

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MALİYETLERİNE GÖRE 100 YILLIK ENERJİ ÜRETİMİ MODELLEMESİ
VE HİDROELEKTRİK ENERJİNİN ROLÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İbrahim ÜST

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Programı

EKİM 2018

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MALİYETLERİNE GÖRE 100 YILLIK ENERJİ ÜRETİMİ MODELLEMESİ
VE HİDROELEKTRİK ENERJİNİN ROLÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İbrahim ÜST
(501131513)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı Dr. Öğr. Üyesi Ali UYUMAZ

EKİM 2018

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501131513 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi İbrahim ÜST, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “MALİYETLERİNE GÖRE 100 YILLIK ENERJİ ÜRETİMİ MODELLEMESİ VE HİDROELEKTRİK ENERJİNİN ROLÜ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Dr. Öğr. Üyesi Ali UYUMAZ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Necati AĞIRALIOĞLU**
Antalya Bilim Üniversitesi

Tez Danışmanı : **Dr. Öğr. Üyesi Necati Erdem ÜNAL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 5 Eylül 2018
Savunma Tarihi : 8 Ekim 2018





Anneme...



ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında dünyada toplumsal maliyetlerine göre 100 yıllık enerji üretimi modellemesi ve hidroelektrik enerjinin rolü incelenmek istenmiştir.

Öncelikle tez çalışmamın tamamlanmasında büyük gayreti ve katkısı bulunan değerli tez danışmanım Dr. Ali UYUMAZ hocama en içten teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek Lisans eğitimine devam konusunda anlayış gösteren müdürlerim Ediz KIZILTEPE ve Mehmet Tufan KÖREZ'e teşekkür ederim.

Bana her zaman sınırsız manevi güç kaynağı olan aileme minnettarım.

EKİM 2018

İbrahim ÜST
(İnşaat Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	vii
TABLO LİSTESİ	xiii
MALİYETLERİNE GÖRE 100 YILLIK ENERJİ ÜRETİMİ MODELLEMESİ VE HİDROELEKTRİK ENERJİNİN ROLÜ	xv
ÖZET	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Literatür Araştırması	2
2. DÜNYADA GENEL ENERJİ GÖRÜNÜMÜ	5
2.2 OECD ve BRICS Ülkeleri Hakkında Genel Bilgiler	8
2.3 Enerji Yoğunluğu ve Bağımsızlığı	8
3. ENERJİ KAYNAKLARI	11
3.1 Rüzgar Enerjisi	11
3.1.1 Bıçak Boyutları ve Kullanım Amaçları	11
3.1.2 Toprak Üstü ve Açık Deniz Konumlu Santraller	12
3.1.3 Toprak Üstü Santraller	12
3.1.4 Açık Deniz Santralleri	13
3.1.5 Rüzgar Santrallerinin Avantajları	14
3.1.6 Rüzgar Santrallerinin Dezavantajları	15
3.2 Güneş Enerjisi	15
3.2.1 Fotovoltaik Güneş Enerjisi Teknolojisi	16
3.2.2 Konsantre Güneş Enerjisi Çiftliği	16
3.2.3 Güneş Enerjisi Santralleri Avantajları	17
3.2.4 Güneş Enerjisi Santralleri Dezavantajları	18
3.3 Biyokütle Enerjisi	19
3.3.1 Biyokütle Enerjisi Avantajları	20
3.3.2 Biyokütle Enerjisi Dezavantajları	21
3.4 Nükleer Enerji	21
3.4.1 Nükleer Enerjisi Avantajları	24
3.4.2 Nükleer Enerjisi Dezavantajları	24
3.5 Doğal Gaz Çevrim Santralleri	25
3.5.1 Doğal Gaz Çevrim Santralleri Avantajları	27
3.5.2 Doğal Gaz Çevrim Santralleri Dezavantajları	27
3.6 Kömür ve Linyit Yakıtlı Termik Santraller	28
3.6.1 Kömür Yakıtlı Enerji Santrallerinin Avantajları	30
3.6.2 Kömür Yakıtlı Enerji Santrellerinin Dezavantajları	30
3.7 Hidroelektrik Santraller	30
3.7.1 Nehir Tipi Hidroelektrik Santraller	43

3.7.2	Hidroelektrik Santrallerin Avantajları	44
3.7.3	Hidroelektrik Santrallerin Dezavantajları	44
3.8	Hidrojen Enerjisi	45
3.8.1	Hidrojen Enerjisinin Avantajları	47
3.8.2	Hidrojen Enerjisinin Dezavantajları.....	47
3.9	Gelgit Enerjisi	48
3.9.1	Gelgit Enerjisinin Avantajları	50
3.9.2	Gelgit Enerjisinin Dezavantajları.....	50
3.10	Dalga Enerjisi.....	50
3.10.1	Kıyıya yakın uygulamalar	51
3.10.2	Açık Deniz Uygulamaları.....	52
3.10.3	Dalga Enerjisinin Avantajları.....	53
3.10.4	Dalga Enerjisinin Dezavantajları	54
4.	KARBON YAKALAMA VE DEPOLAMA İLE ENERJİ ÜRETİMİ TEKNOLOJİSİ.....	55
4.1	Karbon Yakalama	56
4.2	Karbon Depolama	58
4.3	Karbon Taşıma.....	60
5.	DÜNYA ÇAPINDA ENERJİ DÖNÜŞÜMÜ - 100 YILLIK ENERJİ MODELLEMESİ (GET – GLOBAL ENERGY TRANSITION) ..	65
5.1	GAMS Programı	65
5.2	Enerji Kaynakları ve Potansiyelleri	66
5.2.1	Petrol kaynakları ve verileri	66
5.2.2	Doğalgaz kaynakları ve verileri	69
5.2.3	Hidroelektrik enerji potansiyeli	70
5.2.4	Kömürle enerji üretimi potansiyeli	71
5.2.5	Rüzgar enerjisi potansiyeli.....	72
5.2.6	Güneş enerjisi potansiyeli	74
5.2.7	GET enerji kaynakları ve potansiyel verileri	76
5.3	Güncellenmiş Projelerin Birim Maliyet Verileri kW/USD.....	79
5.4	Kapasite Faktörü	80
5.5	Ekonomik Yaşam Ömrü	81
5.6	2100 yılına kadar modellemeler.....	81
6.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	85
	KAYNAKLAR.....	89
	EKLER	93
	ÖZGEÇMİŞ.....	102

KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
AC	: Alternating Current
BGR	: BGR Energy
BP	: British Petrol
BRICs	: Brezilya Rusya Hindistan Çin
CCS	: Carbon Capture and Storage
CSP	: Consantrate Solar Power
DB	: Dünya Bankası
DC	: Direct Current
DOE	: Depertment of Energy
EJ	: Egza Joule
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
EU	: European Union
EWG	: Energy Watch Group
GW	: GigaWatt
GWh	: GigaWatt Hour
IEA	: International Energy Agency
kW	: KiloWatt
kWh	: KiloWatt Hour
MW	: MegaWatt
MWh	: MegaWatt Hour
Mtep	: Milyon Ton Eşdeđer Petrol
OECD	: The Organisation for Economic Co-operation and Development
OGJ	: Oil and Gas Journal
PV	: Photovoltaic
RoR	: Run of River
TEP	: Ton Eşdeđer Petrol
TWh	: TeraWatt Hour
UEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
USGS	: U.S. Geological Survey



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Enerji kaynakları sınıflandırması (F.Karık, 2017).....	2
Şekil 2.1 : Dünya toplam enerji üretimi (Mtep) (ETKB, 2016).....	5
Şekil 2.2 : Dünya birincil enerji tüketiminin kaynaklara göre gelişimi (Mtep).....	6
Şekil 2.3 : 2040 yılı için öngörülen birincil enerji akışı (BP, 2016).....	6
Şekil 2.4 : Yapılacak enerji yatırımlarının sektörlere göre dağılımları.....	8
Şekil 3.1 : Küçük Boyutlu Rüzgar Türbini.	11
Şekil 3.2 : Açık deniz (offshore) rüzgar santralleri.....	12
Şekil 3.3 : Soma Rüzgar Santrali.	13
Şekil 3.4 : London Array Rüzgar Enerjisi Çiftliği.....	14
Şekil 3.5 : Rüzgar Enerjisi Sembol.	15
Şekil 3.6 : Fotovoltaik Güneş Enerjisi Teknolojisi.	16
Şekil 3.7 : Konsatre Güneş Enerjisi Çiftliği.....	16
Şekil 3.8 : Solar Star Güneş Enerjisi Santrali, California.	17
Şekil 3.9 : Güneş Enerjisi Sembol.....	18
Şekil 3.10 : Şehirler İçin Biyokütle Enerjisi Dönüşümü.....	19
Şekil 3.11 : Götteborg Biyokütle Enerji Santrali.	20
Şekil 3.12 Biyokütle Enerjisi Sembol.	21
Şekil 3.13 : Fizyon Görseli.	22
Şekil 3.14 : Füzyon Görseli.....	22
Şekil 3.15 : Vermont Yankee Nükleer Enerji Santrali.....	23
Şekil 3.16 : Akkuyu Nükleer Santrali (İnşaat Halinde).	24
Şekil 3.17 : Nükleer Enerji Sembol.....	25
Şekil 3.18 : Gaz Türbini Parçaları.....	25
Şekil 3.19 : Surgut-2 Rusya.	26
Şekil 3.20 : Enka Doğal Gaz Çevrim Santrali (Gebze).....	27
Şekil 3.21 : Doğal gaz enerjisi sembol.....	27
Şekil 3.22 : Termik santralin elektrik enerjisi çevrimi.....	28
Şekil 3.23 : Yatağan termik santrali.	29
Şekil 3.24 : Tuoketuo Enerji Santrali (Çin).	29
Şekil 3.25 : Hazeli bir barajın elektrik enerjisi oluşturma şeması.....	31
Şekil 3.26 : Deriner Barajı Artvin (URL-8).....	32
Şekil 3.27 : Three Gorges Barajı (Çin) (URL-9).	32
Şekil 3.28 : Caruachi Barajı (Venezuela).....	33
Şekil 3.29 : Itaipu Barajı (Brezilya - Paraguay).....	33
Şekil 3.30 : Xiluodu Barajı (Çin).	34
Şekil 3.31 : Xiangjiaba Barajı (Çin).....	35
Şekil 3.32 : Jirau Barajı (Brezilya).....	35
Şekil 3.33 : Santo Antonio Barajı (Brezilya).	36
Şekil 3.34 : Ertan Barajı (Çin).....	36
Şekil 3.35 : Boguchany Barajı (Rusya).....	37
Şekil 3.36 : WAC Bennet Barajı (Kanada).	37

Şekil 3.37 : Iron Gate 1 Barajı (Sırbistan Romanya).	38
Şekil 3.38 : Aswan Barajı (Nil / Mısır).	38
Şekil 3.39 : Atatürk Barajı (Fırat - Türkiye).	39
Şekil 3.40 : Karakaya Barajı (Fırat - Türkiye).	40
Şekil 3.41 : Hasan Uğurlu Barajı (Yeşilirmak - Türkiye).	40
Şekil 3.42 : Borçka Barajı (Çoruh - Türkiye).	41
Şekil 3.43 : Alkumru Barajı (Botan - Türkiye).	41
Şekil 3.44 : Akköy 2 (Harşit - Türkiye).	42
Şekil 3.45 : Kavşak Bendi (Göksu - Türkiye).	42
Şekil 3.46 : Alparslan 1 Barajı (Murat - Türkiye).	43
Şekil 3.47 : Ghazi-Barotha Nehir tipi hidroelektrik santrali.	44
Şekil 3.48 : Hidroelektirik enerji sembol.	45
Şekil 3.49 : Hidrojen ile enerji üreten tesisin aşamaları.	46
Şekil 3.50 : Heca santrali enerji çevrimi.	47
Şekil 3.51 : Gelgit enerjisi teknolojileri.	49
Şekil 3.52 : Gelgit enerjisi için kullanılan türbinin boy kesit görünümü.	49
Şekil 3.53 Sihwa Gelgit Güç Santrali (Güney Kore) (2011).	49
Şekil 3.54 : Dalga enerjisi tipleri.	51
Şekil 3.55 : İslay Dalga enerji üreten santralin dış görünümü (İskoçya).	52
Şekil 3.56 : Pelamis (Orkney, İskoçya).	53
Şekil 4.1 : Karbon yakalama ve toplama tesisi çalışma şeması.	56
Şekil 4.2 : Pulvarize yakma sistemine sahip santrallerde amine bazlı karbon yakalama sistemi şematik görüntüsü (M. Özçelik, 2015).	57
Şekil 4.3 : Pulvarize yakma sistemine sahip santrallerde oksijen yakıt kullanımlı karbon yakalama sistemi şematik görünümü (M. Özçelik, 2015).	57
Şekil 4.4 : Gazlaştırma sistemine sahip santrallerde karbon yakalama sistemi.	58
Şekil 4.5 : Okyanus yoluyla karbon depolama.	61
Şekil 4.6 : Technology Centre Mongstad TCM , Norway.	62
Şekil 4.7 : Dünya karbon yakalama ve depolama tesisleri haritası.	62
Şekil 5.1 : Kaynak tanımlama tablosu.	67
Şekil 5.2 : Dünyada hidroelektrik enerji üretim haritası.	70
Şekil 5.3 : Dünya rüzgar enerjisi potansiyeli.	72
Şekil 5.4 : Dünya güneş enerjisi potansiyeli haritası.	75
Şekil 5.5 : 100 yıllık enerji modeli 1 (gerçek senaryo).	81
Şekil 5.6 : 100 yıllık enerji modeli 2.	82
Şekil 5.7 : 100 yıllık enerji modeli 3.	82
Şekil 5.8 : 100 yıllık enerji modeli 4.	83
Şekil 5.9 : 100 yıllık enerji modeli 5.	83
Şekil 5.10 : 100 yıllık enerji modeli 6.	84
Şekil 5.11 : 100 yıllık enerji modeli 7.	84
Şekil 6.1 : 100 yıllık enerji modeli 1 (gerçek senaryo).	85

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Dünya ülkelerinin 2015 yılı birincil enerji tüketim değerleri.	7
Çizelge 5.1 : Kıyaslamalı petrol rezervleri.	67
Çizelge 5.2 : Kıyaslamalı petrol rezervleri.	68
Çizelge 5.3 : Sürdürülebilir gaz üretimi rezervleri ve kaynakları.	69
Çizelge 5.4 : Hidroelektrik enerji potansiyeli.	70
Çizelge 5.5 : Kömürle enerji üretimi potansiyeli.	71
Çizelge 5.6 : Yüksekliğine göre rüzgar enerjisi potansiyeli.	72
Çizelge 5.7 : Rüzgar enerjisi teknik ve uygulanabilir potansiyel.	73
Çizelge 5.8 : Fotovoltaik PV için güneş enerjisi potansiyeli.	74
Çizelge 5.9 : Güncellenen ve yeni eklenen enerji kaynakları.	78
Çizelge 5.10 : Güncellenmiş ortalama proje birim maliyet verileri USD/kW.	79
Çizelge 5.11 : Güncellenmiş kapasite faktörü verileri.	80
Çizelge 5.12 : Güncellenmiş ekonomik ömür verileri.	81
Çizelge 6.1 : 2040 yılı enerji üretimi dağılımı.	86
Çizelge 6.2 : 2070 yılı enerji üretimi dağılımı.	86
Çizelge 6.3 : 2100 yılı enerji üretimi dağılımı.	87



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 4.1 Başlıca taşımacılık opsiyonları ve maliyetleri.	60
Tablo 5.1 : Güncellenen enerji kaynakları ve potansiyel verileri.	76





MALİYETLERİNE GÖRE 100 YILLIK ENERJİ ÜRETİMİ MODELLEMESİ VE HİDROELEKTRİK ENERJİNİN ROLÜ

ÖZET

20. yüzyılın sonunda dünya yedi milyar nüfusa sahipken 21. Yüzyıl ortalarında nüfus dokuz milyar seviyelerine çıkacaktır. Enerji talebi dünya nüfusu ile birlikte artmaktadır. Ekonomik, sosyal ve çevresel etkilere sahip olan konvansiyonel enerji Enerji talebi dünya nüfusu ile birlikte artmaktadır. Ekonomik, sosyal ve çevresel etkilere sahip olan konvansiyonel enerji kaynakları sınırlı olduğundan uluslar ve uluslararası organizasyonlar bu kaynakları birçok faktörü göz önünde bulundurarak yönetmek için çaba sarf etmektedirler.

Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü'nün bir üyesi ve Avrupa Birliği'ne aday bir ülke olarak Türkiye, her yıl nüfusu ve ekonomisi ile hızlı şekilde büyüyen bir ülkedir ve dolayısıyla bu duruma uygun olarak ülkenin enerjiye olan talebi de artmaktadır. Kaynakları sınırlı olduğundan uluslar ve uluslararası organizasyonlar bu kaynakları birçok faktörü göz önünde bulundurarak yönetmek için çaba sarf etmektedirler. Türkiye, her yıl nüfusu ve ekonomisi ile hızlı şekilde büyüyen bir ülkedir ve dolayısıyla bu duruma uygun olarak ülkenin enerjiye olan talebi de artmaktadır. Talebi karşılamak için ülke politikalarına göre enerji konjonktüründe var olan enerji kaynakları geliştirilmesi hedeflenmiş ve gelişen teknoloji ile yenilenebilir enerji kaynaklarından özellikle rüzgar türbinlerine ve hidroelektrik santrallere yapılan yatırımlar arttırılmıştır. Bunun yanı sıra ülkemizde nükleer enerji yatırımları devam ederek ülkemizin artan taleplerinin karşılanması için adımlar atılmaktadır.

Araştırmanın üçüncü bölümünde bahsedilen enerji kaynaklarının içerisinde yaygın kullanılan ve kullanılacak olan enerji kaynakları seçilerek devam edilmiştir. Bu kaynakların lokal çözümler göz ardı edilmeksizin kullanılması gerektiği araştırmanın içerisinde üzerine durulmuştur.

Tezin dördüncü bölümünde var olan karbon yakalama ve depolama teknolojisine değinilmiş ve çevresel etmenler düşünüldüğünde verimli olan bu teknolojinin neden kullanılmadığının ve ya kullanımının düşürülmeye başlanması üzerinde durulmuştur.

Tezin son bölümlerinde ise kullanılan modelleme programı ile sonuçlar alınmıştır. Alınan bu sonuçlar dünyanın enerji tüketimini karşılayabilme adına üretimin evrilmesini göstermektedir. Sonuçlarda kullanılan teknolojinin gelişim faktörü sınırsız enerji kaynaklarına yönelimi arttırmaktadır ve bu yenilenebilir enerji kaynakları için yatırımların arttırılmasının ülkemiz ve dünya için ne kadar önemli olduğu belirtilmiştir.



ENERGY PRODUCTION MODELING AND THE ROLE OF HYDROELECTRIC ENERGY BY 100 YEARS OF COSTS

SUMMARY

By the end of the 20th century, the world had a population of 7 billion and in the mid-21st century, the population would reach 9 billion. Energy demand is increasing with the world population. Conventional energy with economic, social and environmental impacts Energy demand is increasing with the world population. Since conventional energy resources with economic, social and environmental impacts are limited, nations and international organizations strive to manage these resources by considering many factors.

Economic Development and Cooperation Organization as a candidate country and a member of the European Union, Turkey is rapidly growing country with a population and economy every year and therefore the demand for energy in the country in accordance with this condition is increasing. Since their resources are limited, nations and international organizations are making efforts to manage these resources by considering many factors.

Turkey is a country with a rapidly growing population and economy every year. For our country over the last two decades, global electricity production has more than doubled and electricity demand is rising rapidly around the world as economic development spreads to emerging economies. Not only has electricity demand increased significantly, it is the fastest growing end-use of energy. Therefore, technical, economic and environmental benefits of hydroelectric power make it an important contributor to the future world energy mix, particularly in the developing countries. On the other hand, the hydropower industry is closely linked to both water management and renewable energy production, and so has a unique role to play in contributing to sustainable development in a world where billions of people lack access to safe drinking water and adequate energy supplies. In addition to, approximately 1.6 billion people have no access to electricity and about 1.1 billion are without adequate water supply in the world. However, resources for hydropower development are widely spread around the world. Potential exists in about 150 countries, and about 70% of the economically feasible potential remains to be developed-mostly in developing countries where the needs are most urgent. In order to meet the demand, energy resources in the energy conjuncture have been targeted to be developed according to the country policies, and investments in renewable energy sources, especially wind turbines and hydroelectric power plants have been increased with the developing technology. In addition, nuclear energy investments in our country are continuing and steps are taken to meet the increasing demands of our country.

In the third part of the research, energy sources which are commonly used and will be used in the energy sources mentioned, were selected and continued. It is emphasized that these sources need to be used without ignoring local analyzes.

In the fourth part of the study, the existing carbon capture and storage technology is mentioned and the environmental factors are considered and it is emphasized that the efficient use of this technology is not possible and the usage of it is started to be reduced. CO₂ emissions from biomass conversion processes can also be captured. If that is done, biomass energy with CO₂ capture and storage would become a technology that removes CO₂ from the atmosphere and at the same time deliver CO₂-neutral energy carriers (heat, electricity or hydrogen) to society. Carbon capture and storage technologies remove carbon dioxide from flue gases for storage in geologic formations or the ocean. In recent years, Carbon Capture and Storage has been proposed as a potential method to allow the continued use of fossil-fuelled power stations whilst preventing emissions of CO₂ from reaching the atmosphere. Gas, coal and biomass fired power stations can respond to changes in demand more readily than many other sources of electricity production, hence the importance of retaining them as an option in the energy mix. We review the leading CO₂ capture technologies, available in the short and long term, and their technological maturity, before discussing CO₂ transport and storage. Current pilot plants and demonstrations are highlighted, as is the importance of optimising the CCS system as a whole. Other topics briefly discussed include the viability of both the capture of CO₂ from the air and CO₂ reutilisation as climate change mitigation strategies. Finally, we discuss the economic and legal aspects of CCS.

In the last part of the thesis, the results were obtained by using the modeling program. These results show the evolution of production in order to meet the energy consumption of the world.

Resources need first to be identified and delineated before the technical and economic feasibility of their extraction can be determined. However, having identified resources in the ground does not guarantee its prerequisite technical producibility or its economic viability in the market place. The viability is determined by demand for a resource, the technology capability, economic performance and environmental limitations and the price it can obtain.

The capacity factor of the natural gas combined-cycle fleet has risen steadily from an average of 35% the recent past to more than 75% at present days. Although there is a wide variation of capacity factors for natural gas combined cycle power plants, many of these units operated in the 50%-85% range in these days. Contrary to this coal combined cycle plants energy production will end in the near future.

Nuclear energy plant capacity factor is highest than the other energy production methods. nuclear energy plant capacity factor is highest than the other energy production methods. some growing country are install nuclear plant but on the other side other countries whose has strong economy will shut down all nuclear power plants they have. In recent years with its dangerous examples of nuclear disaster and the high potential of renewable sources, their high technologies for the rise capacity factor are main reasons of this conversion.

For the renewable energy production potential what gigantic annual energy flows are of theoretical value and the amounts that can be utilized technically and economically are significantly lower.

Renewables, except for biomass, convert resource flows directly into electricity or heat. Their technical potentials are thus a direct function of the performance characteristics of their respective conversion technologies as well as of factors such as geographic location and orientation, terrain, supply density, distance to markets or

availability of land and water, while the economic potentials of renewables depend on their competitiveness within a specific local market setting.

In the results, the development factor of technology increases the tendency towards unlimited energy sources and it is stated that increasing the investments for these renewable energy resources is important for our country and the world.





1. GİRİŞ

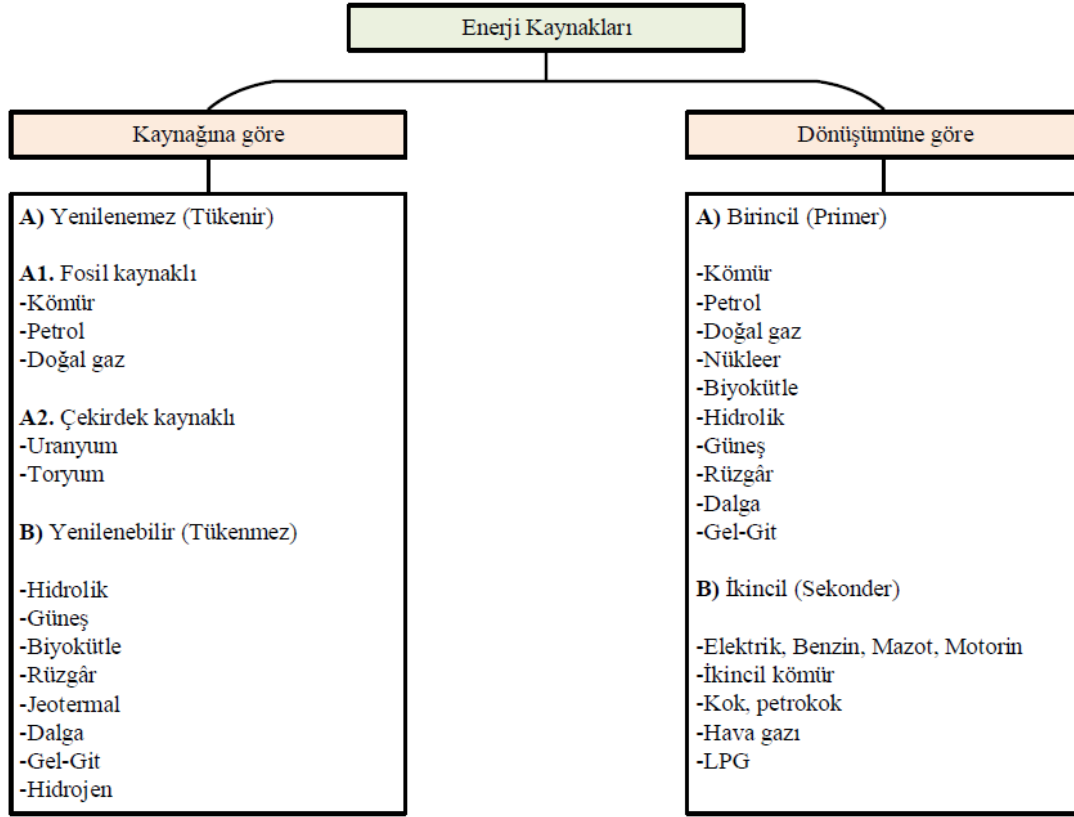
Modern yaşam elektrik tüketimi için hayati önem taşımaktadır. Elektrik gücü aydınlatmada ve yaşam alanımızda hayatımıza tesir etmektedir. Ayrıca birçok endüstri sürecine kaynak sağlamaktadır. Trenlere güç vermek ve elektrikli araçları şarj etmek için kullanılır. Küresel olarak, yeni büyük ekonomiler geliştikçe elektrik kullanımı hızla artmaktadır. Yenilenebilir kaynaklar, şu anda dünyadaki elektriğin nispeten küçük bir payını oluşturmaktadır. Yenilenebilir enerji teknolojileri, ülkelerin elektrik erişimini genişletmek ve gelişmeyi desteklemek için politika hedeflerini güvenli, güvenilir ve uygun fiyatlı enerji ile karşılamalarına yardımcı olabilmektedir.

Hidroelektrik santraller, büyük barajların arkasındaki geniş rezervuarlarda su depolayarak elektrik üretmektedirler. Barajlardan gelen su, elektrik üretmek için türbinlerden geçer ve daha sonra barajı besleyen nehirlerden akmaya devam etmektedir. Hidroelektrik santraller çok miktarda elektrik üretebilmektedir. Ancak, kurak dönemler rezervuarları boşaltabilmektedir. Barajların arkasındaki barajların taşması ve barajın altındaki nehrin akışının yavaşlatılması (can suyu verilmemesi) baraj çevresindeki ekoloji üzerinde ciddi bir etkiye neden olmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları her ne kadar temiz enerji kaynağı olsalarda, her coğrafi şarta uygun değildir ve sınırlı elverişli ortamdolduğundan sınırlı sayıda kullanılabilirler.

Bir diğer tür enerji üretim kaynağı fosil yakıtlardan elde edilen elektrik enerjisidir. Bu tür fosil kaynaklı enerji santralleri, elektrik üreten büyük türbinleri buhar ile tetikleyerek enerji üretmektedir. Enerji üretmek için kömür, petrol veya gaz gibi karbon yakıtlar yakılmaktadır. Fosil bitkiler uzun süre elektrik üretebilir. Ancak, karbon bileşimli yakıtları yakarak, iklim değişikliğine ve diğer kirleticilere neden olan büyük miktarlarda karbondioksit ve bileşenleri açığa çıkmaktadır.

Güneş, rüzgar ve hidroelektrik santraller gibi yenilenebilir kaynaklar, sera gazı emisyonu olmayan elektrik üretme kaynaklarıdır. Birçok yenilenebilir enerji kaynağından elektrik üretiminin maliyeti, diğer üretim biçimlerinden daha maliyetlidirler. Çoğu yenilenebilir enerjiden elektrik üretimi potansiyeli tam tahmin

edilemez yani öngörülemez ve süreklilik arz edemediği durumlar yaşanmaktadır. Şekil 1.1’de enerji kaynaklarının detaylı ayrımı görülmektedir.



Şekil 1.1 : Enerji kaynakları sınıflandırması (F.Karık, 2017).

1.1 Literatür Araştırması

Dünya Enerji Konseyi (2017) çalışmasında Yeni Politikalar Senaryosu'nda, geçtiğimiz yirmi beş yıl ile karşılaştırıldığında, dünyanın artan enerji ihtiyacının karşılanma biçimi çarpıcı bir şekilde değişiklik göstermekte ve doğalgaz, hızla yükselen yenilenebilir enerji kaynakları ve enerji verimliliğinin etkisi ile lider pozisyona geçmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları santrallerine yatırımlar, birçok ülkede en düşük maliyetli seçenek haline gelerek, küresel yatırımın üçte ikisini kendisine çekecektir. Aynı çalışmada iletilen enerjideki kayıplara vurgu yapılmış ve Elektrik şebekeleri, güç sistemi ihtiyaçlarına en uygun üretim teknolojileri karışımına yeterli yatırım sağlanması önümüzde aşılması gereken politik bir engel teşkil ettiği üzerinde önemle durulmaktadır. Dünya Enerji Konseyi'nin Dünya Enerji Görünümü (UEA 2017) Sürdürülebilir Kalkınma Senaryosu kısmında düşük karbon kaynakları, enerji karışımındaki paylarını 2040 yılında 40%'a çıkarmakta; verimliliği artırmak için her

türlü yol takip edilmekte, kömür talebi anında düşüğe geçmekte ve petrol tüketimi en kısa sürede zirve noktasına çıkacağı yazılmaktadır. Enerji üretimi 2040 yılına kadar yenilenebilir kaynaklardan (60%'ın üzerinde), nükleerden %15 ve karbon tutma ve depolamadan %6 mertebesinde enerji üretimi olacağı varsayılmaktadır. Sanayi sektörü emisyonlarının azaltılması için son derece önemli bir teknolojidir ve karbon tutma ve depolamadan (CCS) üretilen enerji için teknolojik yatırımların artması hedeflenmiştir. Fiyatlandırma ve politik görüşün yerinde ve doğru gerçekleştirilmesi, fosil yakıtların israfını teşvik eden sübvansiyonların kaldırılmasını içerecektir (2016'da tahmini 260 milyar dolar bu rakam, yenilenebilir enerjilere sağlanan sübvansiyonların neredeyse iki katı kadardır).

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yayınlanan Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı Kapsamında, 2023 yılına kadar Türkiye'nin Birincil enerji tüketiminin 218 milyon ton eş değer petrol seviyesine yükseleceği bildirilmektedir. Bu bağlamda alternatif enerji kaynaklarına yönelmenin yanında enerji verimliliğinin sağlanması da Türkiye ekonomisi açısından faydalı olacaktır. Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı (2014) ile verilen bilgilerde Türkiye 2023 hedeflerinde yatırımlarının yenilenebilir enerji kapsamında çok yüksek noktalara ulaşacağı ifade edilmektedir. Hidroelektrik ve Rüzgar enerjisi bu üretimlerde başı çekecektir. 2014 yılında Rüzgar enerjisi santralleri kurulu gücü 3.762 MW iken 2023 hedefi 20.000 MW'a kadar çıkmaktadır. Enerji üretiminde ise 2014 yılında 8250 GWh seviyesinden 50.000 GWh üretime dönüşmesi hedeflenmektedir. Hidroelektrik santraller için ise kurulu güç 2014 yılında 23.363 MW seviyesinden 2023 yılında 34.000 MW seviyelerine çıkması beklenmektedir. Hidroelektrik santrallerden enerji üretimi ise 2014 yılında 40.465 GWh seviyesinden 91.800 GWh seviyelerine çıkması hedeflenmektedir (Türkiye Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı, 2014). Veriler ışığında Hidroelektrik santrallerden üretilen enerjinin verimliliğinin de en üst seviyelere çekilmesi gerekliliği ve hedefleri gözükmektedir.

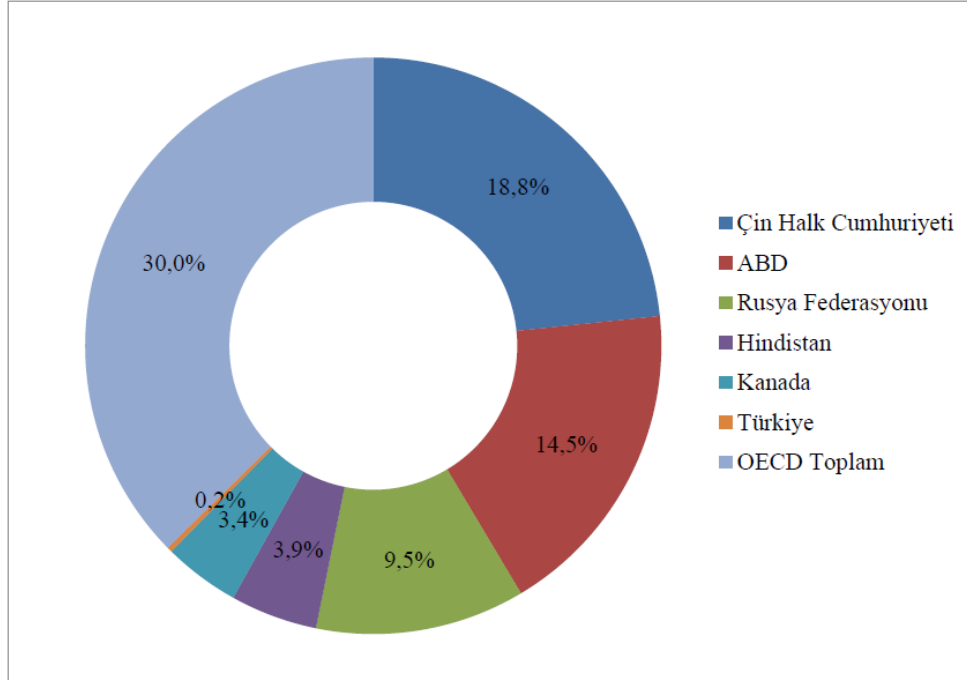
Ev ve iş yerlerinde kurulan mikro ve ya küçük rötar çaplı rüzgar gülü, su ısıtmak ve ya elektrik üretebilmek için kurulan güneş enerjisi panelleri gibi yerel çözüm arayışında olmak enerji ihtiyacının arttığı anlamına gelmektedir. Bu yönde çalışmalar yapan (Eirgrid Tomorrow's Energy Scenarios, 2017) raporuna göre 2030 yılına kadar üretilen enerji gerçinimi %53 seviyelerine kadar artacağı yönündedir.

Enerji üretimi ve tüketimi ile senaryolar çoğu kaynakta verilmektedir. Marcus STEWART 2017 yılında yaptığı çalışmada bu senaryoları 4 farklı şekilde ele alınabileceğini vurgulamıştır. İlk olarak “İki Derece” en yüksek refah seviyesine sahip ülkelerin uygulayacağı senaryodur. Artan yatırım, yüksek seviyelerde düşük karbonlu enerjinin sağlanmasını hedef alır. Tüketiciler bilinçli seçimleri daha çevreci hale getirmekte ve bunu desteklemek için teknolojiyi kullanabilmektedirler. Son derece etkili bu politika refah seviyesi yüksek ülkelerin tercih ettiği senaryodur. İkinci ele alınabilecek senaryo ise “Yavaş İlerleme” senaryosudur, küçük ölçekli ekonomik büyüme ve satın alınabilirlik, daha yeşil olma ve karbon emisyonlarını azaltma arzusu ile rekabet eder. Sınırlı parayla, odak maliyet etkin uzun vadeli çevre politikaları üzerindedir. Üçüncü senaryo ise ticari anlamı ile “durağan hal” senaryosudur. Tüketiciler için düşük maliyetle enerji tedarik etmek odak noktasıdır. Bu senaryoların en az zengin ve en az yeşil olanıdır. Son senaryo ise bilinçsiz tüketicinin israf politikası ile ilgilidir ve kaynakları tüketmek yönünde son derece tehlikelidir. İsim olarak “Tüketici Gücü” denilebilir. Senaryo içerisinde yüksek ekonomik büyüme ve harcanabilecek daha fazla para vardır. Tüketicilerin çevre dostu olma eğilimi azdır. Piyasa kaynaklı yatırımlar, harcamaların, kısa ve orta vadeli finansal getiriler üreten küçük kuşak kaynaklarına odaklandığı anlamına gelir bu günümüzde günü kurtarmak anlamında gelmektedir ve geleceğin düşünülmediği bu senaryonun yatırımları toplamda tüm dünyamıza zarar vermektedir (Future Energy Scenarios, July 2017).

2. DÜNYADA GENEL ENERJİ GÖRÜNÜMÜ

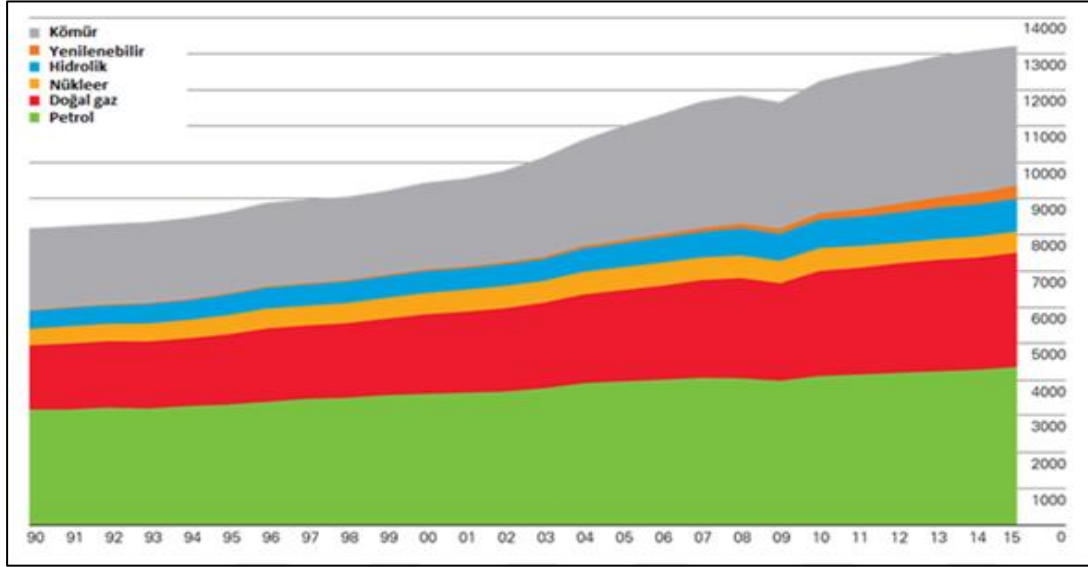
Enerjinin üretim için gerekli ve aynı zamanda pahalı bir girdi olması, enerji üretimi ve tüketimi konusunda uzun vadeli enerji öngörülerinin ve politikalarının geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Nüfus artışı, sanayileşme ve kentsel gelişim ile birlikte dünya birincil enerji tüketimi de giderek artmaktadır. Gelecek enerji eğiliminin belirlenmesinde en önemli etmenler demografik yapı ve ekonomik aktivite türüdür. Yapılan öngörüler 2013 yılında 7,1 milyar olan dünya nüfusunun 2040 yılında 9 milyara yükseleceğini göstermektedir. Bu durum, 2040 yılına kadar 1,9 milyar insana daha enerji arzı sağlanması gerekliliğini ortaya koymaktadır (UEA, 2015ç:31).

Şekil 2.1’de ülkelerin payları görülmek üzere, 2014 yılında dünyada tüm kaynaklardan toplamda 13805,4 Mtep’lik enerji üretilmiştir. Bu üretim içinde %18,8’lik pay ile Çin Halk Cumhuriyeti ilk sırada olup bu ülkeyi ABD (%14,5) ve Rusya Federasyonu (%9,5) takip etmektedir. Burada Türkiye’nin payı ise %0,2’dir.



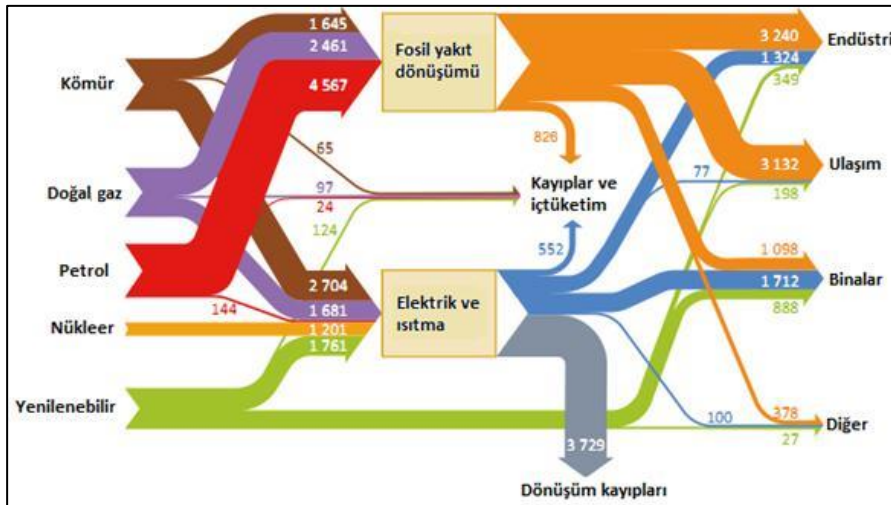
Şekil 2.1 : Dünya toplam enerji üretimi (Mtep) (ETKB, 2016).

Dünya birincil enerji tüketiminde aynı enerji üretiminde olduğu gibi, Çin Halk Cumhuriyeti ve ABD ilk iki sırada yer almakta ve bu iki ülkenin toplam birincil enerji tüketimi dünya tüketiminin yaklaşık %40,2'sine tekabül etmektedir. Birincil enerji tüketimine göre ülkemiz 19. sırada yer almaktadır. Dünya ülkelerinin 2015 yılı için birincil enerji tüketimleri Çizelge 2.1'de ve 1990–2015 yılları arasında kaynaklara göre gelişimi ise Şekil 2.2'de verilmiştir (BP, 2016).



Şekil 2.2 : Dünya birincil enerji tüketiminin kaynaklara göre gelişimi (Mtep).

Enerji verimliliği ve teknolojinin artması ile üretilen enerjinin akış diyagramları endüstriyel, ulaşım ve günlük insan ihtiyaçlarını karşılayan tüketim verilerini ve yüzdelarini değiştirmektedir. 2040 yılı için öngörülen diyagram Şekil 2.3'te verilmiştir.



Şekil 2.3 : 2040 yılı için öngörülen birincil enerji akışı (BP, 2016).

Çizelge 2.1’de dünya ülkelerinin 2015 yılı birincil enerji tüketim değerleri verilmiştir.

Çizelge 2.1 : Dünya ülkelerinin 2015 yılı birincil enerji tüketim değerleri.

Sıra	Ülke	Miktar (Mtep)	Dünya Top. Payı (%)
1	Çin Halk Cumhuriyeti	3 014	22,9
2	ABD	2 280,6	17,3
3	Hindistan	700,5	5,3
4	Rusya Federasyonu	666,8	5,1
5	Japonya	448,5	3,4
6	Kanada	329,9	2,5
7	Almanya	320,6	2,4
8	Brezilya	292,8	2,2
9	Güney Kore	276,9	2,1
10	İran	267,2	2
11	Suudi Arabistan	264	2
12	Fransa	239	1,8
13	Endonezya	195,6	1,5
14	Birleşik Krallık	191,2	1,5
15	Meksika	185	1,4
16	İtalya	151,7	1,2
17	İspanya	134,4	1
18	Avustralya	131,4	1
19	Türkiye	131,3	1
20	Tayland	124,9	0,9
21	Güney Afrika	124,2	0,9
22	Tayvan	110,7	0,8
23	Birleşik A. Emirlikleri	103,9	0,8
24	Polonya	95	0,7
-	Dünya Toplam	13.147,30	100

2015 ile 2040 yılları arasında küresel ölçekte üçte ikisi OECD dışı ülkelerde olmak üzere toplam 68,2 trilyon USD enerji alanında yatırım yapılacağı tahmin edilmektedir.

Gerçekleştirilecek olan bu yatırımların;

21,8 trilyon USD’nin enerji verimliliği,

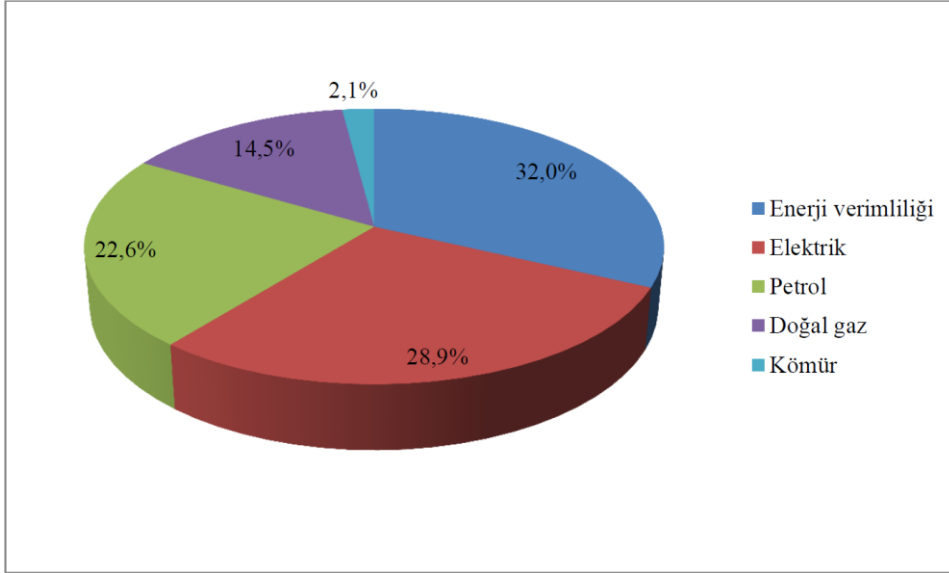
19,7 trilyon USD’nin elektrik,

15,4 trilyon USD’nin petrol,

9,9 trilyon USD'nin doğal gaz,

1,4 trilyon USD'nin kömür

sektörüne yapılması planlanmaktadır ve yüzdesel oranları ise Şekil 2.4'te gösterilmiştir (ETKB, 2016b:7).



Şekil 2.4 : Yapılacak enerji yatırımlarının sektörlere göre dağılımları.

2.2 OECD ve BRICS Ülkeleri Hakkında Genel Bilgiler

1961 yılında kurulan ve Türkiye'nin de kurucu üyeleri arasında yer aldığı OECD organizasyonu gelişmiş piyasa ekonomisine sahip ve birbiriyle ortak çalışan 34 ülkeyi ifade eder. OECD ülkeleri, dünyanın en büyük ekonomileri olarak kabul edilmekte olup, bu örgüte üye ülkeler Dünya Bankası'nın (DB) sınıflandırmasına göre Türkiye, Macaristan ve Meksika hariç gelişmiş ülkeler kategorisinde yer almaktadır. BRICS grubundan ise ilk olarak 2001 yılında "The World Needs Better Economic BRICs" adlı makalede bahsedilmiş olup, bu grup da dünyada gelişmekte olan ve 2030 yılında dünya ekonomisine hâkim olacağı düşünülen beş ülkeyi ifade etmektedir. Bu iki ülke grubunun toplam nihai enerji tüketimi dünya tüketiminin yaklaşık olarak %73'üdür.

2.3 Enerji Yoğunluğu ve Bağımsızlığı

Enerji yoğunluğu "bir birimlik ekonomik hâsıla üretmek için sağlanması gereken enerji arzı veya tüketilen enerji" olarak tanımlanmaktadır. Enerji yoğunluğu, herhangi bir fiziksel veya teknik göstergenin (enerji tüketimi vb.) bir faaliyetin verimlilik

düzeyini açıklayamadığı gibi durumlarda enerji verimliliği göstergesi olarak kullanılabilir. Ancak, genel olarak bakıldığında güvenilir bir gösterge olarak değerlendirilmekle birlikte gelişmekte olan ve kayıt dışı ekonominin yüksek olduğu az gelişmiş ülkelerde enerji yoğunluğu değerlendirmeleri yapılırken dikkatli davranılmalıdır.

EK-A ve EK-B de bulunan ülkelerin enerjide bağımsızlık oranları, kişi başına milli gelir ve enerji yoğunluklarını göstermektedir. Türkiye'nin enerji yoğunluğu BRICS ülkelerinden düşüktür ancak üyesi olduğu OECD ortalamasından yüksektir. EK-A göre Türkiye'nin enerji üretimi ve tüketimi arasındaki fark 54,40 Mtep olup, 33. sıra ile enerjide yüksek oranda enerjide dışa bağımlıdır. Türkiye'nin kişi başına milli gelir sıralamasında ise 35. ülke olduğu görülmektedir. Norveç, Avusturya ve Rusya Federasyonu'nun enerji bağımsızlığında ilk üç sırada yer aldığı görülmektedir. BRICS ülkelerinde ise enerji yoğunluğu değerlerinin yüksek oluşu göze çarpmaktadır.



3. ENERJİ KAYNAKLARI

3.1 Rüzgar Enerjisi

Rüzgar enerjisi (veya rüzgar gücü), rüzgar türbinlerinin rüzgarın hareketini elektriğe çevirdiği süreci ifade etmektedir. Rüzgar, bir jeneratöre bağlanan ve elektrik üreten bir shaftı döndüren bıçakları döndürmektedir. Rüzgârlar, güneşin atmosferin eşit olmayan şekilde ısınması, yeryüzünün düzensizlikleri ve yerkürenin dönüşünden kaynaklı olmaktadır. Bir rüzgar türbini bir fanın tersi presipte çalışmaktadır. Rüzgar yapmak için elektrik kullanmak yerine, rüzgar türbinleri elektrik yapmak için rüzgar kullanır. İnsanlar bu rüzgar akışını birçok amaç için kullanırlar: yelkenli tekneler hareket etmesi, su pompalama ve elektrik üretmek.

3.1.1 Bıçak Boyutları ve Kullanım Amaçları

Küçük bıçaklı türbinler belli bir alan ve ya yerleşim yerinin enerji ihtayıcının bir kısmını ya da tamamını karşılamak için kullanılmaktadırlar ve gelenlikle 100 kilowatt'ın altında potansiyelleri vardır. Küçük türbinler bazen dizel jeneratörler, piller ve fotovoltaik sistemlerle bağlantılı olarak kullanılmaktadır. Bu sistemler sadece rüzgar gülü şeklinde olmayabilirler (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 : Küçük Boyutlu Rüzgar Türbini.

Büyük ölçekli türbinler, 100 kilowatt'tan birkaç megawatt'a kadar potansiyelleri değişmektedir. Büyük rüzgar türbinleri daha birim güç başına uygun maliyetlidir ve elektrik şebekesine toplu güç sağlayan rüzgar çiftlikleri ile birlikte gruplandırılır. Son



Şekil 3.2 : Açık deniz (offshore) rüzgar santralleri.

yıllarda okyanusların yüksek rüzgar potansiyellerinden yararlanmak için; açık deniz rüzgar tesislerinde artış gözükmemektedir (Şekil 3.2).

3.1.2 Toprak Üstü ve Açık Deniz Konumlu Santraller

Konumuna göre sınıflandırılan rüzgar santralleri 2 gruptadır; Toprak üstü ve açık denize konumlandırılmış santraller. Daha fazla rüzgar alması ve dolayısıyla daha yüksek verim ile açık denizlerde teknolojinin de gelişmesinin katkısıyla konumlandırılan yeni rüzgar türbin çiftlikleri kurulmaya başlanmıştır.

3.1.3 Toprak Üstü Santraller

Toprak üzeri konumlandırılan rüzgar türbinleri düşük maliyetinden ve kurulumunun – bakımının kolay gerçekleştirilebilir. Açık deniz kıyısına sahip olmayan ve ya uygun proje bedellerine yapılabilir olması nedeni ile yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretilmeye başlandığından bu güne kadar tercih edilen bir kaynaktır.

Soma Rüzgar Santrali, Manisa'nın Soma ilçesinde bulunan bir toprak üstü rüzgar santralidir ve rüzgar santrali kurulu gücü 140,4 MW'dir. Çiftlikte 169 farklı tip güç kapasiteli rüzgar türbini (0,8 MW - 2,3 MW) bulunmakta olup, bu projenin maliyeti

yaklaşık 190 milyon USD'dir. Bu 1355 USD / kW anlamına gelir (URL-1)
Toprak üstü santrallere örnek: Soma Rüzgar Santrali Şekil 3.3'te gösterilmektedir.



Şekil 3.3 : Soma Rüzgar Santrali.

Soma Rüzgar Santrali elektrik üretimi ile 83.566 kişinin günlük hayatında ihtiyaç duyduğu (konut, sanayi, metro ulaşımı, resmi daire, çevre aydınlatması gibi) tüm elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayabilir. Soma Rüzgar Santrali sadece konut elektrik tüketimi dikkate alındığında ise 87.811 konutun elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayabilecek elektrik üretimi yapmaktadır.

$$\text{Birim Maliyet} = \frac{\text{Proje Bedeli}}{\text{Proje Kurulu Gücü}} = \frac{190.000}{140,4} = 1355 \text{ USD/kW} \quad (3.1)$$

Üretilen ortalama toplam yıllık enerji 405 GWh'dir. Kapasite faktörünü hesabı:

$$\text{Kapasite Faktörü} = \frac{\text{MWh}}{\text{gün} \times \text{saat} \times \text{MW}} = \frac{405.000}{365 \times 24 \times 140,4} = 0,33 = \%33 \quad (3.2)$$

3.1.4 Açık Deniz Santralleri

Açık deniz rüzgar türbini toprak üstü turbine kıyasla daha fazla enerji üretmektedir. Açık deniz bağlı bulunduğu kıyıdan yaklaşık %50 daha fazla rüzgar almaktadır ve rüzgarın sürdürülebilirliği daha yüksektir. Bıçak boyutları 250 metre uzunluklarına kadar ulaşabilmektedir. Ancak, inşa edilmesi, bakımı ve erişimi daha zor olduğundan toprak üstü santrallere göre çok daha fazla maliyetlidir.

Açık deniz santrallerine örnek: London Array Santrali Şekil 3.4'te gösterilmektedir.



Şekil 3.4 : London Array Rüzgar Enerjisi Çiftliği.

London Array megawatt kapasitesi ile Avrupa'nın en büyük rüzgar çiftliği. Londra projesi 175 türbinden (630 MW) oluşmaktadır. Rüzgar çiftliği sahası, Kent'teki Margate ve Essex'teki Clacton arasındaki Long Sand ve Kentish Knock arasındaki alanda, Kent kıyısındaki North Foreland bölgesinden 20 kilometreden daha uzaktır. Site çoğunlukla nakliye şeritlerinden uzak. Bu projenin maliyeti yaklaşık 2,3 milyar USD'dir. Bu 3650 USD / kW anlamına gelir (URL-2).

$$\text{Birim Maliyet} = \frac{\text{Proje Bedeli}}{\text{Proje Kurulu Gücü}} = \frac{2.300.000}{630} = 3650 \text{ USD/kW} \quad (3.3)$$

Kapasite faktörü hesabı (2015):

$$\text{Kapasite Faktörü} = \frac{\text{MWh}}{\text{gün} \times \text{saat} \times \text{MW}} = \frac{2.240.954}{365 \times 24 \times 629,9} = 0,406 = \%40,6 \quad (3.4)$$

3.1.5 Rüzgar Santrallerinin Avantajları

Temiz bir yakıt kaynağıdır. Rüzgar enerjisi, kömür veya doğal gaz gibi fosil yakıtların yakılmasına dayanan enerji santralleri gibi havayı kirletmez. Rüzgar türbinleri asit yağmuruna veya sera gazlarına neden olan atmosferik emisyon üretmez.

Sürdürülebilir bir enerji kaynağıdır. Rüzgar aslında bir güneş enerjisi biçimidir; rüzgârlar, atmosferin güneş tarafından ısınması, toprağın rotasyonu ve yeryüzünün yüzey düzensizliklerinden kaynaklanır. Güneş parlıyor ve rüzgar esiyorsa, üretilen enerji şebekeye güç göndermek için harcanabilir.

Rüzgar enerjisi projeleri uygun maliyetlidir.

3.1.6 Rüzgar Santrallerinin Dezavantajları

Rüzgar enerjisi, maliyet esasına göre geleneksel üretim kaynakları ile rekabet etmelidir. Bir rüzgar alanının ne kadar verimli olduğuna bağlı olarak, rüzgar çiftliği maliyet açısından diğer enerji üretim tesis ve çiftlikleri ile rekabetçi olabilir veya olmayabilir.

Rüzgar enerjisinin maliyeti son 10 yılda önemli ölçüde azalmış olsa da, teknoloji fosil yakıtlı jeneratörlerden daha yüksek bir başlangıç yatırımı gerektirmektedir.

İyi rüzgar alanları genellikle elektriğin gerekli olduğu şehirlerden uzakta, uzak yerlerde bulunur. Rüzgar çiftliğinden elektriği şehre getirmek için iletim hatları yapılmalıdır.

Türbin kanatları yerel yaban hayatına zarar verebilir. Kuşlar bıçaklara çarparak yaşamlarını yitirmektedirler. Ayrıca, açık deniz türbinleri yakındaki balık popülasyonunun yaşamasını engellemektedir. Rüzgar enerjisi sembolü şekil 3.5'te görülmektedir.



Şekil 3.5 : Rüzgar Enerjisi Sembol.

3.2 Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi evlerimizi ve işyerlerini ısıtmak, serinletmek ve aydınlatmak için kullanılabilir güçlü bir kaynaktır. Güneş ışınlarının yer yüzümüze düşmesi enerjinin yeryüzüne düşmesi anlamına gelmektedir. Çeşitli teknolojiler ile güneş ışığı binalar ve endüstriler için kullanılabilir enerjiye dönüştürür. Ev ve işyerleri için en yaygın kullanılan güneş enerjisi teknolojileri; güneş enerjili su ısıtma, alan ısıtma ve soğutma ve elektrik üretmek için güneş fotovoltaik hücreleridir. Konsantre güneş enerjisi teknolojileri, şehirleri ve küçük kasabalara büyük ölçekte elektrik üretmek için geliştiriciler ve kamu hizmetleri tarafından kullanılmaktadır (İnternet 3).

3.2.1 Fotovoltaik Güneş Enerjisi Teknolojisi

Araştırmacılar tarafından fotovoltaik (PV) hücreleri olarak da adlandırılan güneş pilleri, güneş ışığını doğrudan elektriğe dönüştürür. PV ismini ışığı (fotonları) elektriğe (voltaj) dönüştürme işleminden alır. Fotovoltaik paneller genellikle bir çatıya monte edilir ve bir invertör üzerinden bir binaya bağlanır. İnverter, güneş panelleri aracılığıyla üretilen doğru akım (DC) enerjisini alternatif akıma (AC) dönüştürür. Bugün binlerce insan evlerini ve işlerini bireysel güneş PV sistemleri kullanmaktadırlar ve Şekil 3.6’da gösterilmektedir.



Şekil 3.6 : Fotovoltaik Güneş Enerjisi Teknolojisi.

3.2.2 Konsantre Güneş Enerjisi Çiftliği

Konsantre güneş enerjisi (CSP), yenilenebilir elektrik üretiminin ana kaynağı haline gelmek üzere konumlandırılmıştır. Yoğun güneş enerjisi sistemlerine sahip yeni nesil enerji santralleri güneşi ısı kaynağı olarak kullanır. Kaynar sudaki buhar, elektrik üretmek için bir jeneratörü çalıştıran büyük bir türbini döndürür (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 : Konsantre Güneş Enerjisi Çiftliği.

Güneş enerji santraline örnek 1: Solar Star (California, US) (Şekil 3.8).

Solar Star güneş enerjisi santrali, dünyanın en büyük fotovoltaik enerji santrallerinden biridir ve toplamda 579 MW kapasiteye sahiptir. Solar Star 1 ve Solar Star 2 Kaliforniya, ABD'de Kern ve Los Angeles ilçelerinde bulunan ve 13 kilometrekareye yayılmıştır. Solar Star Projeleri, Kaliforniya'da yaklaşık 255.000



Şekil 3.8 : Solar Star Güneş Enerjisi Santrali, California.

konutun eşdeğerine yetecek kadar temiz elektrik sağlamaktadır. Beklenen çalışma süresi yaklaşık 30 senerdir.

Bu projenin maliyeti yaklaşık 1 milyar USD'dir. Bu 1727 USD / kW anlamına gelir.

$$\text{Birim Maliyet} = \frac{\text{Proje Bedeli}}{\text{Proje Kurulu Gücü}} = \frac{1.000.000}{579} = 1727 \text{ USD/kW} \quad (3.5)$$

Kapasite faktörü hesabı (URL-4, 2015)

Solar Star 1 : 743,049 MWh

Solar Star 2 : 667,465 MWh

$$\text{Kapasite Faktörü} = \frac{\text{MWh}}{\text{gün} \times \text{saat} \times \text{MW}} = \frac{743.049 + 667.465}{365 \times 24 \times 579} = 0,278 = \%27,8 \quad (3.6)$$

Teknolojinin gelişmesiyle kurulu güçten elde edilen verim günümüzde artmaktadır.

Valle Konsantre Güneş Güç Santrali, İspanya için kapasite faktörü (URL-5):

$$\text{Kapasite Faktörü} = \frac{\text{MWh}}{\text{gün} \times \text{saat} \times \text{MW}} = \frac{340.000}{365 \times 24 \times 100} = 0,388 = \%38,8 \quad (3.7)$$

3.2.3 Güneş Enerjisi Santralleri Avantajları

Güneş enerjisi, sürdürülebilirdir ve belli bir bölgenin su ısıtma sorununu etkin bir şekilde çözebilen basit çözümlerdir.

Güneş enerjisi çevre kirliliğine neden olmaz.

Güneş enerjisi sonsuzdur.

Güneş enerjisi santrallerinin bakım onarım ve işletme maliyetleri diğer enerji kaynaklarına göre daha uygundur.

Dünya üzerinde gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler güneş enerjisi ile günlük elektrik ısınma ihtiyaçlarını karşılayabilmek adına destekler vermektedirler.

3.2.4 Güneş Enerjisi Santralleri Dezavantajları

Güneş enerjisi sadece gündüz ve güneşli olduğunda kullanılabilir ya da daha verimli çalışmaktadır.

Bulutlu ve kapalı hava durumunda üretimleri düşmektedirler.

Belli bir bölgenin tüm enerjisini üretecek şekilde projelendirmek yerine güneşin etkisinin olmayacağı günler düşünülerek, verimliliğinin değişkenlik göstermesinden dolayı üretime yardımcı olarak projelendirilir.

Güneş kolektörleri, paneller ve hücreler, fiyatların hızla düşmesine rağmen, üretimi nispeten pahalıdır.

Güneş enerjisini en yüksek düzeyde yararlanmak için geniş arazi alanları gereklidir. Kolektörler ürettikleri enerjileri genellikle buldukları yerlerde daha verimli şekilde kullanılmasına uygundur.

Güneş enerjisi, pilleri şarj etmek için kullanılır, böylece güneş enerjisiyle çalışan cihazlar gece kullanılabilir. Ancak, piller büyük ve ağır ve depolama alanına ihtiyaç duyarlar. Ayrıca zaman zaman değiştirilmesi gerekmektedir.

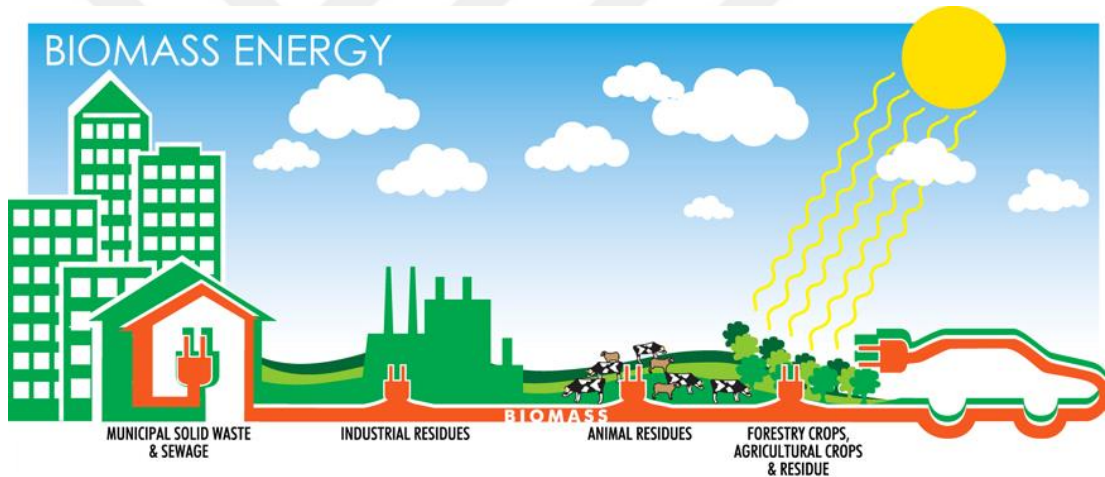


Şekil 3.9 : Güneş Enerjisi Sembol.

3.3 Biyokütle Enerjisi

Biyokütle, yaşamdan türeyen organik maddedir. İnsanlar besinlerini pişirmek ve sıcak tutmak için odun yakmaya başladığından beri, biyokütle enerjisini ya da bitkilerden ve bitkisel türevli malzemelerden gelen enerjiyi “biyoenerji” kullanmıştır. Odun bugün hala en büyük biyokütle enerji kaynağıdır, ancak diğer biyokütle kaynakları da kullanılabilir. Bunlar arasında gıda ürünleri, çimenli ve odunsu bitkiler, tarım veya ormancılıktan elde edilen kalıntılar, petrol zengini algler ve belediye ve endüstriyel atıkların organik bileşenleri yer almaktadır.

Endüstriyel ve evsel atıkların geri dönüşüme girmesi ile elektrik enerjisinin döngüsü günümüzde verimliliği diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha az olsa da var olan atıklardan arınmak adına günümüzde kullanılan ve gelecekte daha fazla başvurulacak enerji üretim tesisleridir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10 : Şehirler İçin Biyokütle Enerjisi Dönüşümü.

Günümüzde biyokütleden enerji üretimi Avrupa Birliği'nin enerji arzının% 5'ine karşılık gelmektedir. Uzun vadede AB'nin enerji arzındaki biyokütlenin katkısı, Avrupa Birliği'nin tarım, sürdürülebilirlik, güvenli enerji tedariki ve Kyoto yükümlülükleri ile ilgili olarak benimsediği politikalara bağlı olarak, % 20'ye kadar artabilir. İsveç gibi gelişmiş ülkeler enerji üretiminin % 30'dan fazlasını geri dönüşüm ile üretilen enerjiden karşılamaktadırlar.

Biyokütle enerji santraline örnek 1: Gothenburg Biyokütle enerji santrali (Şekil 3.11).

Göteborg Enerji, biyogazla yoğun bir şekilde yatırım yapılmıştır ve biyogazı yarının en önemli enerji kaynaklarından biri olarak görülmektedir. Biyogazın önemli bir

faıdası, dağıtım için mevcut doğal gaz şebekesini entegre çalışabilmesi ve kullanabilmektedir. Doğal gaz yenilenebilir enerji olan biyogaz için bir köprü haline gelmektedir (URL-6).



Şekil 3.11 : Göteborg Biyokütle Enerji Santrali.

Göteborg Biyokütle Gazlaştırma Projesi, GoBiGas, Göteborg Enerji'nin biyoyakıtların gazlaştırılması ve ormanlardan gelen atıklarla biyogaz üretiminde büyük yatırımların adıdır. 2020'de Göteborg Energy, 1 TWh'lik biyogaz eşdeğerini teslim etmeyi beklemektedir. Göteborg'daki mevcut enerji üretiminin yaklaşık %30'una veya 100.000 aracın yakıt ihtiyacını temsil etmektedir.

Enerji üretimi için biyokütle atık, 1.920 – 2.440 USD / kW arasında birim yatırım maliyetlerine sahiptir (URL-7).

3.3.1 Biyokütle Enerjisi Azavantajları

Yenilenebilir enerji sistemi; her zaman atıklara, gübre ve çöp gibi biyokütle kaynaklarına sahip olacağız. Bu yılın atıklarını yakıtla dönüştürdüğünüzde, gelecek yılın yakıtı için bir daha yakıt oluşumuna ve katı atıkların şehirde oluşturduğu yığınlardan şehri uzak tutmaya yaramaktadır.

Biyokütle, karbon döngüsünün bir parçasıdır. Atmosferin karbonu, fotosentez sırasında bitkilere emilir ve bitki bozulduğunda veya karbonun atmosfere geri

döndüğü zaman yanmaktadır. Bir döngü olduğu için, bir sonraki bitki bitkisi bu karbonu tekrar emer, böylece biyokütle yakıtının atmosfere salındığı karbon miktarı ve bunlardan çıkardığı miktar arasında bir denge vardır. Bu nedenle biyokütle yakıtları küresel ısınmaya katkıda bulunmaz.

Biyokütle, tüm dünyada büyük miktarlarda mevcuttur. Ülke sınırlarını aşan ve okyanuslar boyunca büyük boru hatları ile taşınan fosil yakıtlar yerine biyokütleden enerji üretilmesi sürdürülebilir temiz bir enerji kaynağını kullanmaktır.

3.3.2 Biyokütle Enerjisi Dezavantajları

Biyokütlenin enerji üretimi için toplanması çıkarılması ve ayrıştırılması maliyetli bir süreçtir. Çevreye duyarlı biyoenerji sembolü Şekil 3.12’de gösterilmektedir.



Şekil 3.12 Biyokütle Enerjisi Sembol.

3.4 Nükleer Enerji

Nükleer enerji elektrik üretmek için kullanılmaktadır. Nükleer fizyonda, atomlardan enerjiyi üretmek veya daha ağır moleküller ve enerji üretmek için Helyum ve Hidrojen gibi iki küçük atomun birleşmesi için ayrılır.

Dünyada 380.000 MWe'nin üzerinde bir kapasiteye sahip olan ve 65'den fazla inşaat halinde santral ve sahip olacakları 430'u aşkın güç reaktörü vardır. Dünya çapında yıllık üretim yaklaşık 2500 MWh'dir. Bu inşaa halinde nükleer santrallerin dünyada üretilen elektrik enerjisinin %11,5 kadarını üretebilecekleri hedeflenmektedir. Nükleer reaktörün 40 veya 60 yıllık ömürleri boyunca güvenilir çalışabilmektedir. Teknik engeller yaşanmadıkça sağlıklı bir nükleer santral çalışma yılını 80 yıla kadar çıkartabilmektedir.

Fizyon, Uranyum veya Plutonyum gibi büyük atomların fizyon ürünleri olarak adlandırılan iki daha küçük parçacığa enerjik bölünmesidir. Bir atomu bölmek için, bir nötronla çarpıştırılması gerekmektedir. Serbest halde olan nötronlar atomları bölmek ve zincirleme reaksiyon oluşturarak sürekli enerji açığa çıkmasında etkenlerdir. Bu nükleer reaksiyon ilk keşfedilen halidir. Bu düzendeki tüm ticari nükleer santraller, bu reaksiyonu ısı üreterek elektrik enerjisine dönüştürmek için kullanıyorlar (Şekil 3.13).

fusion



Şekil 3.13 : Fizyon Görseli.

Füzyon, daha ağır atomlar ve daha fazla enerji üretmek için Hidrojen veya Helyum gibi iki küçük atomun birleştirilmesidir. Bu reaksiyonlar, bileşenlerine göre birçok radyoaktif üretmeden, fizyondan daha fazla enerji açığa çıkarabilir. Füzyon reaksiyonları güneşte, genellikle Hidrojen olarak yakıt olarak kullanılır ve hidrojenden Helyum üretilmesi hedeflenmektedir. Bu reaksiyon henüz ticari olarak geliştirilmemiştir, sınırsızdır ve kirlilik içermeyen enerji kaynağı olması verimliliğininde göz önünde bulundurulması ile enerji açığını kapatmak için dünyada çok cezbedici bir konumdadır ve araştırma faaliyetleri devam etmektedir (Şekil 3.14).

fission



Şekil 3.14 : Füzyon Görseli.

Nükleer enerji santraline örnek 1: Vermont Yankee (Vernon, ABD) (Şekil 3.15). Vermont Yankee, kuzeydoğu Amerika Birleşik Devletleri'nde Vernon, Vermont kasabasında bulunan elektrik üreten nükleer enerji santralidir. Tam güçte 620 megavat (MWe) elektrik üretmektedir. Yıllık üretilen enerji 4703 GWh. Santral, Connecticut Nehri üzerinde ve Vermont Hidroelektrik Barajı'nın yukarı tarafındadır ve soğutma suyu için barajın rezervuar havuzunu kullanmaktadır.



Şekil 3.15 : Vermont Yankee Nükleer Enerji Santrali.

$$\text{Kapasite Faktörü} = \frac{MWh}{\text{gün} \times \text{saat} \times MW} = \frac{4.703.000}{365 \times 24 \times 620} = 0,866 = \%86,6 \quad (3.8)$$

Nükleer enerji santraline örnek 2: Akkuyu Nükleer Santrali (Şekil 3.16).

Türkiye, ihtiyacı olan doğal gazın % 98'i ve petrolün % 92'si dahil olmak üzere enerjisinin büyük kısmını ithal etmektedir ve 2016 yılında bu 60 milyar doları aşmıştır. Enerji verimliliğini ve enerji güvenliğini artırmak yüksek önceliklidir.

Akkuyu Nükleer Santrali, Mersin'de Akkuyu'da inşa edilen bir nükleer santraldir. Akkuyu'nun 2020 yılına kadar tamamlanması bekleniyor ve her biri 1200 MW kapasiteli 4 güç ünitesine sahip olacak ve bütünde 4800 MW kapasitesinde olacaktır.



Hizmet ömrü 60 yıl olarak planlanmaktadır. Türkiye'nin Akkuyu Projesine yaklaşık 20 milyar dolar yatırılacaktır.

$$\text{Birim Maliyet} = \frac{\text{Proje Bedeli}}{\text{Proje Kurulu Gücü}} = \frac{20.000.000}{4800} = \sim 4200 \text{ USD/kW} \quad (3.9)$$

İnşaatı tamamlandıktan sonra yılda yaklaşık 38 milyar kWh elektrik üretmesi bekleniyor. Kapasite faktörünün beklenen değeri;

$$\text{Kapasite Faktörü} = \frac{\text{MWh}}{\text{gün} \times \text{saat} \times \text{MW}} = \frac{38.000.000}{365 \times 24 \times 4800} = 0,904 = \%90,4 \quad (3.10)$$

3.4.1 Nükleer Enerjisi Avantajları

Nükleer enerjinin üretiminin sürekliliği açısından oldukça elverişli bir kaynaktır. Dünyayı binlerce yıl gelişmiş reaktörlerle çalıştırmak için yeterince nükleer yakıt

Şekil 3.16 : Akkuyu Nükleer Santrali (İnşaat Halinde).

kaynağı olduğunu bilinmektedir.

Nükleer, temiz hava enerjisidir. Nükleer enerji verimliliği göz önünde bulundurulduğunda, diğer havayı kirleten fosil yakıtlı enerji kaynaklarının kullanımına gereklilik yoktur. Nükleer santraller karbondioksit salınımı yapmamaktadırlar.

Nükleer reaktörlerden güvenilir 24 saatlik kesintisiz enerji sağlamak mümkündür. Bir tesis içerisinde bir kaç reaktörün çalışması ve bakım onarım zamanlarında sırası ile devreye alınabilmeleri nükleer santralleri değerli yapan en önemli faktörlerindedir.

3.4.2 Nükleer Enerjisi Dezavantajları

Ağır atomlar enerji ürettiğinde ve serbest bıraktığında, kalan iki küçük atom (fizyon ürünleri olarak adlandırılır) çoğu zaman bir miktar ekstra enerji ile bırakılır. Bu enerji, radyasyon denilen enerjik parçacıklar halinde (+100.000 yıl süren en uzun ömürlü atık) bir süre boyunca salınır.

Ömrünü tamamlamış nükleer santral reaktörleri tam olarak kapatılamaz ve fizyon sonucu oluşan ürünlerin sıcaklığı – radyoaktivitesi doğa için zarar potansiyelini uzun yıllar sürdürür.

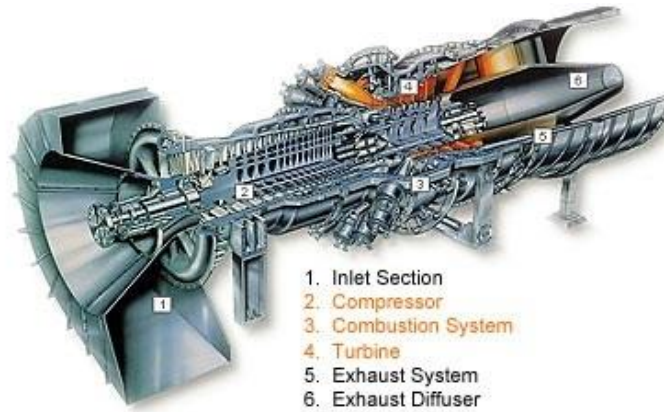
Nükleer Santraller kaynak tedarik, taşınım, soğutma ve reaktörlerin çalışma prensiplerine göre oldukça kompleks yapılardır ve diğer enerji kaynaklarına göre oldukça pahalıdır.



Şekil 3.17 : Nükleer Enerji Sembol.

3.5 Doğal Gaz Çevrim Santralleri

Doğal Gaz, doğada gaz halinde bulunan ve esas olarak metandan (CH_4) meydana gelir. Düşük yüzde de oluşumu etan olarak ve diğer hidrokarbonlardan oluşan bir fosil yakıttır. Doğal gaz kullanımı, ticari, endüstriyel, elektrik enerjisi üretimi ve konut uygulamaları ile kullanılabilmesi için giderek daha popüler hale gelmektedir. Çeşitli okullar, hastaneler, oteller, moteller, restoranlar, ofis binaları ayrıca yemekpişirme ve alan ısıtması için doğal gaz kullanılmaktadır. Gaz yakma türbinleri üç ana bölüm içerir (Şekil 3.18)



Şekil 3.18 : Gaz Türbini Parçaları.

Motora hava sağlayan kompresör; basınçlandırır ve saatte yüzlerce mil hızla yanma odasına beslemektedir.

Yanma sistemi hava ile karıştığı yanma odalarına sürekli bir yakıt akıntısı enjekte eden bir yakıt enjektör halkasından oluşur. Karışım, 2000 dereceden fazla olan sıcaklıklarda

yakılır. Yanma, türbin bölümü boyunca giren ve genişleyen yüksek sıcaklıkta ve yüksek basınçlı bir gaz akımı üretir.

Türbin, sabit ve dönenkesitli bıçakların karmaşık bir dizisidir. Sıcak yanma gazı türbin boyunca genişledikçe, türbin bıçaklarını döndürür. Dönen bıçaklar iki işlev yapar: yanma bölümüne daha fazla basınçlı hava çekmek için kompresörü çalıştırır ve elektrik üretmek için bir jeneratörü döndürürler.

Doğal gaz çevrim santraline örnek 1: Surgut 2 (Russia) (Şekil 3.19)

Rusya'daki Ob Nehri üzerindeki Surgut-2 Santrali, 2011 yılında 5.597,1 MW kurulu güce sahip dünyanın en büyük gazla çalışan elektrik santralidir (ОГК-4).

Yıllık enerji üretimi 39,97 TWh.

$$Kapasite Faktörü = \frac{MWh}{gün \times saat \times MW} = \frac{39.970.000}{365 \times 24 \times 5597,1} = 0,815 = \%81,5 \quad (3.11)$$

Doğal gaz çevrim santraline örnek 2: Enka Doğal Gaz Çevrim Santrali (Gebze)

(Şekil 3.20):

Gen-Enka ortaklığı, 1,554 MW kurulu güç kapasitesine sahip Gebze Santrali işletme hakkına sahiptirler. Santralin yıllık üretimi (MWh): 11.216.368.600 KWh

Bu projenin maliyeti yaklaşık 1,5 milyar USD'dir (URL-7).



Şekil 3.19 : Surgut-2 Rusya.

$$\text{Birim Maliyet} = \frac{\text{Proje Bedeli}}{\text{Proje Kurulu Gücü}} = \frac{1.500.000}{1554} = 965 \text{ USD/kW} \quad (3.12)$$

$$\text{Kapasite Faktörü} = \frac{\text{MWh}}{\text{gün} \times \text{saat} \times \text{MW}} = \frac{11.216.368}{365 \times 24 \times 1554} = 0,824 = \%82,4 \quad (3.13)$$



Şekil 3.20 : Enka Doğal Gaz Çevrim Santrali (Gebze).

3.5.1 Doğal Gaz Çevrim Santralleri Avantajları

Kömür ve Petrol türevi enerji kaynaklarından daha az zararlıdır.

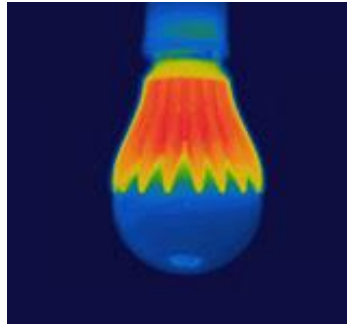
Doğal gazın diğer yakıtlara göre korunması daha kolaydır. Karada ve denizde boru hatları ile veya tankerlerle depolanabilir ve taşınabilir.

Doğal gaz evlerde günlük kullanımımız için kolay çevrilebilmektedir. Mutfaklarda ocakları ve su ısıtıcıları çalıştırarak banyolarda dolaylı kullanılabilir.

Doğal gaz herhangi bir koku, kül veya duman çıkarmadan kullanılabilir.

3.5.2 Doğal Gaz Çevrim Santralleri Dezavantajları

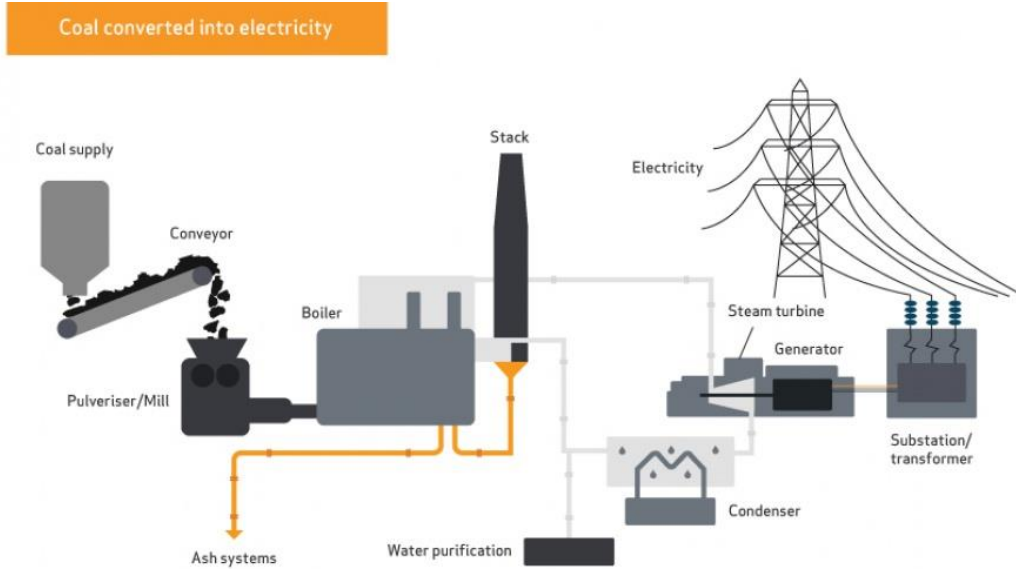
Doğal gaz sızıntıları çok tehlikelidir. Bu tür sızıntılar patlamaya veya yangına neden olabilmektedir. Santallara ve evlere dağıtımında doğal tahribat oluşturulmaktadır. Şekil 3.21’de doğal gaz enerjisi sembolü görülmektedir.



Şekil 3.21 : Doğal gaz enerjisi sembolü.

3.6 Kömür ve Linyit Yakıtlı Termik Santraller

Kömür, dünya çapında elektrik üretimi için en büyük enerji kaynağıdır. Termik olarak



Şekil 3.22 : Termik santralin elektrik enerjisi çevrimi.

da bilinen kömürün yakılmasıyla elde edilen buhar, elektrik santrallerinde elektrik üretmek için kullanılmaktadır. Kömür, önce yüzey alanını artıran ve daha çabuk yanmasını sağlayan ince bir toz haline öğütülür. Bu pulverize kömür yakma sistemlerinde, toz kömür, yüksek sıcaklıkta yakıldığı bir kazanın yanma odasına aktarılır. Üretilen sıcak gazlar ve ısı enerjisi, kazanı kaplayan borularda suyu buharına dönüştürür. Yüksek basınçlı buhar, binlerce pervane veya bıçak içeren bir türbine aktarılır. Buhar, bu bıçakları iterek türbin şaftının yüksek hızda dönmesine neden olur. Türbin şaftının çıkışına jeneratör monte edilmiştir. Jeneratörlerde elektrik güçlü bir manyetik alanda hızla döndürülürken oluşmaktadır (Şekil 3.22). Türbinden geçtikten sonra, buhar yoğunlaştırılır ve tekrar ısıtılmak üzere kazana gönderilir. Kömür santrali yatırım maliyeti yaklaşık 3000-3500 USD / kW, Karbon Yakalama ve Depolama yatırım maliyeti 4700-5500 USD / kW arasındadır.

Kömür Enerji Santrali Örneği 1: Yatağan Termik Santrali Muğla (Şekil 3.23).

Yatağan Termal Enerji Santrali, Türkiye'nin batısında yer alan Muğla'nın Yatağan ilçesinde bulunan bir kömür yakıtlı enerji santralidir. 120mt yüksekliğinde bacalara sahiptir. Yatağan termik santrali yılda 5,4 milyon ton kömür tüketiyor. Kurulu güç kapasitesi 420 MW'dir. Yıllık üretim 2.527.697.000 kWh'dir (2014).

$$\text{Kapasite Faktörü} = \frac{\text{MWh}}{\text{günler} \times \text{saatler} \times \text{MW}} = \frac{2.527.697}{365 \times 24 \times 420} = 0,687 = \% 68,7 \quad (3.14)$$

$$\text{Yatırım Maliyeti} = \frac{\text{Proje Maliyeti}}{\text{Proje Kapasitesi}} = \frac{1.091.000}{420} = 2960 \text{ USD/kW} \quad (3.15)$$

Kömür Enerji Santrali Örneği 2: Tuoketuo Termik Santrali (Çin) (Şekil 3.24).

Tuoketuo Power Station, dünyanın üçüncü büyük kömür yakıtlı elektrik santralidir. Tesis Togtoh County, Hohhot, İç Moğolistan, Çin'de yer almaktadır. 5,400 MW Kurulu güce sahip bir kömür yakıtlı termik santralidir. Yıllık enerji üretimi 33.317 GWh'dir.

$$\text{Kapasite Faktörü} = \frac{\text{MWh}}{\text{günler} \times \text{saatler} \times \text{MW}} = \frac{33.317.000}{365 \times 24 \times 5400} = 0,704 = \% 70,4 \quad (3.16)$$



Şekil 3.23 : Yatağan termik santrali.



Şekil 3.24 : Tuoketuo Enerji Santrali (Çin).

3.6.1 Kömür Yakıtlı Enerji Santrallerinin Avantajları

Termik santrallerden üretilen enerji diğer enerji kaynaklarından ham madde olarak daha ucuz ve daha uygundur. Kömür bol olduğundan bu yakıtı kullanarak güç üretmek için diğer yollara göre daha ucuzdur. Sonuç olarak, fiyatı diğer yakıt ve enerji kaynaklarına kıyasla düşük kalmaktadır.

Santral yakıtı olarak tercih edilen kömürler yakıldıkça enerji sağladığından ve kaynakları çok olduğundan doğal etmenlere bağlı kalmaksızın sürekli enerji açığa çıkartabilmektedir.

3.6.2 Kömür Yakıtlı Enerji Santrallerinin Dezavantajları

Kömürün yanması sonucu karbondioksit salınımı maksimum düzeydedir. Bunlar cıva, kükürt dioksit, karbon monoksit, cıva, selenyum ve arsenik içerir. Bu zararlı maddeler sadece asit yağmura neden olmakla kalmaz, aynı zamanda insanlara da zarar verir.

Kömür madenciliği sadece doğal görünümün ve yaşam alanlarının yok olmasına neden olmakla kalmaz, maden yatakları çökme riskine karşın üzerinde kullanılan yaşam alanını ve maden içi çalışanların hayatlarını ciddi riskler altında yaşamalarına neden olmaktadır.

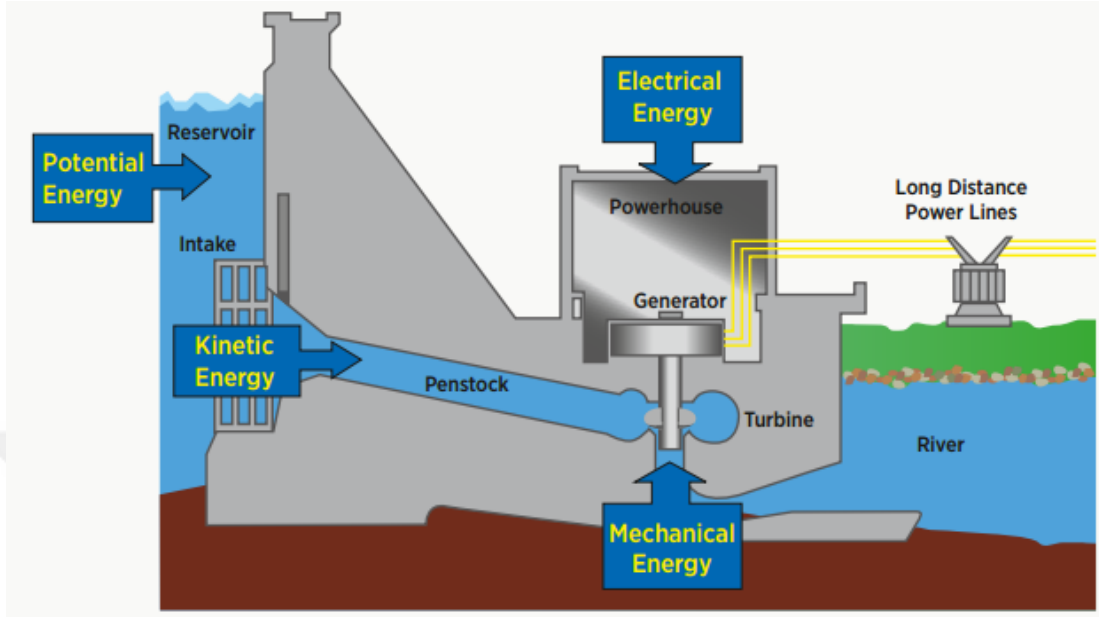
3.7 Hidroelektrik Santraller

Hidroelektrik, doğal su döngüsüne dayanan yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Hidroelektrik mevcut en olgun, güvenilir ve uygun maliyetli yenilenebilir enerji üretim teknolojisidir. Hidroelektrik şemalar genellikle tasarımlarında önemli bir esnekliğe sahiptir ve nispeten yüksek kapasiteli faktörlere sahip temel yük taleplerini karşılayacak şekilde veya daha yüksek kapasiteye ve daha düşük kapasite faktörüne sahip olacak şekilde tasarlanabilir, ancak daha büyük bir pik talebi payına sahiptir.

Hidroenerji, en büyük yenilenebilir enerji kaynağıdır ve dünyanın elektrik enerjisinin yaklaşık % 16'sını ve dünyanın yenilenebilir elektriğinin beşte dördünü üretir. Şu anda, dünyadaki 25'den fazla ülke, elektrik arzının % 90'ı için hidroelektrik enerjiden üretmektedir bu oran Norveç'te % 99.3'tür.

Çoğu hidroelektrik santral mabdan su depolayacak şekilde tasarlanır. Suyu cebri borulardan belirli bir düşü alınarak türbinlere aktarır ve burada türbinlerden elektrik enerjisi üretilmek için kullanılır. Su türbin kanatlarına çarpar ve bir shaft ile bir

jeneratöre bağı olan türbini döndürür. Günümüzde kullanılan hidroelektrik santralleri için en yaygın türbin türü, jeneratörle ardı sıra dizilime izin veren Francis türbin tipidir (Şekil 3.25).



Şekil 3.25 : Hazeli bir barajın elektrik enerjisi oluşturma şeması.

Büyük ölçekli hidroelektrik santral projeleri maliyetleri yaklaşık olarak 1.000 ABD Doları / MW ile 3.500 ABD Doları / MW arasında değişmektedir. Büyük sayılabilecek bu projeler için ortalama kapasite faktörü % 55 değerlerine kadar ulaşabilmektedir.

Büyük hidroelektrik santraller için ekonomik ömürler en az 40 yıl ve 80 yıl ömürleri üst sınır olarak kullanılabilir. Küçük ölçekli hidroelektrik santraller için yaşam ömürleri 40 yıl civarındadır ve daha düşük olabilmektedir.

Hidroelektrik santrale örnek 1: Deriner Barajı, Artvin (Şekil 3.26)

Kuzeydoğu Türkiye'nin Artvin ilçesinde bulunan Deriner Barajı, 249 metre yüksekliğindedir ve beton kemer tipi gövdeye sahiptir. Türkiye'de en yüksek barajdır ve dünyanın en yüksek beton barajları sıralamasında 6. sırada yer almaktadır. Rezervuar, Şubat 2012'de dolmaya başlamış ve elektrik santrali Şubat 2013'te tamamlanmıştır. Deriner Barajı'nın Türkiye'ye sağladığı faydalar geniş kapsamlıdır.

Ülkeye güç sağlamak için yıllık olarak yılda 2.118 GWh elektrik enerjisi üretmektedir. Deriner barajının kurulu gücü 670 MW'tır. Bu projenin yaklaşık maliyeti 1,4 milyar USD'dir (Şekil 3.26).



Şekil 3.26 : Deriner Barajı Artvin (URL-8).

$$\text{Birim Maliyet} = \frac{\text{Proje Bedeli}}{\text{Proje Kurulu Gücü}} = \frac{1.400.000}{670} = 2100 \text{ USD/kW} \quad (3.17)$$

$$\text{Kapasite Faktörü} = \frac{\text{MWh}}{\text{gün} \times \text{saat} \times \text{MW}} = \frac{2.118.000}{365 \times 24 \times 670} = 0,361 = \%36.1 \quad (3.18)$$

Hidroelektrik santrale örnek 2: Three Gorges Barajı (Çin).(Şekil 3.27)

Kurulu Güç: 22.500 MW

Yıllık Enerji Üretimi: 87 TWh

Proje Bedeli: 26 milyar USD



Şekil 3.27 : Three Gorges Barajı (Çin) (URL-9).

$$\text{Birim Maliyet} = \frac{\text{Proje Bedeli}}{\text{Proje Kurulu Gücü}} = \frac{26.000.000}{22.500} = 1160 \text{ USD/kW} \quad (3.19)$$

$$\text{Kapasite Faktörü} = \frac{\text{MWh}}{\text{gün} \times \text{saat} \times \text{MW}} = \frac{87.000.000}{365 \times 24 \times 22.500} = 0,441 = \%44.1 \quad (3.20)$$

Hidroelektrik santrale örnek 3: Caruachi Barajı (Venezuela).(Şekil 3.28)



Şekil 3.28 : Caruachi Barajı (Venezuela).

Kurulu Güç: 2.160 MW

Yıllık Enerji Üretimi: 12 TWh

Proje Bedeli: 2,1 milyar USD

$$\text{Birim Maliyet} = \frac{\text{Proje Bedeli}}{\text{Proje Kurulu Gücü}} = \frac{2.100.000}{2.160} = 975 \text{ USD/kW} \quad (3.21)$$

$$\text{Kapasite Faktörü} = \frac{\text{MWh}}{\text{gün} \times \text{saat} \times \text{MW}} = \frac{12.000.000}{365 \times 24 \times 2.160} = 0,634 = \%63.4 \quad (3.22)$$

Hidroelektrik santrale örnek 4: Itaipu Barajı (Brezilya ve Paraguay).(Şekil 3.29)

Kurulu Güç: 14.000 MW. Yıllık Enerji Üretimi: 89,5 TWh

Proje Bedeli: 19,6 milyar USD. Üretime başlama yılı: 1984/1991/2003



Şekil 3.29 : Itaipu Barajı (Brezilya - Paraguay).

$$\text{Birim Maliyet} = \frac{\text{Proje Bedeli}}{\text{Proje Kurulu Gücü}} = \frac{19.600.000}{14.000} = 1400 \text{ USD/kW} \quad (3.23)$$

$$\text{Kapasite Faktörü} = \frac{\text{MWh}}{\text{gün} \times \text{saat} \times \text{MW}} = \frac{89.500.000}{365 \times 24 \times 14.000} = 0,729 = \%72,9 \quad (3.24)$$

Hidroelektrik santrale örnek 5: Xiluodu Barajı (Çin). (Şekil 3.30)

Kurulu Güç: 13.860 MW.

Yıllık Enerji Üretimi: 57,12 TWh

Üretime başlama yılı: 2014



Şekil 3.30 : Xiluodu Barajı (Çin).

$$\text{Kapasite Faktörü} = \frac{\text{MWh}}{\text{gün} \times \text{saat} \times \text{MW}} = \frac{57.120.000}{365 \times 24 \times 13.860} = 0,471 = \%47,1 \quad (3.25)$$

Hidroelektrik santrale örnek 6: Xiangjiaba Barajı (Çin). (Şekil 3.31)

Kurulu Güç: 6.448 MW.

Yıllık Enerji Üretimi: 30,7 TWh.

Üretime başlama yılı: 2014.



Şekil 3.31 : Xiangjiaba Barajı (Çin).

$$Kapasite Faktörü = \frac{MWh}{gün \times saat \times MW} = \frac{30.700.000}{365 \times 24 \times 6.488} = 0,540 = \%54 \quad (3.26)$$

Hidroelektrik santrale örnek 7: Jirau Barajı (Brezilya). (Şekil 3.32)

Kurulu Güç: 3.750 MW.

Yıllık Enerji Üretimi: 19,1 TWh.

Üretime başlama yılı: 2014 / 2016.



Şekil 3.32 : Jirau Barajı (Brezilya).

$$Kapasite Faktörü = \frac{MWh}{gün \times saat \times MW} = \frac{19.100.000}{365 \times 24 \times 3.750} = 0,581 = \%58 \quad (3.27)$$

Hidroelektrik santrale örnek 8: Santo Antonio Barajı (Brezilya). (Şekil 3.33)

Kurulu Güç: 3.580 MW.

Yıllık Enerji Üretimi: 21,2 TWh.

Üretime başlama yılı: 2012 / 2016.



Şekil 3.33 : Santo Antonio Barajı (Brezilya).

$$Kapasite Faktörü = \frac{MWh}{gün \times saat \times MW} = \frac{21.200.000}{365 \times 24 \times 3.580} = 0,676 = \%68 \text{ (3.28)}$$

Hidroelektrik santrale örnek 9: Ertan Barajı (Çin). (Şekil 3.34)

Kurulu Güç: 3.300 MW.

Yıllık Enerji Üretimi: 17 TWh.

Üretime başlama yılı: 1999.



Şekil 3.34 : Ertan Barajı (Çin).

$$Kapasite Faktörü = \frac{MWh}{gün \times saat \times MW} = \frac{17.000.000}{365 \times 24 \times 3.300} = 0,588 = \%59 \text{ (3.29)}$$

Hidroelektrik santrale örnek 10: Boguchany Barajı (Rusya). (Şekil 3.35)

Kurulu Güç: 2.997 MW.

Yıllık Enerji Üretimi: 17,6 TWh.

Üretime başlama yılı: 2012 / 2014.



Şekil 3.35 : Boguchany Barajı (Rusya).

$$Kapasite Faktörü = \frac{MWh}{gün \times saat \times MW} = \frac{17.600.000}{365 \times 24 \times 2997} = 0,670 = \%67 \quad (3.30)$$

Hidroelektrik santrale örnek 11: W.A.C. Bennet Barajı (Kanada). (Şekil 3.36)

Kurulu Güç: 2.730 MW.

Yıllık Enerji Üretimi: 13,8 TWh.

Üretime başlama yılı: 1968 / 2012.



Şekil 3.36 : WAC Bennet Barajı (Kanada).

$$Kapasite Faktörü = \frac{MWh}{gün \times saat \times MW} = \frac{13.800.000}{365 \times 24 \times 2730} = 0,57 = \%57 \quad (3.31)$$

Hidroelektrik santrale örnek 12: Iron Gate 1 Barajı (Sırbistan - Romanya). (Şekil 3.37)

Kurulu Güç: 2.249 MW.

Yıllık Enerji Üretimi: 11,3 TWh.

Üretime başlama yılı: 1970 / 2007 / 2013.

$$Kapasite Faktörü = \frac{MWh}{gün \times saat \times MW} = \frac{11.300.000}{365 \times 24 \times 2249} = 0,57 = \%57 \text{ (3.32)}$$

Hidroelektrik santrale örnek 13: Aswan Barajı (Nil - Mısır). (Şekil 3.38)

Kurulu Güç: 2.100 MW.

Yıllık Enerji Üretimi: 11 TWh.

Üretime başlama yılı: 1970.



Şekil 3.37 : Iron Gate 1 Barajı (Sırbistan Romanya).



Şekil 3.38 : Aswan Barajı (Nil / Mısır).

$$Kapasite Faktörü = \frac{MWh}{gün \times saat \times MW} = \frac{11.000.000}{365 \times 24 \times 2100} = 0,59 = \%60 \text{ (3.33)}$$

Hidroelektrik santrale örnek 14: Atatürk Barajı (Fırat - Türkiye) (Şekil 3.39) (URL-10).

Kurulu Güç: 2.405 MW.

Yıllık Enerji Üretimi: 6.038 GWh.

Üretime başlama yılı: 1993.

$$Kapasite Faktörü = \frac{MWh}{gün \times saat \times MW} = \frac{6.038.000}{365 \times 24 \times 2405} = 0,287 = \%29 \text{ (3.34)}$$



Şekil 3.39 : Atatürk Barajı (Fırat - Türkiye).

Hidroelektrik santrale örnek 15: Karakaya Barajı (Fırat - Türkiye) (URL-11). (Şekil 3.40)

Kurulu Güç: 1.800 MW.

Yıllık Enerji Üretimi: 5.796 GWh.

Üretime başlama yılı: 1987.

$$Kapasite Faktörü = \frac{MWh}{gün \times saat \times MW} = \frac{5.796.000}{365 \times 24 \times 1800} = 0,368 = \%37 \text{ (3.35)}$$



Şekil 3.40 : Karakaya Barajı (Fırat - Türkiye).

Hidroelektrik santrale örnek 16: Hasan Uğurlu Barajı (Yeşilirmak - Türkiye). (Şekil 3.41)

Kurulu Güç: 500 MW.

Yıllık Enerji Üretimi: 1.311 GWh.

Üretime başlama yılı: 1979 / 1983 (URL-12).

$$\text{Kapasite Faktörü} = \frac{\text{MWh}}{\text{gün} \times \text{saat} \times \text{MW}} = \frac{1.311.000}{365 \times 24 \times 500} = 0,299 = \%30 \quad (3.36)$$



Şekil 3.41 : Hasan Uğurlu Barajı (Yeşilirmak - Türkiye).

Hidroelektrik santrale örnek 17: Borçka Barajı (Çoruh - Türkiye). (Şekil 3.42)

Kurulu Güç: 300,6 MW.

Yıllık Enerji Üretimi: 954 GWh.

Üretime başlama yılı: 2007 (URL-13).



Şekil 3.42 : Borçka Barajı (Çoruh - Türkiye).

$$Kapasite Faktörü = \frac{MWh}{gün \times saat \times MW} = \frac{954.000}{365 \times 24 \times 300,6} = 0,362 = \%36 \text{ (3.37)}$$

Hidroelektrik santrale örnek 18: Alkumru Barajı (Botan - Türkiye). (Şekil 3.43)

Kurulu Güç: 275,52 MW.

Yıllık Enerji Üretimi: 934 GWh.

Üretime başlama yılı: 2007 (URL-14).



Şekil 3.43 : Alkumru Barajı (Botan - Türkiye).

$$Kapasite Faktörü = \frac{MWh}{gün \times saat \times MW} = \frac{934.000}{365 \times 24 \times 275,52} = 0,387 = \%39 \text{ (3.38)}$$

Hidroelektrik santrale örnek 19: Akköy 2 Barajı (Botan - Türkiye). (Şekil 3.44)

Kurulu Güç: 229,6 MW.

Yıllık Enerji Üretimi: 701 GWh.

Üretime başlama yılı: 2016 (URL-15).

$$\text{Kapasite Faktörü} = \frac{MWh}{\text{gün} \times \text{saat} \times MW} = \frac{701.000}{365 \times 24 \times 229,6} = 0,349 = \%35 \text{ (3.39)}$$

Hidroelektrik santrale örnek 20: Kavşak Bendi Barajı (Göksu - Türkiye). (Şekil 3.45)

Kurulu Güç: 191,28 MW.

Yıllık Enerji Üretimi: 473 TWh.

Üretime başlama yılı: 2014 (URL-16).

$$\text{Kapasite Faktörü} = \frac{MWh}{\text{gün} \times \text{saat} \times MW} = \frac{473.000}{365 \times 24 \times 191,28} = 0,282 = \%28 \text{ (3.40)}$$



Şekil 3.44 : Akköy 2 (Harşit - Türkiye).



Şekil 3.45 : Kavşak Bendi (Göksu - Türkiye).

Hidroelektrik santrale örnek 21 Alparslan 1 Barajı (Göksu - Türkiye). (Şekil 3.46)

Kurulu Güç: 160 MW.

Yıllık Enerji Üretimi: 460 TWh.

Üretime başlama yılı: 2012 (URL-17).

$$\text{Kapasite Faktörü} = \frac{MWh}{\text{gün} \times \text{saat} \times MW} = \frac{460.000}{365 \times 24 \times 160} = 0,328 = \%33 \text{ (3.41)}$$

Çeşitli güncel alınmış değerlerle verilen örneklerin yanı sıra Wikipedia'dan alınmış 70 baraj için kapasite faktörü hesabı bilgileri ve ortalama bulunan kapasite faktörü hesabı EK-C'de hesaplanmıştır.



Şekil 3.46 : Alparslan 1 Barajı (Murat - Türkiye).

3.7.1 Nehir Tipi Hidroelektrik Santraller

Nehir suyu kullanan nehir tipi (Run of River - ROR) hidroelektrik santraller rezervuarsız projelendirilir. Nehrin doğal akışı ve düşüşü ile enerji üretimi gerçekleşir. Suyu depolayacak vadi gibi coğrafi etmenlerin yardımı ile depolama alanı yok ise nehir tipi hidroelektrik santraller tercih edilir. Çevresel etmenler göz önünde bulundurulduğunda işletmeci firmanın veya kamu kuruluşunun nehir yatağına can suyu bırakmaması doğal yaşam döngüsüne zarar verebilmektedir. Bu husular dikkate alındığında doğaya zarar vermeden ilgili bölgenin dönemsel olarak enerjisini karşılamak için tercih edilecek yenilenebilir enerji kaynakları arasındadır. (Şekil 3.48)

Ghazi-Barotha Hidroelektrik Projesi (Şekil 3.47), Pakistan'ın Pencap bölgesinde, Attock'un yaklaşık 10 km batısında, Indus Nehri'ne bağlı potansiyeli 1,450 MW olan nehir tipi hidroelektrik santraldir. Proje bedeli 2,1 milyar ABD dolarıdır. Yaklaşık 1.600 metreküp su, Tarbela Barajı'ndan 7 km boru ile taşınarak enerji üretmek için. Yıllık enerji üretimi 7.037 GWh.

$$\text{Birim Maliyet} = \frac{\text{Proje Bedeli}}{\text{Proje Kurulu Gücü}} = \frac{2.100.000}{1.450} = 1450 \text{ USD/kW} \quad (3.42)$$

$$\text{Kapasite Faktörü} = \frac{\text{MWh}}{\text{gün} \times \text{saat} \times \text{MW}} = \frac{7.037.000}{365 \times 24 \times 1.450} = 0,554 = \%55,4 \quad (3.43)$$



Şekil 3.47 : Ghazi-Barotha Nehir tipi hidroelektrik santrali.

3.7.2 Hidroelektrik Santrallerin Avantajları

Hava ve su kirliliği oluşturmaz.

Rezervuarlı barajlar can suyu verildiği takdirde bölge için sulama ile tarım faaliyetleri geliştirilebilmektedir.

Kullanılan su tekrar kullanılabileninden bir nehir üzerine sıralı şekilde yapılan barajlar ile nehrin bulunduğu bölgenin enerji üretimini karşılayabilir.

Fosil yakıt rezervleri kısıtlı olan ülkeler için hidroelektrik santraller ülke ekonomisi ve enerjide dışa bağıllığı azaltmak adına önemlidirler.

Su depolanan barajların oluşturdukları göletlerde su sporları ve balıkçılık faaliyetleri gerçekleştirilebilmektedir.

3.7.3 Hidroelektrik Santrallerin Dezavantajları

Büyük barajların su biriktirmesi sırasında, çevrelerindeki canlı varlıkları yok edebilmektedir. Çevre ve etki değerlendirme raporlarına riayet edilerek yapılması gerekmektedir.

Geçmişten günümüze insanlar bölgelerde nehirlerin kıyılarında yerleşik hayata geçme eğilimindedirler. Nehirler üzerine yapılacak olan barajların su depolanacak havzalarının bölgelerinde yaşayan insanları taşınmak zorunda bırakmaktadır.

Ekonomik ömürlerini tamamlamış barajlar ölü hacimlerinin dolmasından dolayı, baraj projelendirilme amaçlarını yerine getiremez hale gelirler.

Doğru projelendirilemeyen veya projesine uygun yapılmayan barajların yıkılması durumunda barajı besleyen nehrin mansab tarafındaki yerleşim birimleri ciddi sel tehlikesi altında kalabilmektedir.



Şekil 3.48 : Hidroelektirik enerji sembol.

3.8 Hidrojen Enerjisi

Hidrojen en basit elementtir. Bir hidrojen atomu sadece bir proton ve bir elektrondan oluşur. Aynı zamanda evrendeki en bol elementtir. Sadeliğine ve fazlalığına rağmen, hidrojen doğal olarak dünyada bir gaz olarak bulunmaz. Her zaman diğer unsurlarla birleştirilir. Su, örneğin, hidrojen ve oksijen (H_2O) birleşimidir. Yakıt Hücreleri havadan Hidrojen ve Oksijen alır ve elektrik, ısı ve su çıkarır. Enerji üretiminde fosil yakıtlar kullanmaz ve sera gazı üretmez, lokal çözümlerde dağıtılmış veya taşınabilir elektrik gücü sağlamak için ideal çözüm olabilmektedir.

Su Arıtma: Açık deniz platformunda, deniz suyu bol bir kaynaktır. Deniz suyu tuzdan arındırılarak ve ardından kum filtrelerinden geçirilerek elektroliz için saf su üretilir.

Elektrolizler: 30 bar'da yüksek saflıkta hidrojen üretilir. Bu işlem sonucu tek yan ürün olan oksijen salınmaktadır.

Sıkıştırma: Üretilen hidrojen gazı, depolama hacmini azaltmak için iyonik bir kompresörde 700 bara sıkıştırılır. Gazın basıncı beş aşamada kademeli olarak artar ve

enerji kaybını sifira yakın tutar. Minimum bakım gereksinimi olan kompresörler, açık deniz işletmesi için çok uygundur.

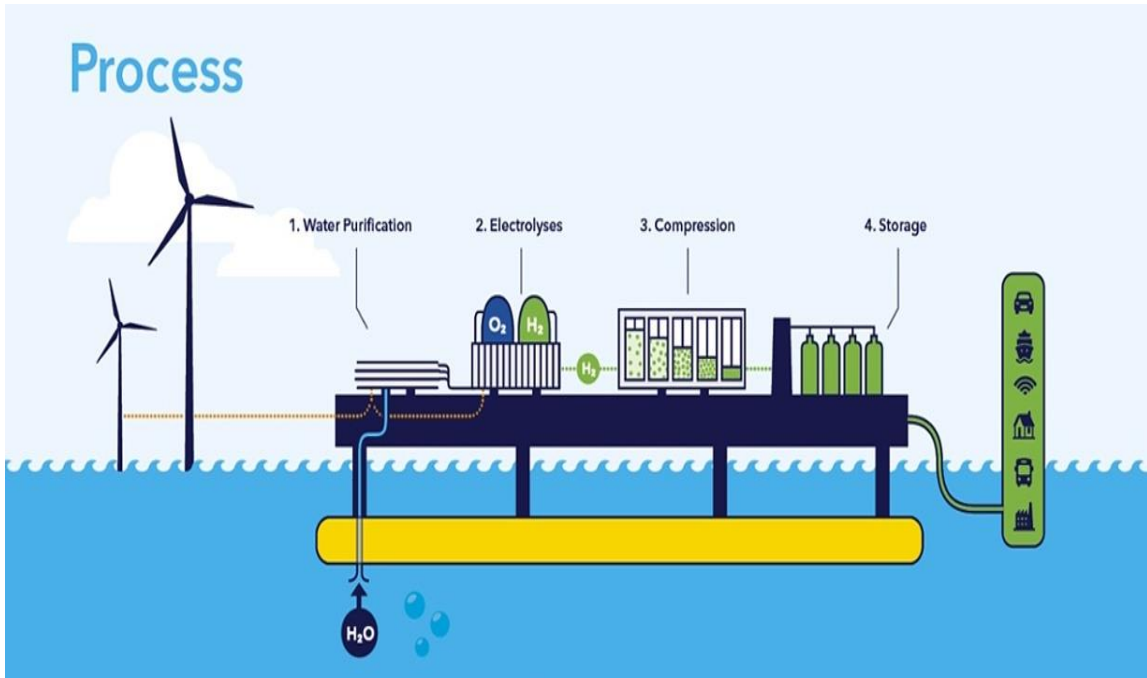
Depolama: Üretilen yüksek basınç altındaki hidrojen işletim tesisinde gönderilmek üzere depolama ünitelerinde bekler.

Hidrojen Enerji Sistemi Örneği: Kaliforniya Hidrojen Enerji (HECA) (Şekil 3.49-3.50)

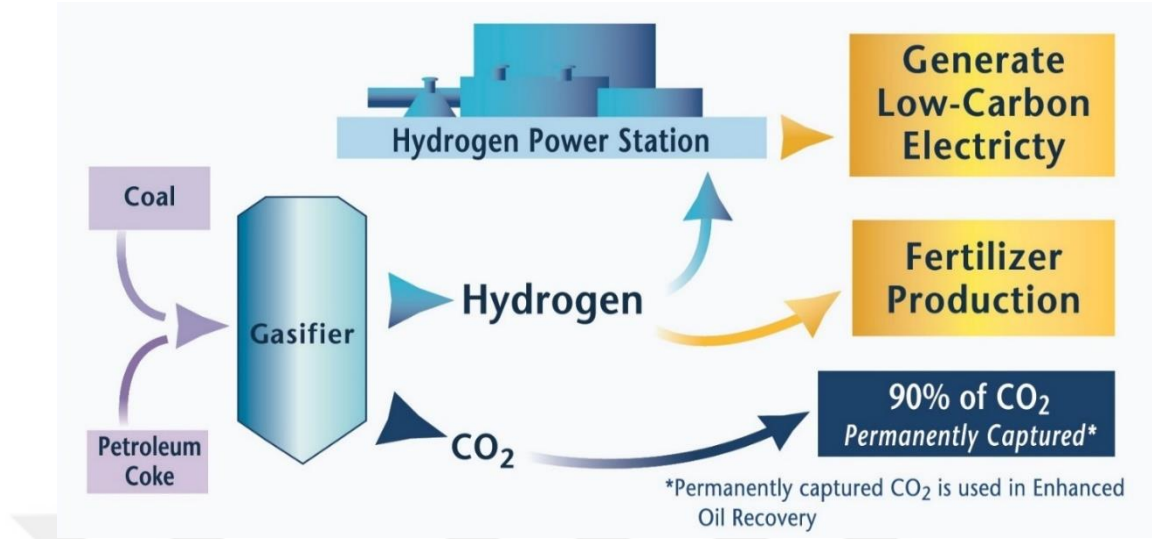
Hidrojen Enerjisi California (HECA), Kaliforniya'daki Kern County'deki ABD Enerji Bakanlığı'nın desteğiyle geliştirilen alternatif bir enerji, hidrojen gücü projesidir. Bu proje için toplam enerji departmanı (DOE) finansmanı 408 milyon dolar olarak aktarılmıştır. HECA karbon tutma ve depolama (CCS) projesidir, kurulu güç 400 MW. Proje, CO₂'nin yılda yaklaşık 2.6 milyon tonluk bir oranda yakalanmasını ve depolanmasını sağlayacaktır. HECA Kaliforniya için 288 MWh net elektrik enerjisi üretimi sağlamaktadır.

$$Yatırım\ Maliyeti = \frac{Proje\ Maliyeti}{Proje\ Kapasitesi} = \frac{408.000}{400} = 1020\ USD/kW \quad (3.44)$$

$$Kapasite\ Faktörü = \frac{MW\ (yıllık)}{MW\ (kurulu\ güç)} = \frac{288.000}{365 \times 24 \times 400} = 0,82 = \%82 \quad (3.45)$$



Şekil 3.49 : Hidrojen ile enerji üreten tesisin aşamaları.



Şekil 3.50 : Heca santrali enerji çevrimi.

3.8.1 Hidrojen Enerjisinin Avantajları

Hidrojen, büyük bir enerji kaynağıdır, en büyük neden ise kolay erişilebilir olmasıdır. Hidrojen enerjisinin kullanılmasının bir başka avantajı, yakıldığında neredeyse hiçbir zararlı yan ürün salınmamasıdır.

Hidrojen toksik madde değildir, bu da onu yakıt kaynakları arasında nadir ve temiz kaynak yapar. Nükleer enerji, kömür ve benzin hepsi ya zehirlidir ya da tehlikeli ortamlarda bulunur, üretilir ve iletilmesi dahi tehlikeli durumların oluşmasına yol açmaktadır.

Elektroliz ile depolama süreçleri basite indirildiğinde ve gelişen teknoloji ile daha ucuza mal edilmeye başlandığında petrol ile çalışan araçlardan hibrit enerjisi ile yakıtı hidrojen olan araçlara geçilmesi kaçınılmazdır.

3.8.2 Hidrojen Enerjisinin Dezavantajları

Hidrojen gazının elde edilebilmesi yani suyun oksijen elementinden arındırılabilmesi için çok fazla iş süreci gerekmektedir. Eğer basit ve izole etmek kolay olsaydı, çok temiz ve verimli bir enerji kaynağı olarak kullanılabilirdi.

Bazı hibrit arabalara güç vermek için kullanılmaktadır, ancak günümüz teknolojisine sahip dünyada herkes için uygun bir yakıt kaynağı değildir. Bu basitçe üretmenin pahalı ve zaman alıcı olmasından kaynaklanmaktadır.

Depolanan hidrojenin bir yere taşınması süreci pahalı ve zordur.

Hidrojen kendi içinde çok güçlü bir yakıt kaynağıdır. Yüksek derecede yanıcıdır ve çok yüksek basınç altında depolandığından her zaman potansiyel riskler içermektedir.

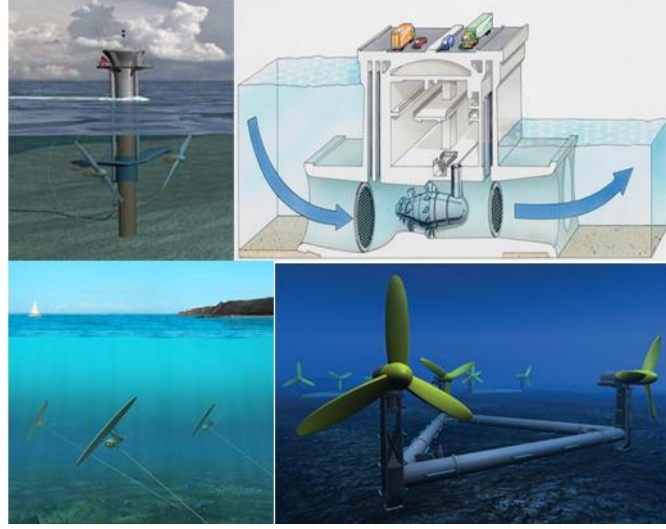
3.9 Gelgit Enerjisi

Gelgit gücü (akıntı gücü) için dünya çapındaki potansiyelin yılda 700 TWh olduğu tahmin edilmektedir. Deniz akımı enerjisi, yenilenebilir enerjinin en heyecan verici gelişen formlarından biridir. Deniz akımları, diğer birçok yenilenebilir enerji türünden farklı olarak, ayın safhalarından etkilenen düzenli gelgit döngülerin neden olduğu tutarlı bir kinetik enerji kaynağıdır. Rüzgar kesintisi, dalganın azalması ve güneşin bulutlar arkasında kalması yenilenebilir enerji kaynaklarının sürekliliği adına bir problemdir. Güneşin her zaman parlamadığı ve rüzgârın her zaman esmediği zamanlar olur. Bu sebeple yenilenebilir enerji kaynakları, genellikle geleneksel güç üretim biçimlerinden destek gerektirir. Bununla birlikte, gelgit gücünün doğal öngörülebilirliği, şebeke yönetimi için oldukça caziptir. (Şekil 3.51-52-53).

Gelgit Enerji Projesi Örneği; Sihwa Gölü Gelgit Güç Santrali (Güney Kore). Sihwa Gölü Gelgit Güç Santrali, 254 MW'lık toplam güç çıkış kapasitesine sahip dünyanın en büyük gel-git güç tesisidir. Gelgit barajı, taşkın azaltma ve tarım amaçlı olarak 1994 yılında inşa edilen bir deniz duvarından yararlanır. 10 adet 25.4 MW'lık daldırılmalı ampul türbinleri, bir pompalanmamış taşkın üretim sisteminde tetiklemektedir. Yalnızca içe doğru akışlarda güç üretilmektedir. Bu biraz alışılmamış ve nispeten verimsiz yaklaşımdır, mevcut arazi kullanımı, su kullanımı, koruma, çevre ve enerji üretiminin karmaşık bir karışımını dengelemek için seçilmiştir. Projenin maliyeti Güney Kore Hükümeti tarafından karşılandı ve toplamda 293 milyon ABD doları oldu. Yıllık üretim; 552 GWh.

$$\text{Yatırım Maliyeti} = \frac{\text{Proje Maliyeti}}{\text{Proje Kapasitesi}} = \frac{293.000}{254} = 1150 \text{ USD/kW} \quad (3.46)$$

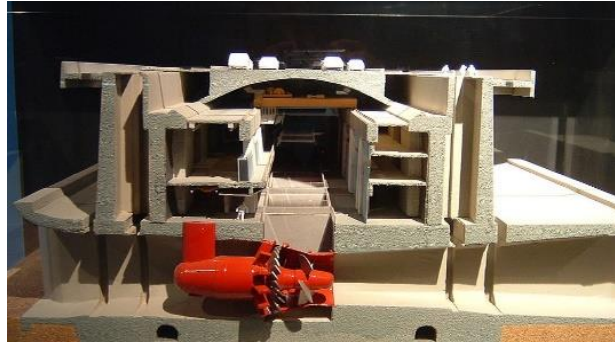
$$\text{Kapasite Faktörü} = \frac{\text{MWh}}{\text{günler} \times \text{saatler} \times \text{MW}} = \frac{552.000}{365 \times 24 \times 254} = 0,248 = \%24,8 \quad (3.47)$$



Şekil 3.51 : Gelgit enerjisi teknolojileri.



Şekil 3.52 : Gelgit enerjisi için kullanılan türbinin boy kesit görünümü.



Şekil 3.53 Sihwa Gelgit Güç Santrali (Güney Kore) (2011).

3.9.1 Gelgit Enerjisinin Avantajları

Gel-git enerji santrallerinden karbon emisyonu yoktur. Bu özelliği küresel ısınmayı tetiklemeyen, çevreyi olumsuz yönde etkilemeyen bir enerji kaynağı haline getirir.

İlk inşaat maliyetleri tamamlandıktan sonra, gel-git enerji santralini işler durumda tutmak için az ek maliyet ihtiyacı doğar. Bakım onarım ve işletimi için asgari sayıda personel gerektirmektedir.

Belirli bir zaman kısıtlaması yoktur. Gelgit enerjisi dünya, güneş ve ay arasındaki çekim gücü oldukça var olmaya devam edecektir. Bu, ayın dünyanın etrafında döndüğü sürece gelgitlerin enerji üretmeye devam edeceği anlamına gelmektedir.

3.9.2 Gelgit Enerjisinin Dezavantajları

Gel-git enerjisi ile ilgili en büyük endişe, türbinlerin ve bitkilerin çevre bölgelerinde deniz yaşamı üzerinde etkisi olacaktır. Türbinlerin montajı, deniz yaşamının habitatlarını büyük ölçüde etkileyebilme riskine sahiptir ve ayrıca balık türlerinin ve diğer canlı hareketlerini önleyebilir.

Bir Gel-git tesisi, deniz erişimini büyük ölçüde etkileyebilmektedir. Okyanusta seyahat etmesi gereken yolcu ve yük gemilerinin yanı sıra diğer gemilerin ulaşımını etkileyebilir.

Gel-git enerjisinden elektrik üretme yöntemlerinin yeni teknolojiler olduğunu fark etmek önemlidir. Gelgit gücünün teknolojinin gelişmesi ile birlikte daha büyük ölçekli enerji sağlama tesisleri ile ticari olarak kârlı olacağı tahmin edilmektedir. Enerji verimliliğinin düşük olması günümüzde yatırımların az olmasına neden olmaktadır.

Akıntı ve gelgit enerjisi için her ülkenin coğrafi şartlarının uygun olmaması da günümüzde fazla tercih edilmemesi nedenlerindedir.

Özellikle açık denizlerde suyun tuz oranı arttıkça tesisin ekonomik çalışma ömrü düşmektedir. Tesisini oluşturan malzemelerin daha dayanıklı ve yıpranma yapı az olan maddelerden yapılması ile tercih edilir bir yönteme dönüşecektir.

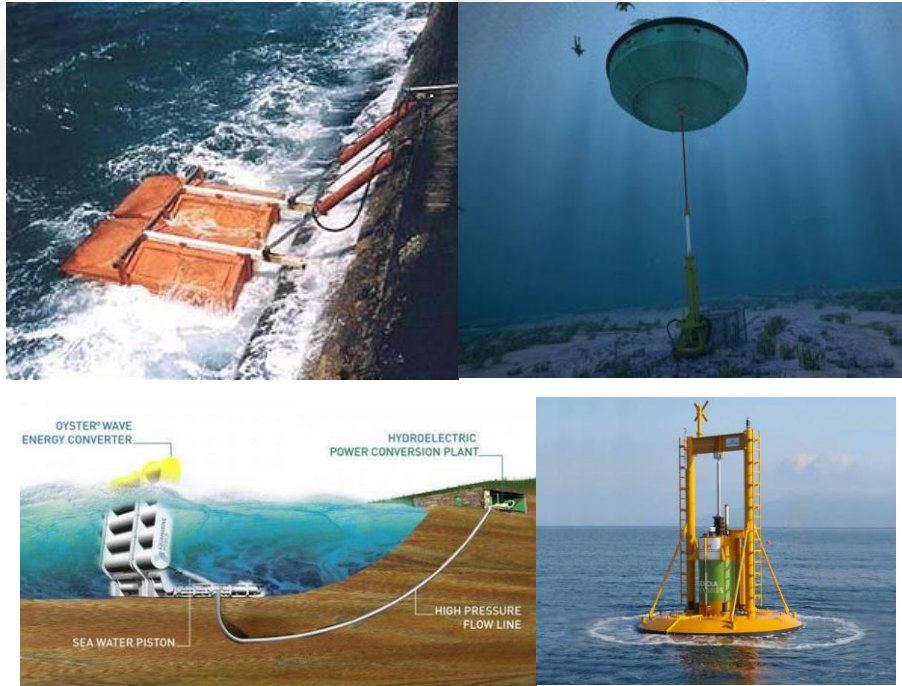
3.10 Dalga Enerjisi

Dalgalar deniz ve okyanus yüzeyinde esen rüzgardan kaynaklanır. Dünyanın birçok bölgesinde rüzgar, kıyı şeridinde sürekli dalgalar sağlamak için yeterli kıvam ve

kuvvet ile darbeler yapar. Okyanus dalgaları muazzam bir enerji potansiyeli barındırmaktadır. Dalga enerjisi üreten cihazlar, okyanus dalgalarının yüzey hareketinden veya yüzeyin altındaki basınç dalgalanmalarından enerjiyi üretmektedir. (Şekil 3.54).

3.10.1 Kıyıya yakın uygulamalar

Dalgalar açık denizdeki hareketlerine göre kıyı şeridinde çok farklı davranırlar. Bir dalga kıyıya ulaştığında, dalganın altındaki deniz yatağı kıyıya yaklaştıkça sığlaşır. Sığlaşan bu notlarda verimliliği düşürmeyecek şekilde yerler seçilerek sabit cihazlar kıyı şeridinde bağlanır ve elektrik üretmek için projelendirilir. Birkaç farklı kıyıya yakın enerji üretme yöntemleri vardır. Suya batırılmış bir beton haznesi içinde bir hava hanesini yakalayarak çalışırlar. Dalga odacık içerisine girerken, haznenin içindeki hava dışarıya itilerek, bir jeneratörün elektriğe dönüştürülmesi için türbinden geçer ve özellikle lokal bölgeler için enerji üretilir. Deniz çiti ile enerji üretimi diğer dalga enerjisine örnek olarak gösterilebilir.



Şekil 3.54 : Dalga enerjisi tipleri.

Dalga Enerjisi Sistemi Örneği: İslay Dalga Enerjisi (İskoçya) (Şekil 3.55)

Bir enerji merkezi odacığı olarak projelendirilen kıyı şeridindeki kaya yüzüne yerleştirilmiş eğimli bir takviye edilmiş kabuk enerji merkezi olarak tasarlanmıştır.

Dalgalar kabuk odasına girdikçe suyun seviyesi yükselir, odanın üstündeki hava sıkışır. Bu hava daha sonra bir "hava deliği" ve "Kuyu Türbininin" içine zorlanır. Türbin, hava akışının yönünden bağımsız olarak aynı şekilde dönmeye devam edecek şekilde tasarlanmıştır. Hava, türbinin hareket etmesini sağlayarak haznenin içerisine doğru geri çekilir, salınan su kolonu tarafından yaratılan her iki yönde hava sürekli olarak akar, enerjiyi elektriğe çeviren bir jeneratörü çalıştırmak için türbinde yeterli hareket üretilmektedir.



Şekil 3.55 : İslay Dalga enerji üreten santralin dış görünümü (İskoçya).

3.10.2 Açık Deniz Uygulamaları

Okyanusun ortasında, dalgalar yukarı-aşağı hareket eder veya yükselir. Yüzen cihazlar açık denizde bulunur ve sabit cihazlara tamamen farklı bir şekilde çalışır. Yüzen bir cihazı görselleştirmenin en iyi yolu, suyun üzerinde yüzen dev bir yılan gibidir. Yüzen cihaz, menteşelerle birbirine bağlanan büyük metal borulardan oluşur. Tüp grubu, kablo kullanarak deniz yatağına bağlanır, böylece cihaz tek bir yere sabitlenir. Şişme yılanın altından geçerken, bir boru yukarı doğru hareket edecek ve bağlı olduğu tüp aşağı doğru hareket edecektir.

Bu hareket, yılanın (Pelamis) dalga altından geçerken metal eklemli tüplerin hareketi ile tekrarlanır. Tüpler arasındaki bağlantılar bir pompaya bağlanır. Bu, borular hareket ettikçe bir hidrolik motor sistemi ile pompalama işlemi gerçekleşir, dönerken jeneratörler aracılığı ile elektrik üretir. Üretilen elektrik, deniz tabanına bağlanan kablolar vasıtasıyla karaya ve ya beslenecek deniz üstü platforma bağlanabilmektedir.

Açık Deniz Uygulaması Örneği: The Pelamis (Orkney, İSKOÇYA) (Şekil 3.56)

Pelamis, menteşeli mafsallarla bağlanan dört ana boru parçasına sahip silindirik bir projedir. Her segment 150 metre uzunluğunda ve 3,5 metre genişliğindedir ve tamamen ölçüldüğünde 750 ton ağırlığındadır. Makine, menteşeli mafsalların dalganın neden olduğu hareketinden dalgalar ile gücü çalıştırır ve iletir. Bu güç, hidrolik motorlara akümülatörlerin yumuşatılmasıyla yüksek basınçlı yağ pompalayan hidrolik sisteme sahiptir. Her bir modül, kıyıya çeşitli cihazları bağlayan tek bir deniz tabanına sahip kablo ile eksiksiz bir elektro-hidrolik güç üretim sistemi içerir. Makine, bağlama kablolarının gerginleşmesini önleyen yüzer ve ağırlıkları birleştiren bir bağlama sistemi ile yerinde tutulur. Bu, Pelamis'in yerini tutmak için yeterli koruma sağlar ancak makinenin yaklaşmakta olan dalgalara doğru sallanmasına da izin verir. Pelamis ideal olarak 50-60 metrelik sulara (genellikle kıyından 5-10 km) sular altında demirlenir. Uzun bir denizaltı kablosunu maliyetini artıracaktır. Her modül için;

Güç kapasitesi: 750 kW Yıllık üretilebilecek enerji: 2,7 GWh

$$Capacity\ Factor = \frac{MWh}{days \times hours \times MW} = \frac{2.700}{365 \times 24 \times 0,75} = 0,411 = \%41,1 \quad (3.30)$$



Şekil 3.56 : Pelamis (Orkney, İskoçya).

Portekiz'e ait bir projede ise maliyet: 39 (modül) x 0,75MW (faz-2) için yaklaşık 58 milyon USD'dir.

$$Investment\ Cost = \frac{Project\ Cost}{Project\ Capacity} = \frac{58000}{39 \times 0,75} = 1980\ USD/kW \quad (3.31)$$

3.10.3 Dalga Enerjisinin Avantajları

Dalga enerjisi zararlı sera gazı emisyonu olmadan gelir amaçlı kullanılmaktadır.

Çoğu yeşil enerji kaynağı ile olduğu gibi, dalga gücü de yenilenebilir enerji kaynağıdır.

Dalgalarda gelen miktar gücü çok büyüktür. Enerji yoğunluğu, kıyı boyunca her metre (0.67 metre) dalga için tipik olarak 30-40 kW civarındadır. Her metrede okyanusa 100kW daha ilerledikçe enerji potansiyeli artmaktadır.

Açık deniz dalga çiftliklerinin nereye yerleştirileceğine dair daha büyük esneklik dalga gücünün çevre üzerindeki olumsuz çevresel etkilerini potansiyel olarak en aza indirmektedir.

3.10.4 Dalga Enerjisinin Dezavantajları

Dalga gücü teknolojisi çok erken aşamadadır ve bu da maliyetlerin daha fazla speküle edilmesini ve uygulanabilirliği açısından tartışmaları beraberinde getirmektedir. Şu anda, dalga gücünün maliyeti çok yüksektir.

Dalga ile güç üretimi düzenli bakım gerektirir. Bu parçaların bir kısmının suyun altında olması, onu daha zor bakım onarım faktörü ile karşı karşıya bırakmaktadır.

Kıyıda görülebilen enerji santralleri, kara turizmi ve yerel halkın kabullenmesi ile çatışmalara neden olabilir.

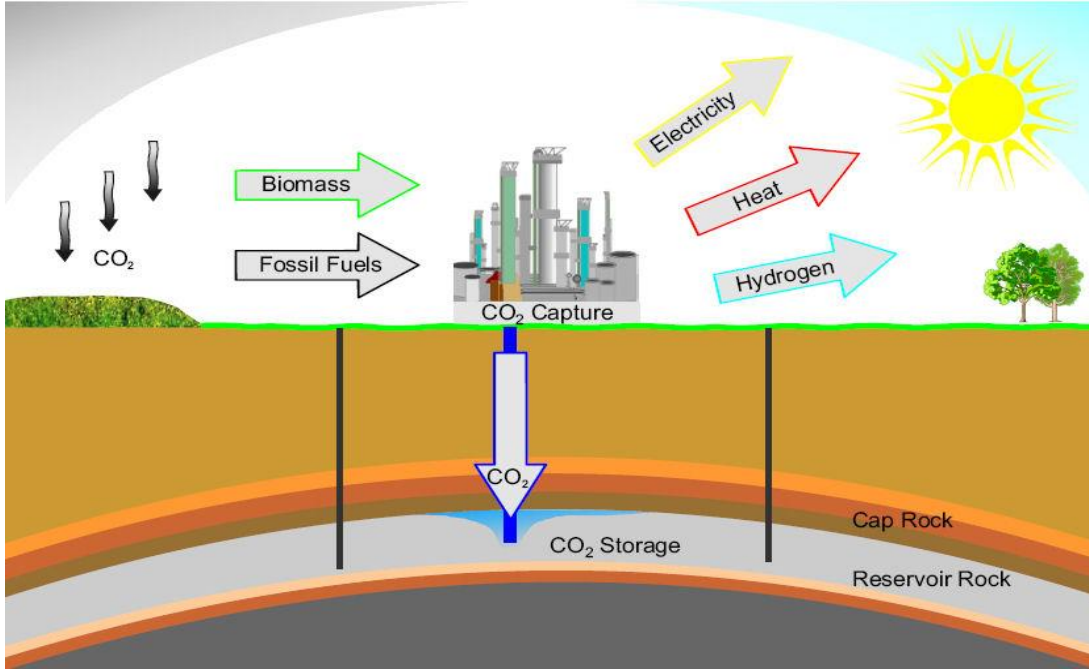
Dalga gücünün deniz yaşamını nasıl etkilediğini henüz bilmiyoruz ve ya yapılan araştırmalar yeterli değildir. Önümüzdeki yıllarda bu alanda daha fazla veri sahibi olmak bu temiz enerji kaynağının teknolojinin de gelişmesi ile kullanım alanlarının artmasına neden olacaktır ve ya lokal olarak kullanılması uygun görülecektir.

4. KARBON YAKALAMA VE DEPOLAMA İLE ENERJİ ÜRETİMİ TEKNOLOJİSİ

Kömür, doğalgaz, petrol gibi fosil yakıtlar kullanımı dünya çapında artışı devam etmektedir. Fosil kaynaklı elektrik santralleri, demir çelik, çimento, alüminyum vb ağır sanayi tesisleri, hava, deniz taşıtları ve kara nakil araçları, ev ve iş yerleri ısınma, soğutma ve diğer enerji gereksinimleri büyük oranlarda küresel fosil yakıt yakılması suretiyle karşılanmaktadır. Özellikle fosil yakıt kullanan güç santralleri atmosfere yoğun şekilde sera gazları emisyonları yapmaktadır. Sera gazı emisyonları içerisinde yüksek oranlarda bulunan karbon salımlarının yok edilmesi teknolojileri geliştirilmeye çalışılmaktadır. Bugün atmosferdeki karbondioksit oranı 404 ppm, yani havadaki milyon molekülden 404 tanesi karbondioksit. Endüstri devriminden önce bu oran 280 ppm'di. Her geçen sene de 2-3 ppm artmakta. Bilim insanlarının küresel ısınmanın insanlığa zarar vermemesi için koydukları limit ise 350 ppm, yani biz tehlike sınırını aşalı epey oldu. Demek ki bizim en kısa zamanda atmosfere bu gazları salmayı bırakmamız ve doğanın bu gazları emmesine yardım etmemiz gerekiyor. Küresel ısınma ve küresel iklim değişikliği mekanizmaları içerisinde küresel karbon salımları önemli yer tutmaktadır. Küresel karbon salımlarının bertaraf edilmesi teknikleri arasında en yaygın teknik karbon tutma ve depolama (carbon capture and storage) CCS teknolojileri adı ile anılmaktadır. Aslında fosil yakıt kaynaklı termik santraller kanalıyla yayılan karbondioksitin tutulmasında kullanılan karbon yakalama ve karbon depolama CCS teknolojisi zor değildir. Ancak CCS teknolojisi maliyeti son derece pahalıdır. Öte yandan, yakalanan karbondioksit emisyonları, yeraltı katmanları arasına sıkışmış veya tükenmeye yüz tutmuş petrol yatakları içerisine pompalanmak suretiyle ham petrolün yeryüzüne çıkarılması ve petrol üretim artışı sağlanması teknolojileri kapsamında da kullanılmaktadır. Böylece CCS teknolojisi maliyetleri amortisman bedeli varmışçasına düşürülmektedir. Yeni Karbon yakalama ve depolama teknolojisi projesinin verimli olup olmadığını ise zaman gösterecektir.

CCS teknolojisi temel olarak üç ana safhadan oluşmaktadır. İlk safhada karbon yakalama işlemi gerçekleştirilmektedir (Şekil 4.1). Diğer iki safhada ise yakalanan

karbondioksitin yeraltında bulunan kayalara pompalanması ve depolanması işlemleri yerine getirilmektedir. Küresel fosil yakıtlar kullanımını bu hızla artması halinde gelecekte dünyanın insan sağlığı ve çevre güvenliği perspektifleri açısından ciddi problemlerle karşılaşmaması için çok sayıda CCS teknolojili tesisin faaliyete geçirilmesi zorunluluk arz etmektedir. Fosil yakıt kökenli termik santraller, çimento fabrikaları ile demir ve çelik tesisleri vasıtasıyla atmosfere salınan karbondioksit emisyonlarının bertaraf edilmesi çerçevesinde CCS teknolojileri şimdilik en iyi teknolojik yöntem olarak görülmektedir. Küresel ısınma ve küresel iklim değişiklikleri sorunları durdurulabilmesi için ortalama global sıcaklık artışının 2°C ile sınırlandırılması konusunda bilim insanları görüş birliği içerisinde bulunmaktadır. Bu bağlamda 2050 yılına kadar küresel karbondioksit emisyonlarının %50 oranında azaltılması zorunluluğu üzerinde durulmaktadır.

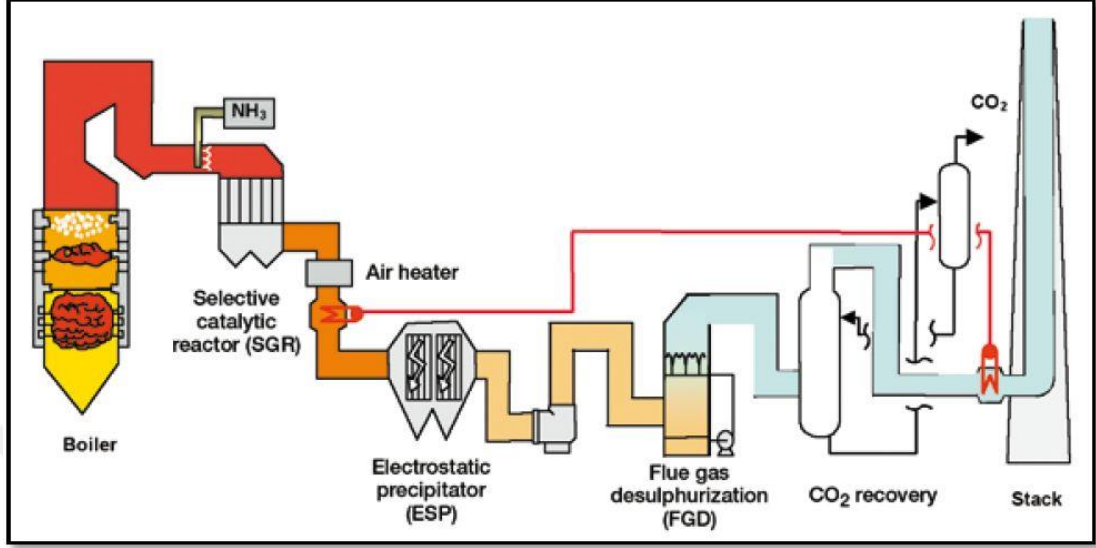


Şekil 4.1 : Karbon yakalama ve toplama tesisi çalışma şeması.

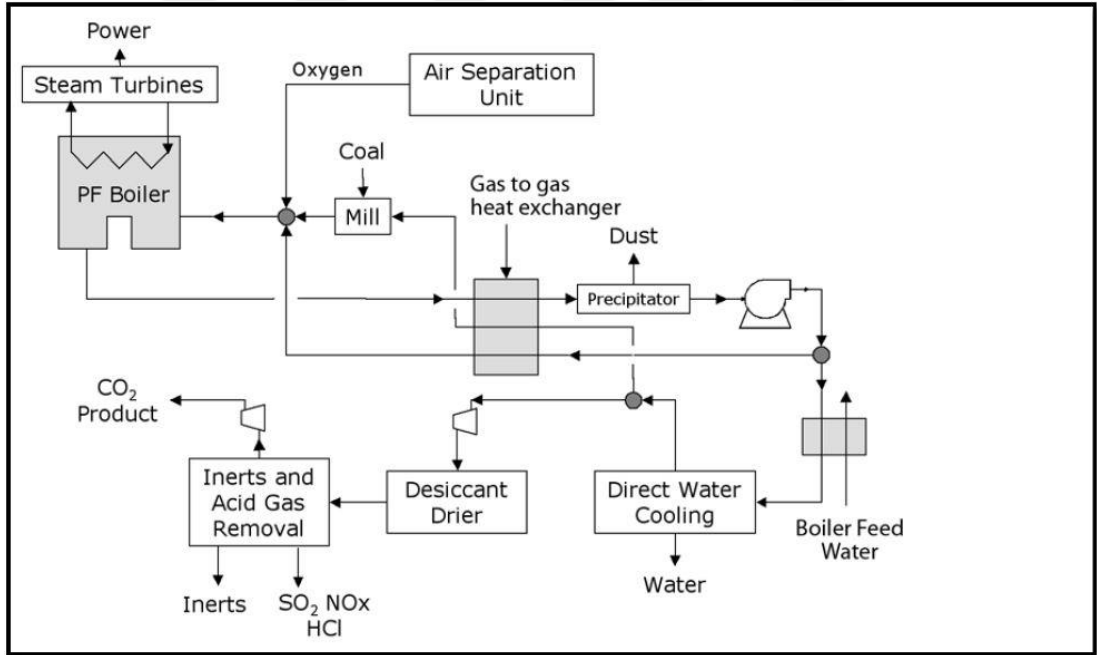
4.1 Karbon Yakalama

Bir kilogram fosil yakıt karbon yakıldığında yaklaşık 3.5 kilogram karbondioksit ortaya çıkmaktadır. İnsan kaynaklı CO₂ yayılımının yaklaşık % 60'ı elektrik santralleri, rafineriler, gaz işletme tesisleri ve endüstriyel fabrikalar gibi büyük ve sabit tesislerde gerçekleşir. Bu işlemlerin çoğunda, çıkan egzoz dumanı seyreltilmiş CO₂ içerir. Egzoz dumanı karışımındaki CO₂'i diğer gazlardan ayırmanın yollarından biri %90'dan fazla CO₂ içeren bir akım üretmektir. Diğer bir seçenek de tıpkı doğal gazdan

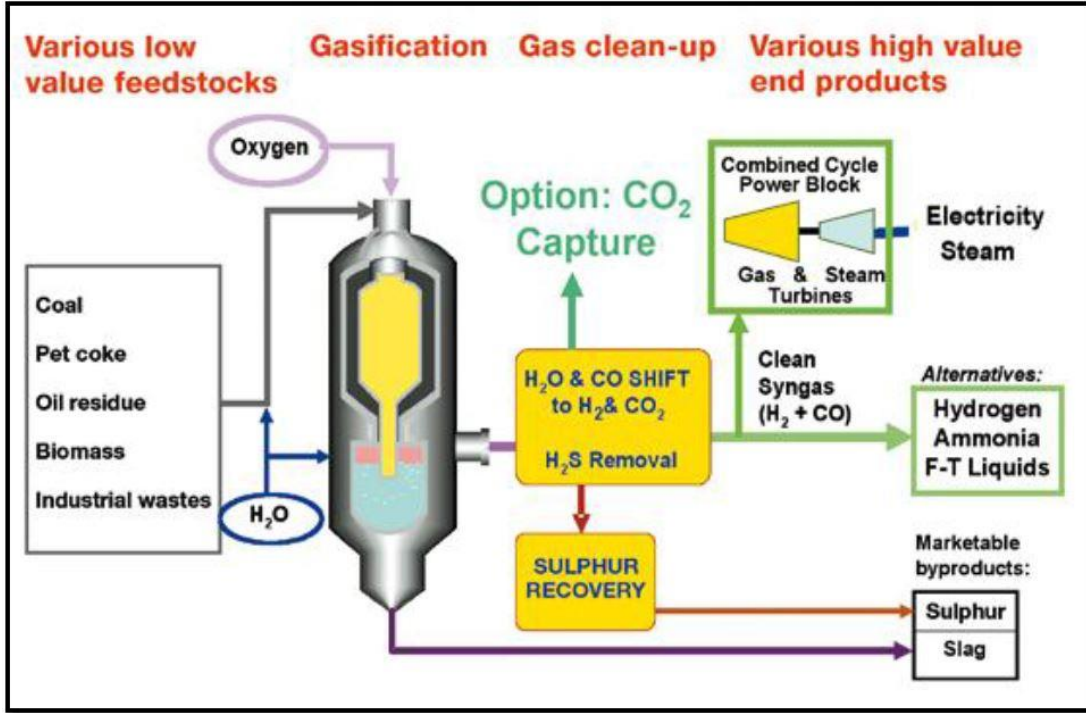
(metan gibi) CO₂ ve hidrojen üretme örneğinde olduğu gibi karbonu yanmadan önce sistemden uzaklaştırmaktır. Kömür ile enerji üretilen santrallerde 3 farklı yolla CO₂ yakalama teknolojisi bulunmaktadır (Şekil 4.2), (Şekil 4.3), (Şekil 4.4).



Şekil 4.2 : Pulvarize yakma sistemine sahip santrallerde amine bazlı karbon yakalama sistemi şematik görüntüsü (M. Özçelik, 2015).



Şekil 4.3 : Pulvarize yakma sistemine sahip santrallerde oksijen yakıt kullanımlı karbon yakalama sistemi şematik görünümü (M. Özçelik, 2015).



Şekil 4.4 : Gazlaştırma sistemine sahip santrallerde karbon yakalama sistemi.

Bu yakalama teknolojileri tipik enerji üretimi ölçeğinde henüz işletilmemiştir, buna bazı teknik ve ekonomik sorunlar eklenebilir, günümüz örneklerinde uygulamada aksaklıklar yaşanmaktadır (M. Özçelik, 2015).

Karbon yakalama maliyetleri kullanılacak sisteme göre değişiklik göstermekle birlikte doğal gaz yakıtlı santrallerde 37-74 US\$ / tCO₂, PC teknoloji kömür yakıtlı santrallerde 29-51 US\$ / tCO₂, entegre kombine kömür gazlaştırma santrallerinde ise bu değer 13-37 US\$ / tCO₂ değerlerindedir.

4.2 Karbon Depolama

Karbon yakalandıktan sonra ya depolanır ya da tekrar kullanılır (örnek olarak, gazlı içeceklerin üretiminde ve bitki gelişimine yardımcı olarak seralarda). Günümüzde, CO₂ 'i geri kullanıma akzandıracak market alanı sınırlı olduğundan, ortaya çıkan CO₂ gazının büyük miktarı depolanmak zorundadır. CO₂ boşaltılmış petrol ve doğal gaz rezervleri, derin tuzlu akiferler ve kazılamaz kömür tabakaları gibi jeolojik yapılarda depolanabilir.

Petrol kuyularında üretim verimini artırma (Enhanced oil recovery-EOR). Türkiye Geliştirilmiş Petrol Kazanımı uygulaması ile CO₂ depolamasını Kuzey Amerika'dan sonra uygulayan ilk ülkedir. Batı Raman sahasına ilk CO₂ enjeksiyonu 1986 yılında

başlamıştır. Bunun yanında Batı Kozluca sahasına CO2 enjeksiyonu Mayıs 2003'de 6 kuyu ile başlamıştır. CO2'in daha etkili bir şekilde kullanılması için 11 ek kuyu daha sahada açılmıştır.

Doğalgaz kuyularında üretim verimini artırma (Enhanced gas recovery-EGR)

Tükenmiş petrol ve doğalgaz kuyuları

Tuz oluşumlarına depolama

Kömür yataklarında metan çıkışının artırılması(Enhanced Coal Bed Methane Recovery – ECBM)

Okyanuslara depolama.

Bunların yanı sıra, CO2 mineral formunda katılaştırılabilir. Jeolojik formasyonlar muazzam oranda depolama kapasitesi sağlamaktadır. İngiltere Southampton Üniversitesi (University of Southampton) öğretim üyesi Jeolog Dr Juerg Matter liderliğinde yürütülen ve kimyacıardan oluşan bir grup bilim insanının araştırmaları sonucu, karbondioksit (carbon dioxide) uygun kayalar içine enjekte edilmesi durumunda taş haline dönüştüğü ve transmutasyona uğrayabildiği gösterilmektedir. Karbondioksiti taşla çeviren araştırmacılar söz konusu emisyonları kalsit (calcite) ve manyezit (magnesite) gibi karbonat mineraller (carbonate mineral) bileşiklerini konumuna dönüştürmektedir. Karbonat mineral (carbonate mineral) yapıları kristallerin kararlı ve stabil olması sayesinde ise karbon içerikli salınımların sonsuza kadar hapsedilmesi ve korunması olası görülmektedir Karbon tutucu mineral formları aşağıda gösterilmektedir.

- Amin Çözücüler (Amine-Grafted Silica, Alkanolamine)
- Amonyum Çözücüler
- Dual Alkali Çözücüler
- Lityum içerikli Emiciler
- Polimerik Membranlar
- Gözenekli inorganik Membranlar
- Yoğun İnorganik Membranlar
- Katı Emiciler (Zeolit, Karbon Emiciler)

- İyonik Sıvılar
- Metal Organik Çerçevesel
- Hidrat Ve Karbonatlar (Ca ve Mg içerikli)

4.3 Karbon Taşıma

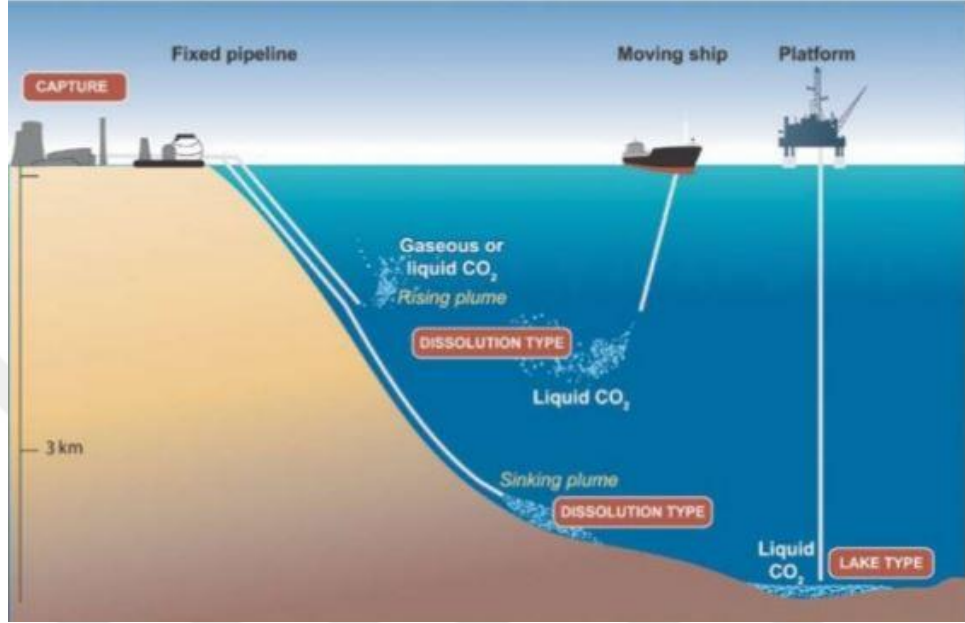
Karbonun depolanması öncesi taşınması özellikle maliyeti etkileyen önemli faktörlerdendir. taşıyan gelişmiş bir teknoloji olan boru hattı taşımacılığı, bu amaç için en uygun seçenektir. Bazı durumlarda CO₂ akışı N₂, O₂, H₂S ve/veya SO₃ gibi sıvı içinde yoğunlaşmayı önlemek için yüksek operasyonel basınçlarda çalışma gerekliliği gerektiren yabancı maddeler içerebilir. Bu yüzden CO₂'in nakliyesi özel koşullarda taşımacılık için uygundur. Bugün için diğer taşıma yöntemleri uygulanabilir görünmemekle birlikte hazırlanan bazı projeksiyonlarda özellikle yakın mesafeye ulaşımında tanker taşımacılığı ön plana çıkarılmaktadır. Şimdiye kadar CO₂'in taşımacılığı için farklı teknolojiler önerilmiştir. Bunlar arasında güvenli ve ucuz teknoloji olarak, uzun vadeli ve büyük depolama kapasitesine sahip olması gibi gerekli şartları sağlayan alternatifler Tablo 4.1'de verilmektedir.

Tablo 4.1 Başlıca taşımacılık opsiyonları ve maliyetleri.

Teknoloji	Uygunluk	Kapasite	Süreç	Maliyet Tahmini (US\$/tCO ₂ net depo edilen)
Okyanusa Depolama	Orta	Büyük	30-500 yıl	6-31
Jeolojik Depolama	Değişken	Bilinmiyor	Bilinmiyor	0.5-8
İzleme				0,1-0,3
Mineral Karbonizasyonu	Yüksek	Büyük	Belirsiz	50-100

Okyanus taşımacılığı sürecinin olası çevresel etkileri hala tartışılmaktadır. Okyanuslardaki pH değerinin düşmesi inanılan en önemli etki olarak ilişkilendirilmektedir. Özellikle sabit boru hattından okyanusa CO₂'in direkt enjeksiyonu çıkış bölgesindeki CO₂'in yüksek konsantrasyonlarından dolayı önemli asitleşmelere neden olabileceği varsayılmaktadır. Gemi hareketli bir çelik borudan

CO₂ salınımının deniz yaşamı üzerindeki biyolojik etkilerini azaltabileceği düşünülmektedir. Bazı labratuvar ölçekli deneyler yapılmış olmasına rağmen okyanusa doğrudan CO₂ enjeksiyonunun ekosistem sonuçları henüz okyanus alanları üzerinde ve uzun süreler için çalışılmış değildir (Şekil 4.5).



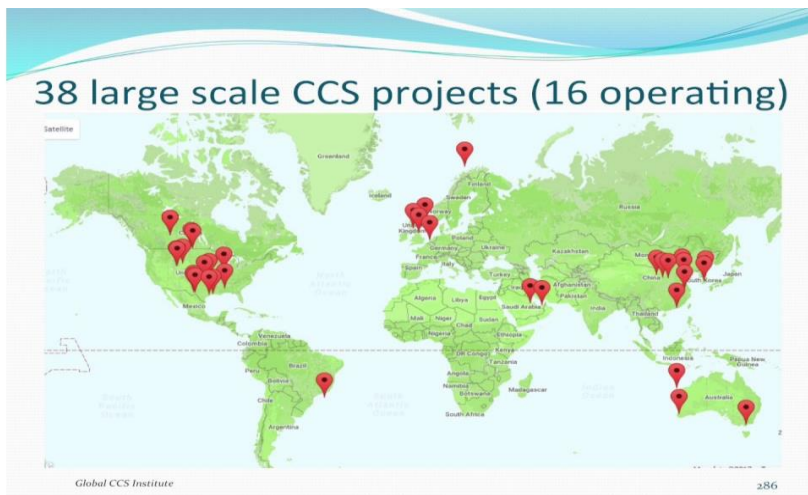
Şekil 4.5 : Okyanus yoluyla karbon depolama.

Norveç'te yeni geliştirilmeye çalışılan ve törenle tanıtılan bir proje ile CCS teknolojileri maliyetlerinin çok daha düşük düzeylere çekilmesi hedeflenmektedir. Mongstad petrol rafinerisi karbondioksit yakalama ve karbondioksit depolama tesisleri 07 Mayıs 2012 tarihinde Norveç Başbakanı Jens Stoltenberg tarafından hizmete açılmıştır (Şekil 4.6). Büyük bölümü ısı ısı parlayan karmaşık metal borulardan oluşan karbondioksit tutma ve karbondioksit depolama tesisi kendi alanında dünyanın en büyük ve yeni deneme amaçlı karbon yok etme kompleksi sayılmaktadır. Karbondioksit hapsetme tesisi olarak da adlandırılan kompleksin yaygınlaştırılmasının küresel ısınma ve küresel iklim değişiklikleri sorunları bağlamında önleyici katkı sağlaması beklenmektedir. Yapım aşamalarında maliyet artışları başlangıçta pozitif yorumlanmasına rağmen projelerin iptal edilmeleri söz konusu olmaktadır.



Şekil 4.6 : Technology Centre Mongstad TCM , Norway.

Zengin ülkeler düşünce kuruluşu Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency-IEA), 2020 yılına kadar 100 ve 2050'ye kadar ise en az 3000 karbon yakalama tesisi kurulması gerektiğini savunmaktadır. Ancak şu anda dünyada sadece 16 adet karbondioksit arıtma tesisi faaliyette olup, çoğunluğu Kuzey Amerika'da olmak üzere 28 adet karbon yakalama ve depolama tesisi yapım ya da planlama aşamasındadır (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 : Dünya karbon yakalama ve depolama tesisleri haritası.

2009 yılında Amerika Birleşik Devletleri tarafından sağlanan 3 milyar dolarlık ekonomik teşvik paketi ile birlikte son yıllara kadar CCS teknolojileri büyük rağbet görmekteydi. Şimdilerde ise çok sayıda proje iptal edilmektedir. Projelerin iptal gerekçesi olarak yatırımcıların hükümet taahhütleri konusundaki kuşkularının artması ile beraber maliyetlerin öngörülenden çok daha yüksek düzeylerde gerçekleşmesi kaynak gösterilmektedir.

Bu uygulamalara öncülük eden Kuzey Amerika ülkeleri tasarruf politikaları ile projelerin tamamlanmasını dahi beklemeden iptal etme işlemleri uygulamaktadır. Örneğin Teksas Temiz Enerji Projesi; 2 milyar dolar olan bu proje altı sene içerisinde tamamlanamamakla kalmamış, ayrıca maliyeti de 4 milyar dolara yükselmişti. Enerji Bakanlığı ise bu proje maliyetinin 450 milyon dolarlık kısmını üstlenmişti. Bakanlığın bu desteği kesmesiyle projenin tamamlanma şansı kalmamış oluyor. Bu 2016 senesinde Amerikan Enerji Bakanlığı'nın destek vermeyi durdurduğu beşinci proje olmuştur.

Bugünkü teknolojilerle bacadan çıkan karbondioksitin %85-90'lık bir bölümü tutulabilmektedir. Yalnız bu gazı tutabilmek için de %35-40 oranında daha fazla enerji harcamak gerekecektir. Yani bu yöntem fosil yakıtlardan kazanılacak olan enerjinin verimini önemli oranda azaltacaktır. Ayrıca bu yöntemi eski termik santrallere uygulamak çok zordur ve ancak yeni yapılacak fosil yakıt santrallerinde yukarıda bahsettiğim verimlere ulaşmak mümkündür. Buna karşın yeni fosil yakıt santralleri yapmak da bizleri ortalama 40-50 sene bu kirli teknolojiye mahkum edecektir. Amerika Enerji Bakanlığı enerji politikalarının tekrar fosil yakıtlı enerji santrallerinin kurulması yerine yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapmayı ön planda tutan bir senaryo ile hareket etmektedir.



5. DÜNYA ÇAPINDA ENERJİ DÖNÜŞÜMÜ - 100 YILLIK ENERJİ MODELLEMESİ (GET – GLOBAL ENERGY TRANSITION)

Bu bölümde, tezin amacı olan ve kullanılan optimizasyon programlarının verdiği grafikleri, bu grafiklerin oluşturulabilmesi için kullanılan verilerin yıllar içerisindeki değişimi gösterilmektedir.

5.1 GAMS Programı

Günümüzde cebirsel modelleme dilleri en iyi yol olarak kabul edilmektedir. GAMS Programı modelleme ve en uygun şekilde sokma problemlerinin çözümü için kullanılan yüksek seviye bir programlama dilidir. İlk olarak optimizasyon uzmanları Dr. Anthony Brooke ve Dr. Alexander Meeraus tarafından Uluslararası Yeniden Yapılandırma Bankası tarafından finanse edilmiştir ve Bankacılık kanalıyla genellikle Dünya Bankası olarak adlandırılan Kalkınma Araştırma Komitesi için kullanılmıştır. Bilgisayar altyapılı Amerikan halkı için araştırma toplumu tarafından 1987 yılında ödül almasının ardından dünyaca tanınmaya başlamıştır. Programın en temel özelliği yüksek kapasiteli olmasının yanı sıra kullanım kolaylığı ve esnekliğidir. Cplex, lingo, dicopt gibi çözücü algoritmaları bünyesinde bulundurarak bu çözücüler üzerinden lineer, nonlinear, karışık tamsayı problemleri çözebilmekte ve çözüm yöntemini kolaylıkla değiştirebilmektedir. Programın sonuç olarak verdiği excel tabloları ise bu tez konusu olarak sunulacak 100 yıllık enerji modellerini göstermektedir.

Program sonucunda elde edilen modellerin oluşturulması için güncel kaynaklardan toplanarak oluşturulmuş veri tabloları bulunmaktadır. Birçok konuda sonuç almamızı sağlayan GAMS programının; 100 yıllık enerji modellemesi için değiştirilen veri tabloları aşağıda belirtilmiştir.

- 1) Bölgelerine göre enerji kaynakları ve potansiyelleri,
- 2) Enerji kapasite faktörleri,

- 3) Enerji santrali giriş-çıkış verimliliği,
- 4) Enerji üretilen tesisin ekonomik çalışma ömürleri,
- 5) Tesis veya santralin birim kW başına yatırım maliyeti.
- 6) Hammadde tutarları ve maliyetleri

5.2 Enerji Kaynakları ve Potansiyelleri

Bu sınıflandırma sisteminde, “kaynaklar”, “doğal olarak meydana gelen katı, sıvı veya gaz halindeki malzemenin, Dünya'nın kabuğunda ya da üzerinde, ekonomik çıkarımın potansiyel olarak mümkün olduğu bir biçimde olduğu konsantrasyonları olarak tanımlanır.

Belirlenmiş kaynaklar, bilinen bir konuma, dereceye, kaliteye ve niceliğe sahip olan ya da jeolojik bulguları ile tahmin edilebilen kaynak depolarıdır. Belirlenen kaynaklar, farklı derecelerde jeolojik güvence ya da eksikliklerini yansıtmak için kanıtlanmış ve çıkarılan kaynaklara ayrılmıştır. Keşfedilmemiş veya anlaşılmamış olarak tanımlayabileceğimiz kaynaklar, benzer jeolojik koşullarda bulunan materyallere dayalı olarak beklenen veya tahmin edilen miktarlardır. ‘Düşük verimli oluşumlar’, çok düşük dereceli veya teknik veya ekonomik olarak çıkarılabilir olarak kabul edilmeyen diğer kaynaklardır.

5.2.1 Petrol kaynakları ve verileri

Kaynak raporlarına göre Mtep cinsinden petrol rezervleri Çizelge 5.1’de gösterilmiştir.

OGJ = Oil and Gas Journal (2007)

EWG = Energy Watch Group (2008)

EIA = Energy Information Agency (2008)

Exxon (2008)

BP = British Petrol (2010)

OPEC = Organization of Petroleum Exporting Countries (2008)

USGS = U.S. Geological Survey (2000).

BGR = BGR Energy (2009).

Rezerv verilerinin güncellenmesi için araştırılan kaynaklardaki 18 bölge modelleme programında 10 bölge ile eşleştirilmiştir ve bu eşleşme EK-D ile gösterilmektedir

	Belirlenmiş Rezervler			Keşfedilmemiş Rezervler	
	Kanıtlanmışlar		Sonuçlanmış	Varsayımlı	
	Hesaplanmış	Belirtilmiş			
Ekonomik	Rezervler				
Orta düzeyde Ekonomik	Kaynaklar				
Ekonomik olmayan	Düşük verimli oluşumlar				

Şekil 5.1 : Kaynak tanımlama tablosu.

Çizelge 5.1 : Kıyaslamalı petrol rezervleri.

Bölgeler	OGJ	EWG	EIA	EXXON	BP	BGR	OPEC	USGS
	[Mtep]	[Mtep]	[Mtep]	[Mtep]	[Mtep]	[Mtep]	[Mtep]	[Mtep]
Europe	1942	3469	1977	1913	1849	2264	2164	4632
CIS	13.452	20.952	16.784	13.453	16.808	17.543	17.450	22.773
Africa	15.622	17.007	15.192	15.366	17.404	17.276	16.268	9.973
Middle East	101.808	49.252	98.301	101.610	102.803	102.366	100.893	70.866
Asia	4673	7007	4893	4628	5749	5600	5208	7167
North America	28.737	11.429	7921	28.442	8392	6121	5111	5221
Latin America	14.946	7143	9600	15.225	28.706	9854	16.369	10.174
World	181.180	116.259	154.668	180.637	181.712	161.024	163.463	130.806
Oil sands	23.665	-	-	23.665	-	-	-	-
World w/o oil	157.515	116.259	154.668	156.972	181.712	161.024	163.463	130.806

Çizelge 5.2 : Kıyaslamalı petrol rezervleri.

Bölgeler	Petrol Üretimi 2009	2009'a Kadar Üretim	Rezervler	Rezervler	Rezervler	Kaynaklar	Kaynaklar	Rezervler + Kaynaklar BGR	Rezervler + Kaynaklar USGS
			BP	BGR	USGS	BGR	USGS		
			[EJ]	[EJ]	[EJ]	[EJ]	[EJ]	[EJ]	[EJ]
USA	15,00	1246	162	162	183	420	476	582	659
CAN	6,70	200	189	28	36	101	21	129	57
WEU	8,98	329	74	88	179	186	492	275	671
EEU	0,28	47	4	6	15	13	11	19	26
FSU	27,64	1017	704	735	953	1008	952	1743	1906
NAF	10,38	336	389	388	252	184	158	573	410
EAF	0,00	0	0	4	0	13	7	17	7
WCA	6,07	214	263	254	142	302	375	556	517
SAF	3,78	48	77	77	24	150	97	227	121
MEE	50,78	1823	4308	4286	2967	889	1654	5175	4621
CHN	7,90	220	85	84	142	97	95	181	237
OEA	1,02	11	26	26	0	32	1	58	1
IND	1,57	46	33	33	40	17	18	50	58
OSA	0,14	4	4	2	3	13	11	15	13
JPN	0,01	2	0	0	0	0	0	1	0
OCN	1,20	41	25	24	94	44	108	69	202
PAS	4,90	203	68	65	22	88	63	153	86
LAC	20,30	862	1203	479	426	614	853	1093	1279

5.2.2 Doğalgaz kaynakları ve verileri

Çizelge 5.3 : Sürdürülebilir gaz üretimi rezervleri ve kaynakları.

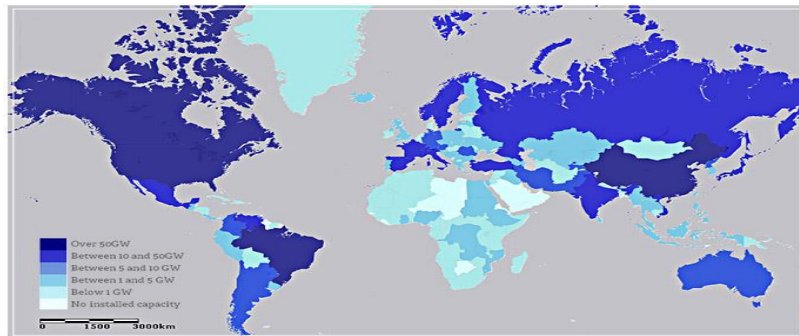
Bölgeler	Doğalgaz Üretimi 2009	2009'a Kadar Doğalgaz Üretimi	Rezervler			Kaynaklar		Rezervler + Kaynaklar	Rezervler + Kaynaklar
			BP	BGR	USGS	BGR	USGS	BGR	USGS
	[EJ]	[EJ]	[EJ]	[EJ]	[EJ]	[EJ]	[EJ]	[EJ]	[EJ]
USA	22,68	1153	258	262	180	740	552	1002	732
CAN	6,08	194	65	65	54	259	26	324	79
WEU	9,57	343	135	162	263	313	394	475	657
EEU	0,56	69	27	31	26	23	14	54	41
FSU	26,53	953	2188	2352	1748	4332	1633	6684	3382
NAF	6,01	102	307	310	244	324	119	634	363
EAF	0,74	1	48	1	0	22	11	23	11
WCA	0,94	13	196	213	99	183	198	396	297
SAF	0,00	2	0	21	13	70	49	91	61
MEE	15,17	205	2836	2788	1693	1309	1348	4097	3041
CHN	3,21	36	91	91	36	370	90	461	126
OEA	0,30	2	25	26	0	60	3	86	3
IND	1,48	21	42	41	24	33	32	75	56
OSA	2,17	35	47	49	37	81	81	130	117
JPN	0,00	4	0	1	0	0	0	1	0
OCN	1,75	36	115	115	238	78	214	193	452
PAS	7,61	133	285	274	96	304	119	577	216
LAC	7,90	166	318	299	269	402	562	700	831
Circum-Arctic	-	-	-	-	-	-	1748	-	1748
TOTAL	112.71	3467	6983	7101	5021	8902	7193	16.002	12.214

5.2.3 Hidroelektrik enerji potansiyeli

Çizelge 5.4 : Hidroelektrik enerji potansiyeli.

Bilinen Hidroelektrik Enerji Potansiyeli (EJ)				
Bölgeler	Üretim (2008)	Maksimum Teknik Potansiyel	Teknik Potansiyel 20–200 \$/MWh	Ekonomik Potansiyel 20–80\$/ MWh
USA	0,97	7,34	4,82	1,35
CAN	1,26	7,44	2,98	1,93
WEU	1,81	11,65	4,12	2,88
EEU	0,22	1,25	0,59	0,35
FSU	0,86	12,74	8,11	4,65
NAF	0,06	0,71	0,28	0,25
EAF	0,03	3,73	1,67	0,81
WCA	0,11	7,79	3,91	1,22
SAF	0,15	1,86	0,74	0,23
MEE	0,10	2,48	1,00	0,44
CHN	1,71	21,90	8,91	6,31
OEA	0,15	2,44	0,82	0,38
IND	0,44	9,50	2,38	1,59
OSA	0,16	6,80	2,00	0,28
JPN	0,33	2,58	0,49	0,00
OCN	0,14	1,69	0,64	0,11
PAS	0,14	11,26	2,89	0,44
LAC	2,35	30,22	11,07	6,61
TOTAL	10,96	143,41	57,41	29,84

Hidroelektrik santrallerin önemi gelişen teknoloji ile verimliliğin arttırılacak olması da önemini yenilenebilir enerji kaynakları arasında üst sıralara taşımaktadır. Ayrıca küresel ısınma ile kuzey ülkeleri için su seviyelerinin artması ile önem kazanırken güneş alan yerlerde kuraklık olması güneş enerjisine yönelimi arttıracaktır.



Şekil 5.2 : Dünyada hidroelektrik enerji üretim haritası.

5.2.4 Kömürle enerji üretimi potansiyeli

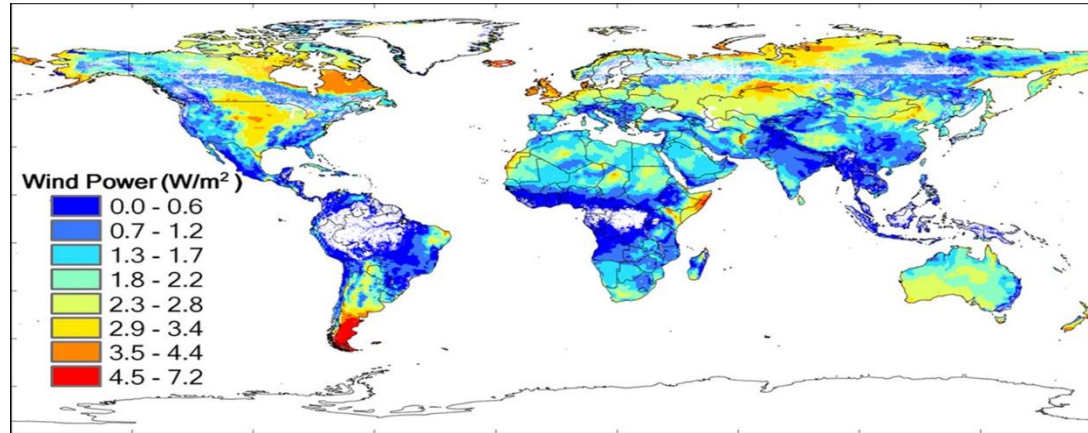
Çizelge 5.5 : Kömürle enerji üretimi potansiyeli.

Bölgeler	Taş Kömürü							Linyit Kömürü				
	Total	Yüzeyde	Yeraltında	Category [EJ]				Total	Yüzeyde	Category [EJ]		
	[EJ]	[EJ]	[EJ]	C I	C II	C III	C IV	[EJ]	[EJ]	B I	B II	B III
USA	5856	2342	3514	3924	1347	586	0	371	371	186	186	0
CAN	110	82	27	64	29	18	0	27	27	21	5	0
WEU	67	0	67	0	11	34	22	421	379	253	126	42
EEU	457	32	425	32	32	197	197	198	159	99	60	40
FSU	3306	694	2612	298	926	1455	628	1037	933	622	311	104
NAF	2	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
EAF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
WCA	9	4	4	2	2	2	2	0	0	0	0	0
SAF	757	144	613	287	212	204	53	0	0	0	0	0
MEE	10	2	8	0	3	4	3	0	0	0	0	0
CHN	4387	965	3422	1579	1623	965	219	106	64	32	32	43
OEA	119	45	74	38	19	34	27	20	20	10	10	0
IND	1856	612	1243	612	1021	223	0	42	42	29	13	0
OSA	11	7	4	9	2	0	0	28	28	14	14	0
JPN	9	1	8	0	2	4	3	0	0	0	0	0
OCN	982	236	747	609	373	0	0	426	426	213	213	0
PAS	55	48	8	48	2	3	3	47	47	24	24	0
LAC	252	43	209	48	126	66	13	51	51	26	26	0
TOTAL	18,246	5259	12,987	7550	5730	3796	1170	2775	2547	1528	1018	228

5.2.5 Rüzgar enerjisi potansiyeli

Çizelge 5.6 : Yüksekliğine göre rüzgar enerjisi potansiyeli.

Rüzgar Enerjisi Sınıfları	10 m Yerden Yükseklik		50 m Yerden Yükseklik		80 m Yerden Yükseklik	
	Rüzgar Gücü	Rüzgar Hızı	Rüzgar Gücü	Rüzgar Hızı	Rüzgar Gücü	Rüzgar Hızı
	[Watt/m ²]	[m/s]	[Watt/m ²]	[m/s]	[Watt/m ²]	[m/s]
1	<100	<4.4	<200	<5.6	<250	<5.9
2	100–150	4.4–5.1	200–300	5.6–6.4	250–375	5.9–6.9
3	150–200	5.1–5.6	300–400	6.4–7.0	375–500	6.9–7.5
4	200–250	5.6–6.0	400–500	7.0–7.5	500–625	7.5–8.1
5	250–300	6.0–6.4	500–600	7.5–8.0	625–750	8.1–8.6
6	300–400	6.4–7.0	600–800	8.0–8.8	750–1000	8.6–9.4
7	>400	>7.0	>800	>8.8	>1000	>9.4



Şekil 5.3 : Dünya rüzgar enerjisi potansiyeli.

Çizelge 5.7 : Rüzgar enerjisi teknik ve uygulanabilir potansiyel.

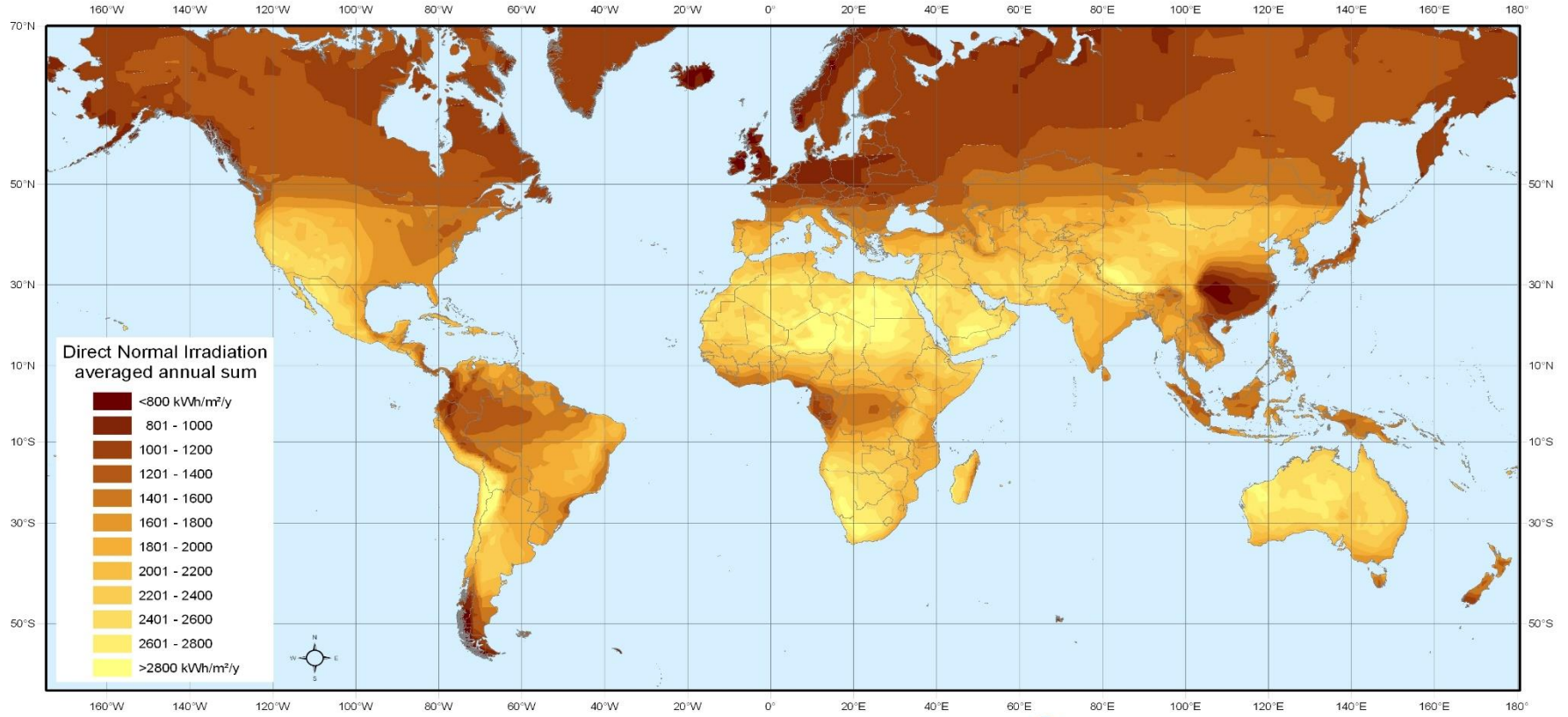
Bölgeler	Yüzölçümü	Uygulanabilir Alan Yüzdesi	Ortalama Rüzgar Hızı	Uygulanan Alan Sayısı	Teknik Potansiyel Açık Deniz ve Yerüstü	Uygulanabilir Potansiyel Yerüstü
	[Mha]	[%]	[m/s]		[EJ]	[EJ]
USA	925	17	8	1583	202.1–216.6	10.8–75.6
CAN	950	27	8	580	358.2–388.6	28.8–68.4
WEU	372	19	9	1459	100.8–109.9	3.6–14.4
JPN	37	8	8	266	3.8–4.0	0–0.4
OCN	838	24	9	531	289.1–315.5	3.6–50.4
EEU	116	3	9	449	5.6–6.1	0–1.4
FSU	2183	3	8	799	83.4–88.8	7.2–57.6
MEE	592	1	10	182	6.0–6.8	0–7.2
NAF	574	4	8	174	27.5–29.1	0–10.8
EAF	583	7	9	70	59.6–65.0	0–10.8
WCA	1127	5	9	126	77.2–84.4	0–0.7
SAF	676	5	9	197	44.2–48.2	0–0.7
PAS	442	2	8	462	12.6–13.6	0–0.2
CHN	960	3	8	434	33.8–36.2	n/a
OEA	243	1	8	100	2.8–3.0	n/a
IND	329	<0.01	n/a	97	<0.1	n/a
OSA	179	<0.01	n/a	52	<0.1	n/a
LAC	2030	9	8	583	257.5–278.5	18.0–36.0
TOTAL	12	12	8	8144	1564–1694.3 c	72.0–345.3

5.2.6 Güneş enerjisi potansiyeli


Çizelge 5.8 : Fotovoltaik PV için güneş enerjisi potansiyeli.

Bölgeler	Ortalama Güneşlenme	Alan	Teorik Potansiyel	Uygunluk Faktörü Merkezi	Uygunluk Faktörü Olmayan	Uygun Alan Merkezi	Uygun Alan Merkezi Olmayan	Teknik Potansiyel Merkezi PV	Teknik Potansiyel Merkezi Olmayan PV
	[W/m ²]	[Milyon km ²]	[EJ/yr]	[%]	[%]	[km ²]	[km ²]	[EJ]	[EJ]
USA	127	9	37	0.92 %	0.08 %	85	7360	340	30
CAN	94	10	28	0.50 %	0.01 %	48	950	140	3
WEU	109	4	13	0.69 %	0.26 %	26	9620	88	33
EEU	124	1	4708	0.63 %	0.08 %	7560	960	30	4
FSU	96	22	66	0.92 %	0.01 %	199	2180	606	7
NAF	203	6	37	4.50 %	0.01 %	257	570	1652	4
EAF	184	11	66	2.10 %	0.00 %	237	283	1378	0
WCA	195	6	36	2.71 %	0.00 %	157	145	971	0
SAF	180	7	39	2.10 %	0.01 %	143	680	812	4
MEE	198	6	37	3.32 %	0.03 %	196	1770	1224	11
CHN^a	168	8	44	2.14 %	0.06 %	178	4995	938	26
OEA	166	1	5886	0.51 %	0.05 %	5610	550	30	3
IND	201	3	18	2.14 %	0.06 %	59	1665	379	11
OSA	193	5	31	1.92 %	0.05 %	98	2550	596	16
JPN	126	0	1594	0.23 %	1.21 %	920	4840	4	19
OCN	189	8	50	3.32 %	0.01 %	279	840	1658	5
PAS	149	3	16	0.51 %	0.05 %	17	1650	80	8
LAC	164	20	105	1.11 %	0.03 %	185	4600	1169	32
TOTAL	154	131	633	1.69 %	0.11 %	2,177,160	46	12,093.5	213

Direct Normal Irradiation (DNI)



Data based on NASA SSE 6.0 dataset for a 22-year period (July 1983 - June 2005)
(<http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>)

Map created and map layout by  2008
(<http://www.dlr.de>)

Şekil 5.4 : Dünya güneş enerjisi potansiyeli haritası.

5.2.7 GET enerji kaynakları ve potansiyel verileri

		PETROL						DOĞALGAZ						
		Elverişli		Elverişsiz				Elverişli		Elverişsiz				
		Rezerv + kaynak	EJ	Uyg. Sayı	Kaynak	Rezerv	EJ	Petrol	Rezerv + kaynak	EJ	Kaynak	Rezerv	EJ	NG
GET	BÖLGELER	BGR	GET	BGR			GET	GET top	BGR	GET	BGR		GET	GET top
NAM	USA	582	711	12870	3142	1504	33547	34258	1002	1326	8867	4657	16840	17842
	CAN	129		11462	3422	1147			324		2124	1192		
EUR	WEU	275	294	676	35	9	731	1025	475	529	1490	745	3912	4387
	EEU	19		9	2	0			54		1118	559		
PAO	JPN	1	70				262	332	1	194	112	37	1826	1827
	OCN	69		190	48	24			193		1118	559		
FSU	FSU	1743	1743	9565	2416	759	12740	14483	6684	6684	10432	5141	15573	22257
AFR	NAF	573	1373	379	15	7	1123	2496	634	1144	1677	969	8010	8644
	EAF	17		15	5	1			23		745	410		
	WCA	556		639	13	4			396		2049	1080		
	SAF	227		32	10	3			91		745	335		
PAS	PAS	153	153	80	32	14	126	279	577	577	857	410	1267	1844
LAM	LAC	768	768	10566	1973	275	12814	13582	700	700	2049	820	2869	3569
MEA	MEE	5175	5175	242	123	61	426	5601	4097	4097	1863	1043	2906	7003
CPA	CHN	181	239	165	32	14	213	452	461	547	2049	820	3502	3963
	OEA	58		2					86		447	186		
SAS	IND	50	65					65	75	205	1118	522	3727	3802
	OSA	15							130		1416	671		
		10591	10591	46892	11268	3822	61982	72573	16003	16003	40276	20156	60432	75138
		61982						60432						

Tablo 5.1 : Güncellenen enerji kaynakları ve potansiyel verileri.

		KÖMÜR			HİDROELEKTRİK		BİOGAZ	
		Kaynak ve rezerv			Maks Teknik Potansiyel		Teorik Potansiyel	
		Taş Kömürü	Linyit	EJ		EJ		EJ
GET	BÖLGELER	Wagner		GET	↑	GET	↑	GET
NAM	USA	163816	16382	184368	7,34	14,78	64	137
	CAN	3560	610		7,44		73	
EUR	WEU	7416	449	15462	11,65	12,9	32	43
	EEU	5192	2405		1,25		11	
PAO	JPN	297	11	4724	2,58	4,27	4	59
	OCN	2696	1720		1,69		55	
FSU	FSU	76947	14204	91151	12,74	12,74	170	170
AFR	NAF	10	0,4	1285,4	0,71	14,09	17	250
	EAF	22	0,4		3,73		35	
	WCA	72	2,6		7,79		124	
	SAF	1178	0		1,86		74	
PAS	PAS	941	551	1492	11,26	11,26	80	80
LAM	LAC	753	202	955	30,22	30,22	299	299
MEA	MEE	1125	0	1125	2,48	2,48	5	5
CPA	CHN	121693	2966	129042	21,9	24,34	44	62
	OEA	1298	3085		2,44		18	
SAS	IND	3954	329	6119	9,5	16,3	16	21
	OSA	83	1753		6,8		5	
		391053	44670	435723	143,38	143,38	1126	1126

Tablo 5.1 (devam) : Güncellenen enerji kaynakları ve potansiyel verileri.

Çizelge 5.9 : Güncellenen ve yeni eklenen enerji kaynakları.

Enerji Çeşitleri	NAM	EUR	PAO	FSU	AFR	PAS	LAM	MEA	CPA	SAS	TOPLAM	Durum
Bio Hoogwijk	137	43	59	170	250	80	299	5	62	21	1126	Güncellenen
Coal Wagner	184368	15462	4724	91151	1285,4	1492	955	1125	129042	6119	435723	Güncellenen
OIL BGR	34258	1025	332	14483	2496	279	13582	5601	452	65	72573	Güncellenen
NG BGR	17842	4387	1827	22257	8644	1844	3569	7003	3963	3802	75138	Güncellenen
Nuclear GET	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	10000	
Wind GET	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	10000	
Hydro Atlas	14,78	12,9	4,27	12,74	14,09	11,26	30,22	2,48	24,34	16,3	143,38	Güncellenen
Solar GET	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	10000	
Solar_CSP GET	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	10000	
Wind offshore	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	10000	Yeni Eklenen
Ocean Thermal	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	10000	Yeni Eklenen
Ocean Wave	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	10000	Yeni Eklenen
Ocean Tidal	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	10000	Yeni Eklenen
Ocean Osmotic	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	10000	Yeni Eklenen

5.3 Güncellenmiş Projelerin Birim Maliyet Verileri kW/USD

Çizelge 5.10 : Güncellenmiş ortalama proje birim maliyet verileri USD/kW.

cost_inv_base	USD/kW	
	GET	Yeni
bio.0	1200	2216
bio.cg	1300	2454
bio.deg	1700	3210
bio.cg_dec	1800	3399
hydro.0	1000	1300
wind.0	600	1350
solar.0	1200	1720
solar_CSP.0	3200	4530
NG.0	500	965
NG.cg	600	1160
NG.dec	900	1740
NG.cg_dec	1000	1950
oil.0	600	870
oil.cg	700	1020
oil.dec	1000	1450
oil.cg_dec	1100	1600
coal.0	1100	3000
coal.cg	1200	3300
coal.dec	1500	4700
coal.cg_dec	1600	5120
nuclear.0	2000	4200
H2.0	500	1020
H2.cg	600	1230
elec.0	0	0
wind.offshore	-	3650
tidal.0	-	1150
wave.0	-	1980

Birim maliyet hesabı daha önceki çalışmalardan güncellenmiş olup inşaat maliyetine göre değişmeye devam edecek olup kapasite faktörü ve bakım onarım giderleri de göz önüne alındığında, birim maliyeti düşürülemeyenler mali açıdan uygun olmayacağı için enerji üretim yöntemleri daha sonra tercih edilmeyecektir.

5.4 Kapasite Faktörü

Çizelge 5.11 : Güncellenmiş kapasite faktörü verileri.

if_global	Kapasite Faktörü	
	GET	Yeni
bio.0	0,7	0,7
bio.cg	0,7	0,7
bio.deg	0,7	0,7
bio.cg_dec	0,7	0,7
hydro.0	0,7	0,55
wind.0	0,25	0,33
solar.0	0,25	0,28
solar_CSP.0	0,6	0,39
NG.0	0,7	0,82
NG.cg	0,7	0,82
NG.dec	0,7	0,82
NG.cg_dec	0,7	0,82
oil.0	0,7	0,7
oil.cg	0,7	0,7
oil.dec	0,7	0,7
oil.cg_dec	0,7	0,7
coal.0	0,7	0,69
coal.cg	0,7	0,69
coal.dec	0,7	0,69
coal.cg_dec	0,7	0,69
nuclear.0	0,7	0,9
H2.0	0,7	0,72
H2.cg	0,7	0,72
elec.0	-	-
wind.offshore	-	0,41
tidal.0	-	0,25
wave.0	-	0,41

Kapasite faktörü hesabı daha önceki çalışmalardan güncellenmiş olup teknoloji faktörüne göre artmaya devam edecek olup birim maliyet ve bakım onarım giderleri de göz önüne alındığında, kapasite faktörü yüksek olsa dahi mali açıdan uygun olmayan enerji üretim yöntemleri daha sonra tercih edilmeyecektir.

5.5 Ekonomik Yaşam Ömrü

Çizelge 5.12 : Güncellenmiş ekonomik ömür verileri.

life_plant	Ekonomik Yaşam Ömrü	
	GET	Yeni
life_plant (e_in, e_out, type)	25	25
life_plant ("hydro", "elec", "0")	40	60
life_plant ("solar_CSP", "elec", "0")	30	30

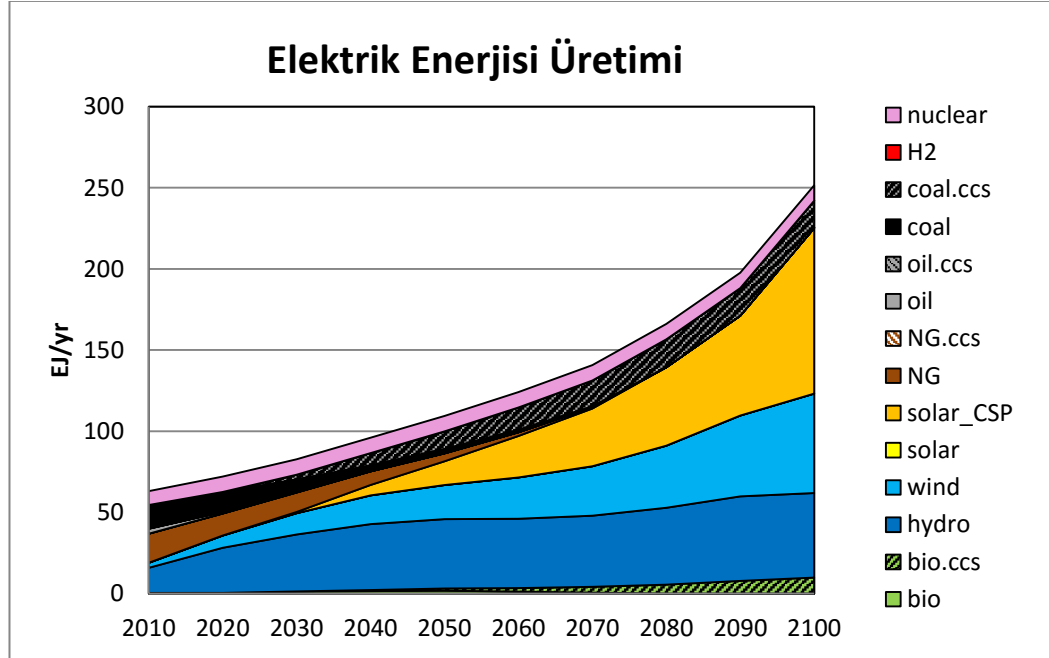
5.6 2100 yılına kadar modellemeler

GAMS programı içine güncellenen ve eklenen verilerin oluşturduğu 2100 yılına kadar modellenen grafikler aşağıdaki gibi şekillenmektedir.

Birim maliyet, kapasite faktörü gibi verilen değişmesi ile modellenen grafikler farklı senaryoları göstermektedir.

Nihai veriler sonucu 2100 yılına kadar modelleme Şekil 5.5'te gösterilmektedir.

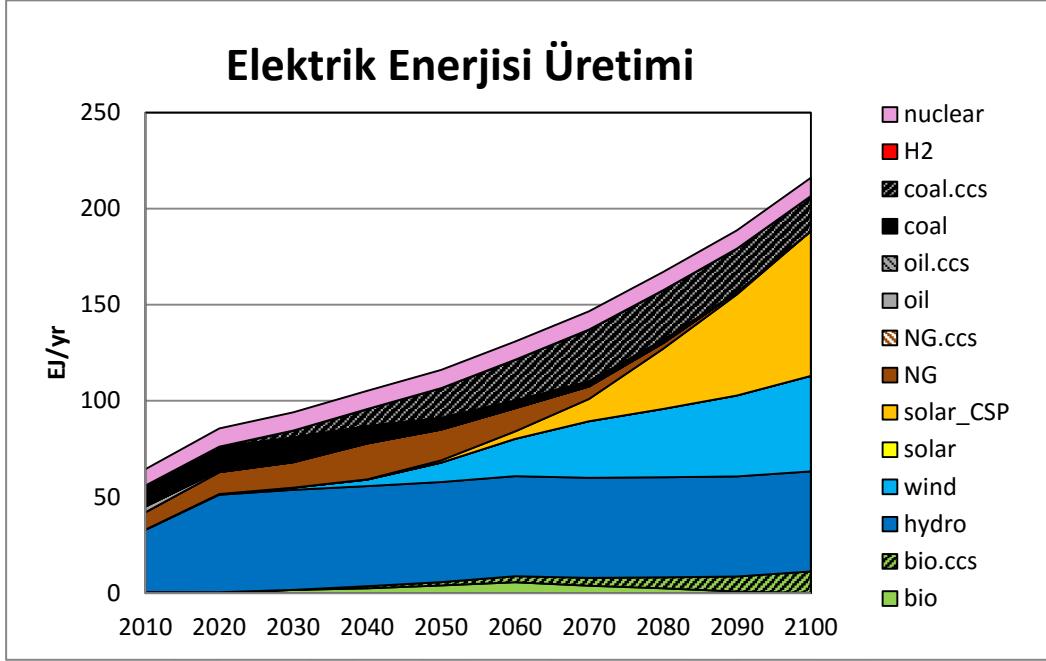
İşlenen veri sayısı: 68765



Şekil 5.5 : 100 yıllık enerji modeli 1 (gerçek senaryo).

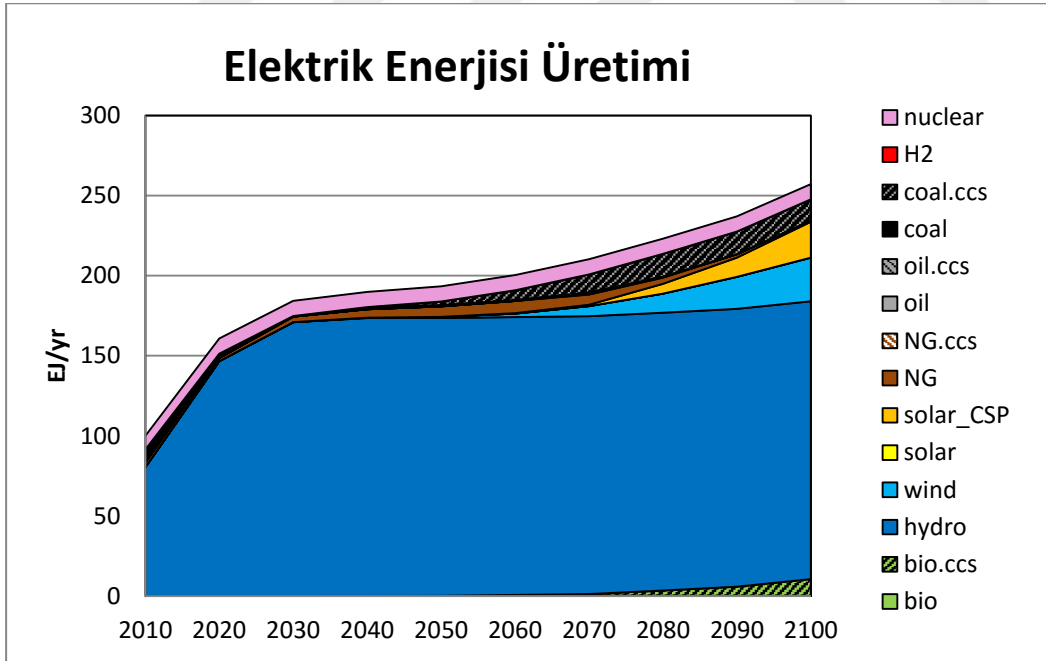
Hidroelektirik enerji üretimi yatırım maliyeti 100 usd/kW değiştirilmiş modelleme Şekil 5.6'da gösterilmektedir.

İşlenen veri sayısı: 65864



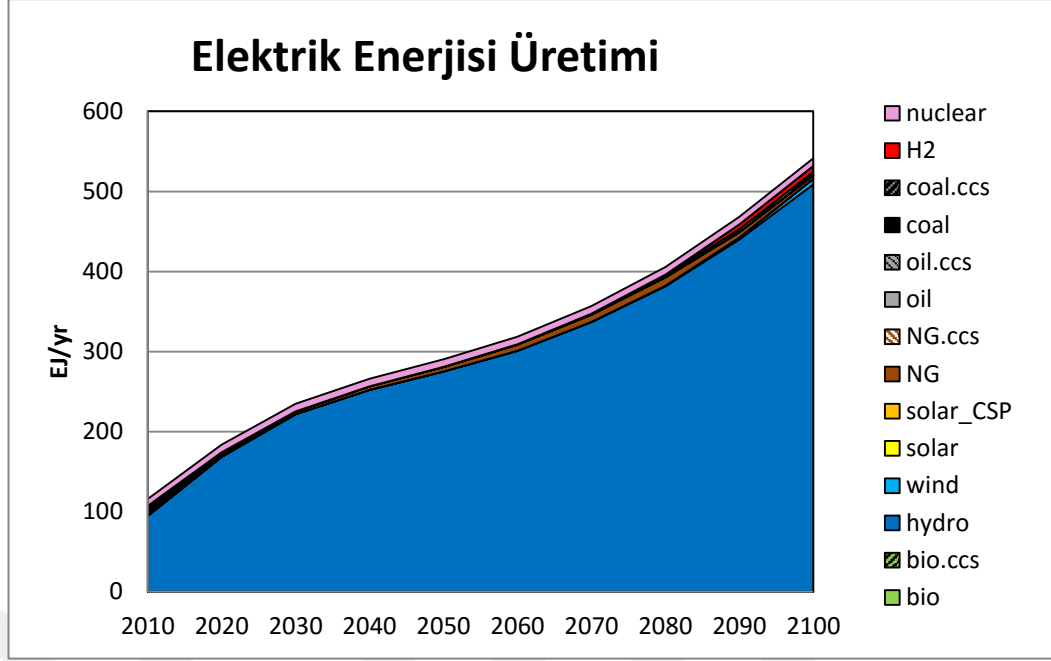
Şekil 5.6 : 100 yıllık enerji modeli 2.

Hidroelektirik enerji üretimi potansiyeli 10 kat artırıldığı modellenme Şekil 5.7’de gösterilmektedir. İşlenen veri sayısı: 62347



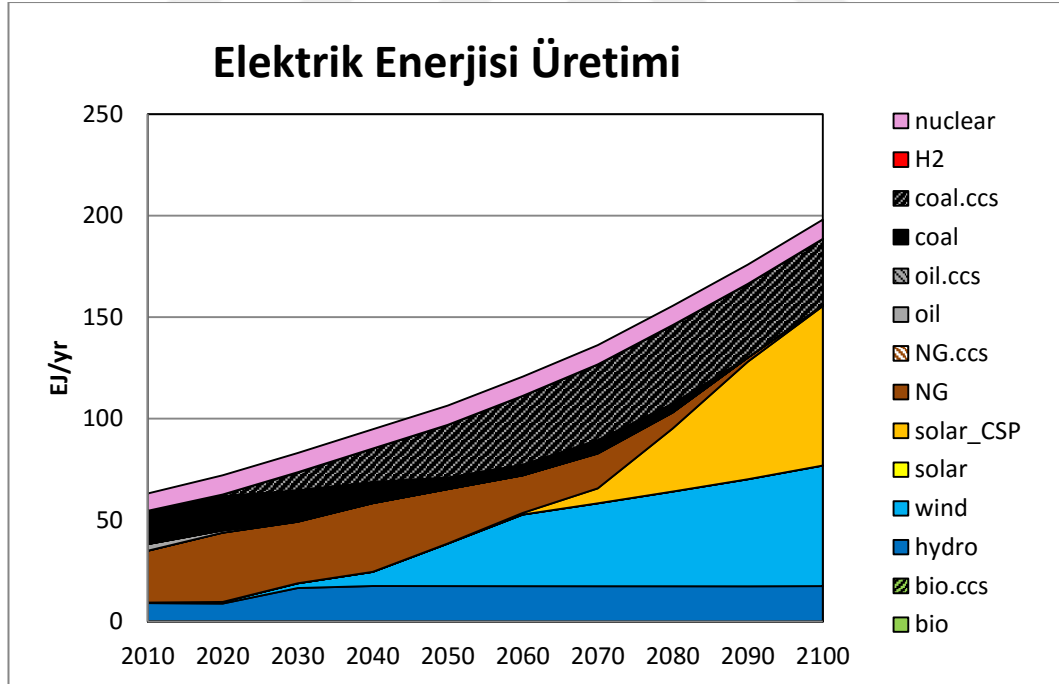
Şekil 5.7 : 100 yıllık enerji modeli 3.

Hidroelektirik enerji üretimi potansiyeli 100 kat artırıldığı modellenme Şekil 5.8’de gösterilmektedir. İşlenen veri sayısı: 61512



Şekil 5.8 : 100 yıllık enerji modeli 4.

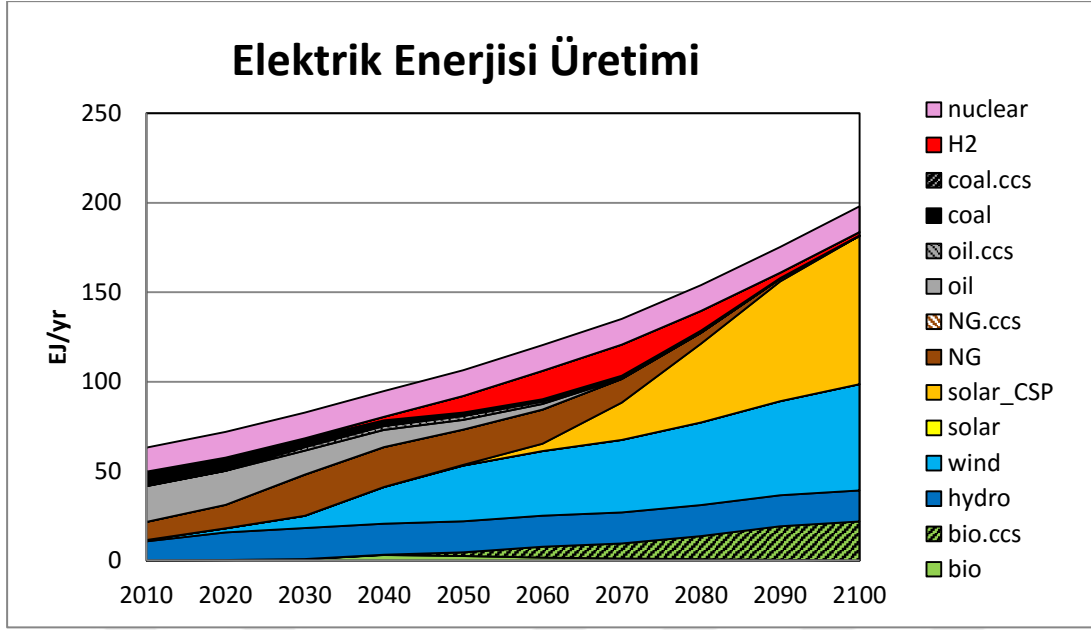
Doğalgaz üretimi birim maliyet yarıya indirildiği modelleme şekil 5.9'da gösterilmektedir. İşlenen veri sayısı: 69521



Şekil 5.9 : 100 yıllık enerji modeli 5.

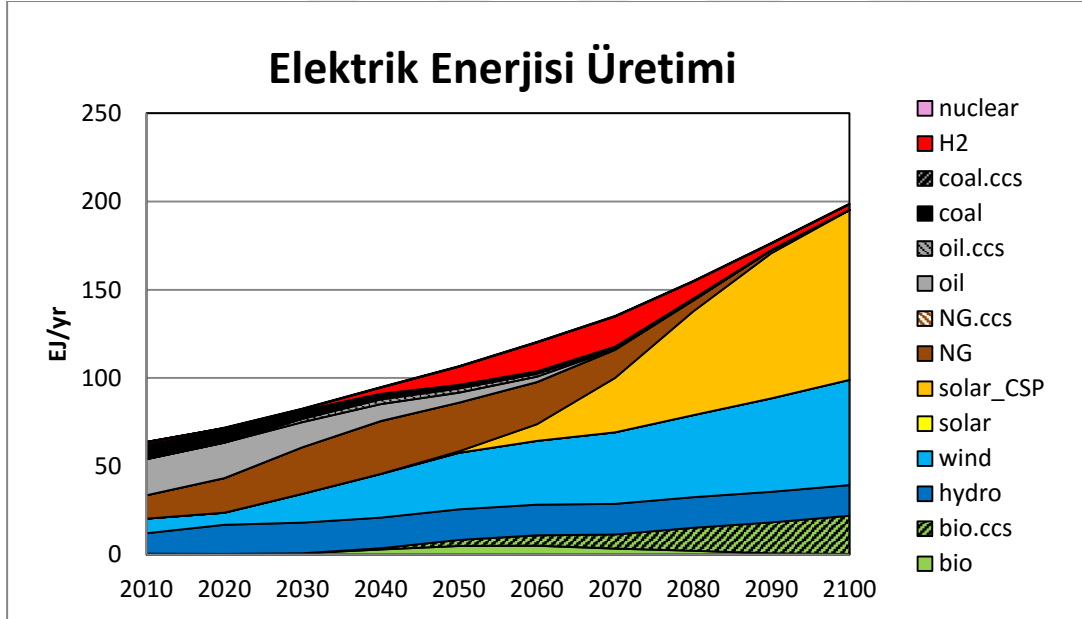
Petrol üretimi birim maliyet düşürüldüğünde ve nükleer enerji verimliliği arttırıldığı modelleme Şekil 5.10'da gösterilmektedir.

İşlenen veri sayısı: 72416



Şekil 5.10 : 100 yıllık enerji modeli 6.

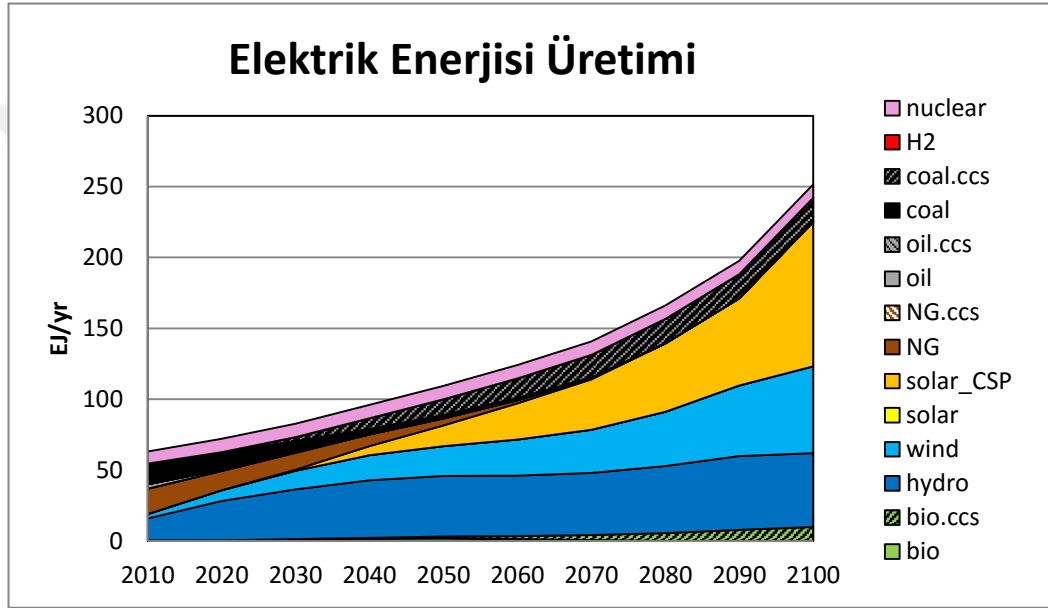
Nükleer enerji verimliliği azaltıldığı (0,01) modelleme Şekil 5.11’de gösterilmektedir.
İşlenen veri sayısı: 71618



Şekil 5.11 : 100 yıllık enerji modeli 7.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Gerçek senaryoya göre elde edilen veri öncelikle üretilebilecek enerji potansiyelinin yaklaşık yıllık 250 egzajoule seviyelerine çıkabilecek olmasıdır. Elektrik enerjisi ihtiyacının en az tahribat ile en yüksek verim alınması birinci amaçtır. göstermektedir.



Şekil 6.1 : 100 yıllık enerji modeli 1 (gerçek senaryo).

Enerjinin son kullanımında üretilen elektrik, gelecekte nihai tüketimin çok yüksek yüzdesini oluşturacak. Yeni Politikalar Senaryosu'nda elektrik talebindeki artışın üçte birini, endüstriyel elektrik motoru sistemleri oluşturmaktadır. Alım gücündeki artış sayesinde, milyonlarca hanede elektrikli cihaz sayısı artmakta, bunların arasında "akıllı" ve bağlantılı cihazlar önemli yer tutmakta ve soğutma sistemleri yaygınlaşmaktadır. 2040 itibariyle, Çin'de soğutma için elektrik talebi, bugün Japonya'nın toplam elektrik talebini geçecektir. Elektriğe erişimin artması sayesinde dünyada her yıl 45 milyon yeni elektrik tüketicisi ortaya çıkmaktadır ama bu 2030 yılında evrensel erişim sağlanması hedefine ulaşmaktan yine de uzaktır. Elektrik, bilinen alanların yanı sıra ısınma ve ulaşımda da aşama kaydederek nihai tüketimdeki payını dörtte bire çıkaracaktır. Sektördeki girişimlerin ve politika desteğinin, örneğin Fransa ve Birleşik Krallık'ta benzinli ve dizel araç satışının 2040'a kadar durdurulacak

olması gibi kararların ışığında, bugün 2 milyon civarında olan elektrikli araç adedinin 2040 itibariyle 280 milyona çıkmasını öngörülmektedir. Bu da gelecekte teknolojinin ecrimleşmesiyle elektrik enerjisi üretiminin ehemniyetini

Çizelge 6.1 : 2040 yılı enerji üretimi dağılımı.

	Yüzdesel Değer	Üretilen Enerji	
2040		96,31	EJ
Nükleer Enerji	9,62%	9,26	EJ
Kömür Enerjisi CCS	8,31%	8,00	EJ
Kömür Enerjisi	4,61%	4,44	EJ
Doğalgaz Enerjisi	8,17%	7,87	EJ
Güneş Enerjisi CSP	7,00%	6,74	EJ
Rüzgar Enerjisi	18,52%	17,84	EJ
Hidroelektrik Enerji	43,68%	42,07	EJ

Senaryoya göre şu an maliyeti çok yüksek olan karbon yakalama ve depolama teknolojisi kullanıldığında raporun coal.ccs ile gösterilen kısmı nükleer enerjinin tercihi kadar gözükmemektedir. Karbon yakalama ve depolama ile elde edilen bio.ccs'de senaryoda teknolojinin ve bu projelere yatırımların artması halinde enerji üretiminde rol üstlenecektir.

Çizelge 6.2 : 2070 yılı enerji üretimi dağılımı.

	Yüzdesel Değer	Üretilen Enerji	
2070		141,29	EJ
Nükleer Enerji	6,89%	9,73	EJ
Kömür Enerjisi CCS	11,72%	16,56	EJ
Güneş Enerjisi CSP	25,81%	36,47	EJ
Rüzgar Enerjisi	21,52%	30,41	EJ
Hidroelektrik Enerji	30,59%	43,21	EJ
Biyo Enerji CCS	3,30%	4,67	EJ

2016'da güneş enerjisi (fotovoltaik) alanındaki büyüme diğer tüm enerji kollarının önüne geçmesine rağmen fotovoltaik güneş enerjisi sistemleri verimliliği konsantre güneş enerjisi sistemlerine göre düşük verimlilikte olmaları nedeni ile senaryoda üstlendiği rol çok düşük seviyelerdedir. Lokal çözüm olarak fotovoltaik güneş enerjisi kullanımı iletim ve dağıtım kayıplarının önüne geçebilme potansiyelinden önemi burada teknoloji ile de birlikte artabilmektedir.

Çizelge 6.3 : 2100 yılı enerji üretimi dağılımı.

	Yüzdesel Değer	Üretilen Enerji	
2100		255	EJ
Nükleer Enerji	3,34%	8,52	EJ
Kömür Enerjisi CCS	7,12%	18,15	EJ
Güneş Enerjisi CSP	40,62%	103,58	EJ
Rüzgar Enerjisi	24,38%	62,17	EJ
Hidroelektrik Enerji	20,66%	52,69	EJ
Biy Enerji CCS	4,05%	10,32	EJ

2016’da güneş enerjisi (fotovoltaik) alanındaki büyüme diğer tüm enerji kollarının önüne geçmesine rağmen fotovoltaik güneş enerjisi sistemleri verimliliği konsantre güneş enerji sistemlerine göre düşük verimlilikte olmaları nedeni ile senaryoda üstlendiği rol çok düşük seviyelerdedir. Lokal çözüm olarak fotovoltaik güneş enerjisi kullanımı iletim ve dağıtım kayıplarının önüne geçebilme potansiyelinden önemi burada teknoloji ile de birlikte artabilmektedir.

Dünyanın giderek artan enerji ihtiyacını karşılama yöntemi son yirmi beş yıla kıyasla büyük bir değişiklik geçirirken, ilk sırayı doğalgaz almaktadır, arkasından da yenilenebilir enerjilerin yükselişi ve enerji verimliliği gelmektedir. Doğalgaz çevrim santrallerinin yatırım maliyetlerinin düşmesi ve gelişen teknoloji ile hammadde olarak taşınabilen likid doğalgazın eskiye kıyasla çok daha verimli işlenebilmesi neticesinde senaryolarda doğalgaz yer almaktadır.

Yenilenebilir kaynaklar esas talepteki artışın %40’ını karşılamakta, elektrik sektöründe yaşanan yenilenebilir enerji patlaması, kömürün altın çağının sona erdiğine işaret etmektedir.

Nükleer enerjinin görünümü olumsuz ilerleyiş içerisinde gözükyorsa da, Çin nükleer enerji üretimindeki artışın başında yer almaktadır ve yakın tarihte Amerika Birleşik Devletleri’ni geride bırakarak dünyanın en büyük nükleer enerji üreticisi haline gelecektir.

Yenilenebilir enerjiler, birçok ülke için en düşük maliyetli üretim seçeneği olması sebebiyle dünya elektrik santrali yatırımının gelecekte %80’inini oluşturacaktır. Bu gün İzlanda, Norveç, Kosta Rika, Paraguay devletleri elektrik enerjisi üretimlerinin tamamına yakını yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılamaktadır.

Elektrik enerjisi üretimi, iletim ve dağıtımdaki kayıpların önüne geçen doğru fizibilite raporu ile projelendirilen elektrik enerjisi üretim tesisleri ve lokal çözümler arz talep dengesini en uygun şekilde karşılar ve dünyada karbonsuzlaşma çağının desteklenmesine, insanlık olarak daha refah seviyesine yakın yaşamamıza neden olacak en önemli faktördür.



KAYNAKLAR

- Ahmet Cangüzel Taner.** (2016). Karbon Yakalama ve Depolama (Carbon Capture and Storage) CCS Teknolojisi Kapsamında Son Yapılan Küresel Bilimsel Araştırma ve Geliştirme (ARGE) Faaliyetleri. *Fizik Mühendisleri Odası.*
- Ahmet Cangüzel Taner.** (2017). İnovatif Karbon Tutma ve Saklama (Carbon Capture and Storage - CCS) ile Karbondioksiti Bazalt Taşı İçerisine Depolama Ar-Ge Çalışmaları. *Fizik Mühendisleri Odası.*
- A.W. Czanderna and G.J. Jorgensen.** (2017). Service Lifetime Prediction for Encapsulated Photovoltaic Cells/Minimodules, *National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO 80401-3393.*
- Biomass gasification cogeneration** – A review of state of the art technology and near future perspectives Gothenburg Gov. (2011). Gothenburg Biomass Gasification Project. *Biomass Gasification Group, National Laboratory for Sustainable Energy – Risø DTU Frederiksborgvej 399, 4000 Roskilde, Denmark.*
- BP Annual Report.** (2016). BP Energy Outlook and Form 20-F 2016. *40, 83-90.*
- Cristina Tarean.** (2014). Long Term Energy Strategies And Policies: Challenges. *Technical University of Cluj Napoca, Faculty of Materials and Environmental Engineering, 103 – 105 Muncii Ave, Cluj-Napoca, Romania.*
- EIRGRID.** (2017) Tomorrow’s Energy Scenarios Planning our Energy Future. *The Oval, 160 Shelbourne Road, Ballsbridge, Dublin 4, D04 FW28, Ireland.*
- F. Karık.** (2017). Türkiye’nin Enerji Performansının Oecd Ve Brics Ülkeleri İle Karşılaştırılması. (Doktora Tezi). *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.*
- Global Energy Assessment.** (2016). Energy Resources and Potentials Chapter 7 (s-425). *Ji Zou (Renmin University of China).*
- Göran Andersson.** (2008). Efficient Multi-Energy Generation Portfolios For the Future. *4th Annual Carnegie Mellon Conference on the Electricity Industry.*
- Green Facts SRCCS.** (2005). Facts on CO2 Capture and Storage.
http://arch.rivm.nl/env/int/ipcc/pages_media/SRCCSfinal/SRCCS_TechnicalSummary.pdf.
- Ibrahim Yuksel.** (2017). The role of energy systems on hydropower in Turkey.
Yildiz Technical University, Faculty of Civil Engineering. Istanbul.

- International Energy Agency.** (2016). Energy Policies of IEA Countries, TURKEY. *International Energy Agency 9 rue de la Fédération 75739 Paris Cedex 15, France.*
- Jeroen Brueckels.** (2018). Past, Present and Future of Kites and Energy Generation. *Delft University of Technology Kluyverweg 1 2629HS Delft The Netherlands.*
- Jim U, Kevin D, Karsten M, Sandeep S.** (2016). CO2 Storage in the Surat Basin: Deep Aquifer Appraisal Project, Carbon Capture and Storage Chapter. *The University of Queensland.*
- London Array Offshore Windfarm Output. From Jan (2015) to Dec (2015)** The average output. *Registered in England and Wales No 04344423.*
- Marcus Stewart.** (July 2017). Future Energy Scenarios. *Warwick Technology Park, Gallows Hill, Warwick. CV34 6DA United Kingdom. No. 4031152.*
- Mehmet Deniz Özçelik.** (2014). Karbon yakalama ve depolama teknolojilerinin temiz karbon mekanizmaları içerisindeki rolünün incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi. İstanbul.*
- National Renewable Energy Laboratory.** (2014). Solar Energy Report. *Portland, Oregon (Report no: 20140725).*
- N. Selvi.** (2017). Ekonomik Büyüme Ve Enerji Tüketimi Arasındaki İlişki: Türkiye Örneği. (Yüksek Lisans Tezi) *Cumhuriyet Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü. Sivas.*
- The Surgut GRES-2.** (2016). (Сургутская ГРЭС-2) (The Surgut 2) [PowerPoint slides]. <http://www.unipro.energy/about/>.
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.** (2016). T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Faaliyet Raporu 2016. *Ankara.*
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.** (2017). T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Faaliyet Raporu 2017. *Ankara.*
- URL-1** <http://polatenerji.com/santrallerimiz/soma-res>
- URL-2** <http://www.variablepitch.co.uk/stations/1881/output/>
- URL-3** http://www.nrel.gov/learning/re_solar.html
- URL-4** <http://www.variablepitch.co.uk/stations/1881/output/>
- URL-5** https://en.wikipedia.org/wiki/Valle_Solar_Power_Station
- URL-6**
http://www.goteborgenergi.se/English/Projects/GoBiGas__Gothenburg_Biomass_Gasification_Project
- URL-7** <http://www.enerjiatlasi.com/dogalgaz/enka-gebze-dogalgaz-santrali.html>
- URL-8** <http://www.enerjiatlasi.com/hidroelektrik/deriner-baraji.html>
- URL-9** http://www.wiki-zero.co/wiki/tr/uc_bogaz_Baraji

URL-10 <http://www.enerjiatlası.com/haber/ataturk-barajı-ndan-165-milyar-kwh-elektrik-uretildi>

URL-11 <http://www.enerjiatlası.com/hidroelektrik/karakaya-barajı.html>

URL-12 <http://www.enerjiatlası.com/hidroelektrik/hasan-ugurlu-barajı.html>

URL-13 <http://www.enerjiatlası.com/hidroelektrik/borcka-barajı.html>

URL-14 <http://www.enerjiatlası.com/hidroelektrik/alkumru-barajı.html>

URL-15 <http://www.enerjiatlası.com/hidroelektrik/akkoy-barajı.html>

URL-16 <http://www.enerjiatlası.com/hidroelektrik/kavsak-bendi-hes.html>

URL-17 <http://www.enerjiatlası.com/hidroelektrik/alpaslan-barajı.html>





EKLER

EK A: OECD ve BRICS ülkelerinin enerji bağımsızlığı oranları (2014).

EK B: OECD ve BRICS ülkelerinin milli gelir ve enerji yoğunlukları (2014).

EK C: Wikipedia'dan alınmış 70 baraj için kapasite faktörü hesabı.

EK D: Güncel rezerv verilerinin çekildiği 18 bölge ile modellenmenin kullandığı 10 bölgenin eşlenme şeması.

EK E: Birimler arası dönüşüm 1.

EK F: Birimler arası dönüşüm 2.

EK G: Birimler arası dönüşüm 3.

EK A



















Ülke	Enerji Bağımsızlığı Göstergesi		Toplam	Toplam Enerji	Fark
			Enerji Üretimi (Mtep)	Tüketimi (Mtep)	
Norveç	1	6,83	196,31	20,11	176,2
Avusturya	2	2,92	365,71	81,12	284,59
Rusya Federasyonu	3	1,84	1305,68	454,5	851,18
Kanada	4	1,66	476,24	205,95	270,29
Güney Afrika	5	1,14	168,32	74,78	93,54
Meksika	6	1,11	208,27	118,26	90,01
Danimarka	7	0,99	16,06	12,87	3,19
Estonya	8	0,97	5,83	2,9	2,93
ABD	9	0,9	2007,99	1541,18	466,81
İzlanda	10	0,89	5,22	2,74	2,48
Brezilya	11	0,88	267,25	232,11	35,14
Çin Halk	12	0,85	2593,11	1987,83	605,28
Yeni Zelanda	13	0,83	17,05	14,3	2,75
Hollanda	14	0,8	58,53	56,74	1,79
Polonya	15	0,72	67,33	65,27	2,06
İsveç	16	0,72	34,54	31,89	2,65
Çek Cumhuriyeti	17	0,71	29,26	24,93	4,33
Hindistan	18	0,66	541,81	555,74	-13,93
Birleşik Krallık	19	0,6	108,24	122,92	-14,68
Fransa	20	0,57	137,13	147,65	-10,52
Slovenya	21	0,56	3,7	4,73	-1,03
Finlandiya	22	0,54	18,27	24,55	-6,28
İsviçre	23	0,53	13,27	18,66	-5,39
Macaristan	24	0,44	10,14	16,8	-6,66
Slovak Cumhuriyeti	25	0,41	6,57	9,81	-3,24
Almanya	26	0,39	120,71	216,32	-95,61
Avusturya	27	0,38	12,09	26,64	-14,55
Yunanistan	28	0,38	8,8	15,45	-6,65
Şili	29	0,37	13,34	25,31	-11,97
İsrail	30	0,32	7,48	14,98	-7,5
İspanya	31	0,31	35,1	78,64	-43,54
Portekiz	32	0,28	6	16,19	-10,19
Türkiye	33	0,26	31,35	85,75	-54,4
İtalya	34	0,25	36,69	116,57	-79,88
Belçika	35	0,24	12,53	40,06	-27,53
Kore	36	0,18	48,86	170,34	-
İrlanda	37	0,16	2,01	10,14	-8,13
Japonya	38	0,06	26,59	295,54	-
Lüksemburg	39	0,04	0,15	3,64	-3,49

EK B

Ülke	Kişi Başına Milli Gelir (USD)	Enerji Yoğunluğu (tep/bin 2010 USD)
Lüksemburg	1 103 232	0,066
Norveç	2 89 292	0,063
İsviçre	3 75 756	0,04
Avusturalya	4 60 870	0,087
Danimarka	5 57 897	0,05
İsveç	6 53 365	0,093
İrlanda	7 52 223	0,053
ABD	8 50 621	0,137
Hollanda	9 50 155	0,086
Kanada	10 49 800	0,162
Avusturya	11 47 651	0,079
Finlandiya	12 45 222	0,137
Belçika	13 44 777	0,106
Almanya	14 44 754	0,085
Japonya	15 44 390	0,078
İzlanda	16 43 788	0,406
Fransa	17 41 249	0,089
Birleşik Krallık	18 40 371	0,069
Yeni Zelanda	19 35 910	0,128
İtalya	20 33 445	0,072
İsrail	21 32 657	0,087
İspanya	22 29 607	0,083
Kore	23 24 474	0,217
Slovenya	24 23 267	0,139
Yunanistan	25 22 479	0,094
Portekiz	26 21 538	0,094
Çek Cumhuriyeti	27 20 152	0,194
Slovak Cumhuriyeti	28 17 878	0,165
Estonya	29 17 477	0,262
Şili	30 14 454	0,141
Macaristan	31 13 928	0,166
Polonya	32 13 899	0,176
Brezilya	33 11 705	0,126
Rusya Federasyonu	34 11 659	0,424
Türkiye	35 11 367	0,14
Meksika	36 9 824	0,16
Güney Afrika	37 7 612	0,358
Çin Halk	38 6 033	0,371
Hindistan	39 1 695	0,376

EK C

Sıra	Projenin Adı	Ülke	Bulunduğu Nehir	Tamamlanma Yılı	Kurulu Güç (MW)	Yıllık Üretim (TW-hour)	Baraj Alanı (km ²)	Kapasite Faktörü (Cp)
1	Three Gorges Dam	China	Yangtze	2008	22,50	98,80	1,08	50%
2	Itaipu Dam	Brazil Paraguay	Paraná	1984/1991, 2003	14,00	103,10	1,35	84%
3	Xiluodu	China	Jinsha	2014	13,86	55,20		45%
4	Guri	Venezuela	Caroní	1978, 1986	10,24	53,41	4,25	60%
5	Tucuruí	Brazil	Tocantins	1984	8,37	41,43	3,01	57%
6	Grand Coulee	United States	Columbia	1942/1950, 1973, 1975/1980, 1984/1985	6,81	20,00	324,00	34%
7	Xiangjiaba	China	Jinsha	2014	6,45	30,70	95,60	54%
8	Longtan Dam	China	Hongshui	2007/2009	6,43	18,70		33%
9	Sayano-Shushenskaya	Russia	Yenisei	1985/1989, 2010/2014	6,40	26,80	621,00	48%
10	Krasnoyarsk	Russia	Yenisei	1972	6,00	15,00	2,00	29%
11	Nuozhadu	China	Mekong	2014	5,85	23,90	320,00	47%
12	Robert-Bourassa	Canada	La Grande	1979/1981	5,62	26,50	2,84	54%
13	Churchill Falls	Canada	Churchill	1971/1974	5,43	35,00	6,99	74%
14	Jinping-II	China	Yalong	2014	4,80	24,23		58%
15	Bratsk	Russia	Angara	1967	4,52	22,60	5,47	57%
16	Laxiwa Dam	China	Yellow	2010	4,20	10,20		28%
17	Xiaowan Dam	China	Mekong	2010	4,20	19,00	190,00	52%
18	Ust Ilmskaya	Russia	Angara	1980	3,84	21,70	1,92	65%
19	Jirau	Brazil	Madeira	2014/2016	3,75	19,10	258,00	58%
20	Jinping-I	China	Yalong	2014	3,60	17,00	82,50	54%
21	Santo Antonio	Brazil	Madeira	2012/2016	3,58	21,20	490,00	68%
22	Tarbela Dam	Pakistan	Indus	1976	3,48	13,00	250,00	43%
23	Ilha Solteira Dam	Brazil	Paraná	1973	3,44	17,90	1,20	59%
24	Ertan Dam	China	Yalong	1999	3,30	17,00	101,00	59%
25	Pubugou Dam	China	Dadu	2009/2010	3,30	14,60		51%
26	Macagua	Venezuela	Caroní	1961, 1996	3,17	15,20	47,40	55%
27	Xingó Hydroelectrical Power Plant	Brazil	São Francisco	1994/1997	3,16	18,70		68%
28	Yacyretá	Argentina Paraguay	Paraná	1994/1998, 2011	3,10	20,09	1,60	74%
29	Nurek Dam	Tajikistan	Vakhsh	1972/1979, 1988	3,02	11,20	98,00	42%
30	Bath County PSP	United States	-	1985, 2004	3,00	3,32		13%
31	Goupitan Dam	China	Wu	2009/2011	3,00	9,67	94,00	37%
32	Guanyinyan Dam	China	Jinsha	2014/2016	3,00	13,62		52%
33	Boguchany Dam	Russia	Angara	2012/2014	3,00	17,60	2,33	67%
34	Mica Dam	Canada	Columbia	1973, 2015	2,81	7,20	430,00	29%
35	W. A. C. Bennett Dam	Canada	Peace	1968, 2012	2,73	13,80		58%
36	La Grande-4	Canada	La Grande	1986	2,78		765,00	
37	Gezhouba Dam	China	Yangtze	1988	2,72	17,01		72%
38	Volzhskaya (Volgogradskaya)	Russia	Volga	1958/1961	2,67	12,84	3,12	55%
39	Manic-5 and Manic-5-PA	Canada	Manicouagan	1970/1971, 1989/1990	2,66		1,95	
40	Chief Joseph Dam	United States	Columbia	1958/1973/1979	2,62	12,50	34,00	54%
41	Changheba	China	Dadu	2016/2017	2,60	10,80		47%
42	Dagangshan	China	Dadu	2015/2016	2,60	11,43		50%
43	Niagara Falls (US)	United States	Niagara	1961	2,53			
44	Revelstoke Dam	Canada	Columbia	1984, 2011	2,48	8,75	115,00	40%
45	Zhiguliovskaya (Samarskaya)	Russia	Volga	1955/1957	2,47	11,70	6,45	54%
46	Paulo Afonso IV	Brazil	São Francisco	1979/1983	2,46			
47	Chicoasén (Manuel M. Torres) Dam	Mexico	Grijalva	1980, 2005	2,43			
48	La Grande-3	Canada	La Grande	1984	2,42			
49	Atatürk Dam	Turkey	Euphrates	1990	2,40	8,90		42%

50	Jinanjiao Dam		China	Jinsha	2010	2,40	11,04		53%
51	Son La Dam		Vietnam	Black	2010/2012	2,40	10,25		49%
52	Bakun Dam		Malaysia	Balui	2011	2,40			
53	Liyuan Dam		China	Jinsha	2014/2015	2,40	10,70		51%
54	Guandi Dam		China	Yalong	2013	2,40	11,87		56%
55	Karun III Dam		Iran	Karun	2005	2,28	4,17		21%
56	Iron Gates-I	 	Romania Serbia	Danube	1970, 1998/2007, 2013	2,25	11,30		57%
57	John Day Dam		United States	Columbia	1971	2,16	8,42		44%
58	Caruachi		Venezuela	Caroni	2006	2,16	12,95		68%
59	Ludila		China	Jinsha	2014	2,16	9,96		53%
60	La Grande-2-A		Canada	La Grande	1992	2,11			
61	Aswan		Egypt	Nile	1970	2,10	11,00		60%
62	Itumbiara		Brazil	Paranaiba	1980	2,08			
63	Hoover Dam		United States	Colorado	1936/1939, 1961	2,08	4,00		22%
64	Cahora Bassa		Mozambique	Zambezi	1975/1977	2,08			
65	Cleuson-Dixence Complex		Switzerland	-	1965, 1998	2,07	4,51		25%
66	Bureya Dam		Russia	Bureya	2003/2009	2,01	6,59		37%
67	Lijiaxia Dam		China	Yellow	1997/2000	2,00	5,90		34%
68	Karun I (Shahid Abbaspour) Dam		Iran	Karun	1976, 1995, 2006	2,00			
69	Masjed Soleyman Dam		Iran	Karun	2002/2007	2,00	3,70		21%
70	Ahai Dam		China	Jinsha	2014	2,00	8,88		51%

Ortalama: 50%

EK D

NORTH AMERICA	NAM	USA CAN	UNITED STATES CANADA
EUROPE	EUR	WEU EEU	WESTERN EUROPE (INC TURKEY) CENTRAL AND EASTERN EUROPE
FORMER SOVIET UNION	FSU	FSU	FORMER SOVIET UNION
AFRICA	AFR	NAF EAF WCA SAF	NORTHERN AFRICA EASERNT AFRICA WESTERN AND CENTRAL AFRICA SOUTH AFRICA
MIDDLE EAST	MEA	MEE	MIDDLE EAST
CENTRALLY PLANNED ASIA	CPA	CHN OEA	CHANIA OTHER EAST ASIA
SOUTH ASIA	SAS	IND OSA	INDIA OTHER SOUTH ASIA
PACIFIC OCEAN	PAO	JPN OCN	JAPAN AUSTRALIA NEWZEALAND AND OTHER OCEANIA
PACIFIC ASIA	PAS	PAS	OTHER PACIFIC ASIA
LATIN AMERICA	LAM	LAC	LATIN AMERICA CARIBBEAN

EK E

Kilo (k)	=	10^3
Mega (M)	=	10^6
Giga (G)	=	10^9
Tera (T)	=	10^{12}
Peta (P)	=	10^{15}
Egza (E)	=	10^{18}
Zeta (Z)	=	10^{21}



EK F

1 EJ	=	23,88	Mtep
1 EJ	=	277.777,77	GWh
1 EJ	=	947.817.120	MBtu
1 EJ	=	238.845.897	Gcal



EK G

1 Mtep	=	0,04186	Egzajoule (EJ)
1 Mtep	=	11.630	GWh
1 Mtep	=	39.683.207,2	MBtu
1 Mtep	=	10.000.000	Gcal



ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : İBRAHİM ÜST
Doğum Tarihi ve Yeri : 24.04.1989 GÖLE
E-posta : ustibrahim@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2013. YILDIZ TEKNİK ÜNİ. İNŞAAT FAK. İNŞAAT MÜH

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- İSTANBUL HAVALİMANI