyıl içerisinde hala önemli enerji kaynakları olacağı tahmin edilmektedir [14].

Türkiye genelinde enerji görünümüne bakıldığında, birincil enerji tüketiminin büyük bir kısmı fosil kaynaklardan karşılanmaktadır. Türkiye'nin 2015 yılındaki toplam birincil enerji tüketimi 131,3 milyon TEP'dir [13]. Bu tüketimin kaynaklara dağılımında, ilk sırayı 39,2 milyon TEP ve toplam arzda %29,86 payla doğalgaz almıştır. Doğalgazı, %29,55 pay ile petrol (38,8 milyon TEP), %26,2 ile kömür (34,4 milyon TEP), %11,5 ile hidroelektrik (15,1 milyon TEP) ve %2,89 ile diğer yenilenebilir enerji kaynakları (3,8 milyon TEP) izlemiştir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 2015 yılı Türkiye birincil enerji tüketiminin kaynaklara göre dağılımı

Enerji sektöründe fosil kaynaklara olan bu bağımlılık, yeterli miktarda petrol ve doğalgaz rezervi bulunmayan Türkiye için enerji talebinde dışa bağımlılığa sebep olmaktadır. Türkiye'nin enerjide dışa bağımlılığı %75 düzeyindedir (Şekil 2.3). Bu oran, özellikle 1990'ların başından itibaren doğalgaz tüketimindeki artışa bağlı olarak önemli bir yükselme göstermiş ve 2000'li yılların başından itibaren %70'ler civarında seyretmeye başlamıştır [15].



Şekil 2.3 1990-2014 Türkiye enerji talebinin dışa bağımlılık oranları [15]

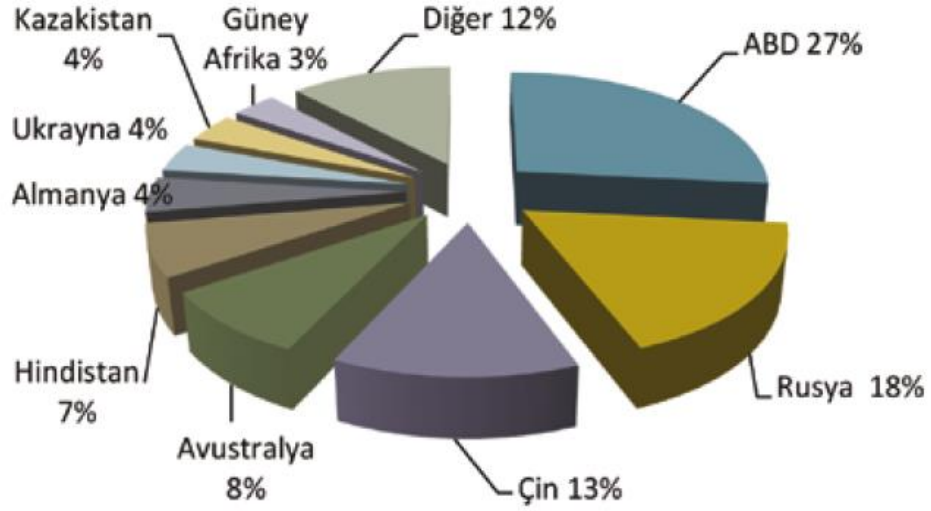
2.2.1 Kömür

2.2.1.1 Dünya Genelinde

Belirli bir bölgede yoğunlaşmamış olması ve dünya genelinde en fazla rezerve sahip olması sebebiyle kömür, birincil enerji tüketiminde petrolden sonra en fazla kullanılan enerji kaynağıdır. Dünya genelinde yaklaşık olarak 892 milyar ton kesinleşmiş kömür rezervi bulunmaktadır (Çizelge 2.2) [13]. Bu rezervin yaklaşık olarak %58'ine karşılık gelen 509 milyar ton kömür ABD, Rusya ve Çin'de bulunmaktadır (Şekil 2.4).

Çizelge 2.2 2015 yılı dünya kömür rezervinde önde gelen ülkeler

Ülke	Miktar (Milyon Ton)	Dünya Toplamındaki Payı (%)
ABD	237.295	27,0
Rusya	157.010	17,6
Çin	114.500	13,0
Avustralya	76.400	8,6
Hindistan	60.600	6,8
Dünya Toplamı	891.531	100



Şekil 2.4 Dünya kömür rezervlerinde ülkelerin payı [16]

Dünya kömür üretimi incelendiğinde ise 2015 yılında toplam 7,8 milyar ton üretim gerçekleşmiş olup bu üretimin %47,7'sine denk gelen yaklaşık 3,8 milyar ton üretimini Çin tek başına yapmış ve bu ülkeyi ABD, Hindistan ve Avustralya takip etmiştir (Çizelge 2.3) [13]. Çin'in kömür üretiminde açık farkla önde olması, gelişen ekonomisi ile beraber artan enerji talebinin karşılanma ihtiyacına bağlanmaktadır.

Çizelge 2.3 2015 yılı dünya kömür üretiminde önde gelen ülkeler

Ülke	Miktar (Milyon Ton)	Dünya Toplamındaki Payı (%)
Çin	3.747	47,4
ABD	812,8	11,9
Hindistan	677,5	7,4
Avustralya	484,5	6,2
Rusya	373,3	4,8
Dünya Toplamı	7.861,1	100

Dünya kömür tüketimi, son otuz yılda iki katından fazla artarak 2015 yılında toplam 3,8 milyar TEP tüketim gerçekleşmiş olup bu tüketimin %50,6'sına denk gelen 1,9 milyar TEP tüketimi Çin tek başına yapmıştır. Japonya ise kömür rezervine sahip olmamasına rağmen, elektrik üretimi ve endüstri sektöründe bölgenin en önemli kömür tüketicisi konumundadır (Çizelge 2.4) [13].

Çizelge 2.4 2015 yılı dünya kömür tüketiminde önde gelen ülkeler

Ülke	Miktar (Milyon TEP)	Dünya Toplamındaki Payı (%)
Çin	1.920,4	50,0
Hindistan	407,2	10,6
ABD	396,3	10,3
Japonya	119,4	3,1
Rusya	88,7	2,3
Dünya Toplamı	3.839,9	100

2.2.1.2 Türkiye Genelinde

Türkiye Kömür İşletmeleri 2014 yılı Kömür Sektör Raporuna göre ülkemizde, doğalgaz ve petrol rezervleri oldukça sınırlı olmasına karşın, 506 milyon tonu görünür rezerv olmak üzere yaklaşık 1,3 milyar ton taşkömürü ve yine 13,9 milyar tonu görünür rezerv niteliğinde toplam 14,2 milyar ton linyit rezervi bulunmaktadır. Bu miktar dünya kanıtlanmış işletilebilir kömür rezervlerinin %1,7'sini oluşturmaktadır. Linyit rezervlerimiz ise dünya linyit rezervlerinin %7,1'i büyüklüğündedir [16].

Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK) taşkömürü rezervlerimizin tamamının ruhsatına sahiptir (Çizelge 2.5).

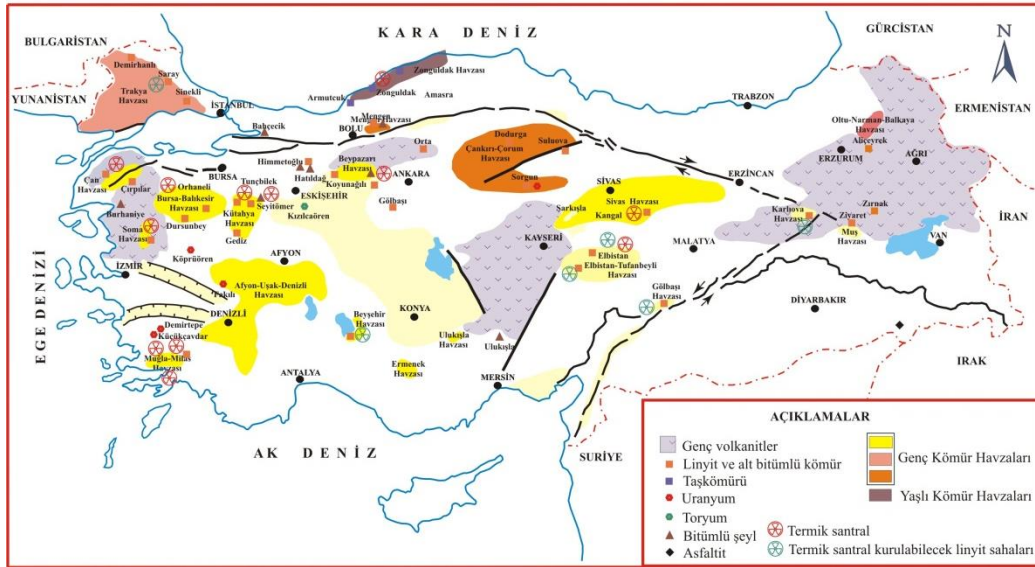
Çizelge 2.5 TTK ruhsatlı kömür sahalarına ait rezervler (Ton, Mayıs 2015) [16]

Müessese	Hazır	Görünür	Muhtemel	Mümkün	Toplam
Armutçuk	1.763.675	6.874.821	15.859.636	7.883.164	32.381.296
Kozlu	3.146.786	64.347.317	40.539.000	47.975.000	156.008.103
Üzülmüş	521.183	134.785.309	94.342.000	74.020.000	303.668.492
Karadon	2.825.324	131.194.211	159.162.000	117.034.000	410.215.535
Amasra	400.060	169.268.317	115.052.000	121.535.000	406.255.377
Toplam	8.657.028	506.469.975	424.954.636	368.447.164	1.308.528.803

Linyit rezervlerimizin %87,7'si Elektrik Üretim Anonim Şirketi (EÜAŞ), Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ) ve Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) olmak üzere üç kamu kuruluşunda, geriye kalan %12,3'ü ise özel sektör ruhsat sınırları içinde bulunmaktadır (Çizelge 2.6).

Çizelge 2.6 Kurumlara ait linyit rezervleri (Ton, 2014 yılısonu) [16]

Kurumlar	Görünür	Muhtemel	Mümkün	Toplam
EÜAŞ	7.448.657.000	133.706.000	7.448.657.000	7.585.327.000
TKİ	3.445.177.000	211.727.000	8.139.000	3.665.043.000
MTA	1.207.484.000	5.629.000	---	1.213.113.000
Özel Sektör (2013 sonu)	1.749.921.000	---	---	1.749.921.000
Toplam	13.851.239.000	351.062.000	11.103.000	14.213.404.000



Şekil 2.5 Türkiye kömür sahaları ve potansiyel kullanım alanları [17]

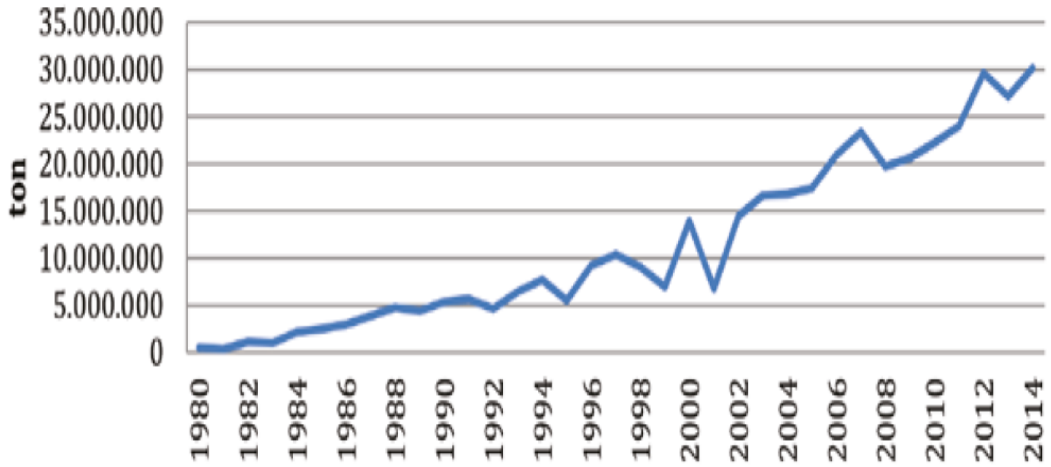
Ülkemizde, 2015 yılında %0,3'lik dünya genelinde payla 46,2 milyon ton kömür üretimi gerçekleşmiştir. 2015 yılında, 2014 yılı üretimine göre %28,4'lük bir azalma söz konusudur. Bu azalmaya rağmen, artan enerji bağımlılığını azaltmak maksadıyla, kömür üretimine önümüzdeki yıllarda artan şekilde devam edileceği tahmin edilmektedir. Şekil 2.6'da Türkiye'de kömür üretimi yapan başlıca iller verilmiştir.



Şekil 2.6 Türkiye’de kömür üretimi yapan başlıca iller [16]

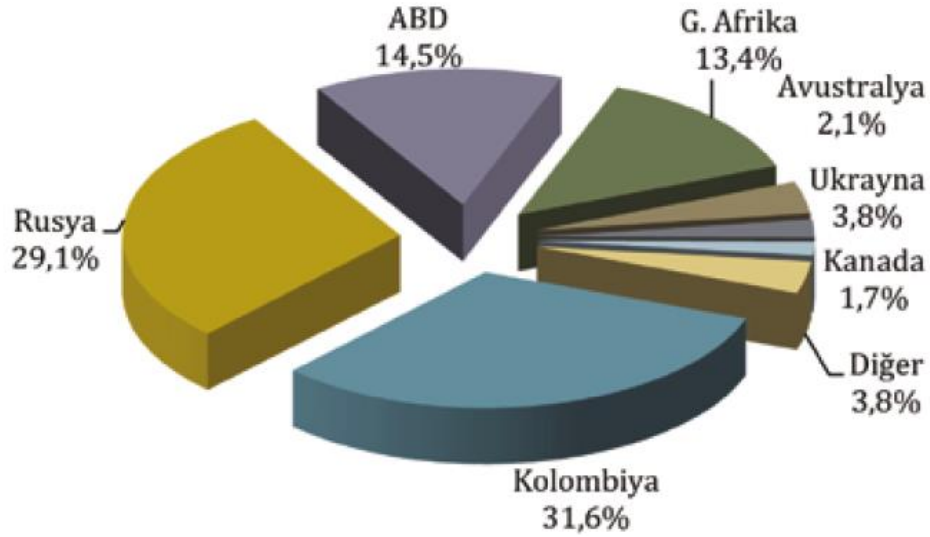
Ülkemizde 2015 yılında 34,4 milyon TEP kömür tüketimi gerçekleşmiştir [13]. Önümüzdeki yıllarda artan kömür üretimine paralel olarak kömür tüketiminin de artacağı tahmin edilmektedir.

Ülkemizde 1980’li yıllardan önce düşük miktarlarda olan kömür ithalatı, 1990’lı ve 2000’li yıllarda giderek artmıştır. Kömür ithalatındaki artış oranı son yirmi yılda %291 oranındadır. 2014 yılı kömür ithalatı 30,2 milyon ton olmuştur (Şekil 2.7) [16]. Son yıllarda kömür ithalatındaki artışın en önemli sebebi, elektrik üretimi amaçlı talepteki ciddi artıştır. Söz konusu eğilim devam ettiği sürece, ithalatın önümüzdeki yıllarda da artarak süreceği tahmin edilmektedir.



Şekil 2.7 Yıllara göre Türkiye kömür ithalatı miktarları [16]

Ülkemizin 2014 yılında en fazla kömür ithalatı yaptığı ülke Kolombiya olmuştur. Kolombiya'dan yapılan kömür ithalatı 9,4 milyon ton olarak gerçekleştirilirken, Rusya Federasyonu'ndan yapılan ithalat 8,7 milyon ton olmuştur. Bu iki ülkeyi 4,3 milyon ton ile ABD, 4 milyon ton ile Güney Afrika Cumhuriyeti, 2 milyon ton ile Ukrayna ve 632 bin ton ile Avustralya izlemiştir (Şekil 2.8).

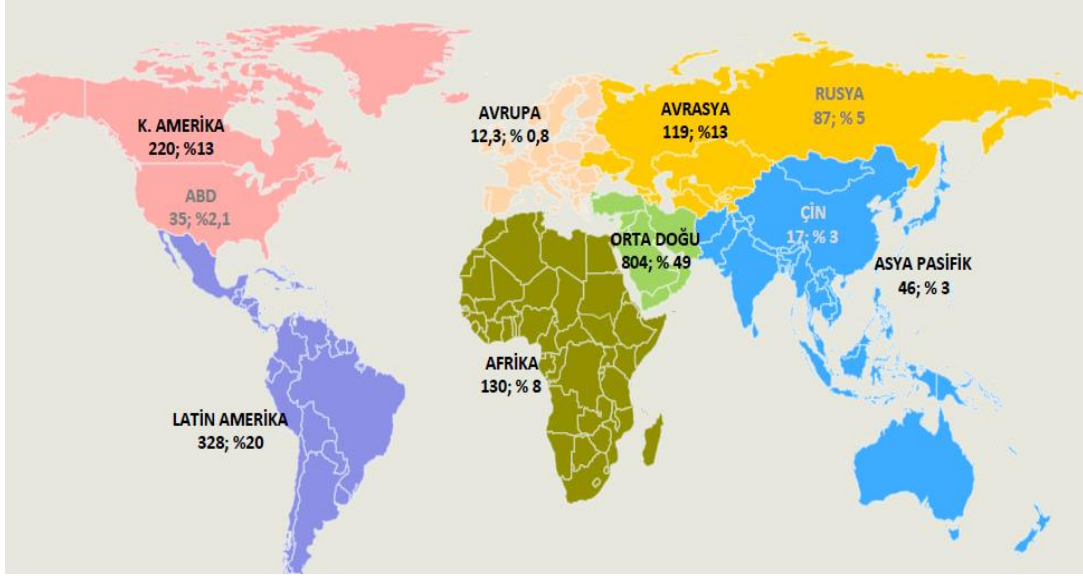


Şekil 2.8 2014 yılı Türkiye kömür ithalatında ülke payları [16]

2.2.2 Petrol

2.2.2.1 Dünya Genelinde

Dünya genelinde petrol rezervleri değerlendirildiğinde, Orta Doğu bölgesi dünya petrol rezervlerinin %49'lük bölümüne sahiptir. Orta Doğu'yu, %20'lik rezerv miktarı ile Orta ve Güney Amerika, % 13,3'lük rezerv ile Kuzey Amerika ve diğer bölgeler (Afrika %7,6, Avrasya %7,2, Asya ve Okyanusya %2,8 ve Avrupa %0,8) takip etmektedir (Şekil 2.9).



Şekil 2.9 Bölgelere göre dünya ispatlanmış petrol rezervleri [15]

2015 yılı sonu itibariyle dünya kanıtlanmış petrol rezervleri bakımından önde gelen ülkeler Çizelge 2.7’de verilmiştir [13]. Venezuela, en fazla petrol rezervine sahip olan ülke olmuştur. Venezuela’yı Suudi Arabistan, Kanada, İran ve Irak takip etmiştir.

Çizelge 2.7 2015 yılı dünya kanıtlanmış petrol rezervinde önde gelen ülkeler

Ülke	Miktar (Milyar ton)	Dünya Toplamındaki Payı (%)
Venezuela	47.700	17,7
Suudi Arabistan	36.700	15,7
Kanada	27.900	10,2
İran	21.700	9,3
Irak	20.200	8,8
Dünya Toplamı	239.400	100

2015 yılında dünya petrol üretimi 2014 yılına nazaran %3,2 artışla 4.361,9 milyon ton olarak kaydedilmiştir (Çizelge 2.8) [13]. Suudi Arabistan 2015 yılında en çok petrol üreten ülke olmuştur. Suudi Arabistan’ı, ABD ve Rusya takip etmiştir.

Çizelge 2.8 2015 yılı dünya petrol üretiminde önde gelen ülkeler

Ülke	Miktar (Milyon ton)	Dünya Toplamındaki Payı (%)
Suudi Arabistan	568,5	13,1
ABD	567,2	13,0
Rusya	540,7	12,4
Kanada	215,5	4,9
Çin	214,6	4,8
Dünya Toplamı	4.361,9	100

2015 yılı dünya petrol tüketimi değerlendirildiğinde, petrol arzı kadar hızlı artmayan petrol talebi fiyatların düşmesine neden olmuştur. Çizelge 2.9'da 2015 yılı itibariyle petrol tüketiminde önde gelen ülkeler verilmiştir [13].

Çizelge 2.9 2015 yılı dünya petrol tüketiminde önde gelen ülkeler

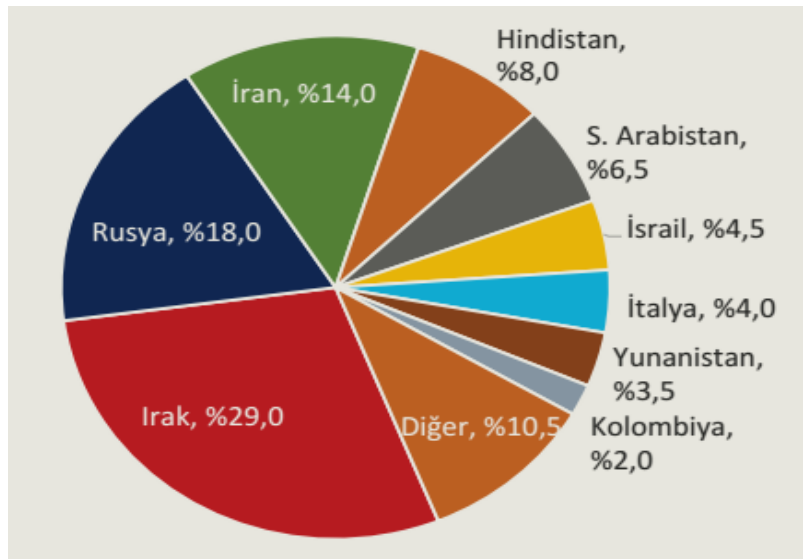
Ülke	Miktar (Milyon Ton)	Dünya Toplamındaki Payı (%)
ABD	851,6	19,7
Çin	559,7	12,9
Hindistan	195,5	4,5
Japonya	189,6	4,4
Rusya	143,0	3,3
Dünya Toplamı	4.331,3	100

2.2.2.2 Türkiye Genelinde

2013 yılında 207 milyon ton olarak kaydedilen Türkiye petrol rezervi düşük bir miktar artış göstererek 2014 yılında 218 milyon ton olmuştur. Yeni keşifler yapılmadığı takdirde, mevcut üretim ve tüketim eğilimi düşünüldüğünde, kalan petrol rezervinin yaklaşık 17 yıllık ömrü bulunmaktadır [15].

2015 yılı Türkiye petrol tüketimi 40,6 milyon ton, üretimi ise 2,6 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. 2015 yılında yerli ham petrol üretiminin tüketime oranı yaklaşık %6,4 olarak gerçekleşmiştir.

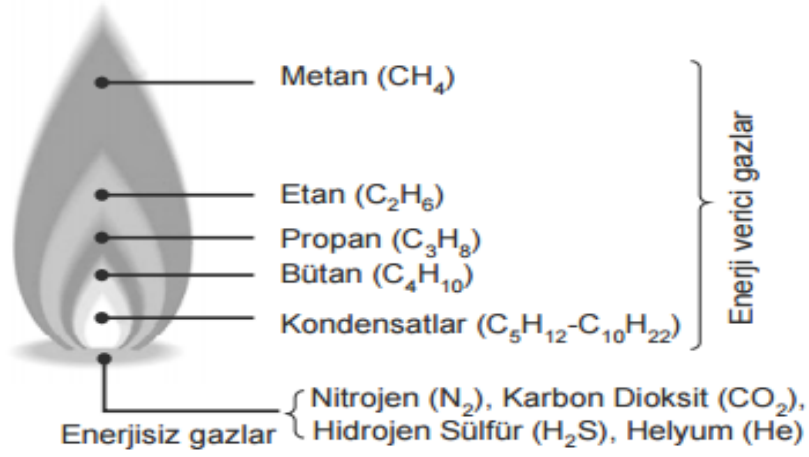
2015 yılında 38 milyon ton ham petrol ithalatı gerçekleştirilmiştir [15]. 2014 yılına nazaran 2015 yılında ithalatın daha fazla kaynak ülkeden gerçekleştirildiği gözlemlenmiştir. Irak %29'luk payla ilk sırada yer alırken, Rusya %18 ile ikinci, İran %14 ile üçüncü sırada yer almıştır. 2014 yılına kıyasla, İran ve Suudi Arabistan'dan ithal edilen petrol oranında düşüş yaşandığı, Rusya ve Hindistan'ın payının ise önemli oranda yükseldiği göze çarpmaktadır. 2015 yılında petrol ithal edilen kaynak ülkelere bakıldığında, en çok dikkat çeken husus, düşük oranda petrol ithal edilen ülkelerin çeşitliliği olmuştur (Şekil 2.10) [15].



Şekil 2.10 2015 yılı Türkiye petrol ithalatının ülkelere göre dağılımı [15]

2.2.3 Doğalgaz

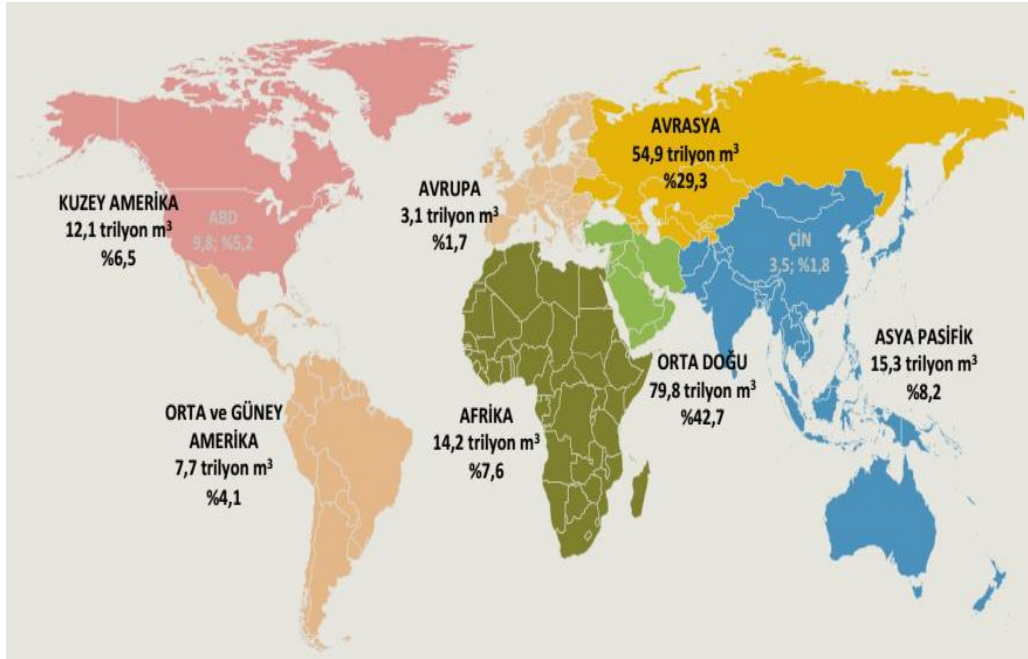
Doğalgazın bileşimleri genel olarak metan, etan, propan, bütanlar, pentanlar ve heksanlardır (Şekil 2.11). Bunların dışında az miktarlarda (%0-0,5 hacimce) karbon dioksit, helyum, hidrojen sülfür ve nitrojen de içerir. Doğalgazın bileşim içerikleri çıkarıldığı bölgeye değişir. Kabaca en önemli bileşeni hacimce %70-90 arasında değişen metan ve %0-20 etandır. Doğalgaz temiz yanar, hava kirliliğine sebep olacak emisyonları çok azdır. Doğalgazın kalorifik değeri 33,4-40,9 MJ/m³ aralığındadır [18].



Şekil 2.11 İşlenmemiş doğalgazın temel elemanları [18]

2.2.3.1 Dünya Genelinde

2015 yılında dünya doğalgaz rezervleri 186,9 trilyon m³ olarak kaydedilmiştir [13]. Bu rezerv miktarının %42,7'si Orta Doğu'da, %31'i Avrasya'da, %8,2'si Asya-Pasifik ülkelerinde, %6,5'i ise Kuzey Amerika'da bulunmaktadır (Şekil 2.12).



Şekil 2.12 Bölgelere göre dünya ispatlanmış doğalgaz rezervleri [15]

2015 yılı sonu itibariyle dünya kanıtlanmış doğalgaz rezervleri bakımından önde gelen ülkeler Çizelge 2.10'da verilmiştir. İran, en fazla doğalgaz rezervine sahip olan ülke olmuştur. İran'ı Rusya, Katar, Türkmenistan ve ABD takip etmiştir.

Çizelge 2.10 2015 yılı dünya kanıtlanmış doğalgaz rezervinde önde gelen ülkeler [13]

Ülke	Miktar (Milyar m ³)	Dünya Toplamındaki Payı (%)
İran	34.000	18,2
Rusya	32.300	17,3
Katar	24.500	13,1
Türkmenistan	17.500	9,4
ABD	10.400	5,6
Dünya Toplamı	187.000	100

2015 yılında dünya doğalgaz üretimi 2014 yılına nazaran %2,2 artışla 3,5 trilyon m³ olarak kaydedilmiştir (Çizelge 2.11).

Çizelge 2.11 2015 yılı dünya doğalgaz üretiminde önde gelen ülkeler [13]

Ülke	Miktar (Milyar m ³)	Dünya Toplamındaki Payı (%)
ABD	767,3	22,0
Rusya	573,3	16,1
İran	192,5	5,4
Katar	181,4	5,1
Kanada	163,5	4,6
Dünya Toplamı	3.538,6	100

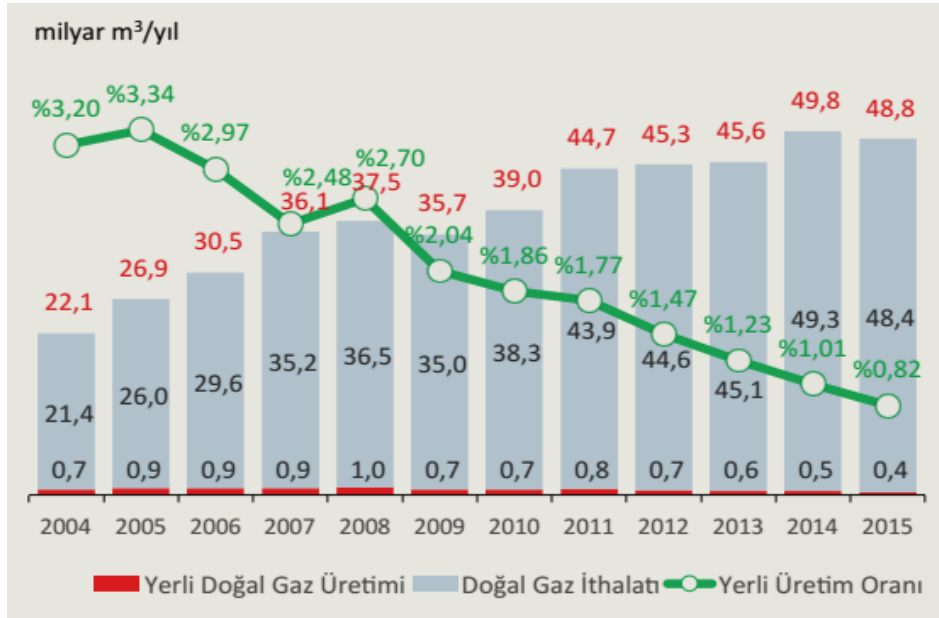
Dünya genelinde Asya Bölgesi, doğalgaz rezervi ve doğalgaz üretiminde listede kendine yer bulamasa da, tüm bölgeler içinde doğalgaz tüketimi en hızlı olan bölge konumundadır. Çin hükümeti, ağır kömür kullanımındaki kirliliği azaltmak için, doğalgazı tercih edilebilir enerji kaynağı yapma yoluna gitmiştir (Çizelge 2.12).

Çizelge 2.12 2015 yılı dünya doğalgaz tüketiminde önde gelen ülkeler [13]

Ülke	Miktar (Milyar m ³)	Dünya Toplamındaki Payı (%)
ABD	778,0	22,8
Rusya	391,5	11,2
Çin	197,3	5,7
İran	191,2	5,5
Japonya	113,4	3,3
Dünya Toplamı	3.468,6	100

2.2.3.2 Türkiye Genelinde

Türkiye doğalgaz rezervi 2015 yılında 24 milyar m³ olarak kaydedilmiştir [19]. Sınırlı doğalgaz yatakları sebebiyle, ülkemiz dünya geneline göre çok az üretim yapabilmektedir. 2015 yılında doğalgaz üretimi 398,7 milyon m³ olarak gerçekleşmiştir. Türkiye’de, 2015 yılında 48,8 milyar m³ doğalgaz tüketilmiş ve bu rakamın %0,8’i ülke içi üretim ile karşılanmıştır. Tüketilen doğalgazın yaklaşık %50’si ise elektrik üretimi için kullanılmaktadır [15].



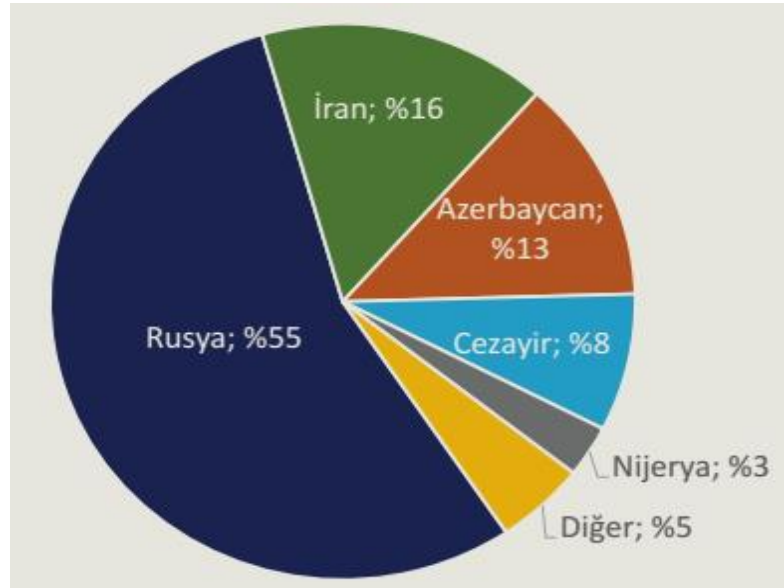
Şekil 2.13 2004-2015 yılları Türkiye'nin doğalgaz arzı ve yerli üretim oranları [15]

Türkiye’de doğalgaz ithalatı, sınırlı rezerv ve her geçen gün artan kullanımı ile giderek artmıştır. 2015 yılında tüketilen doğalgazın %99,2’si ithal edilmiştir. 2005-2014 yılları

arasında yapılan ülkelere göre ihracat rakamları ve 2015 yılı ülkelere göre Türkiye doğalgaz ithalat dağılımı Çizelge 2.13 ve Şekil 2.14'te verilmiştir. Görüldüğü üzere, Türkiye doğalgaz ithalatında Rusya'ya yüksek oranda bağımlıdır. Bu durum stratejik açıdan problemleri de beraberinde getirmektedir.

Çizelge 2.13 Ülke ve yıllara göre Türkiye doğalgaz ithalatı (milyon m³) [20]

	Rusya	İran	Azərbaycan	Cezayir	Nijerya	Diğer	Toplam
2005	17.524	4.248	0	3.786	1.013	0	26.571
2006	19.316	5.594	0	4.132	1.100	79	30.221
2007	22.762	6.054	1.258	4.205	1.396	167	35.842
2008	23.159	4.113	4.580	4.148	1.017	333	37.350
2009	19.473	5.252	4.960	4.487	903	781	35.856
2010	17.576	7.765	4.521	3.906	1.189	3.079	38.036
2011	25.406	8.190	3.806	4.156	1.248	1.069	43.874
2012	26.491	8.215	3.354	4.076	1.322	2.464	45.922
2013	26.212	8.730	4.245	3.917	1.274	892	45.269
2014	26.975	8.932	6.074	4.179	1.414	1.689	49.262



Şekil 2.14 2015 yılı ülkelere göre Türkiye doğalgaz ithalat dağılımı [15]

2.2.4 Nükleer Enerji

2.2.4.1 Dünya Genelinde

2016 Mayıs ayı sonu itibariyle dünya genelinde 31 ayrı ülkede 440 adet reaktör bulunmaktadır ve nükleer enerji kurulu kapasite miktarı 384.006 MW'tır. Elektrik üretiminde nükleer enerjiye sahip önde gelen bazı ülkeler, ülkelerin sahip oldukları nükleer enerji santralleri ve kurulu güçleri Çizelge 2.14'te verilmiştir.

Çizelge 2.14 Dünya genelinde nükleer enerji (Mayıs 2016) [21]

Ülke	Aktif Santral Sayısı	Kurulu Güç Miktarı (MW)	Üretilen Elektrik Miktarı (2015-TWh)	Ülke Elektrik Üretimindeki Payı (%)
ABD	99	98.990	798	19,5
Fransa	58	63.130	419	76,3
Japonya	43	40.480	4,3	0,5
Rusya	35	26.053	182,8	18,6
Çin	32	26.967	161,2	3,0
Güney Kore	25	23.017	157,2	31,7
Kanada	19	13.500	95,6	16,6
Ukrayna	15	13.107	82,4	56,5
Almanya	8	10.728	86,8	14,1
İngiltere	15	8.883	63,9	18,9
Dünya Toplam	440	384.006	2.441	---

Dünya nükleer enerji üretiminde zirvede yer alan ABD, 99 adet reaktöründen 2015 yılında 798 TWh elektrik enerjisi üretmiştir. Ayrıca 98.990 MW'lık kurulu kapasiteye sahip olan ABD, toplam elektrik enerjisinin %19,5'ini nükleer kaynaklardan elde etmektedir. Fransa ise 58 santrali ile ülke içindeki elektrik tüketiminin %76,3'ünü nükleer kaynaklardan sağlayarak bu konuda rakiplerini geride bırakmaktadır. Ayrıca santral sayısı ile dünyada ABD'nin arkasından ikinci konumdadır.

Japonya, 2011 yılındaki Fukuşima Nükleer Santrali faciası sebebiyle nükleer enerji üretimine bir süre ara vermiştir. Nükleer enerji üretiminde ilk 5'te yer almamasına

karşın Ukrayna elektrik tüketiminin %56,5'ini, teknoloji alanında dünyada ilk 5 ülkesi arasında yer alan Güney Kore ise %31,7'ini nükleer enerjiden sağlamaktadırlar.

2.2.4.2 Türkiye Genelinde

Türkiye’de MTA tarafından yapılan çalışmalar sonucunda 9.129 ton görünür uranyum ve 380.000 ton görünür toryum rezervi tespit edilmiştir (Şekil 2.15). Ülkemizde uranyum zenginleştirme tesisi bulunmamaktadır fakat İstanbul’da bulunan Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi’nde doğal uranyumdan yakıt yapılan bir pilot tesis mevcuttur.

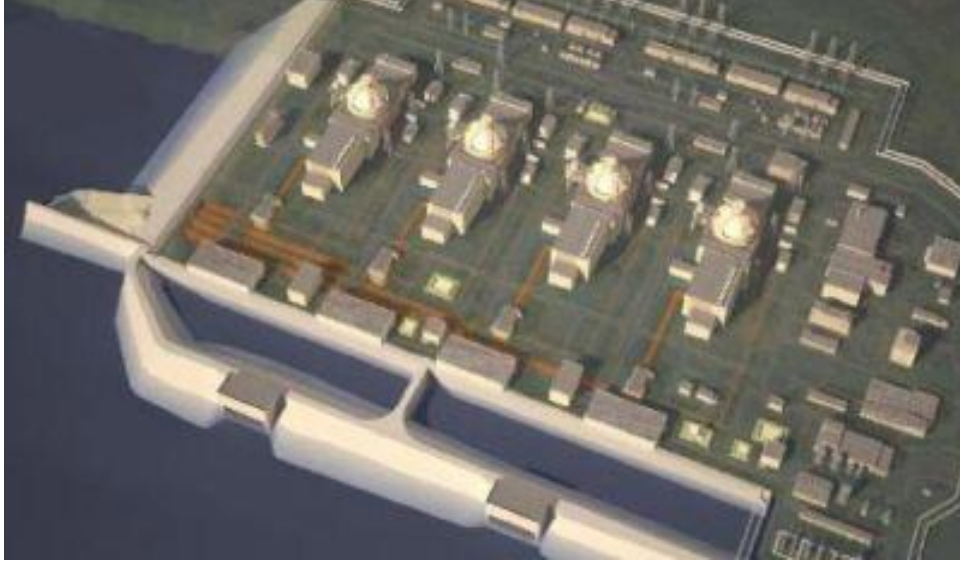


Şekil 2.15 Türkiye nükleer enerji hammadde madenleri [22]

Enerji bağımlılığı hat safhada olan Türkiye, nükleer enerji konusunda dünyanın önde gelen ülkelerine nazaran çok geride kalmıştır. Son yıllarda bu konuda önemli adımlar atılarak 2 adet nükleer santral kurulum anlaşması imzalanmıştır. Bu iki santralin Türkiye’ye maliyeti yaklaşık olarak 42 milyar Amerikan dolarıdır [23].

12 Mayıs 2010 tarihinde ilk nükleer santralin kurulumuna yönelik Rusya Federasyonu ile bir hükümetlerarası anlaşma imzalanmıştır. Anlaşma uyarınca Mersin-Akkuyu’da kurulacak nükleer santral, 4 ünite VVER-1200 tipi (AES-2006) 4 reaktör ile toplam 4800 MWe kurulu güce sahip olacaktır (Şekil 2.16). Nükleer santralin toplam işletme ömrü 60 yıl olacaktır. İkinci nükleer santralin kurulumuna yönelik anlaşma ise 3 Mayıs 2013 tarihinde Japonya ile imzalanmıştır. Söz konusu Anlaşma uyarınca, Sinop ili sınırları içerisinde kurulacak nükleer santral, 4 ünite ATMEA-1 tipi reaktör ile toplam 4480

MWe kurulu güce sahip olacaktır. Santralin her bir ünitesinin toplam işletme ömrü 60 yıl olacaktır. 24 Kasım 2014 tarihinde EÜAŞ, Amerika'dan Westinghouse ve Çin Halk Cumhuriyeti'nden SNPTC şirketleri ile Türkiye'de üçüncü nükleer santral projesini geliştirmek üzere bir ön sözleşme imzalamıştır. Bu konuda çalışmalar devam etmektedir [23].



Şekil 2.16 Akkuyu nükleer santral projesi

2.2.5 Hidroelektrik Enerji

Bir ülkede, ülke sınırlarında veya denizlere kadar bütün tabii akışların tamamının %100 verimle değerlendirilebilmesi varsayımı ile hesaplanan hidroelektrik potansiyel, o ülkenin brüt teorik hidroelektrik potansiyelidir. Bu potansiyelin tamamının kullanılması mümkün olmadığından mevcut teknoloji ile kullanılabilecek azami potansiyele teknik yapılabilir hidroelektrik potansiyel denir. Teknik potansiyelin, mevcut ekonomik şartlar içinde kullanılabilecek kısmı ise ekonomik yapılabilir hidroelektrik potansiyel olarak adlandırılır [24].

2.2.5.1 Dünya Genelinde

2015 yılında dünya genelinde hidroelektrik enerjisi üretimi yaklaşık 3.975 TWh olarak gerçekleşmiştir [25]. Bu miktar dünya elektrik üretiminin %16'sını oluşturmaktadır (Çizelge 2.15). Bu oranda Çin 319.370 MW kurulu gücü ve %28,5'lik dünya hidroelektrik üretim payı ile başı çekmektedir. ABD, Brezilya ve Kanada Çin'i takip eden ülkelerdir.

Kurulu güç sıralamasında ön sıralarda yer almayan Norveç ise, ürettiği hidroelektrik enerjisi ile ülke elektrik üretiminde %96,1'lik paya sahiptir.

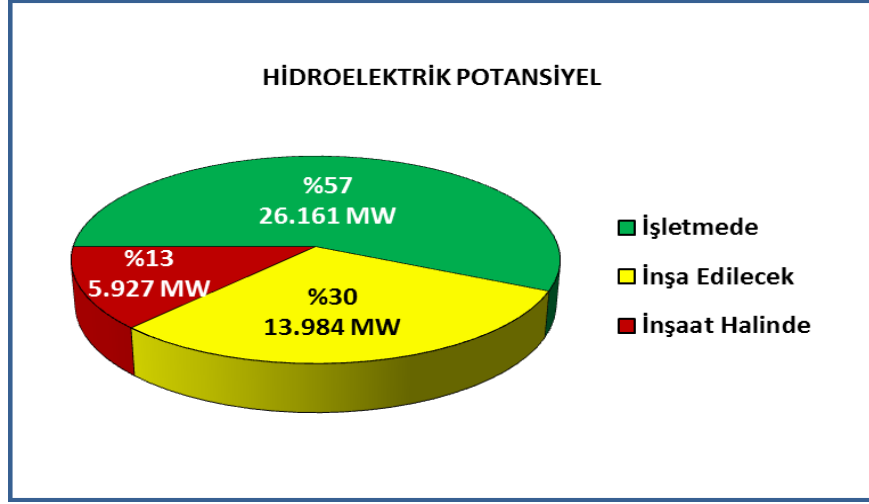
Çizelge 2.15 2015 yılı hidroelektrik enerji üretiminde önde gelen ülkeler [25]

Ülke	Kurulu Güç Miktarı (MW)	Hidrolik Üretim (TWh)	Dünya Hidroelektrik Üretimindeki Payı (%)	Ülke Elektrik Üretimindeki Payı (%)
Çin	319.370	1.126,4	28,5	16,9
ABD	101.755	360,9	6,4	6,7
Brezilya	91.650	391,0	9,1	68,6
Kanada	79.202	383,1	9,7	60,1
Hindistan	51.494	124,4	3,2	11,9
Rusya	50.624	169,9	4,3	17,3
Japonya	49.905	96,6	2,4	8,1
Norveç	30.566	137,5	3,5	96,1
Dünya Toplamı	1.212.000	3.946,3	100	16,0

2.2.5.2 Türkiye Genelinde

Türkiye'nin brüt teorik hidroelektrik potansiyeli 433 milyar kWh, teknik hidroelektrik potansiyel ise 216 milyar kWh, ekonomik potansiyeli ise 158 milyar kWh/yıl'dır [24]. Yeni projelerle birlikte önümüzdeki yıllarda yaklaşık 180 milyar kWh/yıl'a ulaşacağı tahmin edilmektedir. Türkiye'nin teknik yapılabilir hidroelektrik potansiyeli, dünya teorik potansiyelinin %1,5'i, Avrupa potansiyelinin ise %17,6'sıdır. ABD teknik hidroelektrik potansiyelinin %86'sını, Japonya %78'ini, Norveç %72'sini, Kanada 56'sını, Türkiye ise %37,3'ünü gerçekleştirebilmiştir [24].

Türkiye'de 2015 yılı sonu itibari ile işletmede olan 562 adet hidroelektrik santralin toplam kurulu gücü 26.161 MW ve ortalama yıllık üretimi ise 90.773 milyar kWh olup, bu değer toplam geliştirilen potansiyelin yaklaşık % 57'sine karşılık gelmektedir (Şekil 2.17).



Şekil 2.17 Türkiye hidroelektrik potansiyeli ve kurulu güç miktarları [24]

2015 yılı sonu itibariyle, Türkiye’de mevcut işletmede olan, inşaat halinde olan ve inşaatına henüz başlanmayan Hidroelektrik Santrallerin (HES) adedi, toplam kurulu güçleri ile ortalama yıllık üretimleri Çizelge 2.16’da verilmiştir.

Çizelge 2.16 2015 yılı Türkiye hidroelektrik santral sayıları ve kurulu güçleri [24]

Potansiyel	HES (Adet)	Toplam Kurulu Kapasite (MW)	Ortalama Yıllık Üretim (GWh/yıl)	Oran (%)
İşletmede	562	26.161	90.773	58
İnşaat Halinde	104	5.927	17.875	11
İnşaatına Henüz Başlanmayan	717	13.984	48.911	31
Toplam	1.383	46.072	157.559	100

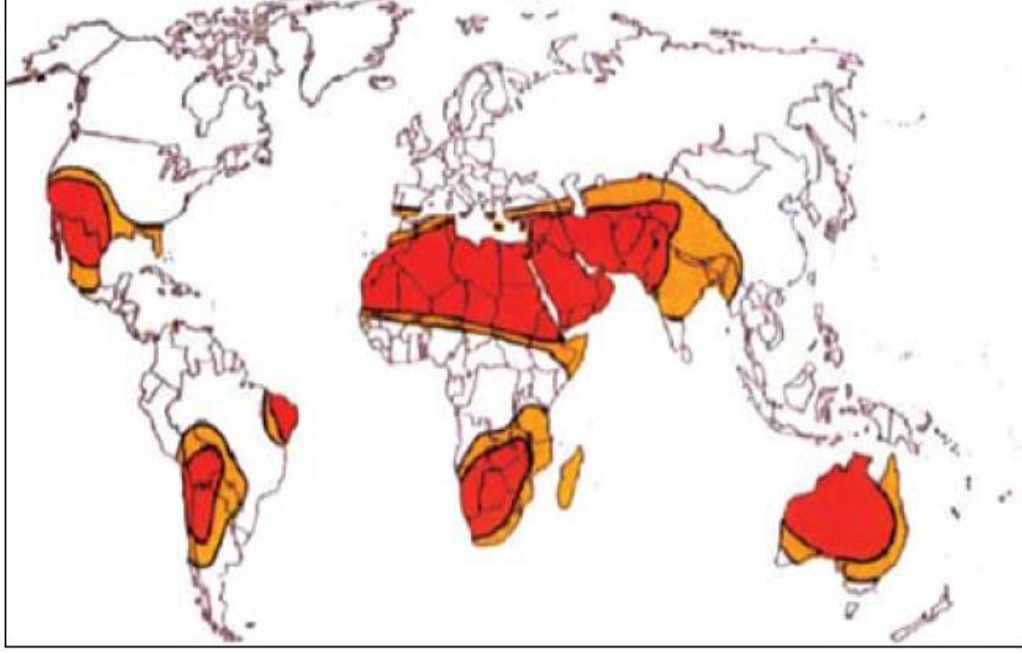
Görüldüğü üzere, 2015 yılı sonu itibariyle Türkiye hidroelektrik kurulu gücü 26.161 MW’tır ve işletmede olan santral sayısı 562’dir. Halihazırda mevcut projelerin (inşası devam eden ve henüz başlanmayanlar dahil) gerçekleştirilmesi durumunda, santral sayısının 1.383 ve toplam kurulu gücün 46.072 MW olması beklenmektedir.

2.2.6 Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi ile elektrik üretiminde başlıca iki sistem kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi, güneş enerjisini direkt olarak elektrik enerjisine dönüştüren Fotovoltaik (FV) sistemlerdir. İkincisi ise güneş enerjisinin yoğunlaştırıcı sistemler (CSP) kullanılarak odaklanması sonucu kızgın buhardan elde edilen elektrik üretimidir [26].

2.2.6.1 Dünya Genelinde

Güneş enerjisinin bir bölgedeki miktarı ve kalitesi, o bölgeye yapılacak güneş enerjisi sistemleri için büyük önem taşımaktadır. Dünya’da yüksek güneş ışınımına sahip bölgeler Şekil 2.18’de verilmektedir.



Şekil 2.18 Dünya’da yüksek güneş ışınımına sahip bölgeler [27]

2015 yılı dünya güneş enerjisi kurulu güç kapasitesi incelendiğinde, toplam kapasitenin 227.010 MW olduğu, bunun 222.360 MW’nın FV teknolojiye sahip olduğu görülmektedir [28]. Bu sebeple FV güneş enerji sistemlerinin şu an itibarıyla daha fazla tercih edildiğini söyleyebiliriz. Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemlerinin sahip olduğu 4.650 MW’lık kurulu gücün %86’sını İspanya ve ABD’ndeki santraller oluşturmaktadır.

Dünya güneş enerjisi kurulu güç kapasitesinde öne çıkan ilk 5 ülke değerlendirildiğinde, son zamanlarda Çin’in yenilenebilir enerji alanındaki yatırımlarından güneş enerjisi de nasibini almış ve dünya kapasite miktarında uzun yıllardır zirvede yer alan Almanya’yı 2015 yılında geride bırakmıştır. Japonya ve A.B.D de yaklaşık olarak 10.000 MW’lık ilave yatırımları ile ilk beş sıradaki yerlerini korumuşlardır. Bu ülkeleri 18.916 MW’lık kurulu güç kapasitesi ile İtalya takip etmektedir (Çizelge 2.17).

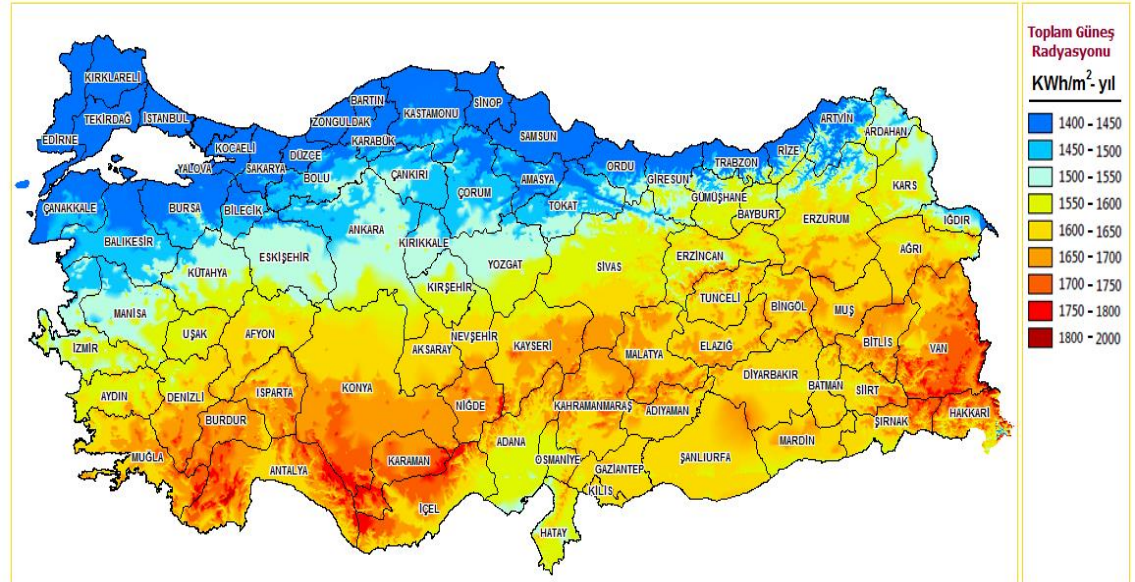
Çizelge 2.17 2015 yılı dünya güneş enerjisi kurulu gücünde önde gelen ülkeler [28]

Ülke	Miktar (MW)	Dünya Toplamındaki Payı (%)
Çin	43.062	21,8
Almanya	39.636	16,0
Japonya	33.300	13,2
ABD	27.317	10,7
İtalya	18.916	10,0
Dünya Toplamı	227.010	100,0

2.2.6.2 Türkiye Genelinde

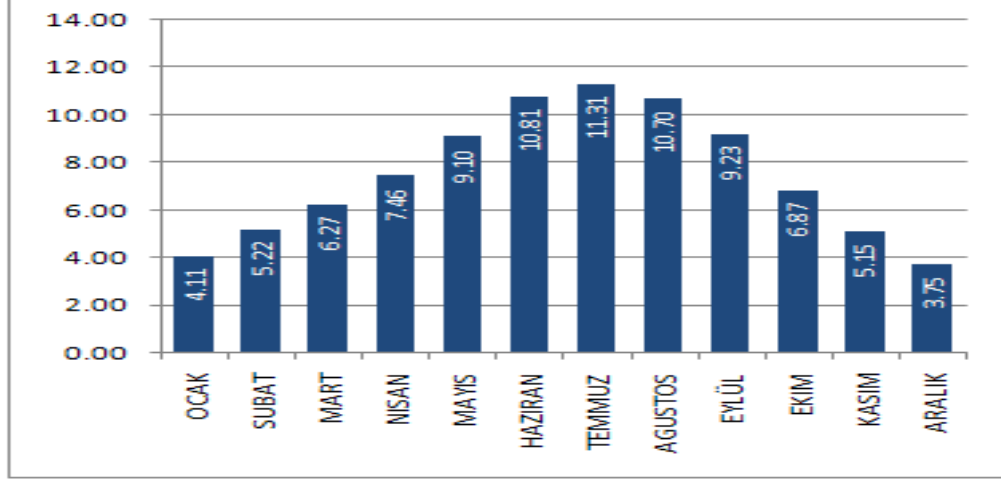
Türkiye güneş kuşağı olarak adlandırılan bir bölgede bulunmaktadır. Güneş enerjisi açısından zengin bir ülkedir. ETKB Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğüne hazırlanan, Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, yıllık toplam güneşlenme süresi 2.737 saat (günlük toplam 7,5 saat), yıllık toplam gelen güneş enerjisi 1.527 kWh/m².yıl (günlük toplam 4,2 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir (Şekil 2.19).

Türkiye’de mevcut en büyük güneş enerjisi santrali, Konya’nın Karatay ilçesinde bulunan 23 MW gücündeki Kızören güneş enerjisi santralidir. İkinci büyük santral ise Nevşehir’de bulunan 17 MW gücündeki Derinkuyu güneş enerjisi santralidir.



Şekil 2.19 Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası [29]

Türkiye güneşlenme süreleri Şekil 2.20’de verilmiştir. Buna göre, Türkiye’de en fazla güneş enerjisi üretimi haziran ayında, ez az güneş enerji üretimi ise aralık ayında yapılabilmektedir.



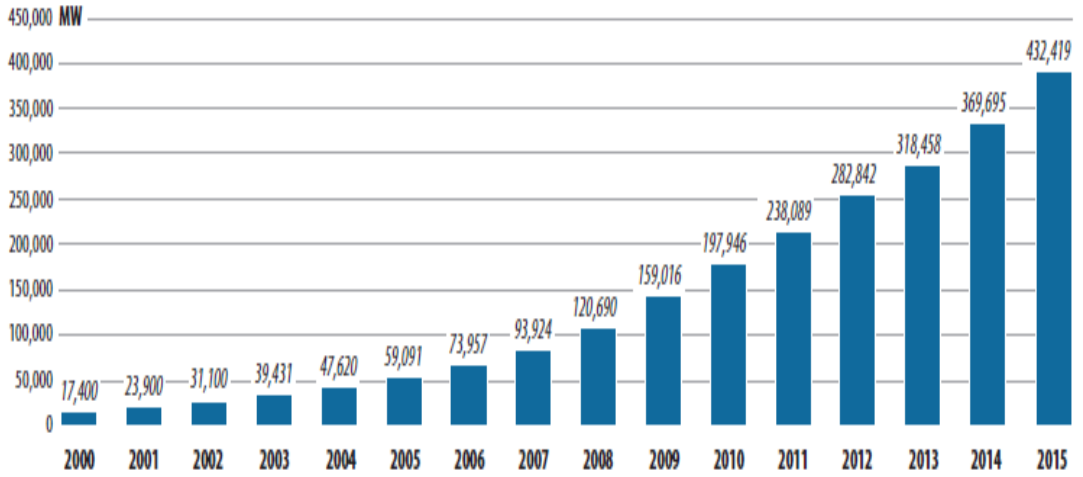
Şekil 2.20 Türkiye güneşlenme süreleri (saat) [29]

Türkiye güneş enerjisi kurulu gücü 2014 yılında 40 MW iken, 2016 yılı nisan ayı itibariyle yaklaşık 10 kat artarak 410 MW’a çıkmış ve büyük bir ivme kazanmıştır [30]. Yenilenebilir enerji konusunda yapılan teşvikler güneş enerjisi kurulu gücüne olumlu etkisi olsa da yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip Türkiye’nin mevcut kurulu gücü çok düşük seviyelerdedir.

2.2.7 Rüzgar Enerjisi

2.2.7.1 Dünya Geneline

2015 yılı sonu itibari ile dünyadaki toplam kurulu rüzgar gücü 432.419 MW’tır [31]. Dünyadaki kurulu rüzgar güçlerinin 2000-2015 yılın kadar olan değişimi Şekil 2.21’de verilmektedir. Toplam kurulu güçteki bu artış eğiliminin devam edeceği tahmin edilmektedir.



Şekil 2.21 Yıllara göre dünya rüzgar enerjisi değişimi [31]

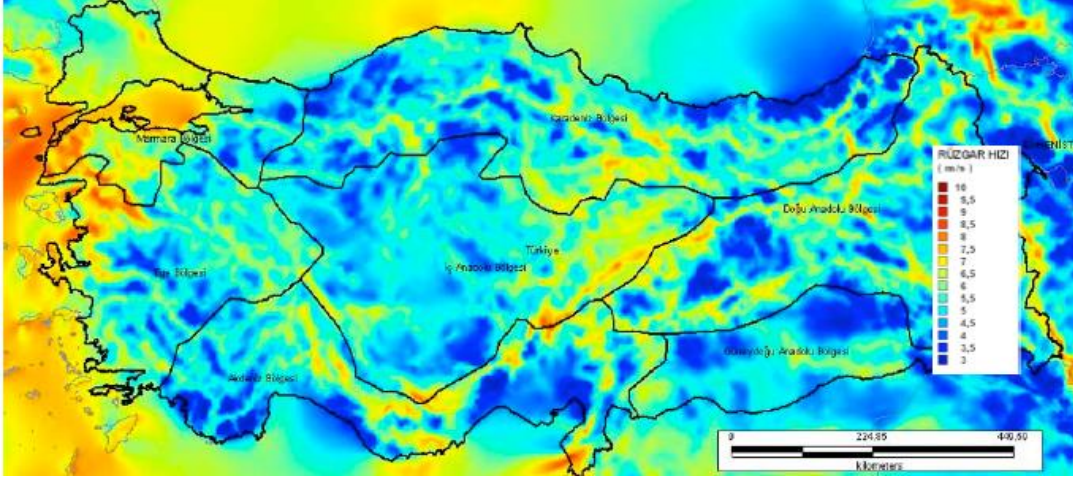
2015 yılı sonu itibari ile en yüksek kurulu rüzgar gücüne sahip olan ilk 5 ülkenin, MW cinsinden toplam kurulu rüzgar güçleri ile dünya genelindeki payları Çizelge 2.18’de verilmektedir [31]. Çizelge 2.18’deki veriler değerlendirildiğinde Çin, ABD ve Almanya’nın dünya ülkeleri arasında rüzgâr enerjisi kurulu güç miktarı bakımından ilk sıralarda olduğu görülmektedir.

Çizelge 2.18 2015 yılı dünya rüzgar enerjisi kurulu gücünde önde gelen ülkeler

Ülke	Miktar (MW)	Dünya Toplamındaki Payı (%)
Çin	145.104	33,6
ABD	74.471	17,2
Almanya	44.947	10,4
Hindistan	25.088	5,8
İspanya	23.025	5,3
Dünya Toplamı	432.419	100

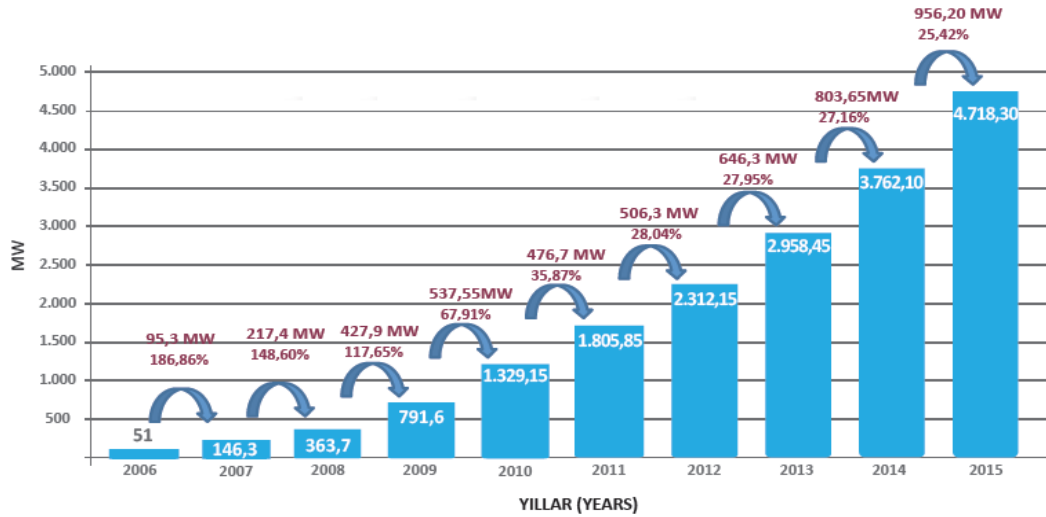
2.2.7.2 Türkiye Genelinde

Türkiye’nin toplam rüzgar enerjisi potansiyeli, Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA)’ndan alınan verilere dayanılarak karasal alanlar için 37.836 MW, deniz üzeri için 10.013 MW, toplam olarak 47.399 MW olarak hesaplanmıştır (Şekil 2.22) [32].



Şekil 2.22 Türkiye REPA 50 metre yükseklik için ortalama rüzgar hızları [32]

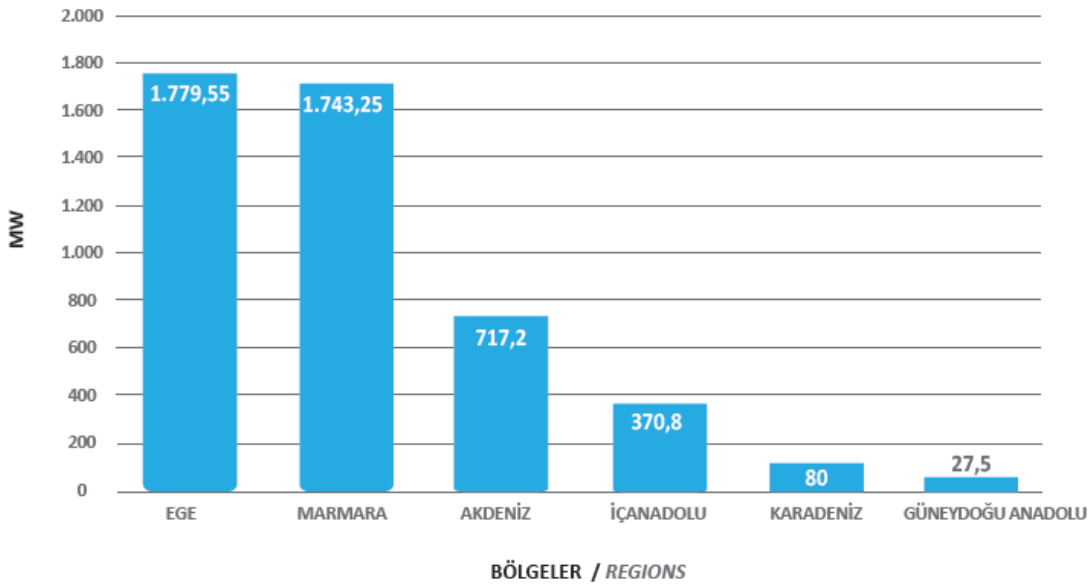
Türkiye’deki rüzgar enerjisi ilerleme trendi dünyadakine paralel olarak artış şeklindedir. Özellikle 2006 yılından bu yana ülkemizde yaklaşık olarak ortalama %70’lerde bir büyüme hızı yakalanmıştır (Şekil 2.23). En yüksek artışlar; 2006-2007 ve 2007-2008 yılları arasında yakalanmıştır. Son olarak 2015 ve 2016 yılları arasında %25,4’lük bir artış olmuştur ve Türkiye’nin 2015 yılı sonu itibariyle rüzgar enerjisi toplam kurulu gücü 4.718,3 MW’dır.



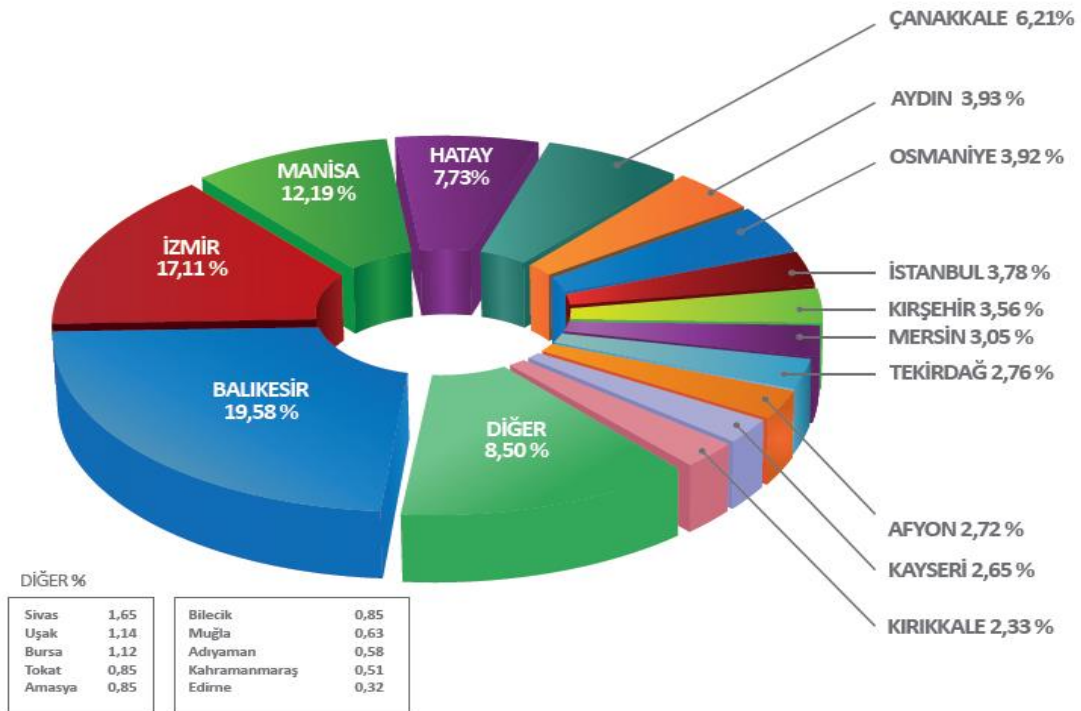
Şekil 2.23 Yıllara göre Türkiye rüzgar enerjisi kurulu gücü [33]

Türkiye rüzgar enerjisi kurulu gücünün bölgelere göre dağılımına baktığımızda, Ege ve Marmara bölgesinin baskın olduğunu görmekteyiz. Bundaki en büyük sebep bölgelerin rüzgar yoğunluğunun diğer bölgelere göre fazla olmasıdır (Şekil 2.24). Toplam kurulu

gücün illere göre dağılımına baktığımızda bölgelere paralel olarak Balıkesir, İzmir, Manisa, Hatay ve Çanakkale illerini ön sıralarda olduğunu görmekteyiz (Şekil 2.25).



Şekil 2.24 Türkiye rüzgar enerji kurulu gücünün bölgelere göre dağılımı [33]



Şekil 2.25 Türkiye rüzgar enerji kurulu gücünün illere göre dağılımı [33]

2.2.8 Jeotermal Enerji

2.2.8.1 Dünya Genelinde

Dünya genelinde 2015 yılı sonu itibariyle jeotermal enerji kurulu gücü 13.089 MW olarak gerçekleşmiştir [28]. 2010-2015 yılları arasında yıllık ortalama 350 MW'lık büyüme trendi ile jeotermal enerji, diğer enerji kaynaklarına nazaran en az artış gösteren kaynak olmuştur. 2015 yılı içinde yaklaşık olarak 1.700 MW'lık bir artış gerçekleşmiştir.

2015 yılı sonu itibariyle dünya genelinde en büyük jeotermal kapasiteye sahip 10 ülke Çizelge 2.19'da verilmiştir. Dünyada jeotermal enerjiden elde edilen elektrik üretiminde ABD, Filipinler, Endonezya, Meksika ve Yeni Zelanda ilk beş sırada yer alırken, Türkiye devreye alınan son santraller ile sekizinci sıraya yükselmiştir. Bu 10 ülkenin sahip olduğu rezerv dünya rezervinin yaklaşık %92,6'sını oluşturmaktadır.

Çizelge 2.19 2015 yılı en büyük jeotermal kapasiteye sahip 10 ülke [28]

Ülke	Miktar (MW)	Dünya Toplamındaki Payı (%)
ABD	3.567	27,2
Filipinler	1.930	14,7
Endonezya	1.404	10,7
Meksika	1.069	8,1
Yeni Zellanda	973	7,4
İtalya	824	6,2
İzlanda	665	5,0
Türkiye	624	4,7
Kenya	607	4,6
Japonya	533	4,0
Dünya Toplamı	13.089	100

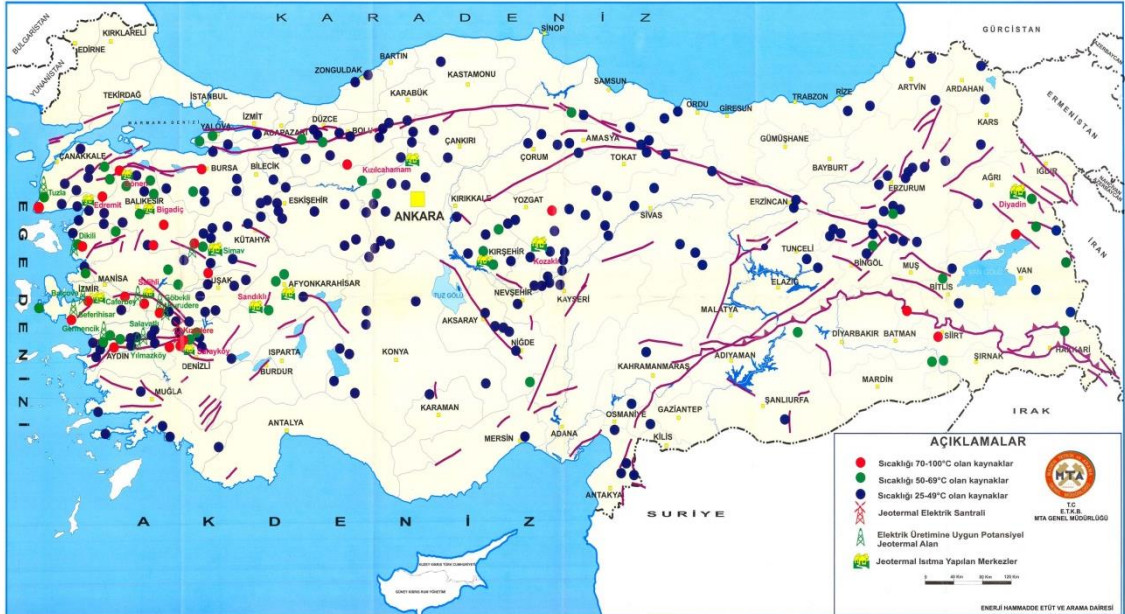
2.2.8.2 Türkiye Genelinde

Türkiye, jeotermal kaynaklar yönünden zengin bir ülkedir. Ülkemizin jeotermal ısı potansiyeli yaklaşık 31.500 MW termal olarak tahmin edilmektedir ve 1000 civarında doğal çıkış halinde sıcak su ve doğal mineralli su kaynağı bulunmaktadır (Şekil 2.26) [34].



Şekil 2.26 Türkiye volkanik hareketler ve jeotermal kaynaklar haritası [35]

Türkiye’ de jeotermal enerji çalışmaları Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından yapılmaktadır ve bu kurum tarafından bugüne kadar yapılan çalışmalarda 190 adet jeotermal alan bulunmuştur. Bu alanların yaklaşık olarak %79’u Batı Anadolu’da, %8,5’i Orta Anadolu’da, %7,5’i Marmara Bölgesinde, %4,5’i Doğu Anadolu’da ve %0,5’i diğer bölgelerde yer almaktadır (Şekil 2.27) [34].



Şekil 2.27 Türkiye jeotermal kaynaklar ve uygulama haritası [35]

Türkiye jeotermal enerji potansiyelinin yaklaşık olarak 1500 MWe'ı elektrik enerjisi üretimine uygundur. Elektrik enerjisi üretimine uygun 17 adet jeotermal sahanın tamamı Batı Anadolu'da yer almakta olup, bunların başlıcaları şunlardır; Umurlu/Aydın (150°C), Sultanhisar/Aydın (146°C), Bozköy/Aydın (143°C), Atça/Aydın (124°C), Pamukören/Aydın (188 °C) ve Bozyurt/Manisa (127°C) jeotermal sahalarıdır (Şekil 2.28) [34].



Şekil 2.28 Elektrik üretimine uygun jeotermal saha haritası [35]

Türkiye'de jeotermal enerji yatırımlarında özel yatırımcıların sektöre girişiyle son yıllarda hızlı gelişmeler yaşanmaktadır. Elektrik üretimi kurulu kapasitesi dünyada önder olabilecek bir hızda gelişmekte ve büyümektedir. 2010-2015 yılları arasında ülkemiz jeotermal enerji kurulu gücü %336 artış göstererek 306 MW ilave artış olmuştur. Bu artış ile aynı dönem içinde dünyada Kenya ve A.B.D.'den sonra en fazla yatırım yapan üçüncü ülke olmuştur.

2016 yılı nisan ayı başı itibariyle Türkiye jeotermal enerji kurulu gücü 650,47 MW olup, bu kurulu gücün sahaları, santral adetleri ve tipleri Çizelge 2.20'de verilmiştir.

Çizelge 2.20 Türkiye jeotermal enerji elektrik üretimi kurulu gücü (Nisan 2016) [36]

FİRMA - SAHA	SANTRAL ADETİ	SANTRAL TİPİ	KURULU GÜÇ, MW
GÜRMAT -Germencik	5	2F, ORC	162,3
ZORLU – Kızıldere, Alaşehir	3	1F, 2F+ORC	140,0
MAREN – Hıdırbeyli, Aydın	5	ORC	116
ÇELİKLER - Pamukören	4	ORC	90,04
MB - Salavatlı	4	ORC	51,45
TÜRKERLER - Alaşehir	1	ORC	24
BM - Gümüşköy	2	ORC	13,2
GREENECO - Tekkehamam	1	ORC	12,8
KARKEY - Umurlu	1	ORC	12
MTN - Tuzla	1	ORC	8
ENDA - Tuzla	1	ORC	7,5
BEREKET - Kızıldere	1	ORC	6,85
AKÇA - Tosunlar	1	ORC	3,81
DEĞİRMANCI - Gerali	1	ORC	2,52
TOPLAM	31		650,47

2.3 Kişi Başına Düşen Elektrik Tüketimi

Kişi başına düşen elektrik tüketimi ülkelerin gelişmişlik seviyesini gösteren önemli göstergelerden birisidir. Sanayinin temel girdisi olması ve hayat kalitesinin vazgeçilmez bir unsuru olması dolayısıyla, özellikle ülkemiz gibi gelişmekte olan ülkeler için elektrik tüketiminin ekonomik gelişimle ilişkisi üzerinde önemle durulması gerekmektedir. Araştırmalar göstermiştir ki, gayri safi yurtiçi hâsıla (GSYİH) ile orantılı olarak kişi başı elektrik tüketimi de artmaktadır.

Elektrik tüketiminin sanayileşme, ekonomik ve sosyal gelişimin önemli bir göstergesi olduğundan hareketle, bu kısımda işi başı elektrik tüketiminin dünyadaki ve Türkiye'deki yeri incelenmeye çalışılacaktır.

2.3.1 Dünya Genelinde

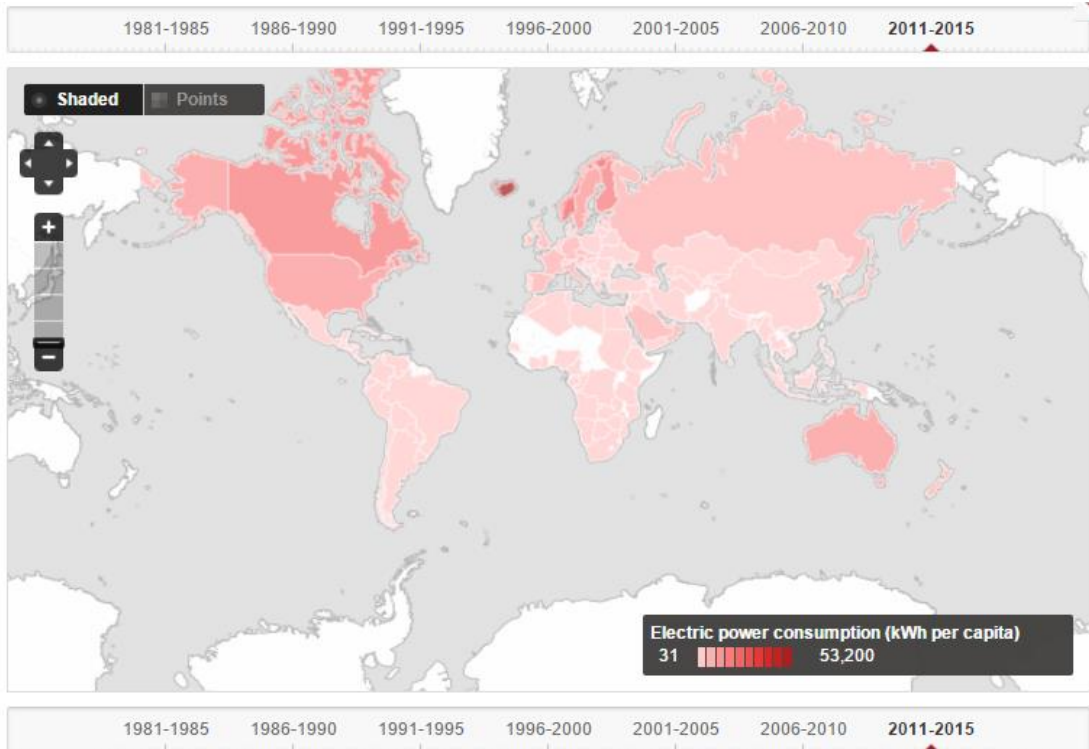
2015 yılı sonu itibarıyla dünya genelinde elektrik tüketimi 24.097,7 TWh olarak gerçekleşmiştir [13]. Elektrik tüketiminde zirvede yer alan 5 ülkenin elektrik tüketim

miktarları Çizelge 2.21’de verilmiştir. En fazla elektrik tüketimi gerçekleştiren ülkeler sırasıyla; Çin, ABD, Hindistan, Rusya ve Japonya olmuştur.

Çizelge 2.21 2015 yılı dünya elektrik tüketiminde zirvede yer alan 5 ülke

Ülke	Elektrik Tüketimi (TWh)	Dünya Toplamındaki Payı (%)
Çin	5.810,6	24,1
ABD	4.303	17,9
Hindistan	1.304,8	5,4
Rusya	1.064,2	4,4
Japonya	1.035,5	4,3
Dünya Toplamı	23.097,7	100

Dünyada kişi başı elektrik tüketiminin, İskandinav ülkeleri, Körfez ülkeleri, Batı Avrupa ülkeleri ve Kuzey Amerika ülkelerinde ekonomik refah ve zengin doğal kaynakların etkisiyle çok yüksek olduğu görülmektedir. Başta Afrika ülkeleri olmak üzere, Latin Amerika ülkeleri, Güney Asya ülkeleri ve Doğu Avrupa ülkelerinde ekonomik durumla orantılı olarak kişi başı elektrik tüketiminin daha düşük olduğu görülmektedir (Şekil 2.29).



Şekil 2.29 Dünya kişi başına elektrik tüketimi haritası [37]

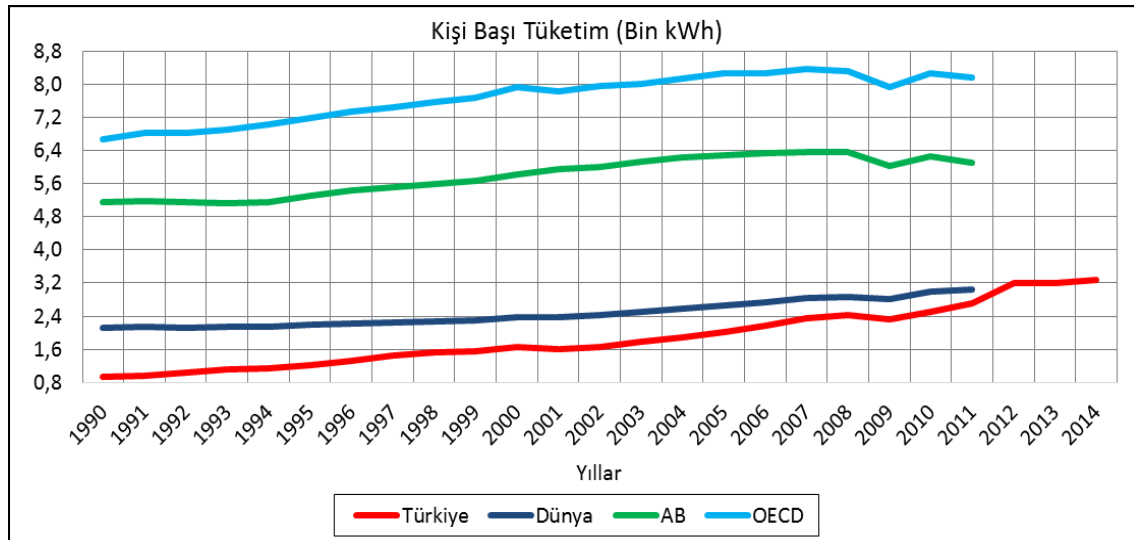
Dünyada brüt kişi başına düşen elektrik tüketiminde ilk sırada açık ara farkla İzlanda gelmektedir. İzlanda'nın ardından sırasıyla, Norveç, Kanada, Kuveyt, Finlandiya, İsveç ve ABD gelmektedir (Çizelge 2.22).

Çizelge 2.22 2014 yılı dünya brüt kişi başı elektrik tüketiminde önde gelen ülkeler [37]

Ülke	Nüfus	Elektrik Tüketimi (TWh)	Kişi Başına Elektrik Tüketimi (kWh/kişi)
İzlanda	327.589	17,76	54.214
Norveç	5.136.475	126,14	24.558
Kanada	35.540.419	615	17.304
Kuveyt	3.753.121	61	16.253
Finlandiya	5.463.596	83,29	15.245
İsveç	9.689.555	134,99	13.931
ABD	318.857.056	4.297,3	13.477
Dünya Toplamı	7.349.472.099	23.536,5	3.319,9

2.3.2 Türkiye Genelinde

Türkiye kişi başı elektrik tüketimi değerlendirildiğinde, son yıllardaki elektrik üretimindeki artışlarla beraber 1990'lardan bu yana kişi başı elektrik tüketiminin yaklaşık olarak 4 kat arttığı ve dünya ortalamasının henüz yakalanılabildiği görülmektedir (Şekil 2.30) [38].



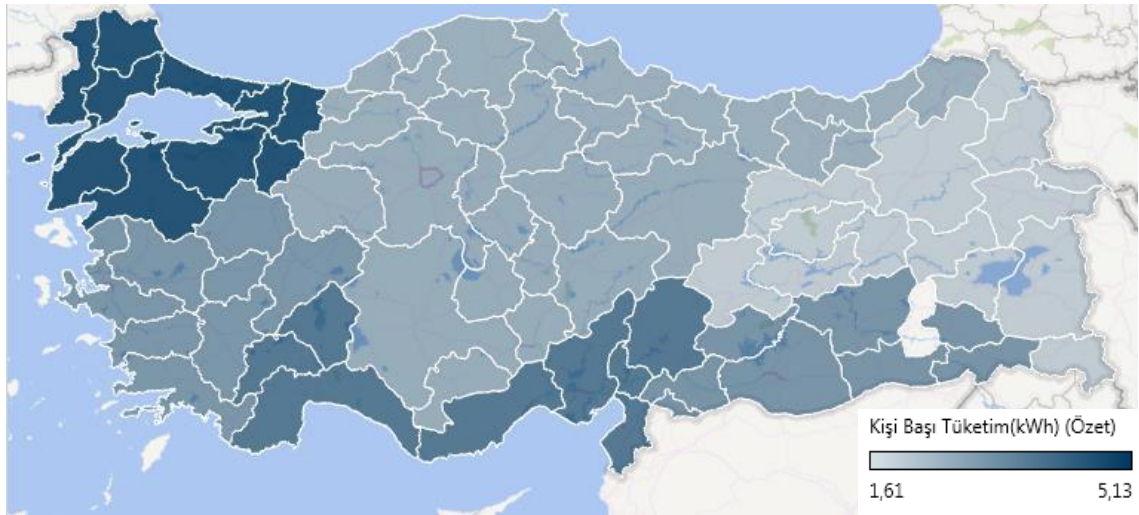
Şekil 2.30 Dünya ve Türkiye kişi başına elektrik tüketimi durumu [38]

2015 yılında ise, Türkiye’de brüt kişi başına elektrik enerjisi tüketimi 3.350,5 kWh olarak gerçekleşmiştir. Bir önceki yıla göre %1,6’lık bir artış söz konusudur (Çizelge 2.23).

Çizelge 2.23 2014 ve 2015 yılları Türkiye brüt kişi başına elektrik tüketimi [38]

Ülke	Nüfus	Elektrik Tüketimi (GWh)	2014 Yılı Kişi Başına Elektrik Tüketimi (kWh/kişi)	2015 Yılı Kişi Başına Elektrik Tüketimi (kWh/kişi)	2014-2015 Artış Oranı
Türkiye	78.741.058	263.828	3.297,6	3.350,5	%1,6

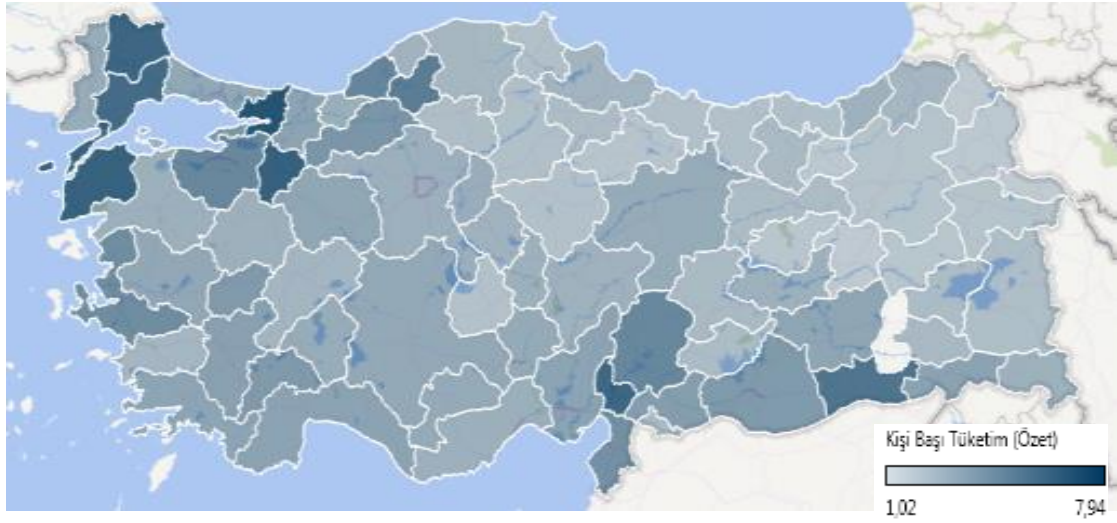
Türkiye’de bölgelere göre kişi başına elektrik tüketimini incelendiğinde, tüketimin en fazla olduğu bölge Marmara Bölgesidir. Marmara Bölgesinin ardından sırası ile Akdeniz, Güneydoğu Anadolu, Ege, İç Anadolu, Karadeniz ve Doğu Anadolu Bölgeleri gelmektedir (Şekil 2.31).



Şekil 2.31 Türkiye bölgelere göre kişi başına elektrik tüketimi durumu [39]

Türkiye’de illere göre kişi başı elektrik tüketimleri incelendiğinde, homojen bir dağılım görülmemektedir (Şekil 2.32). En yüksek kişi başı elektrik tüketim ortalamasına sahip ilk 6 ilden 5 tanesi Marmara Bölgesinde yer almaktadır. İlk 6’ya Marmara bölgesi dışından

giren tek il Osmaniye'dir. En düşük kişi başı elektrik tüketim ortalamasına sahip 10 ilden 8 tanesi Doğu Anadolu Bölgesinde yer almaktadır.



Şekil 2.32 Türkiye illere göre kişi başına elektrik tüketimi durumu [39]

KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALLERİ

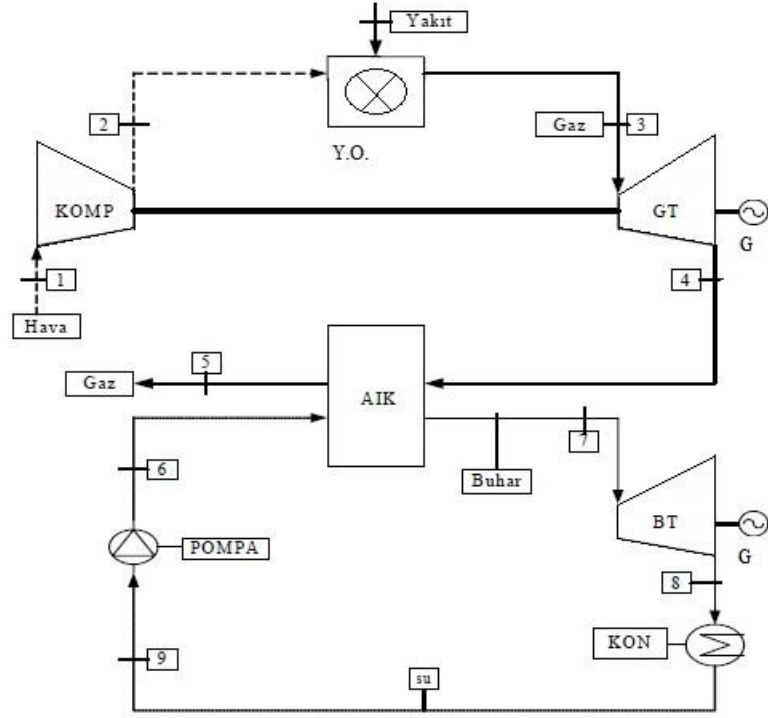
3.1 Kombine Çevrimin Tanıtılması

Kombine çevrim terimi, üst çevrim olarak çalışan gaz türbin çevrimi ile alt çevrim olarak çalışan buhar çevriminin bir sistem içinde birbirini tamamlayıcı şekilde çalıştırılmasını ifade eder [40]. Gaz türbini ile buhar türbini arasında bir atık ısı kazanı mevcuttur. Böylelikle tek bir gaz türbini çevrimine, buhar türbini çevrimi eklenerek hiç yakıt yakılmadan %50'lik bir verim ve güç artışı sağlanmaktadır.

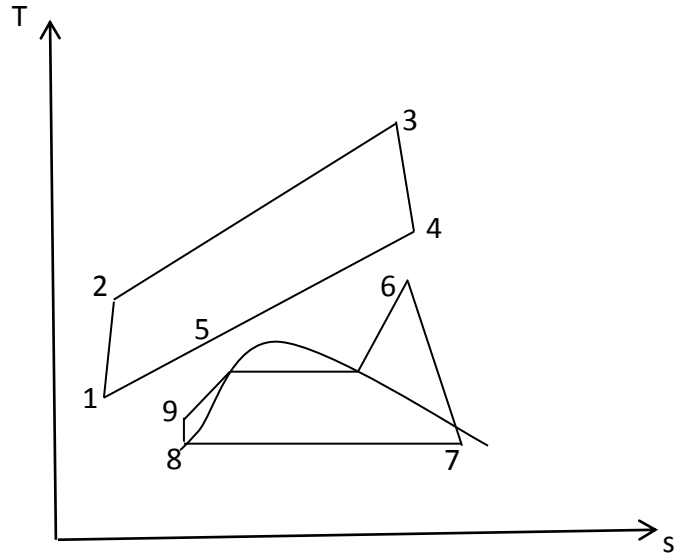
Kombine çevrimin çalışma prensibi kısaca şöyledir; atmosferden alınan hava, gaz türbinin kompresör kısmına bir filtre sisteminden geçirilerek girer ve burada sıkıştırılarak yanma odasına iletilir. Yanma odasına püskürtülen yakıt, bu sıkıştırılmış hava ile karışarak yanar. Yanma odasında oluşan yüksek basınçlı sıcak gazlar, gaz türbini kanatlarından geçerek türbini döndürür ve türbine bağlı jeneratörden elektrik enerjisi üretilir. Gaz türbinden çıkan yüksek sıcaklıktaki atık gaz, atık ısı kazanına iletilir. Kazan borularındaki su buhara çevrilir ve buhar türbinine gönderilerek türbin çevrilmeye başlanır. Türbin şaftına bağlı olan jeneratörün uyarılması ile ikinci kez elektrik enerjisine elde edilir. Atık gazlar ise, kazan bacasından atmosfere atılırlar [41].

3.1.1 Kombine Çevrimde Verim İfadesi

Kombine çevrim şematik gösterimi ve çevrimin T-s diagramı Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de görülmektedir.



Şekil 3.1 Kombine çevrim şematik gösterimi



Şekil 3.2 Kombine çevrim için T-s diyagramı

Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'ten 1 kg egzost gazının üretebileceği buhar miktarı m_b olduğuna göre;

$$c_{pm} \cdot (T_4 - T_5) \cdot \eta_{eg} = m_b \cdot (h_b - h_w) \quad (3.1)$$

$$m_b = \frac{c_{pm} \cdot (T_4 - T_5) \cdot \eta_{eg}}{(h_b - h_w)} \quad (3.2)$$

Denklemlerde c_{pm} atık ısı kazanından geçen gazların sabit basınçta ortalama özgül ısı; η_{eg} atık ısı kazanı verimi; h_w besleme suyu entalpisi; h_b buhar entalpisi; T_4 atık ısı kazanına giren gazların sıcaklığı; T_5 atık ısı kazanından çıkan gazların sıcaklığıdır.

Kombine çevrim teknik verimi;

$$\eta_{th} = \frac{\text{Gaz Türbini net işi} + \text{Buhar Türbini net işi}}{\text{Yanma odasında verilen ısı}}$$

$$\eta_{th} = \frac{c_{pmg} \cdot (T_3 - T_4) - c_{pma} \cdot (T_2 - T_1) + m_b \cdot [(h_b - h_7) - (h_w - h_8)]}{c_{pmg} \cdot (T_3 - T_2) / \eta_b} \quad (3.3)$$

m_b yerine denklem 3.2 'i yerine koyup, gaz türbini işi, kompresör işi ve yanma odasında verilen ısıyı T_1 , T_3 , η_t (türbin verimi), η_c (kompresör verimi), P_{rc} (kompresör sıkıştırma oranı), c_p (özgül ısı) ye göre düzenlediğimizde termik verim efektif verim değeri;

$$\eta_{the} = \frac{c_{pmg} \cdot T_3 \cdot \eta_t \left\{ 1 - \left[\frac{1}{P_{rc} (1 - \epsilon_p)} \right]^{\frac{k-1}{k}} \right\} - c_{pma} \cdot \frac{1}{\eta_c} \cdot T_1 \cdot [P_{rc}^{\frac{k-1}{k}} - 1]}{c_{pmg} \cdot \left\{ T_3 - T_1 \left[1 + \frac{1}{\eta_c} \cdot T_1 \cdot [P_{rc}^{\frac{k-1}{k}} - 1] \right] \right\} + \frac{c_{pm} \cdot (T_4 - T_a) \cdot [(h_b - h_7) - (h_w - h_8)] \cdot \eta_{ek}}{c_{pmg} \cdot \left\{ T_3 - T_1 \cdot \left[1 + \frac{1}{\eta_c} \cdot T_1 \cdot [P_{rc}^{\frac{k-1}{k}} - 1] \right] \right\} [h_b - h_w]}} \cdot \eta_{mBT} \cdot \eta_b \quad (3.4)$$

3.2 Kombine Çevrim Santralleri

Kombine güç çevrimleri, 1950 yılından beri elektrik üretiminde faaliyet gösteren güç santralleri arasında olup, özellikle 1990'larda itibaren hızla artan uygulamaları ile günden güne gelişim göstermektedir. Daha çok büyük güçlü konvansiyonel santrallerin yerini aldığı görülmektedir.

Kombine çevrim güç üretim tesislerinde, farklı donanım düzenlemeleri yapılabiliyor olsa da, uygulamada en yaygın olarak kullanılan çevrim; üst çevrim olarak çalışan gaz türbini (Brayton çevrimi) ile alt çevrim olarak çalışan buhar türbinin (Rankine çevrimi) birlikte kullanıldığı çevrimdir [42].



Şekil 3.3 Kombine çevrim enerji santralinin genel görünümü

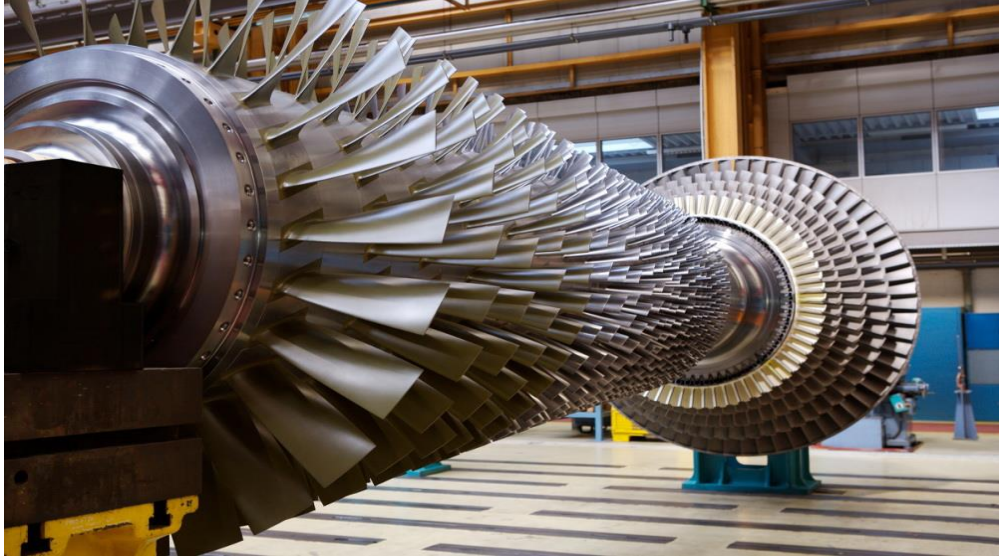
Kombine çevrim enerji santralleri genel olarak ek yanmalı ve ek yanmasız olarak iki çeşittir. Ek yanmasız kombine çevrim santralinde, yanma gaz türbininde gerçekleştiikten sonra, türbinin egzost gazı bir atık ısı kazanına gönderilir. Atık ısı kazanında ise, herhangi ilave bir yakıt yakılmadan gaz türbini egzost gazlarının yüksek ısısından yararlanılmak suretiyle buhar elde edilir. Ek yanmalı kombine çevrim santrallerinde ise farklı olarak atık ısı kazanında ek bir yakıtın yakılması sonucu gaz türbini egzost gazına ısı ilavesi yapılır. Genel olarak gaz türbinleri ile aynı sayıdaki atık ısı kazanları, buhar kapasitesine bağlı olarak bir veya daha çok buhar türbinine bağlanır [41].

3.2.1 Kombine Çevrim Santrali Elemanları

Bir kombine çevrimli elektrik santralinin başlıca üniteleri; gaz türbini, atık ısı kazanı, buhar türbini, kondenser ve jeneratörlerdir. Bu üniteler, kaliteli ve güvenilir iseler kombine çevrim sisteminden yüksek bir performans elde edilebilir. Bu ünitelerden gaz türbini ile buhar türbini üniteleri öncelikli imal edilirler ve atık ısı kazanları ile kontrol üniteleri bu ikisine uyum gösterecek şekilde ayarlanırlar.

3.2.1.1 Gaz Türbinleri

Gaz türbini yanma sonucu oluşan ısı enerjisini mekanik enerjiye çeviren makinedir. Çalışma prensibi kısaca şöyledir; hava, kompresör tarafından emilerek sıkıştırılır, basıncı ve sıcaklığı artar. Yüksek basınçlı hava daha sonra, yakıtın sabit basınçta yakıldığı yanma odasına girer. Yanma sonucunda oluşan yüksek sıcaklıktaki gazlar türbinde çevre basıncına genişlerken iş yapar. Sıkıştırılmış havayı alıp nozullarında genişleten türbin, çıkış shaftı ile bir jeneratör ve kompresörü çalıştırır [7].



Şekil 3.4 Gaz türbini genel görünümü

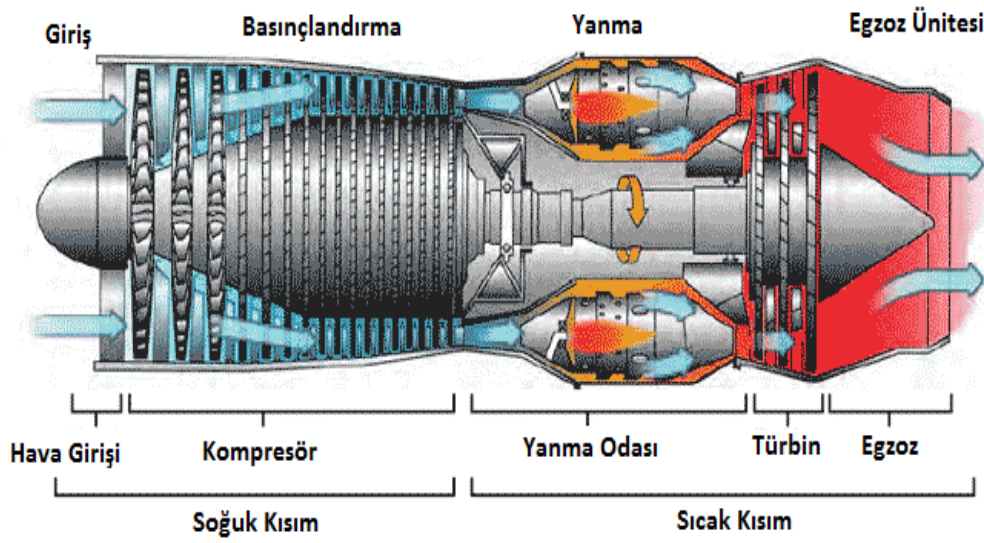
Gaz türbini kısımları aşağıda olduğu gibidir;

Kompresör: Kompresörün esas amacı yanma için havayı sıkıştırmaktır. Bunun yanında, havanın bir kısmını motor bölümlerinin soğutulması ve conta basınçlandırması için kullanır. Kompresöre giren havanın akışı kontrol edilerek türbin verimliliğini artırılır.

Yanma Odası: Kompresörden gelen yüksek basınçlı havanın, yanma odasında bulunan nozullardan gelen yakıt ile birleşerek, ateşleme sonucu yanmanın olduğu bölümdür.

Türbin: Yanma odasından gelen sıcak gazın geniştirilerek, kinetik enerjisinin mekanik enerjiye çevrildiği yerdir. Böylelikle türbine bağlı alternatör mili döndürülür. İç verimleri 0,87 ile 0,90 arasındadır ve akış sırasında doğacak türbülans verimi düşürür. Genel olarak türbinler eksensel akışlıdır.

Generatör: Türbinden sağlanan mekanik enerjiyi, elektrik enerjisine dönüştürür.



Şekil 3.5 Gaz türbini kısımları

3.2.1.2 Atık Isı Kazanları

Head Recovery Steam Generator (Isı Geri Kazanım Buhar Üretici) olarak da adlandırılan atık ısı kazanları (AIK), buhar üretmek için gaz türbinlerinden çıkan atık egzost gazlarının ısını kullanır.

Bir atık ısı kazanı su buhar devresi, bir ekonomizer, bir evaporatör ve baca gazı kanalına yerleştirilen bir kızdırıcıdan oluşur. Su buhar çevriminde, kondensat suyu ilk önce kazanın ekonomizer bölümüne girer ve doyma sıcaklığının çok az altında bir sıcaklığa kadar ısıtılır, daha sonra evaporatör bölümünde buhar haline dönüşür ve bu doymuş buhar kızdırıcı bölümünde tekrar ısıtılarak kızgın buhar olarak buhar türbinine verilir. Atık ısı kazanında üretilerek türbine verilen buhar, türbin kademelerinde genişir ve

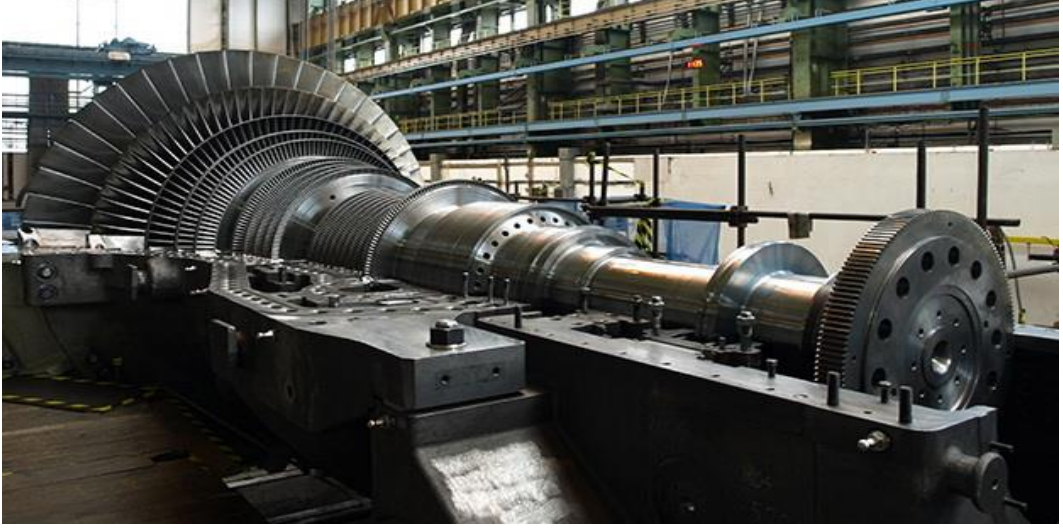
böylece termik enerji mekanik enerjiye dönüştürülmüş olur. Türbinin tahrik edilmesiyle de türbine bağlı jeneratörden elektrik enerjisi üretilir. Buhar türbininden çıkan düşük basınç ve sıcaklıktaki buhar, su soğutmalı bir yoğuşturucuda yoğuşturularak tekrar buharlaştırılmak üzere su halinde kazanlara gönderilerek çevrimin devam etmesi sağlanır [41].



Şekil 3.6 Atık ısı kazanı

3.2.1.3 Buhar Türbinleri

Buhar türbinleri bir mil ve üzerindeki kanatçıklardan oluşur ve akışkan olarak buhar kullanılır. Atık ısı kazanından gelen kızgın buhar, türbinin kanatçıklarına çarparak genişir ve türbin miline hareket verir, böylece termal enerjiden mekanik enerji elde edilir. Kızgın buhar, türbinde mekanik enerjiye dönüştükten sonra, türbin girişindeki yaklaşık 500°C'lik buhar sıcaklığı, türbinin son kademesinde yaklaşık 40°C'ye düşer ve buhar vakum altında yoğuşmak üzere kondensere iletilir.



Şekil 3.7 Buhar türbini

Buhar türbinin parçaları aşağıda olduğu gibidir;

Rotor (Dönen Parçalar): Seyyar kanatlar, disk veya tamburlar

Stator (Duran Parçalar): Rotor, Mil, Kavrama, Eksenel yatak koleri ya da sırast yatak koleri, Stator, Nozul, Sabit kanatlar, Kanat aynaları, İç ve dış salmastra, Taşıyıcı (radyal) yataklar, Karter.

Jeneratör: Türbin rotoruna akuple edilen ve elektrik enerjisinin üretildiği elektrik motorudur.

3.2.1.4 Kondenser

Buhar türbini kullanılan güç tesislerinde kondenser kullanılmasının 2 ana nedeni vardır. Birincisi ve en önemli nedeni, türbin çıkışında düşük basınç (vakum) oluşturarak buhar ısısından azami ölçüde yararlanmak ve böylece türbin güç ile verimini arttırmaktır. İkinci neden ise, türbinden çıkan buharı yoğuşturup su haline getirmek ve kazana geri göndermektir.

Kondenserin 1 kg buharı yoğuşturmak için yaklaşık 50 kg soğutma suyuna ihtiyacı vardır. Büyük santrallerin deniz veya büyük nehir kenarlarına kurulması bu nedendir. Bu su kaynaklarının bulunmadığı yerlerde soğutma kuleleri tercih edilir. Soğutma kulelerinin soğutma etkisi biraz daha düşüktür. Bu da tesisin verim ve üretilen gücünü etkiler.



Şekil 3.8 Kondenser

3.2.1.5 Jeneratör

Jeneratörler kendilerine uygulanan mekanik dönme hareketini %98'e varan oranlarla elektriksel güce dönüştüren yüksek verimli makinelerdir. Jeneratörlerin elektrik üretebilmeleri için başka bir güç kaynağı tarafından döndürülmeleri gerekmektedir. Uygulamada jeneratörlere dönme hareketi veren makineler çok çeşitli olmalarına rağmen, santrallerde yaygın olarak kullanılan makineler su, gaz ve buhar türbinleridir [41].



Şekil 3.9 Jeneratör

Doğru akım ve alternatif akım jeneratörleri olarak iki çeşittirler. Doğru akım jeneratörleri, özel amaçlar hariç yok denecek kadar azdır. Bu sebeple piyasadaki jeneratörlerin hemen hemen tamamı alternatif akım jeneratörleridir. Bu jeneratörler başlıca iki ana bölümden oluşurlar; stator ve rotor. Stator, alternatif gerilimin elde edildiği kısımdır ve üzerinde daima sargılar bulunur. Rotor üzerinde ise daima kutup sargıları bulunur [43].

3.2.2 Kombine Çevrim Santrallerinin Teknik Değerlendirmesi

Kombine çevrimin en büyük avantajı olarak fosil yakıtlı santraller içinde en yüksek verime sahip olması diyebiliriz. Çeşitli enerji santrallerinin net verimleri Çizelge 3.1'de verilmiştir. Görüldüğü gibi kombine çevrim enerji santrallerinin verim olarak diğer santrallere göre çok üstün olduğunu görmekteyiz. Bu özelliği ile yatırımcılar tarafından en fazla tercih edilen santral çeşitlerinden biri olmuştur. Türkiye'de yakın zamanda inşa edilen Cengiz Enerji'ye ait 600 MW gücünde Samsun Doğalgaz Kombine Enerji Çevrim Santrali'nin verimi %61'dir.

Çizelge 3.1 Enerji santrali verim değerleri [1]

Santral Çeşidi	Net Verimi (%)
Kombine Çevrim Enerji Santrali	50-61
Gaz Türbinli Enerji Santrali	35-42
Buhar Türbinli Enerji Santrali (Kömür)	35-47
Nükleer Enerji Santrali	35

Kombine çevrim santrallerinin başka bir avantajı da birçok değişik alanda hizmet verebilecek esnekliğine sahip olmasıdır. Bu santrallerde yalnızca elektrik üretimi yapılabildiği gibi, aynı zamanda ister kazandan isterse buhar türbininden alınacak ara buhar ile bölgesel ısıtma yapılabilir veya buhar ayrı bir proseste kullanılabilir. Böylelikle %85–90 civarında bir ısı verimliliğe ulaşılabilir [40].

Kombine çevrim enerji santrallerinin teknik olarak avantajlarından biri de kısa sürede inşa edilebilmesidir. 1000 MW gücündeki çeşitli enerji santrallerinin inşa sürelerini incelediğimizde, gaz türbinli enerji santrallerinin 18-30 ay ile en kısa sürede olduğunu, kombine çevrim enerji santrallerinde ise buhar türbini-jeneratör grubunun eklenmesi sebebi ile bu sürenin maksimum 36 aya çıktığı görülmektedir (Çizelge 3.2). Kombine çevrim santralleri, gaz türbinli enerji santrallerine göre daha geç sürede inşa edilse bile yüksek verime sahip olması sebebiyle yatırımcılar tarafından daha fazla tercih edilmektedir.

Çizelge 3.2 1000 MW gücündeki çeşitli enerji santrali inşa süreleri [1]

Santral Çeşidi	İnşa Süresi (Ay)
Kombine Çevrim Enerji Santrali	24-36
Gaz Türbinli Enerji Santrali	18-30
Buhar Türbinli Enerji Santrali (Kömür)	45-60
Nükleer Enerji Santrali	60-80

Ayrıca, kombine çevrim santrallerinde çok geniş bir yakıt kullanım olanağı mevcuttur. Doğalgaz, ham petrolden motorin ve fueloil'e kadar tüm sıvı yakıtlar ile gazlaştırma yöntemi ile kömür bu yakıtlara birer örnektir [1].

Kombine çevrim santrallerinin en önemli avantajlarından birisi de çevresel konudur. Kombine çevrim santralinin çevreye yaydığı CO₂ miktarı 348 g/kWh iken, dünya genelindeki termik santral ortalaması 584 g/kWh'dir [44]. Bir başka deyişle; kombine çevrim santrallerinden yüksek verimle üretilen birim elektrik enerjisine karşılık atılan CO₂ miktarı, diğer termik santrallere göre yaklaşık %40 oranında daha azdır. Doğalgaz yakıtlı kombine çevrim santralleri yakıtın içeriği sayesinde asit yağmurlarına sebep olabilecek kükürt bileşenlerini çevreye yaymaz. Ayrıca, kömür yakıtlı termik santrallere benzer şekilde çevreye kül benzeri katı atıklar bırakmaz. Çevreye verilen önemin her geçen gün arttığı bu günlerde, kombine çevrim teknolojileri düşük salınımları ile büyük

ilgi görmeye devam etmektedir. İlave olarak, kombine çevrim santrallerinin soğutma suyu ihtiyacı da diğer konveksiyonel tip santrallere göre daha azdır.

3.2.3 Kombine Çevrim Santrallerinin Ekonomik Değerlendirmesi

Bu kısımda, elektrik enerjisi üretim-yatırım maliyetine etki eden faktörler (santralin ilk yatırım maliyeti ve işletme-bakım maliyetleri) incelenip santrallerin birim enerji üretim maliyeti karşılaştırmalı olarak analiz edilmiş ve kombine çevrim enerji santrali ile kıyaslanmıştır.

İlk yatırım maliyeti, santralin devreye alınmadan önce üretimine hazır hale getirilmesi amacıyla, temel elemanlar (makina, teçhizat, bina, arazi vb.) için yapılan harcamalardır. Enerji santral maliyetlerinin en büyük kısmını ilk yatırım maliyetleri oluşturur [45].

İşletme ve bakım maliyetleri ise santral devreye alındıktan sonra, santralden enerji üretmek için gereken harcamalardır. İşletme ve bakım maliyetleri, sabit işletme maliyeti ve değişken işletme maliyeti olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Sabit işletme maliyeti, çalışanların maaşları, santral genel ve idari harcamaları ve planlanmış bakımlar gibi maliyetlerdir. Değişken işletme maliyetleri ise santralde kullanılan yakıt, enerji, su, kimyasallar gibi tükenebilir malzeme ve kaynaklar ile atıkların neden olduğu maliyetlerdir [45].

Değişik enerji santrallerinin kapasite faktörü, ilk yatırım, sabit ve değişken işletme-bakım ve birim enerji maliyetleri Çizelge 3.3'te verilmiştir [45].

Çizelge 3.3 Enerji santrali maliyetleri

Santral Çeşidi (1000 MW Gücünde)	Kapasite Faktörü (%)	İlk Yatırım Maliyeti (\$/kW)	Sabit İşletme ve Bakım Maliyeti (\$/kW-yıl)	Değişken İşletme ve Bakım Maliyeti (yakıt dahil) (\$/MWh)	Birim enerji üretim maliyeti (cent/kWh)
Doğalgaz Yakıtlı Kombine Çevrim Santrali	85-90	917	13,17	3,6	7,36
Kömür Yakıtlı Termik Santral	50-85	3.246	37,8	4,47	9,4
Nükleer Santral	85-95	5.530	93,28	2,14	9,41
Hidroelektrik Santral	30-45	2.936	14,13	5,76	8,16
Rüzgar Santrali (Karada)	25-45	2.213	39,55	-	7,05
Rüzgar Santrali (Denizde)	25-45	6.230	74	-	19,11
Jeotermal Santral	80-90	4.362	100	-	4,64
Güneş Santrali	20-25	3.873	24,69	-	12,12

Büyük güçlerde inşa edilen termik santrallerin (doğalgaz yakıtlı kombine çevrim santrali, kömür yakıtlı termik santral, nükleer santral) birim enerji üretim maliyetinin genel olarak birbirine yakın olduğunu görmekteyiz. Fakat bu santrallere ait ilk yatırım maliyetleri tercih edilme konusunda önemli rol oynamaktadır. Doğalgaz yakıtlı kombine çevrim enerji santrali 917 \$/kW'lik ilk yatırım maliyeti ile diğer termik santrallerine göre çok daha ekonomik olmaktadır (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4 Enerji santralleri ilk yatırım maliyetleri

Santral Çeşidi	İlk Yatırım Maliyeti (\$/kW)
Doğalgaz Yakıtlı Kombine Çevrim Santrali	917
Kömür Yakıtlı Termik Santral	3.246
Nükleer Santral	5.530
Hidroelektrik Santral	2.936

Enerji santralleri içerisinde birim enerji üretim maliyeti en düşük olan santraller sırasıyla; jeotermal enerji, rüzgar santrali (karada) ve doğalgaz yakıtlı kombine çevrim santrali santralleridir. Hidroelektrik santralleri, ilk yatırım maliyeti diğer santrallere göre biraz daha yüksek olmasına rağmen yakıt maliyetinin olmaması ve işletme-bakım maliyetinin çok düşük olması sebebiyle en düşük birim enerji üretim maliyetine sahip olan enerji üretim tesislerinden biridir.

Enerji santralleri içerisinde ilk yatırım maliyeti en yüksek olan santraller sırasıyla; denizde kurulan rüzgar santrali (6.230 \$/kW), nükleer santral (5.530 \$/kW) ve jeotermal santraldir (4.362 \$/kW). Sabit işletme ve bakım maliyeti en fazla olan santraller ise; jeotermal santral (100 \$/kW-yıl), nükleer santral (93,28 \$/kW-yıl) ve denizde kurulan rüzgar santrali (74 \$/kW-yıl) şeklinde sıralanmaktadır. Rüzgâr enerji santralleri, yakıt maliyeti olmayan enerji santralleri olmasına rağmen bu tip santrallerin işletme ve bakım maliyeti 74 \$/kW-yıl (deniz) ve 39,55 \$/kW-yıl (kara) , ilk yatırım maliyeti de 6.230 \$/kW (deniz) ve 2.213 \$/kW (kara) seviyelerindedir. Günümüzde işletilmekte olan nükleer santrallerin ilk yatırım maliyeti diğer enerji santrallerine göre daha yüksektir. Nükleer santrallerin ilk yatırım maliyeti ülkeden ülkeye ve seçilen teknolojiye göre değişmekle birlikte 5.530 \$/kW seviyelerindedir.

Kapasite faktörü, santralin belirli bir periyotta ürettiği enerjinin tam kapasitede üretebileceği enerjiye oranı olarak tanımlanmaktadır. Santrallerden verimli bir şekilde faydalanabilmek amacıyla santrallerin kapasite faktörünün yüksek olması arzu edilir. En yüksek kapasite faktörüne sahip enerji santralleri; nükleer santraller (%95), doğalgazlı kombine çevrim santrali (%90) ve jeotermal enerji santralleri (%90) şeklinde sıralanmaktadır.

Diğer enerji santrallerin birim enerji maliyetleri incelendiğinde, kombine çevrim enerji santrallerinin düşük birim enerji maliyeti ve sektördeki baskın rolü nedeniyle bir referans olarak kabul edebiliriz. Çizelge 3.5'te, kombine çevrim enerji santrali referans alınarak diğer enerji santrallerinin birim enerji maliyetleri yüzdesel olarak kıyaslanmıştır. Jeotermal ve rüzgar (karada) santralleri sadece kombine çevrim enerji santralin birim enerji maliyetinden az bir maliyete sahiptirler. Geriye kalan diğer enerji

santral çeşitleri %10-%61 arasında değerlerde daha fazla birim enerji maliyetine sahiptirler.

Çizelge 3.5 Referans santral ile birim enerji maliyeti kıyaslaması

Santral Çeşidi	Kombine Çevrim Santrali Birim Enerji Maliyeti ile Oluşan Fark (%)
Jeotermal santral	-37
Kömür yakıtlı termik santral	22
Rüzgar Santrali (Karada)	-5
Rüzgar Santrali (Denizde)	61
Nükleer	23
Hidroelektrik	10
Güneş	40

Görüldüğü üzere konumuz olan kombine çevrim enerji santrali gerek ilk yatırım maliyeti (917 \$/kW), sabit işletme ve bakım maliyeti (13,17 \$/kW-yıl) gerekse de birim enerji üretim maliyeti (7,36 cent/kWh) ile diğer enerji santrallerine göre son derece ekonomiktir. Yüksek verim, kısa sürede inşa edilmesi, ekonomik olması ve yüksek kapasite faktörü yüzdesi sebebiyle günümüzde tüm dünyada ve ülkemizde son yıllarda inşa edilen enerji santrallerinde kombine çevrim enerji santrali başı çekmektedir. Önümüzdeki yıllarda da bu özelliğini koruyacağı tahmin edilmektedir.

**DOĞALGAZ YAKITLI KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALLERİNİN TÜRKİYE
ELEKTRİK ÜRETİMİNDEKİ YERİ****4.1 Türkiye Elektrik Enerjisi Genel Görünümü**

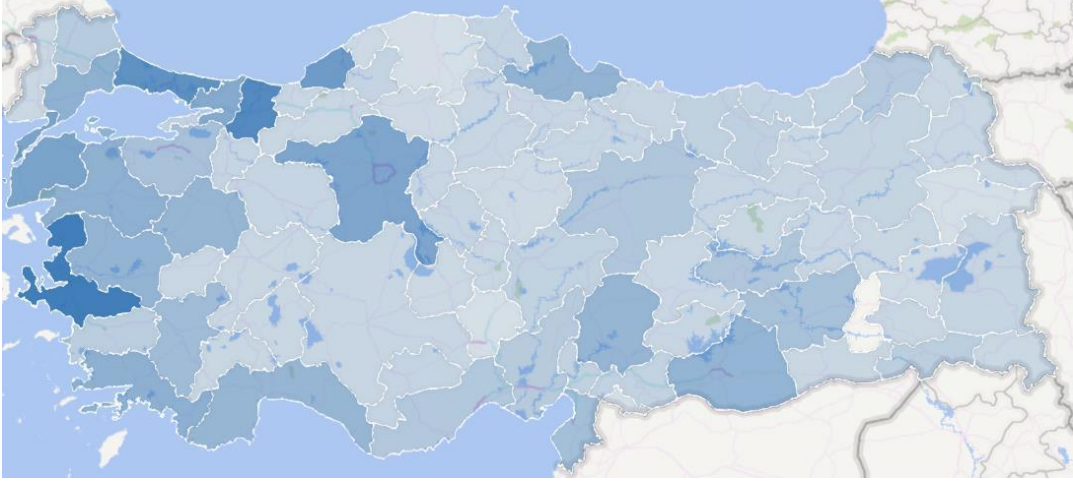
Türkiye elektrik enerjisi genel görünümü geçtiğimiz yıllardaki değerler ile birlikte Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 2013-2015 yılları arası Türkiye elektrik enerjisi genel görünümü [38]

	Birim	2013	2014	2015	2013-2014 (% Değişim)	2014-2015 (% Değişim)
Kurulu Güç	MW	64.007	69.520	73.148	%8,6	%5,2
Üretim	GWh	242.121	251.962	259.690	%4,1	%3
Tüketim	GWh	248.324	257.220	263.828	%3,6	%2,6
İthalat	GWh	7.429	7.953	7.411	%7,1	%-6,8
İhracat	GWh	1.227	2.696	3.195	%119,7	%18,5

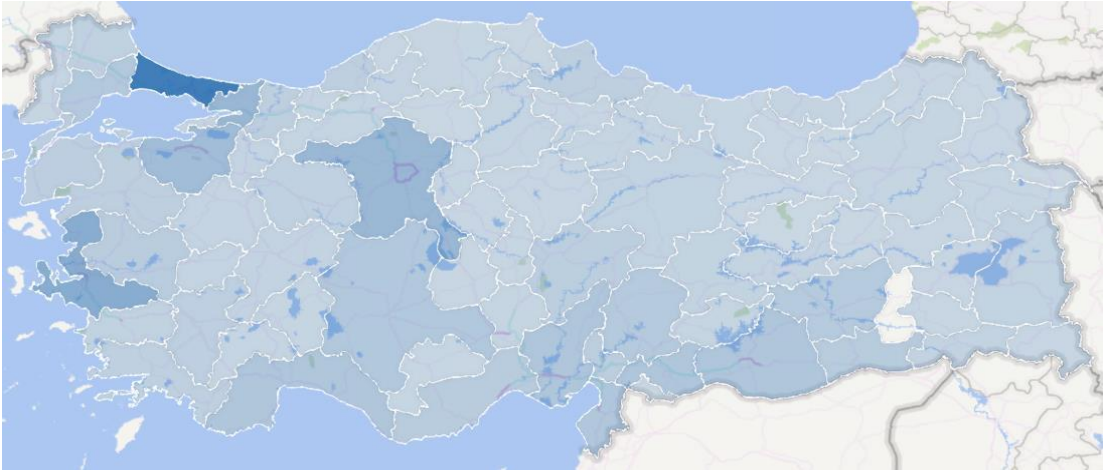
2014 yılında Türkiye elektrik enerjisi üretimi 251.962 GWh ve tüketimi de 257.220 GWh olarak gerçekleşmiştir. 2015 yılı sonu itibariyle de %3'lük artış ile 259.690 GWh üretim, %2,6'lık artış ile de 263.828 GWh tüketim gerçekleşmiştir. 2014 yılına göre hem üretim hem de tüketimde bir miktar düşüş olmuştur.

Şekil 4.1’de 2014 yılı illere göre elektrik üretimi yoğunluğu verilmiştir. Koyu renkler üretimin daha yoğun olduğunu göstermektedir. 2014 yılı elektrik üretiminin kıyı kesimlerde yoğunlaştığı gözlenmiştir. Ülkemizde 2014 yılında en çok elektrik üreten il İzmir olmuştur.



Şekil 4.1 2014 yılı elektrik üretiminin illere göre dağılımı [38]

Şekil 4.2’de 2014 yılı illere göre elektrik tüketimi yoğunluğu verilmiştir. Koyu renkler tüketimin daha yoğun olduğunu göstermektedir. Türkiye’de elektrik tüketiminin yarısı 10 ilde gerçekleşmektedir. 2014 yılı verilerine göre en çok elektrik tüketen ilk 10 il sırasıyla İstanbul, İzmir, Kocaeli, Ankara, Bursa, Antalya, Adana, Şanlıurfa, Hatay ve Gaziantep olmuştur.



Şekil 4.2 2014 yılı elektrik tüketiminin illere göre dağılımı [38]

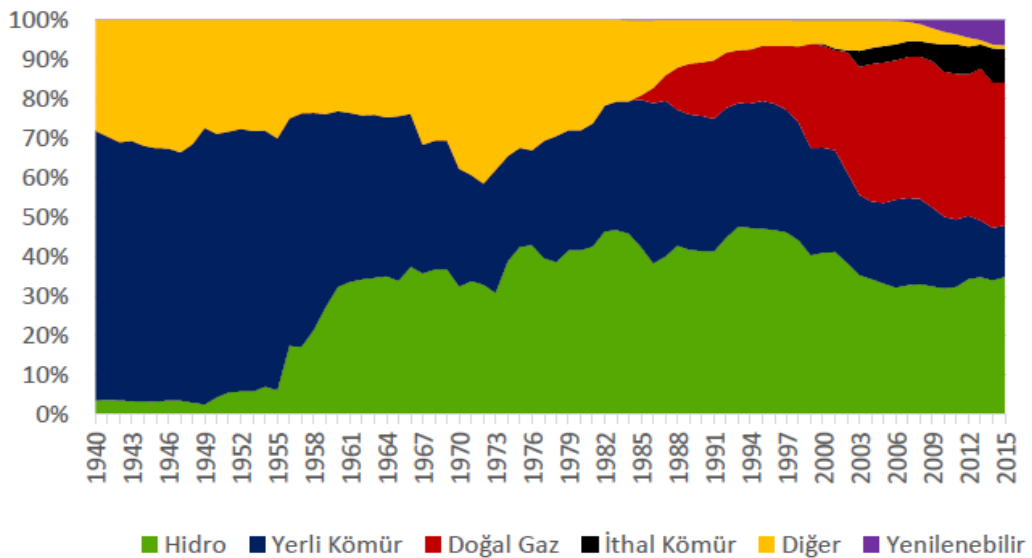
Türkiye 2015 yılında 7.411 GWh elektrik ithal ederken, 3.195 GWh elektrik ihracatı gerçekleştirmiştir. Bu kapsamda Türkiye, 325 milyon dolarlık ithalat yapmıştır. En fazla

elektrik ithalatı yaptığı ülke 5.139 GWh ile Bulgaristan olmuştur. Elektrik ithalatı yapılan diğer ülke ise İran olmuştur. Elektrik ihracatından ise yaklaşık olarak 74 milyon dolarlık gelir elde edilmiştir. Söz konusu gelirin 63 milyon dolarlık bölümü Yunanistan'a ihraç edilen 2.588 GWh'lik elektrikten sağlanmıştır. İhracat yapılan bir diğer ülke ise Irak olmuştur [46].

4.2 Türkiye Elektrik Enerjisi Kurulu Gücü

Türkiye'de elektrik enerjisi kurulu gücü gelişiminin kaynaklara göre yüzdesel gelişimi Şekil 4.3'te verilmiştir. Görüldüğü üzere, 1940'tan 1956'ya kadar olan dönemde yerli kömürün ciddi bir ağırlığı varken DSİ'nin kurulmasından sonra HES yatırımları ciddi ölçüde artmıştır. 1985 yılına gelindiğinde hidrolik kurulu gücü kömür kurulu gücünü geçmiştir. 1986 yılında Rusya'dan doğalgaz ithal edilmesiyle başlayan akımla birlikte doğalgaz santralleri devreye alınmaya başlanmış ve elektrik talebinin karşılanmasında bu santraller önemli yer tutmuştur. İlk ithal kömür kurulu gücü ise 2000 yılında devreye girmiştir. Sadece 2014 yılında 2.150 MW ithal kömür santrali devreye girmiştir [38].

Hidroelektrik dışında yenilenebilir kurulu gücü ise oldukça düşük bir orana sahip olsa da son yıllarda verilen teşviklerle birlikte 4.600 MW'lık bir kurulu güce ulaşılmıştır. Bu kurulu güçte aslan payı rüzgara aittir. Önümüzdeki yıllarda ise güneş santrallerinin yenilenebilir oranı içinde önemli bir paya sahip olacağı tahmin edilmektedir.



Şekil 4.3 Kurulun gücün kaynaklara göre yüzdesel gelişimi [38]

Kurulu güçteki artışın devam ettiğini görmekteyiz. 2013 yılında 64.007 MW olan elektrik enerjisi kurulu gücümüz 2014 yılında 69.520 MW'ye, 2015 yılında ise %5,2'lik bir artışla 73.148 MW'ye yükselmiştir (Çizelge 4.2). 2016 yılı Mayıs ayı sonu itibariyle elektrik enerjisi kurulu gücümüz 75.081 MW olmuştur. Bu kurulu güç miktarının kaynakları şu şekildedir; hidrolik %34,9, doğalgaz %29, kömür %21,2 ve rüzgar+jeotermal+güneş %7,8 ve diğer kaynaklar ise %7,1'dir (Çizelge 4.3).

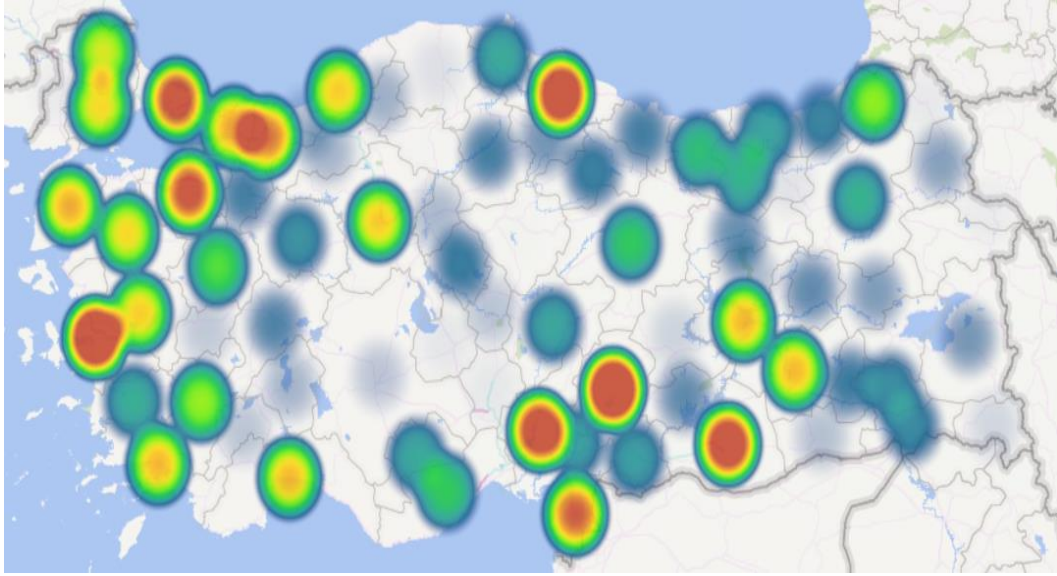
Çizelge 4.2 Türkiye elektrik enerjisi kurulu gücü (MW) [23]

YIL	TERMİK			HİDROLİK	RÜZGÂR	JEOTERMAL	GÜNEŞ	TOPLAM	ARTIŞ (%)
	Kömür	Doğal Gaz	Diğer						
2002	6.983	8.438	4.147	12.241	18,9	17,5		31.846	12,4
2003	8.239	10.053	4.683	12.579	18,9	15		35.587	11,7
2004	8.296	11.349	4.500	12.645	18,9	15	-	36.824	3,5
2005	9.117	12.275	4.487	12.906	20,1	15	-	38.820	5,4
2006	10.197	12.641	4.520	13.063	59	23	-	40.502	4,3
2007	10.097	12.853	4.322	13.395	146,3	23	-	40.836	0,8
2008	10.095	13.428	4.072	13.829	363,65	29,8	-	41.817	2,4
2009	10.501	14.555	4.284	14.553	791,6	77,2	-	44.761	7,0
2010	11.891	16.112	4.276	15.831	1.320	94,2	-	49.524	10,6
2011	12.491	16.003	5.438	17.137	1.729	114,2	-	52.911	6,8
2012	12.530	17.162	5.337	19.620	2.261	162,2	-	57.072	7,9
2013	12.428	20.253	5.967	22.289	2.760	310,8	-	64.007	12,2
2014	14.636	21.474	5.692	23.643	3.630	404,9	40,2	69.520	8,6
2015	15.078	21.259	5.566	25.868	4.503	623,9	248,8	73.147	5,2

Çizelge 4.3 Yakıt kaynaklarına göre Türkiye elektrik kurulu gücü ve santral sayıları [47]

YAKIT CİNSLERİ	2015 YILI SONU			29 MAYIS 2016 SONU İTİBARIYLA		
	KURULU GÜÇ MW	KATKI %	SANTRAL SAYISI ADET	KURULU GÜÇ MW	KATKI %	SANTRAL SAYISI ADET
FUEL-OİL + NAFTA + MOTORİN	446,0	0,6	17	446,0	0,6	17
TAŞ KÖMÜRÜ + LİNYİT + ASFALTİT	9.418,4	12,9	29	9.842,4	13,1	29
İTHAL KÖMÜR	6.064,2	8,3	8	6.070,2	8,1	10
DOĞALGAZ + LNG	21.222,1	29,0	235	21.785,1	29,0	242
YENİLEN.+ATIK+ATIKISI+PİROLİTİK YAĞ	344,7	0,5	69	385,0	0,5	70
ÇOK YAKITLILAR KATI+SIVI	667,1	0,9	23	667,1	0,9	23
ÇOK YAKITLILAR SIVI+D.GAZ	3.684,0	5,0	46	3.684,0	4,9	46
JEOTERMAL	623,9	0,9	21	695,4	0,9	24
HİDROLİK BARAJLI	19.077,2	26,1	109	19.382,2	25,8	113
HİDROLİK AKARSU	6.790,6	9,3	451	6.849,9	9,1	457
RÜZGAR	4.498,4	6,1	113	4.762,1	6,3	122
TERMİK (LİSANSSIZ)	56,5	0,1	24	60,9	0,1	28
RÜZGAR (LİSANSSIZ)	4,8	0,0	9	8,0	0,0	16
GÜNEŞ (LİSANSSIZ)	248,8	0,3	362	443,3	0,6	597
TOPLAM	73.146,7	100	1.514	75.081,5	100	1.794

Kurulu gücün illere göre dağılımı Şekil 4.4'te verilmiştir. Kırmızı renkli iller yoğunluğun fazla olduğu alanları göstermektedir. 2016 yılı başı itibariyle İstanbul, İzmit, Kocaeli, İzmir ve Çukurova bölgesinde kurulu gücün yoğunlaştığı gözlenmektedir. İthal kömür ve nükleer santrallerin de devreye girmesiyle deniz kıyılarında kurulu güç yoğunluğunun maksimum düzeylere ulaşması tahmin edilmektedir.



Şekil 4.4 Türkiye kurulu gücünün illere göre dağılımı [38]

4.3 Türkiye’de İşletmede Olan Doğalgaz Yakıtlı Kombine Çevrim Santralleri

Türkiye doğalgaz yakıtlı kombine çevrim santralleri ile 1980’li yıllardan itibaren tanışmaya başlamıştır. Kırklareli’nin Lüleburgaz ilçesinde 1985 yılında kurulan 1.156 MW kapasiteli Hamitabat Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali, Türkiye’nin ilk doğalgaz kombine çevrim santralidir. Yıllık 5,5 milyar kWh elektrik üretimiyle 1,7 milyon konutun elektrik ihtiyacını karşılama kapasitesine sahip olan tesis, aynı zamanda Türkiye’nin en büyük doğalgaz santrallerinden biridir.



Şekil 4.5 Hamitabat doğalgaz kombine çevrim santrali

1988 yılında işletmeye alınan Türkiye'nin ikinci doğalgaz kombine çevrim santrali ise İstanbul'da bulunan 1.350 MW kapasiteli Ambarlı Doğalgaz Kombine Çevrim Santralidir. 9,4 milyar kWh elektrik üretim kapasitesine sahiptir.



Şekil 4.6 Ambarlı doğalgaz kombine çevrim santrali

Türkiye'de 1990'lı yıllarda inşa edilen bir diğer önemli doğalgaz yakıtlı kombine çevrim santrali ise Bursa'da bulunan Ovaakça Doğalgaz Kombine Çevrim Santralidir. 28 Kasım 1998 yılında üretime başlayan santralin üretim kapasitesi 1.400 MW'tır ve her biri 704,9 MW gücünde iki kombine çevrim bloğundan oluşur. Santralde yılda yaklaşık 1,7 milyar metreküp doğalgaz tüketilerek 9,5 milyar kilowattsaat elektrik enerjisi üretilmektedir.



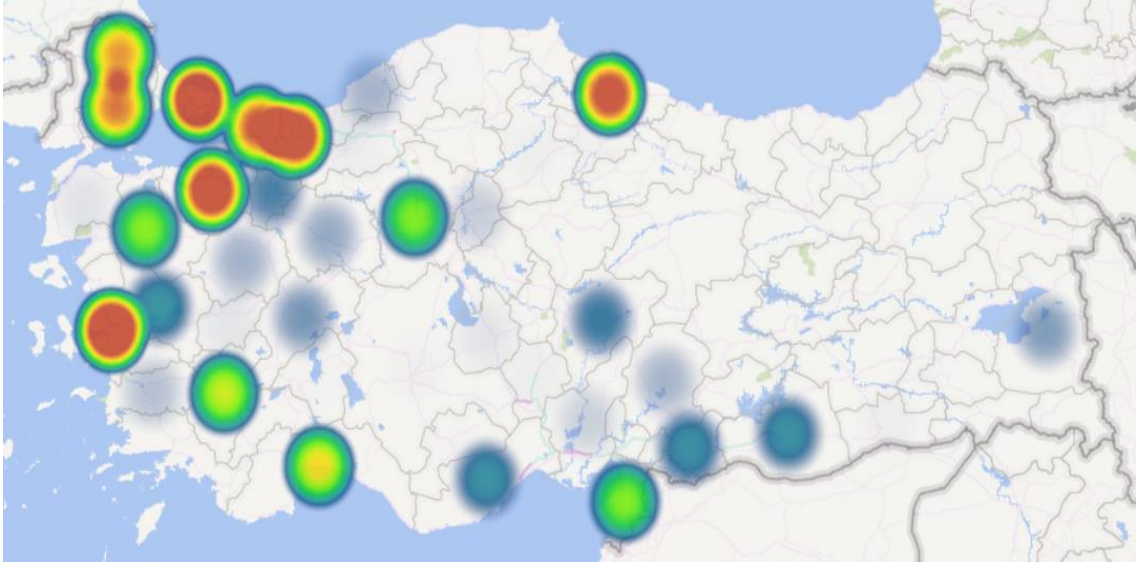
Şekil 4.7 Ovaakça doğalgaz kombine çevrim santrali

2016 yılı başı itibariyle Türkiye genelinde büyük güç santrali ve sanayide kullanılan küçük güçteki santraller olmak üzere değişik güçlerde toplamda 242 adet doğalgaz yakıtlı kombine çevrim santrali vardır. Bu santrallerde kullanılan doğalgazın %99,2'si ithal edilmektedir. 2013 yılında 3.585,6 MW kurulu gücünde 44 santral, 2014 yılında 1.677,3 MW kurulu gücünde 36 santral, 2015 yılında ise 203,2 MW kurulu gücünde 17 santral işletmeye alınarak değişik güçlerdeki toplamda 97 santralden Türkiye kurulu gücüne 5466,1 MW'lık bir ilave yapılmıştır (Çizelge 4.4) [38].

Çizelge 4.4 2013-2015 yılları arası işletmeye giren santral sayısı ve kurulu gücü

	2013		2014		2015	
Santral Tipi	Santral Sayısı Adet	Kurulu Güç MW	Santral Sayısı Adet	Kurulu Güç MW	Santral Sayısı Adet	Kurulu Güç MW
Kombine Çevrim Santrali	44	3.585,6	36	1.677,3	17	203,2

Doğalgaz kurulu gücünün çok önemli bir kısmı Trakya ve Marmara bölgesinde toplanmıştır (Şekil 4.8). Bu santrallerin hemen hemen tamamı kombine çevrim santralleridir. 2015 yılı sonu itibarıyla doğalgaz ile çalışan santrallerin sahip olduğu kurulu güç miktarının, tek yakıtlı termik santrallerin sahip olduğu toplam kurulu güç içinde %56,6'lık bir payı olduğu görülmektedir. Doğalgaz santrallerini %23,1'lik oranı ile linyit yakıtlı santraller takip etmektedir.



Şekil 4.8 Doğalgaz kurulu gücün illere göre dağılımı [38]

Türkiye’de işletmeye alınan 242 adet kombine çevrim santralden kapasite büyüklüklerine göre zirvede yer alan 10 adet santralin sıralanarak listelenmiş hali Çizelge 4.5’te verilmiştir [48]. Türkiye’nin en büyük kapasiteli doğalgaz yakıtlı kombine çevrim santrali ENKA Enerji’ye ait olan 1554 MW’lık kurulu gücüyle Adapazarı Doğalgaz Yakıtlı Kombine Çevrim Santrali’dir (Şekil 4.9).

Çizelge 4.5 Kapasitesine göre ilk 10 sırada yer alan kombine çevrim santralleri

Santral Adı	Bulunduğu Şehir	Toplam Kapasitesi (MW)
Enka Adapazarı	Sakarya	1.554
Enka Aliğa	İzmir	1.523
Ovaakça	Bursa	1.432
Ambarlı B	İstanbul	1.351
Hamitabat	Kırklareli	1.156
Aksa Antalya	Antalya	1.150
Bandırma	Balıkesir	931
Erzin	Hatay	904
OMV	Samsun	887
Yeni Elektrik	Kocaeli	865



Şekil 4.9 ENKA Adapazarı doğalgaz yakıtlı kombine çevrim santrali

4.4 Türkiye’de İnşa Halinde Olan Doğalgaz Yakıtlı Kombine Çevrim Santralleri

EPDK tarafından hazırlanan projeksiyona göre 2014 yılı sonu itibariyle lisans almış olan doğalgaz yakıtlı kombine çevrim santrali projelerinden inşa halinde olan ve 2019 yılına kadar işletmeye alınması öngörülen santrallerin kurulu güç miktarları Çizelge 4.6’da verilmiştir.

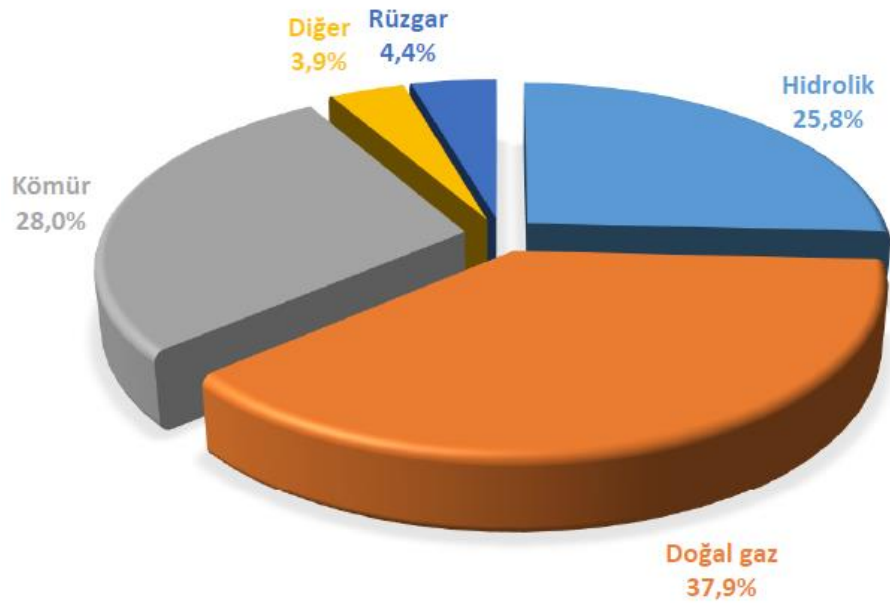
Çizelge 4.6’a göre, önümüzdeki 4 yıl içinde inşa edilerek işletmeye girecek doğalgaz yakıtlı kombine çevrim santralinin toplam kurulu gücü 5.502,3 MW’tır. 2019 yılında tamamlanması beklenen santrallerin kurulu gücü 2.080 MW ile dikkat çekicidir. Önümüzdeki yıllarda da Türkiye’de kombine çevrim teknolojisinden faydalanacağı tahmin edilmektedir.

Çizelge 4.6 İşletmeye girmesi beklenen kombine çevrim santral kurulu güçleri [11]

SANTRAL TİPİ	Kurulu Güç (MW)				
	2016	2017	2018	2019	TOPLAM
Doğalgaz Yakıtlı Kombine Çevrim Santralleri	154,2	965	890,4	2.080	5.502,3

4.5 Doğalgaz Yakıtlı Kombine Çevrim Santrallerinin Elektrik Üretimindeki Payı

31 Mayıs 2016 yılı sonu itibariyle Türkiye'nin elektrik üretimi kurulu gücü 75.081,5 MW'tır [47]. Doğalgaz kombine çevrim santralleri 242 adet santral sayısı ile bu kurulu gücün %29'unu oluşturmaktadır. Türkiye'de 2015 yılında çeşitli kaynaklardan yaklaşık 260 milyar kWh elektrik enerjisi üretilmiştir ve üretilen bu elektrik enerjisinin %37,9'u doğalgaz kombine çevrim santrallerinden sağlanmıştır (Şekil 4.10). Yine aynı dönemde Türkiye'de tüketilen doğalgazın %48,12'si elektrik üretiminde, %25,4'ü sanayiide ve %19,1'i konutlarda kullanılmıştır [15].

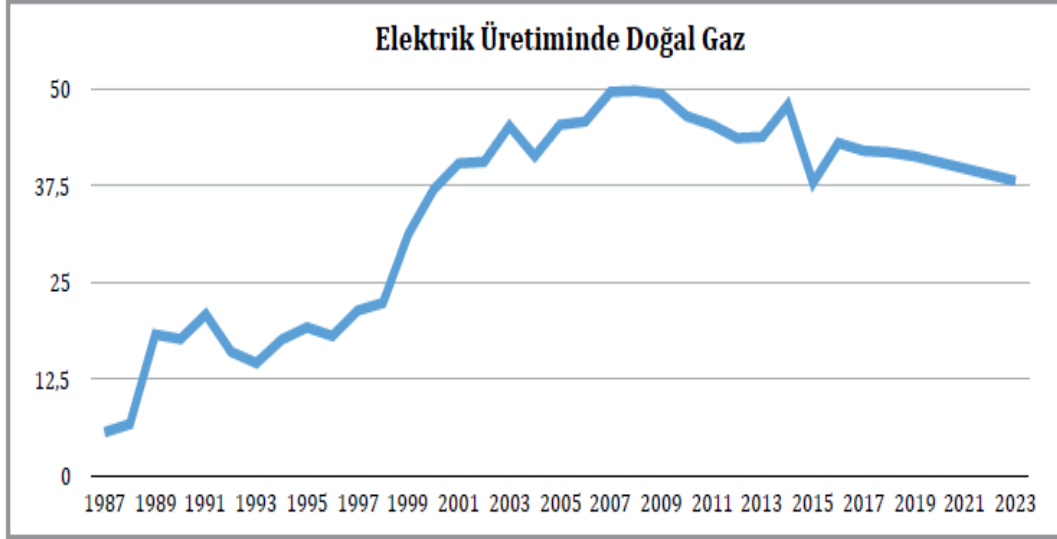


Şekil 4.10 2015 yılı kaynak bazında Türkiye elektrik enerjisi üretim oranları

Çizelge 4.7 ve Şekil 4.11'de TEİAŞ tarafından hazırlanmış projeksiyon 2023 yılına kadar elektrik üretiminde doğalgazın payını öngörmektedir. Burada, 1987-2015 yılları arasındaki veriler gerçekleşen değerleri, 2016-2023 yılları arasındaki veriler ise tahmin edilen değerleri göstermektedir.

Çizelge 4.7 Yıllara göre Türkiye elektrik üretiminde doğalgazın payı [48]

Yıl	Elektrik Üretimi (GWh)	Doğalgazdan Üretilen Elektrik Miktarı (GWh)	Doğalgazın Payı (%)
1987	44.353	2.528	5,6
1997	103.296	22.086	21,3
2007	191.558	95.025	49,6
2008	198.418	98.685	49,7
2009	194.813	96.095	49,3
2010	211.208	98.144	46,4
2011	229.398	104.048	45,3
2012	239.492	104.499	43,6
2013	240.200	105.116	43,8
2014	252.000	120.576	47,9
2015	259.610	98.326	37,8
2016	310.878	133.677	42,9
2017	332.545	139.669	42,0
2018	355.571	148.629	41,8
2019	380.031	156.953	41,3
2020	406.056	164.453	40,5
2021	435.240	172.790	39,6
2022	465.271	180.991	38,9
2023	497.375	189.500	38,1



Şekil 4.11 Yıllara göre Türkiye elektrik üretiminde doğalgazın payı [49]

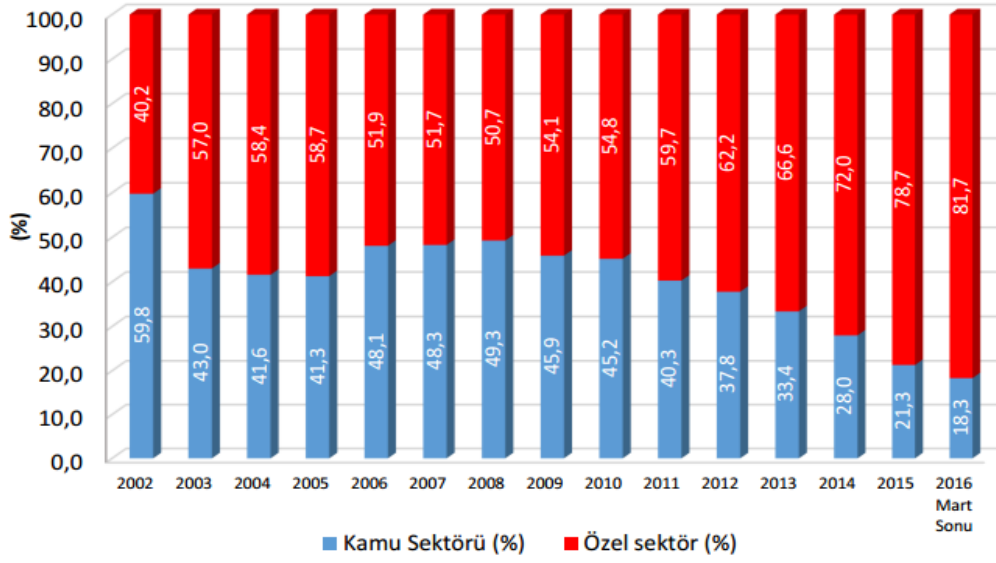
Çizelge 4.7 ve Şekil 4.11'deki veriler incelendiğinde genel olarak doğalgaz kombine çevrim santrallerinin kurulu güçteki payı ile 2004-2015 yılları arasında toplam elektrik üretimindeki %38-50 aralığında değişen payı dikkate alındığında bu santrallerin Türkiye için önemi ortaya çıkmaktadır. 2015 yılında doğalgazın elektrik üretimindeki payı artan hidroelektrik ile rüzgar santralleri sebebiyle hızlı bir düşüş göstermiştir. Fakat yine de sonraki yıllar için yapılan tahminlere bakıldığında doğalgaz kombine çevrim santrallerinin Türkiye için yaşamsal derecede önemli olduğu görülmektedir. Sanayi ve hane halklarının elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanmasının en büyük kaynağı bu santrallerdir.

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmamızın bu bölümüne kadar, dünya ve Türkiye güncel enerji görünümü incelenmiş, ülkemiz elektrik üretiminde ilk sırada bulunan doğalgaz yakıtlı kombine çevrim santrallerinin teknik ve ekonomik değerlendirmeleri yapılarak enerji yatırımlarında tercih edilmesinin nedenlerinden bahsedilmiştir. Ayrıca bu santrallerin Türkiye'nin elektrik üretimindeki yeri analiz edilerek elektrik üretim miktarları, mevcut ve inşa halinde bulunan santral sayıları ile kurulu güç miktarları verilmiştir. Sonuç bölümünde ise genel bir değerlendirme yapıldıktan sonra uygulanması tavsiye edilen öneriler sıralanacaktır.

Türkiye'de enerji piyasasının özelleştirilmesi ile birlikte özel sektör tarafından gerçekleştirilen enerji santrali yatırımları büyük bir ivme kazanmıştır. Özel sektörün elektrik üretimindeki payı 2002 yılında %40,2 iken, 2016 yılı Mart ayı sonu itibariyle %81,7'e ulaşmıştır (Şekil 5.1). Bu dönemde kamunun elinde bulunan santrallerin kaynak çeşitleri incelendiğinde en fazla özelleştirmenin termik santrallerde olduğu görülmektedir. Aynı dönem için termik santrallerin yanında hidrolik santrallerin özelleştirilmelerinde de önemli bir artış görülmektedir (Çizelge 5.1).



Şekil 5.1 Elektrik üretiminin kamu ve özel sektöre göre dağılımı [23]

Çizelge 5.1 Elektrik üretiminin kuruluşlara ve kaynaklara göre dağılımı (GWh) [23]

KURULUŞLAR	KAYNAK TİPİ	2002	2009	2012	2014	2015	2016 Mart Sonu
EÜAŞ ve Bağlı Ortaklıkları	TERMİK	50.924	61.115	52.264	47.369	20.356	4.611
	HİDROLİK	26.304	28.338	38.311	23.100	35.013	7.401
	JEOTERMAL	105					
	TOPLAM	62.639	89.454	90.575	70.469	55.369	12.013
Üretim Şirketleri	TERMİK	44.640	95.808	122.608	153.048	157.510	39.053
	HİDROLİK	7.380	7.620	19.554	17.545	31.890	10.004
	RÜZGÂR	48	1.495	5.861	8.520	11.552	3.617
	JEOTERMAL		436	899	2.364	3.369	1.094
	GÜNEŞ				17,4	*	*
	TOPLAM	88.060	105.359	148.922	181.494	204.321	53.768
TOPLAM	TERMİK	95.563	156.923	174.872	200.417	177.866	43.664
	HİDROLİK	33.684	35.958	57.865	40.645	66.903	17.405
	RÜZGÂR	48	1.495	5.861	8.520	11.552	3.617
	JEOTERMAL	105	436	899	2.364	3.369	1.094
	GÜNEŞ				17,4	*	*
	TOPLAM	129.400	194.813	239.497	251.963	259.690	65.781

Enerji piyasasındaki özel sektörün artan yatırımlarına paralel olarak 2002 yılında 31.846 MW olan elektrik enerjisi kurulu gücümüz, yaklaşık %130'luk bir artışla 2016 yılı Mayıs ayı sonu itibariyle 75.081,5 MW'a yükselmiştir.

Türkiye'de son yıllarda elektrik enerjisi alanında yapılan özel sektör yatırımlarında hidroelektrik ve doğalgazın başı çektiği görülmektedir (Çizelge 5.2). Doğalgaz yakıtlı kombine çevrim santrallerinin kurulu gücü son on yılda %150 artarak 21.785,1 MW'a ulaşmıştır. Sadece son üç yılda ülkemizde toplamda 5.466,1 MW gücünde olmak üzere değişik güçlerde 97 adet doğalgaz yakıtlı kombine çevrim santrali devreye alınmıştır. İşletmeye giren son santrallerle birlikte tek yakıtlı termik santrallerin sahip olduğu toplam kurulu güç içerisinde doğalgaz ile çalışan kombine çevrim santrallerinin sahip olduğu kurulu güç payı oranının 2015 yılı sonunda %56,6 olduğu görülmektedir (Çizelge 5.3). 2016-2019 yılları arasında inşa edilerek işletmesi beklenen doğalgaz yakıtlı kombine çevrim santralinin toplam kurulu gücü ise 5.502,3 MW'tır. Önümüzdeki yıllarda da bu artış eğiliminin devam etmesi beklenmektedir.

Çizelge 5.2 Elektrik enerjisi alanında yapılan özel sektör yatırımları [23]

YAKIT CİNSİ	2013		2014		2015		2016 Mart Sonu	
	ADET	KURULU GÜÇ (MW)	ADET	KURULU GÜÇ (MW)	ADET	KURULU GÜÇ (MW)	ADET	KURULU GÜÇ (MW)
Hidro	112	2.613,4	87	1.366,5	88	2.229,5	7	288,7
Rüzgâr	41	498,1	68	882,3	73	830,8	7	95
Jeotermal	5	148,6	5	94,1	12	219,0	2	24,1
Atık Isı	4	42,5	2	15,1	2	13,5		
Biyogaz	3	6,0	1	2,1				
Biyogaz (Çöp Gazı)	3	12,7						
Biyokütle(Çöp Gazı)	4	13,3	6	14,8	8	22,9	1	5,4
Biyokütle	2	3,6	10	21	8	13,6	1	3,2
Biyogaz/Doğal Gaz	2	1,0						
Doğal Gaz	44	3.585,6	36	1.677,3	17	203,2	4	11
Doğal Gaz/Motorin	1	24,6	1	9,8				
Linyit			3	58,1	2	435,0	3	430
Linyit/Doğal Gaz	1	37,0						
DG/FO/Linyit			1	4,8				
Kömür					1	7,6		
Kömür + Diğer					1	15,0		
DG+Orman Ürün.					1	27,6		
İthal Kömür			4	2.150				
Pirolitik Yağ			1	7,0				
Yerli Asfaltit					2	270,0		
TOPLAM	222	6.986,4	225	6.302,9	215	4.287,6	25	857,4

Çizelge 5.3 Termik santral kurulu gücü dağılımı (MW) [23]

		2002	2009	2012	2014	2015
Tek Yakıtlı	Linyit	6.503	8.110	8.148	8.238	8.673
	Taşkömürü	335	335	335	335	350
	İthal Kömür + Asfaltit	145	2.056	4.048	6.198	6.469
	Fuel-Oil	2.009	1.541	1.196	509	455
	Motorin	236	27	27	11	1
	LPG	24	0	0	0	0
	Nafta	132	21	5	5	5
	Doğalgaz	8.438	14.555	17.162	21.474	21.259
	LNG			2	2	2
	Yenilenebilir + Atık + Atık Isı + Prolitik Yağ	28	82	159	288	362
	Toplam	17.849	26.726	31.080	37.060	37.577
Çok Yakıtlı	Katı + Sıvı	456	552	676	668	653
	Sıvı + D. Gaz	1.264	2.062	3.273	4.074	3.674
	Toplam	1.719	2.614	3.949	4.742	4.327
TERMİK TOPLAM		19.568	29.339	35.029	41.802	41.904

Yapılan enerji yatırımlarında doğalgaz yakıtlı kombine çevrim santrallerine bu kadar ilgi gösterilmesinin sebeplerini başlıca şu şekilde sıralayabiliriz;

- ilk yatırım maliyetlerinin düşük olması,
- kısa sürede inşa edilebilmeleri,
- yüksek verimlerde çalışabilmeleri,
- çevreye verilebilecek zararın daha kontrol edilebilir olması,
- ani yük taleplerinde kısa sürede işletmeye alınabilmeleridir.

Türkiye genelinde çeşitli büyüklüklerde 242 adet doğalgaz yakıtlı kombine çevrim santrali mevcut olup, 2014 yılında Türkiye elektrik üretiminin yaklaşık olarak %48'i, 2015 yılı sonu itibariyle de elektrik üretiminin yaklaşık olarak %38'i bu santraller tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu santrallerde kullanılan doğalgazın %99'u ithal edilmektedir.

Türkiye için enerji en önemli stratejik konulardan biridir. Her ne kadar doğalgaz yakıtlı kombine çevrim santralleri yatırımcılar için bir fırsat olarak görülse de jeopolitik olarak

hassas bir coğrafyada bulunan Türkiye'nin, %99 dışa bağımlı olduğu bir enerji kaynağı ile elektrik üretiminin hemen hemen yarısını üretmesi stratejik olarak büyük riskleri de beraberinde getirmektedir. Ülkemizin kullandığı doğalgazın %55'ini ithal ettiği Rusya ile yakın zamanda yaşanan hükümetler arası kriz konunun bize ne kadar hassas olduğunu göstermektedir.

Türkiye bugün itibariyle sahip olduğu fosil kaynaklarına ait rezervleri bakımından zengin bir ülke değildir. Fosil kaynaklarımızdan sadece linyit kömürü 14,2 milyar ton rezerv ile dünya linyit rezervlerinin %7,1'i büyüklüğündedir. Diğer fosil kaynaklarımız dünya geneline nazaran yok denecek kadar azdır.

Ülkemiz, sahip olduğu enerji potansiyelini bugünkü koşullara göre faydalanmaya devam etmesi halinde ileride çok büyük bir enerji sorunu ile karşılaşacağı tahmin edilmektedir. Bu sebeple ülkemizin mevcut enerji potansiyeli dikkate alınarak, aşağıdaki önerilerin hayata geçirilmesinin faydalı olacağı değerlendirilmektedir.

Türkiye, birincil enerji arzının yaklaşık %90'ını petrol, doğalgaz ve kömürden karşılamaktadır. Fosil kaynaklara olan bu bağımlılık, yeterli miktarda petrol ve doğalgaz rezervi bulunmayan Türkiye için enerji talebinde dışa bağımlılığa sebep olmaktadır. 2015 yılı sonu itibariyle Türkiye'nin enerjide dışa bağımlılığı %75 düzeyindedir. Bu oran dünya ortalamasının çok üzerinde olup, dışa bağımlılığın mutlak suretle azaltılması hedeflenmelidir.

Enerji yatırımlarında dışa bağımlılığı arttıran fosil yakıtların yerine, mevcut yerli fosil ve yenilenebilir kaynakların azami biçimde değerlendirilmesi sağlanmalıdır. Elektrik üretiminde, kısa ve orta vadede doğalgazın payının %20, yerli kömürün payının %20, hidrolik enerjinin payının %30, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının payının ise Ulusal Enerji Eylem Planı hedeflerine paralel olarak %30 düzeyinde olması hedeflenmelidir. Uzun vadede ise fosil kaynakların payının azaltılarak, elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının arttırılması amaçlanmalıdır.

Türkiye nükleer enerji konusunda son yıllarda önemli adımlar atmış ve 2 adet nükleer enerji santrali kurulum anlaşması imzalamıştır. Rusya ve Japonya ile imzalanan anlaşmalar gereğince Mersin ve Sinop'ta kurulacak zenginleştirilmiş uranyum yakıtlı nükleer santrallerin her biri 4800 MWe kurulu güce ve yaklaşık olarak 20 milyar

Amerikan doları maliyete sahip olacaktır [22]. İnşası planlanan bu santraller, devreye alındıktan sonra enerji arzındaki devamlılığı sağlama endişesini kısa vadede rahatlatılabile zenginleştirilmiş uranyum tesisimiz olmaması sebebiyle uzun vadede ülkemizin enerjideki dışa bağımlılığını devam ettirecektir. MTA tarafından yapılan çalışmalar sonucunda Türkiye’de 9.129 ton görünür uranyum ve 380.000 ton görünür toryum rezervi tespit edilmiştir. Toryuma dayalı nükleer enerji santrallerinin henüz ekonomik boyutta devreye girememeleri nedeniyle de yüksek miktardaki toryum rezervimizi kullanamamaktayız. Fakat Türkiye Atom Enerjisi Kurumu’na bağlı İstanbul Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi’nde doğal uranyumdan yakıt yapılan bir pilot tesis mevcuttur. Ülkemizde doğal uranyum yakıt kullanan bir nükleer enerji santrali inşa edilmek istenirse, yakıtı yerli olarak imal edilebilir. Bilinen görünür uranyum rezervimiz ile dışa bağımlı olmadan 500 MW gücünde en az iki nükleer santralin ekonomik ömrü boyunca işletilmesi mümkündür [50]. Nükleer enerji alanındaki çalışmalar yerli kaynaklarımız da göz önüne alınarak devam etmeli fakat bu çalışmalar yapılırken toplum hassasiyeti ve çevresel etkiler gibi önemli hususlar gözardı edilmeyerek gerekli önlemler alınmalıdır.

Türkiye elektrik üretimi amaçlı kullanılacak önemli kömür rezervlerine sahiptir. 31 Mayıs 2016 itibarıyla yerli kömürlerimizin kurulu güç miktarı 9.842,4 MW’tır ve toplam elektrik üretimindeki payı %13,1’dir. Ülkemizde bu kurulu güç miktarına ilave edilebilecek 20.000 MW’ın üzerinde linyit/asfaltit potansiyeli olduğu bilinmektedir [16]. Fakat yerli kömürün elektrik üretiminde kullanımının artırılması konusunda istenilen mesafe alınamamıştır. Son 14 yıldır yerli kömüre dayalı olarak temeli atılan santral kapasitesi toplam kurulu gücümüzün %1’i düzeyine bile yaklaşmamaktadır. Artan enerji bağımlılığını azaltmak maksadıyla, en fazla rezerv miktarına sahip olduğumuz kaynak olan kömürün, önümüzdeki yıllarda çevresel tedbirler göz önüne alınarak artan şekilde üretime devam edilmelidir. Bu amaçla, kömür üretim faaliyetleri devam etmekte olan sahalarda mevcut proje ve planlamalar güncellenerek geliştirilmelidir. Ayrıca henüz herhangi bir işletme projesi bulunmayan sahalarda işletme proje ve planlamalarının ortaya konulması, havza niteliği taşıyan bölgelerde ise havza madenciliğinin gerektirdiği orta ve uzun dönem planlamaları içeren ana master planlarının hazırlanması uygun olacaktır [16].

Türkiye hidroelektrik enerji potansiyeli bakımından Avrupa'nın sayılı ülkeleri arasında yer almaktadır. Ülkemizin brüt teorik hidroelektrik potansiyeli 433 milyar kWh, teknik hidroelektrik potansiyel ise 216 milyar kWh, ekonomik potansiyeli ise 158 milyar kWh/yıldır. Türkiye'nin teknik yapılabilir hidroelektrik potansiyeli, dünya teorik potansiyelinin %1,5'i, Avrupa potansiyelinin ise %17,6'sıdır [24]. Hidroelektrik enerjinin yerli ve yenilenebilir bir kaynak olması, olumsuz çevresel etkilerinin azlığı, işletme ve bakım masraflarının düşüklüğü nedeniyle bu potansiyel en iyi şekilde değerlendirilmelidir. Fakat, Türkiye bu yüksek teknik potansiyelinin henüz %37,3'ünü gerçekleştirebilmiştir [24]. 2016 yılı başı itibarıyla Türkiye hidroelektrik kurulu gücü 26.232,1 MW saattir ve işletmede olan santral sayısı 562'dir. Mevcut projeler tamamlanması (inşaatı devam eden ve henüz başlanmayanlar dahil) ve ilerde planlanabilecek projelerin gerçekleştirilmesi durumunda, Türkiye'nin mevcut tahmin edilen hidroelektrik ekonomik potansiyelinin çok üzerine çıkması mümkündür. Bu yönde belirlenecek politikalar ile bu hedef gerçekleştirilmelidir.

Türkiye Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planına göre 2023 yılı enerji hedeflerinde 4.718,3 MW'lık mevcut rüzgar enerjisi kurulu gücünün 20.000 MW'a, 650 MW'lık mevcut jeotermal enerji kurulu gücünün 1.000 MW'a, 410 MW'lık mevcut güneş enerjisi kurulu gücümüzüz 5.000 MW'a çıkarılması hedeflenmektedir. Bu hedefler doğrultusunda 2023 yılında elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynak payının %30'a çıkarılması planlanmaktadır [51]. Tüm bu hedefleri gerçekleştirmek üzere gerekli mevzuat değişiklikleri yapılmalı, ayrıca 5, 10, 20 ve 30 yıllık dönemler için eylem planlamaları hazırlanmalıdır. Enerji yatırımlarına yön verecek bu planlamalara, kamu ve özel sektör için uyma zorunluluğu getirilmelidir. Yine, yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretimi için var olan yenilenebilir enerji kaynakları destekleme mekanizması (YEKDEM) iyileştirilmelidir.

Türkiye güneş kuşağı olarak adlandırılan bir bölgede bulunmaktadır. Güneş enerjisi açısından zengin bir ülkedir. ETKB Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğüne hazırlanan, Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, yıllık toplam güneşlenme süresi 2.737 saat (günlük toplam 7,5 saat), yıllık toplam gelen güneş enerjisi 1.527 kWh/m².yıl (günlük toplam 4,2 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir. Türkiye'nin bu yüksek güneş enerjisi potansiyeline rağmen FV güneş enerjisi kurulu gücü 2015 yılında sadece

410 MW civarında olabilmıştır. Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleri ise ülkemizde yok denecek kadar azdır. Yenilenebilir enerji konusunda yapılan teşvikler güneş enerjisi kurulu gücüne olumlu etkisi olsa da yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip Türkiye'nin mevcut kurulu gücü dünya ortalamasına paralel olarak çok düşük seviyelerdedir. Buna sebep olarak yüksek ilk yatırım maliyeti gösterilebilir. Ülkemizin yüksek güneş enerjisi potansiyelinden faydalanabilmesi maksadıyla mevcut yatırım koşulları kolaylaştırılmalı ve gerekirse devlet bu konuda öncülük etmelidir.

Türkiye'nin toplam rüzgar enerjisi potansiyeli, Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA)'ndan alınan verilere dayanılarak karasal alanlar için 37.836 MW, deniz üzeri için 10.013 MW, toplam olarak 47.399 MW olarak hesaplanmıştır [30]. Türkiye'deki rüzgar enerjisi yatırımları her geçen gün artmaktadır fakat hala istenilen seviyelere ulaşamamıştır. Türkiye'nin 2015 yılı sonu itibarıyla rüzgar enerjisi toplam kurulu gücü 4.718,3 MW'dır. Gerekli tedbirler alınarak yüksek rüzgar enerjisi potansiyelimizin tamamını kullanacak şekilde yatırım ortamı sağlanmalıdır.

Türkiye, jeotermal kaynaklar yönünden zengin bir ülkedir. Ülkemizin jeotermal ısı potansiyeli yaklaşık 31.500 MWt, elektrik üretim potansiyeli ise yaklaşık 1500 MWe olarak tahmin edilmektedir ve 1000 civarında doğal çıkış halinde sıcak su ile doğal mineralli su kaynağı bulunmaktadır [34]. Türkiye mevcut jeotermal enerji kurulu gücü 650 MW olup kapasitesinin çok altındadır. Jeotermal potansiyelimizin tamamını kullanacak şekilde tedbirler alınmalıdır.

Sonuç olarak; yakın geçmişte elektrik arzında yaşanan sorunlar, kısa sürede gerçekleştirilebilir yatırımlar olan doğalgaz yakıtlı kombine çevrim enerji santrallerini Türkiye'nin elektrik üretimi amaçlı enerji yatırımlarında ön plana çıkarmıştır. Ülkemiz elektrik üretiminde yüksek oranda bu santrallerden faydalanmaya devam etmesi halinde ileride çok büyük enerji sorunları ile karşılaşacaktır. Orta ve uzun vadede doğalgaz ile üretilen elektriğin toplam tüketilen elektrik içindeki oranı giderek azaltılmalıdır. Bu kapsamda ülkemiz enerji kaynakları rezervlerinin değerlendirilmesine yönelik yukarıda belirtilen önerilerin hayata geçirilmesi Türkiye açısından hayati bir önem arz etmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Kehlhofer, R., Hanneman, F., Stirnimann, F. ve Rukes, B., (2009). Combined-Cycle Gas & Steam Turbine Power Plants, PennWell, 3rd Edition, Tulsa.
- [2] Çetin B., (2005). Çok Amaçlı Enerji Üretim Sistemlerinin Termoekonomik Optimizasyonu, Doktora Tezi, YTÜ, İstanbul.
- [3] Casarosa C., Donatini F., Franco A., (2004). "Thermoeconomic Optimization of Heat Recovery Steam Generators Operating Parameters for Combined Plants", *Energy*, 29:389-414.
- [4] Franco A., Russo A., (2002). "Combined Cycle Plant Efficiency Increase Based on the Optimization of the Heat Recovery Steam Generator Operating Parameters", *International Journal of Thermal Sciences*, 41:843-859.
- [5] Çetin B., Erdem H.H., Sevilgen S.H., Akkaya A.V., (2005). "Parametric Analysis of Combined Cycle System Performance", Second International Conference on Applied Thermodynamic, 18-20 Mayıs 2005, İstanbul.
- [6] Arrieta F.R.P., Lora E.E.S., (2005) "Influence of Ambient Temperature on Combined-Cycle Power-Plant Performance", *Applied Energy*, 80:261-272.
- [7] Çengel, Y. and Boles, M.A., 2002. *Thermodynamics An Engineering Approach*. Mc Graw Hill, 4th Edition, Boston.
- [8] Çetin, B., Erdem H.H., Sevilgen S.H., Gökçek M. ve Akkaya, A. V., (2006). "Gaz Türbinli Kombine Çevrim Sisteminin Termodinamik Optimizasyonu", *Journal of Engineering and Natural Sciences*, 2:50-62.
- [9] Kılıç, M. ve Ünver, Ü., (2005). "Bir Kombine Çevrim Güç Santralinin Termodinamik Analizi", *Mühendis ve Makina*, 46:47-56.
- [10] Karakaş, K., (2002). Doğalgaz ile elektrik enerjisi üretimi ve ekonomik analizi, Yüksek Lisans Tezi, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [11] TEİAŞ, (2015). Türkiye Elektrik Enerjisi 5 Yıllık Üretim Kapasite Projeksiyonu (2015–2019), Ankara.
- [12] Koç, E. ve Şenel, M. C., (2013). "Dünya'da ve Türkiye'de Enerji Durumu-Genel Değerlendirme", *Mühendis ve Makine*, 54 (639):32-44.

- [13] British Petroleum (BP), (2016). BP Statistical Review of World Energy June 2016, 65, Londra.
- [14] British Petroleum (BP), (2015). BP Energy Outlook 2035 February 2015, Londra.
- [15] TPAO, (2016). 2015 Yılı Ham Petrol ve Doğalgaz Sektör Raporu, Ankara.
- [16] Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ), (2015). Kömür [Linyit] Sektör Raporu 2014, Ankara.
- [17] Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Türkiye kömür sahaları ve potansiyel kullanım alanları, <http://www.mta.gov.tr/v2.0/daire-baskanliklari/enerji/index.php?id=haritalar>, 27 Şubat 2016.
- [18] Beşergil,B., Doğalgaz, http://www.bayar.edu.tr/besergil/dogal_gaz.pdf, 27 Şubat 2016.
- [19] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, (2015). Mavi Kitap 2015, Ankara.
- [20] EPDK, (2015). Doğalgaz Piyasası 2014 Yılı Sektör Raporu, Ankara.
- [21] World Nuclear Association, World Nuclear Power Reactors & Uranium Requirements, <http://www.world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/world-nuclear-power-reactors-and-uranium-requireme.aspx>, 11 Haziran 2016.
- [22] Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Nükleer Hammadde: Uranyum, Toryum, <http://www.taek.gov.tr/nukleer-guvenlik/nukleer-enerji-ve-reaktorler/172-nukleer-yakit-cevrimi/472-nuekleer-hammadde-uranyum-toryum.html>, 27 Şubat 2016.
- [23] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, (2016). Dünya ve Ülkemiz Enerji ve Tabii Kaynaklar Genel Görünümü,12, Ankara.
- [24] DSİ, (2016). 2015 Yılı Faaliyet Raporu, Ankara.
- [25] International Hydropower Association, (2016). Hydropower Status Report 2016, Londra.
- [26] Yılmaz, O., (2015). Yenilenebilir Enerjiye Yönelik Teşvikler ve Türkiye, Yüksek Lisans Tezi, ADU Sosyal Bilimler Enstitüsü, Aydın.
- [27] Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi (DEK-TMK), (2009). Dünyada ve Türkiye’de Güneş Enerjisi, 11.
- [28] Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21), (2016). Renewable 2016 Global Status Report, Paris.
- [29] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası, <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>, 27 Şubat 2016.
- [30] Enerji Enstitüsü, Türkiye’nin Yakıt Cinslerine Göre Kurulu Elektrik Gücü, <http://enerjiensitüsü.com/turkiye-kurulu-elektrik-enerji-gucu-mw>, 12 Mayıs 2016.

- [31] Global Wind Energy Council (GWEC), (2016). Global Wind Statistics 2015, Brüksel.
- [32] Otlu, O., (2012). Deniz Üstü Rüzgar Enerji Santrallerinin Teknik ve Ekonomik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [33] Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği, (2015). Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu, Ankara.
- [34] Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Türkiye’de Jeotermal Enerji Potansiyeli, http://www.mta.gov.tr/v2.0/dairebaskanliklari/enerji/index.php?id=jeotermal_potansiyel, 27 Şubat 2016.
- [35] Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Türkiye’de Jeotermal Enerji Potansiyeli, <http://www.mta.gov.tr/v2.0/dairebaskanliklari/enerji/index.php?id=haritalar>, 27 Şubat 2016.
- [36] Karaduman, A., (2016). “Türkiye’de Jeotermal Enerjinin Geçmişi ve Geleceği”, Jeotermal Kaynaklar Sempozyumu, 15 Nisan 2016, Ankara.
- [37] The World Bank, Electric power consumption (kWh per capita), <http://data.worldbank.org>, 09 Mart 2016.
- [38] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, Bülten Mart-Nisan 2015,7, Ankara.
- [39] EPDK, (2015). Elektrik Piyasası 2014 Yılı Gelişim Raporu, Ankara.
- [40] Boyce, M.P., (2012). Handbook for Cogeneration and Combined Cycle Power Plants, Woodhead Publishing, New York.
- [41] Karagöz, F., (2011). Kombine Çevrimli Bir Güç Santralının Enerji ve Ekserji Analizinin Yapılması, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- [42] Rufi, Ö., (2011). Kombine Çevrimli Santrallerinde Performans İzleme Yöntemleri, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [43] Elektrikport, Elektrik Üretimindeki Önemli Aktör: Jeneratörler, <http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/elektrik-uretimindeki-onemli-aktor-jeneratorler/8002#ad-image-0>, 02 Mart 2016.
- [44] Siemens, 2014. Siemens Environmental Portfolio Elements, Münih.
- [45] Koç, E. ve Şenel, M. C., (2013). “Enerji Üretim Santralleri Maliyet Analizi”, Mühendis ve Makina, 56 (660) : 61-68.
- [46] Enerji Enstitüsü, 2015’te Türkiye, Yunanistan’a 2,6 milyon megavatsaatlik elektrik ihraç etti, <http://enerjienstitusu.com/2016/02/26/2015te-turkiye-yunanistana-26-milyon-megavatsaatlik-elektrik-ihrac-etti/>, 02 Nisan 2016.
- [47] TEİAŞ, (2015). Türkiye Elektrik Enerjisi Yakıt Cinslerine Göre Kurulu Güç, <http://www.teias.gov.tr>, Ankara.
- [48] Enerji Atlası, Doğalgaz Yakıtlı Santral Listesi, <http://www.enerjiatlası.com/dogalgaz>, 02 Mart 2016.

- [49] TEİAŞ, Elektrik Üretiminde Doğalgaz, <http://www.teias.gov.tr/Default.aspx>, 01 Nisan 2016.
- [50] YEŞİN, O., Türkiye’de Nükleer Santral Kurulmamakla Nükleer Radyasyon Riskinden Kurtulmuş Olmuyoruz, <http://www.aso.org.tr/kurumsal/media/kaynak/TUR/asomedyat/temmuz2004/forumtemmuz2004.html>, 17 Mayıs 2016.
- [51] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Türkiye Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı, http://www.eie.gov.tr/duyurular_haberler/document/Turkiye_Ulusal_Yenilenebilir_Enerji_Eylem_Plani.PDF , 27 Şubat 2016.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mehmet GÜNASLAN
Doğum Tarihi ve Yeri : 30.06.1986, Osmaniye
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : gunaslanmehmet@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2016
Lisans	Makine Mühendisliği	Deniz Harp Okulu	2008
Lise	Sayısal-Fen	Deniz Lisesi	2004

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2008-	Deniz Kuvvetleri Komutanlığı	Subay

YAYINLARI

Bildiri

1. GÜNASLAN, M & BEKDEMİR, Ş. (2015). "Combined Cycle Power Plant and Turkey Applications", International Conference on Energy Systems (ICES 2015), 23-25 Aralık 2015, İstanbul.