İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ KAYNAKLARI VE TÜRKİYE'NİN JEOENERJETİK KONUMU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Gümrah HÜRDOĞAN

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : HİDROLİK VE SU KAYNAKLARI MÜHENDİSLİĞİ

MAYIS 2005

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ KAYNAKLARI VE TÜRKİYE'NİN JEOENERJETİK KONUMU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Gümrah HÜRDOĞAN
(501021352)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 09 Mayıs 2005
Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Mayıs 2005

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Mehmet Emin KARAHAN (İ.T.Ü)**
Diğer Jüri Üyeleri **Prof. Dr. Bihrat ÖNÖZ (İ.T.Ü)**
Doç. Dr. Hayrullah AĞAÇCIOĞLU (Y.T.Ü.)

MAYIS 2005

ÖNSÖZ

Eğitim hayatım boyunca benden hiçbir desteği esirgemeyen aileme saygılarımı sunarak söze başlamak istiyorum. Günümüz dünyasında enerji önemini giderek artırırken, bu güncel konuda bana çalışma imkanı tanıyan, fikir ve düşünceleriyle çalışmamın kalitesini artıran ve gerekli düzenlemelere işaret ederek tezin etkisini artırmama yardımcı olan değerli hocam ve danışmanım sayın Prof. Dr. Mehmet Emin KARAHAN'a; literatür taramasında gerekli desteği veren İnşaat Yüksek Mühendisi sayın Gökhan ALKAN'a; resimlerin mizanpajında ve tez formatı aşamasında fikirleriyle beni rahatlatan İnşaat Yüksek Mühendisi sayın İsmail GÖKALP'e; resimlerin taranması ve tezin şekillendirilmesinde yardımları geçen Euro Mat-Tavaslı Matbaacılık çalışanlarından sayın Erhan KARAKAŞLAR'a; tezi hazırlamam için gerekli zamanı yaratmamda desteğini esirgemeyen kadim dostum Yunus Özay ER'e teşekkürü bir borç bilirim.

Mayıs 2005 Gümrah HÜRDOĞAN

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR **vi**
TABLO LİSTESİ **ix**
ŞEKİL LİSTESİ **x**
SEMBOL LİSTESİ **xii**
ÖZET **xiii**
SUMMARY **xv**

1. GİRİŞ **1**

2. GELENEKSEL ENERJİ KAYNAKLARI **2**
2.1. Giriş 2
2.2. Fosil Yakıtlar 3
2.2.1. Kömür 3
2.2.2. Petrol 6
2.2.3. Doğal gaz 7
2.3. Fosil Yakıtların Çevresel Etkileri 9
2.3.1. Sera etkisi 9
2.3.2. Asit yağmurları 10
2.3.3. Ozon tabakasının incelmesi 11
2.3.4. Cıva yayılması 12
2.3.5. Tanecik emisyonu 13
2.3.6. Su yönetim sistemi 15
2.3.7. Rio Deklarasyonu ve Kyoto Protokolü 17
2.4. Sonuç 18

3. KOJENERASYON (CHP) VE ENERJİ ÜRETİM SİSTEMLERİ **18**
3.1. Giriş 18
3.2. Gaz Türbinleri 20
3.3. Buhar Türbinleri 22
3.4. İçten Yanmalı Motorlar 25
3.5. Mikro Türbinler 26
3.6. Yakıt Pilleri 27
3.7. Sonuç 30

4. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI **31**
4.1. Giriş 31
4.2. Biyoenerji 32
4.2.1. Giriş 33
4.2.2. Biyoenerji elde etme metotları 34

4.2.2.1. Alevli yakma 34
4.2.2.2. Gazlaştırma 35
4.2.2.3. Havasız ortamda ayrıştırma 38
4.2.2.4. Sıvılaştırma 41
4.2.3. Biyoenerji sistemlerinin çevresel etkileri 43
4.2.4. Sonuç 44
4.3. Hidroelektrik Enerji 44
4.4. Güneş Enerjisi 48
4.4.1. Giriş 48
4.4.2. Güneş kolektörü 48
4.4.3. Termal sistemler 50
4.4.3.1. Parabolik çukur aynalar 50
4.4.3.2. Güç kuleleri 51
4.4.3.3. Tabak/motor güneş sistemi 52
4.4.4. Pasif güneş sistemleri 53
4.4.5. Güneş enerjisinin çevresel ve ekonomik etkileri 57
4.5. Rüzgar Enerjisi 58
4.5.1. Yatay eksenli rüzgar türbinleri 59
4.5.2. Düşey eksenli rüzgar türbinleri 60
4.5.3. Küçük rüzgar türbinleri 61
4.5.4. Karma sistemler 62
4.5.5. Kıyı ve uzak kıyı sistemleri 63
4.5.6. Rüzgar enerjisinin ekonomisi ve çevresel etkileri 64
4.6. Okyanus enerjisi 65
4.6.1. Dalga enerjisi 65
4.6.2. Okyanus termal enerjisi (OTEC) 68
4.6.3. Gelgit enerjisi 74
4.7. Jeotermal Enerji 77
4.8. Sonuç 79

5. ALTERNATİF ENERJİ KAYNAKLARI 82
5.1. Nükleer Enerji 82
5.2. Füzyon (kaynaşma) Enerjisi 86
5.3. Ara Enerji Sistemi 88
5.3.1. Hidrojen enerji sistemi 89
5.3.1.1. Hidrojen üretimi 89
5.3.1.2. Hidrojenin depolanması 90
5.3.1.3. Hidrojenin tevzi edilmesi 92
5.3.1.4. Hidrojenin kullanım alanları 93
5.3.2. Hidrojen enerji sisteminin çevresel etkileri 96
5.3.3. Hidrojen enerji sisteminin ekonomisi 97

5.3.4. Hidrojenin günümüzdeki uygulamaları 98

6. ÜLKELERİN ENERJİ POLİTİKALARINA GENEL BAKIŞ 99
6.1. Amerika Birleşik Devletleri 100
6.2. Birleşik Krallık 102
6.3. Japonya 104
6.4. Avrupa Birliği 105
6.5. Gelişmekte Olan Ülkeler 111

7. TÜRKİYE'NİN JEOENERJETİK KONUMU 116
7.1. Enerji Yönetimi 116
7.2. Türkiye'nin Enerji Kaynakları 122
7.3. Enerji Sektöründe Atılabilecek Adımlar 126

8. SONUÇ 131

KAYNAKLAR 133

EKLER 139

ÖZGEÇMİŞ 141

KISALTMALAR

ppm	: Parts per million
OTEC	: Ocean Thermal Energy Conversion
BKB	: Brown Coal/Peat Briquettes
FBC	: Fluidized Bed Circulation
CHP	: Combined Heat and Power
RCFB	: Recirculating Fluidized Bed
IGCC	: Integrated Gasification Combined Cycle
TCLP	: Toxicity Characteristics Leaching Procedure
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
NGLs	: Natural Gas Liquids
LPG	: Liquefied Petroleum Gas
SNG	: Synthetic Natural Gas
OCGT	: Open-Cycle Gas Turbine
CCGT	: Combined-Cycle Gas Turbine
FGD	: Flue Gas Desulphurization
LNBs	: Low Nitrogen-oxide Burners
SCR	: Selective Catalytic Reduction
SNCR	: Selective Non-Catalytic Reduction
FA	: Fly Ash
FGDA	: Flue Gas Desulphurization Ash
FBA	: Fluidized Bed Ash
PM 10	: Particle Matter Ten
ESP	: Electrostatic Precipitation
PM 2, 5	: Particle Matter Two and half
DMP	: Demineralization Plant
ET	: Emission Trading
CDM	: Clean Development Mechanism
JI	: Joint Implementation
SHP	: Separate Heat Production
PAFC	: Phosphoric Acid Fuel Cell
PEMFC	: Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell
MCFC	: Molten Carbonate Fuel Cell
SOFC	: Solid Oxide Fuel Cell
AFC	: Alkali Fuel Cell
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
MSW	: Municipal Solid Waste
PURPA	: Public Utility Regulatory Policy Act
STIGs	: Steam Injected Gas Turbines
HDPE	: High Density Polyethylene
CSP	: Concentrating Solar Power
PV	: Photovoltaic
SUVA-124	: Cholorotetrafluoroethane

SNAPS : System Network Analysis for Passive Systems
AWEA : American Wind Energy Association
TV : Television
HDR : Hot Dry Rocks
CANDU : Canada Deuterium Uranium
AGR : Advanced Gas-cooled Reactor
PWR : Pressurized Water Reactor
ITER : International Thermonuclear Experiment Reactor
PanAm : Pan American Airways
KLM : Royal Dutch Airlines
USD : United States Dollar
FOB : Free On Board
SSCB : Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği
GOP : Genişletilmiş Ortadoğu ve Kuzey Afrika Projesi
RECs : Regional Electricity Companies
EEA : European Economy Association
ALTENER : Alternative Energy
CTO : Campaign for Take-Off
ADEME : The French Agency for Environment and Energy Management
RES : Renewable Energy Sources
YPF : Yacimientos Petrolificos Fiscales
MEM : Mercado Electrico Mayorista
MEMSP : Mercado Electrico Mayorista Sistema Patagonico
PAEPRA : Programa de Abastecimiento Electrico ala Poblacion Rural de Argentina
CRESESB : Centra de Referencia para Energia Solar e Eolica Sergio Brito
PRODEEM : Programa para o Desenvolvimento da Energia nos Estados e Municipos
SDPC : State Development and Planning Commission
SPCC : State Power Corporation of China
MWR : Ministry of Water Resources
REDP : Renewable Energy Development Program
CEA : Central Electricity Authority
MNES : Ministry of Non-Conventional Energy Sources
IREDA : Indian Renewable Energy Development Agency
TEK : Türkiye Elektrik Kurumu
TEAŞ : Türkiye Elektrik Üretimi ve İletimi Anonim Şirketi
TEDAŞ : Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
LNG : Liquefied Natural Gas
DSİ : Devlet Su İşleri
BOT : Built Operate and Transfer
TOR : Transfer of Operation Rights
BOTAŞ : Boru Hatları ile Petrol Taşımacılığı Anonim Şirketi
BIL : BOTAS International Limited
TÜPRAŞ : Türkiye Petrol Anonim Şirketi
BORES : Bozcaada Rüzgar Enerji Santrali
OECD : Organisation for Economic Co-operation and Development
AB : Avrupa Birliği
EİEİ : Elektrik İşleri Etüd İdaresi
GSMH : Gayri Safi Milli Hasıla
HES : Hidroelektrik Santral
OSB : Organize Sanayi Bölgesi

KDV : Katma Değer Vergisi
KKDF : Kaynak Kullanımı Destekleme Fonu

TABLO LİSTESİ

		Sayfa No
Tablo 3.1.	CHP sistemlerinin özeti ……...	30
Tablo 3.2.	Güç üretim sistemlerinin mukayesesi ……..	31
Tablo 4.1.	Doğal gaz, kanalizasyon gazı ve çöplük gazının mukayesesi …..	38
Tablo 5.1.	Çeşitli hidrojen depolama sistemlerinin mukayesesi ……..	91
Tablo 5.2.	Çeşitli hidrojen depolama ortamlarının mukayesesi ……	91
Tablo 6.1.	1999-2003 yılları arasında gerçekleşen projeler ……..	108
Tablo 7.1.	Ortadoğu'nun en büyük yirmi şirketi ……...	120
Tablo 7.2.	BOTAŞ'ın devredeceği altı kontrat ……	121
Tablo 7.3.	BOTAŞ'ın kontrat devri ihalesine başvuru yapan firmalar	122
Tablo 7.4.	Avrupa'nın en hızlı büyüyen beş ülkesi ……...	126
Tablo 7.5.	Çeşitli yakıtların maliyet mukayesesi …….....	126
Tablo 7.6.	Türkiye Cumhuriyeti maden potansiyeli …….	130
Tablo A.1.	Yakıt kazanı emisyonları …….	139
Tablo A.2.	Mikro türbin emisyonları …….	139
Tablo A.3.	Gaz türbini emisyonları ……	139
Tablo A.4.	Yakıt pili emisyonları ……..	140
Tablo A.5.	Gaz motoru emisyonları ……..	140

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1 **:** Kömür (termik) santrali ……... 4
Şekil 2.2 **:** Petrol santrali ……... 7
Şekil 2.3 **:** Doğal gaz çevrim santrali …… 8
Şekil 2.4 **:** Sülfürden arındırma tüneli ……... 10
Şekil 2.5 **:** Kömür boşaltımı esnasında toz salımı ……. 13
Şekil 2.6 **:** Tanecik salımı …….. 15
Şekil 2.7 : Taneciklerin çamura çevrildiği santraller……. 17
Şekil 3.1 : CHP-SHP mukayesesi …….. 19
Şekil 3.2 **:** Güç/ısı oranı 20
Şekil 3.3 **:** Gaz türbini 21
Şekil 3.4 **:** Gaz türbini uygulamaları…….. 22
Şekil 3.5 **:** Buhar türbini 23
Şekil 3.6 **:** Yoğunlaştırıcılı buhar türbini …….. 24
Şekil 3.7 **:** Yoğunlaştırıcısız buhar türbini …… 24
Şekil 3.8 **:** İçten yanmalı motorlarda kojenerasyon …….. 26
Şekil 3.9 **:** Mikro türbinlerde kojenerasyon …….. 27
Şekil 3.10 **:** Yakıt pili …….. 28
Şekil 4.1 **:** Biyoenerji döngüsü …….. 32
Şekil 4.2 : Gazlaştırma ünitesi..... 37
Şekil 4.3 : Modern çöplük sistemi 39
Şekil 4.4 : Modern çöplük sisteminde elde edilen biyogazın kullanılması 41
Şekil 4.5 : Su çevrimi 44
Şekil 4.6 : Baraj kesiti 45
Şekil 4.7 : Pompajlı tesisler 46
Şekil 4.8 : Güneş enerjisi etkisiyle voltaj oluşumu 48
Şekil 4.9 : Güneş sistemleri 49
Şekil 4.10 : Parabolik çukur ayna..... 50
Şekil 4.11 : Parabolik çukur ayna güneş sistemleri 51
Şekil 4.12 : Güneş güç kulesi 52
Şekil 4.13 : Tabak/motor 53
Şekil 4.14 : Tabak/motor güneş sistemleri..... 53
Şekil 4.15 : Çeşitli pasif güneş sistemlerin mukayesesi …….. 54
Şekil 4.16 : Susheela-Sharp pasif güneş enerji sistemi..... 55
Şekil 4.17 : SNAPS program elemanları 56
Şekil 4.18 : Yatay eksenli rüzgar türbini 59
Şekil 4.19 : Düşey eksenli rüzgar türbini …… 60
Şekil 4.20 : Küçük rüzgar türbini 61
Şekil 4.21 : Küçük rüzgar türbinlerinin verimine yerden yüksekliğin etkisi ….. 62
Şekil 4.22 : Karma enerji üretim sistemleri ……. 62
Şekil 4.23 : Kıyı ve uzak kıyı rüzgar türbinlerinde inşaat zorlukları …….. 63

Şekil 4.24 : Ördek tipi dalga çevrim santrali ……... 66
Şekil 4.25 : Deniz midyesi dalga çevrim santrali..... 67
Şekil 4.26 : Salınım yapan su sütunlu dalga çevrim santrali ……... 67
Şekil 4.27 : Kapalı devre OTEC santrali ……. 70
Şekil 4.28 : Açık devre OTEC santrali …… 71
Şekil 4.29 : Karma devre OTEC santrali..... 72
Şekil 4.30 : Kaldırma/köpük OTEC santrali 73
Şekil 4.31 : Gelgit barajı 75
Şekil 4.32 : Gelgit akım sistemleri 76
Şekil 4.33 : Su altı güç üretim sistemi 76
Şekil 4.34 : Su altı rüzgar tarlaları 77
Şekil 4.35 : Jeotermal enerjiden elektrik ve sıcak su eldesi 78
Şekil 4.36 : HDR santrali 79
Şekil 4.37 : RES'den elektrik üretimi için gerekli yatırım bedellerinin gelişimi 80
Şekil 4.38 : RES'den elektrik üretiminin maliyet gelişim eğilimi …….. 81
Şekil 4.39 : Çevresel faktörlerin elektrik maliyetine etkisi ……. 81
Şekil 5.1 : Nükleer enerjinin oluşumu 83
Şekil 5.2 : AGR nükleer reaktörü 84
Şekil 5.3 : Elektrik üretiminde nükleer enerji kullanan ülkeler ……. 86
Şekil 5.4 : Füzyon 87
Şekil 5.5 : Hidrit tankı 92
Şekil 5.6 : Katalitik duvar ısıtıcısı 94
Şekil 5.7 : Hidrojen enerji sistemi..... 95
Şekil 5.8 : Hidrojen enerji sisteminin gelişim eğrisi 98
Şekil 6.1 : Dünya enerji pastası 100
Şekil 6.2 : Birleşik Krallık elektrik pastası …… 103
Şekil 6.3 : Birleşik Krallık enerji pastası …….. 104
Şekil 6.4 : AB'nde 1998 yılı itibariyle elektrik üretimi ve RES'nin katkısı …. 108
Şekil 6.5 : RES'den elektrik üretimde AB ülkelerinin sıralaması ……. 109
Şekil 6.6 : Hidrolik enerji dahil RES'den elektrik üretiminin dağılımı …… 109
Şekil 6.7 : Hidrolik enerji hariç RES'den elektrik üretiminin dağılımı …… 110
Şekil 6.8 : RES'den elektrik üretimde yatırım maliyetlerinin zamanla değişimi.. 110
Şekil 6.9 : RES'den elektrik üretim maliyeti (2000) …… 111
Şekil 6.10 : AB ülkelerinde RES'den elektrik üretimi ve potansiyeli …… 111

SEMBOL LİSTESİ

kWh : Kilovat saat
ºC : Derece santigrad
MW : Megavat
MJ/kg : Kilogram başına mega joule
pH : Asit-baz sabiti
E 85 : % 85 etanol – % 15 petrol
M 85 : % 85 metanol – % 15 petrol
cm : Santimetre
NOx : Azot oksitler
ºF : Derece fahrenhayt
CO : Karbonmonoksit
V : Volt
m² : Metrekare
º : Derece
W : Vat
Cs : Caesium
La : Lanthanum
Ce : Cerium
Pr : Praseodymium
Nd : Neodymium
Sm : Samarium
Eu : Europium
Cd : Cadmium
Tb : Terbium
Dy : Dysprosium
Ho : Holmium
Er : Erbium
Tm : Thulium
Yb : Ytterbium
Lu : Lutetium
GJ : Giga jul

ENERJİ KAYNAKLARI VE TÜRKİYE'NİN JEOENERJETİK KONUMU

ÖZET

Hangi kaynak kullanılırsa kullanılsın enerji üretebilmek için bir enerji üretim sistemine ihtiyaç vardır. Enerji üretim sistemleri: gaz türbinleri, buhar türbinleri, içten yanmalı motorlar, mikro türbinler ve yakıt pilleri olarak sıralanırlar. Her bir enerji üretim sisteminin eksikliği ve üstünlüğü mevcuttur, dolayısıyla uygulama alanına göre uygun seçim yapılırken kojenerasyon ilkesi de göz önünde bulundurulmalıdır. Kojenerasyon bir süreçte açığa çıkan atık ısının diğer süreçte değerlendirilmesi işlemi olarak özetlenebilir. Enerji kaynakları: geleneksel, yenilenebilir ve alternatif olmak üzere üç ana başlık altında toplanabilir. Geleneksel enerji kaynakları; kömür, petrol ve doğal gaz olarak sıralanabilir. Milyonlarca yıl önce bitki ve hayvan orijinli organik maddelerin derin toprak katmanları altında fosilleşmesi sonucu oluştukları için geleneksel enerji kaynakları fosil yakıtlar olarak isimlendirilirler. Endüstri devriminden bu yana kullanıldıkları için altyapıları oturmuştur. Günümüz enerji ve elektrik üretiminin büyük bir kısmı fosil yakıtlardan temin edilir. Ancak bu yakıtlar bünyelerinde karbon, azot, sülfür, cıva ve yanmayan maddeler bulundurdukları için yakılmaları sonucu bu maddeler; karbondioksit, azot oksitler, sülfür dioksit, cıva ve zararlı tanecikler formunda atmosfere yayılırlar ve sera etkisi, ozon tabakasının incelmesi, asit yağmurları, tanecik emisyonu gibi zararlı etkilere neden olurlar. Geleneksel enerji kaynaklarının bir diğer olumsuz özelliği ise sonlu kaynak olmaları ve rezervlerin dünyanın belirli bölgelerinde toplanmış olmasıdır. Dolayısıyla fosil yakıtlar birçok ülkeyi enerji sektöründe dışa bağımlı bir hale sokarken, er geç tükenecek olmaları da birçok sektöre korkulu rüya göstermektedir. Özellikle 1973 Dünya Enerji Krizi sonrası diğer enerji kaynakları üzerinde yoğun çalışmalar yapılmaya başlanmış; yenilenebilir ve alternatif enerji kavramı bu dönemde ortaya atılmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları: biyoenerji, hidroelektrik enerji, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, okyanus enerjisi (dalga enerjisi, gelgit enerjisi, okyanus termal enerjisi), jeotermal enerji olarak sıralanırken alternatif kaynaklar: nükleer enerji ve füzyon enerjisi olarak tanımlanabilir. Yenilenebilir enerji kaynakları sonlu yapıda değildir ve hiçbir olumsuz çevresel etkileri yoktur ancak bu kaynaklar kullanılarak elde edilen nihai ürün elektrik olduğundan depolanamazlar ve en önemlisi araçlarda yakıt olarak kullanılamazlar. Ayrıca hidroelektrik ve kısmen de olsa rüzgar ve jeotermal enerji hariç geleneksel enerji kaynaklarıyla ekonomik olarak rekabet edecek durumda değillerdir. Ancak teknoloji ilerledikçe ve geleneksel enerji kaynaklarının olumsuz çevresel etkileri de maliyet unsuru olarak değerlendirilmeye başlandığında özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi daha da artacaktır. Alternatif enerji kaynaklarından nükleer enerji konusunda dünya taraf ve karşıt olmak üzere ikiye bölünmüşken, füzyon konusu ilgi çekmeye devam etmektedir ve önümüzdeki yıllarda füzyon reaktörlerinin öneminin daha da artması beklenmektedir. Günümüzde giderek önemini artıran enerji sistemi ise hidrojen enerji sistemidir. Hidrojen: depolanabilir, taşınabilir,

yenilenebilir, üretildiği ana enerji kaynağından bağımsız, temiz ve depolayabildiği enerji miktarına göre en ekonomik sentetik yakıt olması nedeniyle; ana enerji kaynaklarıyla kullanılabilir enerji kaynakları arasında bir köprü vazifesi görebilir. Fosil yakıtların kullanıldığı her alanda kullanılabilmeleri, yenilenebilir ve alternatif enerji kaynaklarının eksiliklerini bertaraf edebilmeleri nedeniyle hidrojenin; odun ile başlayan, kömür ve petrol ile devam eden, günümüzde doğal gaz ile zirveye oturan enerji zincirinin son ve değişmez halkası olması beklenmektedir. Zira, günümüzün doğal gaz altyapısı da hidrojen enerji sisteminin altyapısını oluşturabilecek özelliktedir. Mevcut dünya enerji platformunun baş aktörleri ABD, Birleşik Krallık, Japonya, Avrupa Birliği olarak sıralanırken; gelişmekte olan ülkelerden Hindistan, Çin, Brezilya ve Arjantin ise giderek önemini artıran büyük ülkeler olarak değerlendirilebilir. Ülkemiz ise fosil yakıtlar yönünden fakir ülke statüsünde olsa da, yenilenebilir enerji kaynakları dikkate alındığında bir enerji cenneti olarak tanımlanabilir, ayrıca Bakü-Tiflis-Ceyhan Boru Hattı gibi bir çok önemli projeye ev sahipliği yapabilecek pozisyonda olması nedeniyle jeoenerjetik yönden oldukça önemli bir konumdadır. Ülkemiz bu mevcut üstünlüklerini değerlendirebildiği takdirde dünya enerji platformunda giderek artan bir önem kazanabilir.

ENERGY RESOURCES AND TURKEY'S GEONERGETIC POSITION

SUMMARY

A prime mover is always required in order to derive energy from any resources. Prime movers can be listed as: gas turbine, steam turbine, reciprocating engine, micro turbine and fuel cells. Each prime mover has advantages and disadvantages, so it is better to define suitable one according to the application process. By the way co-generation, which is to re-use the excess heat generated in one process, must be kept in mind in each application. Energy resources can be listed as conventional, renewable and alternative sources. Conventional energy sources are defined as coal, oil and natural gas. Conventional energy sources can also be mentioned as fossil fuels, because million years ago they occurred from organic parts of plants and animals reshaped under deep ground. All background is settled owing to the wide use of conventional sources from industry ages. Nowadays, almost all energy and electricity is produced from fossil fuels. Because of carbon, nitrogen, sulfur, mercury and unburned items contamination; they release carbon dioxide, nitrogen oxide, sulfur dioxide, mercury and harmful particles to the atmosphere and cause greenhouse affect, ozone termination, acid rains and particle emission. Due to the high usage rates of limited reserves, all conventional sources will be consumed totally. Because all reserves almost gathered in some specific locations, many countries are dependent on imported fuel in their energy policy. This makes many sector related to energy see a nightmare. Especially after 1973 World Energy Crisis, many works made in order to realize different resources. Renewable and alternative energy sources were presented to the sector after this breakpoint. When renewable sources are detailed as bio, hydraulic, solar, wind, ocean (wave, tides, ocean thermal) and geothermal energy; alternative sources is clarified as nuclear fission and fusion energy. Renewable energy sources have not got any negative environmental affects; however they can not be stored and used as fuels in transportation because the end product is electricity. Also, except hydraulic and partially wind and geothermal energy, they can not compete with conventional sources in economic base. On the other hand, especially renewable energy sources will increase their importance day by day, as environmental costs of conventional sources are regarded. When in nuclear energy, world is separated into two parts as positive and negative; fusion is increasing its popularity and we can expect an increasing tendency to this energy source. Other popular energy source is defined as hydrogen. Hydrogen is storable, portable, renewable, and independent from main energy source, clean and the most economic synthetic fuel according to the stored energy rate. So, it can be used as an intermediate energy bridge between main and useful energy elements. Briefly, Hydrogen will be the last and certain part of the energy chain which began with wood and continued with oil and coal and peaked with natural gas recently because it overcomes all drawbacks of renewable sources, can be used in all applications where fossil fuels used and existing natural gas background is very suitable for hydrogen

energy system. Main actors in world energy platform can be listed as: U.S., U.K., Japan, and European Union. It must be noted that India, China, Brazil and Argentina is gaining importance day by day. Turkey is a poor country on fossil fuels reserves, however when renewable sources is regarded, it can be named as energy paradise. On the other hand, its geoenergetic position is very important because it can be a host country to the projects like Baku-Tiflis-Ceyhan. If our country can use these advantages, its position in world energy platform can increase.

1. GİRİŞ

Günümüz enerji ihtiyacı göz önünde bulundurulursa, her tip enerji kaynağı optimal ölçüde yüksek verim çerçevesinde değerlendirilmeli ve insanlığın hizmetine sunulmalıdır. Ancak, enerji eldesi sırasında çevresel faktörler dikkate alınmalı ve temiz teknoloji kullanılmalıdır. Geleneksel enerji kaynakları olan kömür, petrol ve doğal gaz; kimyasal ve mekanik enerjiye, elektrik enerjisine kolayca çevrilebilir, ulaşımda yakıt olarak kullanılabilir, depolanabilir ve taşınması için her türlü altyapı oluşmuştur; ancak insan, hayvan ve bitki sağlığına, ozon tabakasına, binalara; asit yağmurları, sera etkisi, karbonmonoksit emisyonu gibi birçok olumsuz etkileri mevcuttur. Bu enerji kaynaklarının bir diğer olumsuz özelliği ise yenilenebilir olmamaları ve er geç tükenecek olmalarıdır. Ayrıca sırf bu kaynaklara dayalı bir enerji politikasıyla her ne kadar temiz teknoloji de kullanılsa, atmosferdeki karbondioksit oranını 550 ppm'nin altında tutmak pek mümkün gözükmemektedir [1]. Dolayısıyla, yeni enerji kaynaklarına yönelmek ve bu kaynakların yenilebilir ve çevre dostu olmasına özen göstermek gerekmektedir. Dünyada yaşanan 1973 enerji krizinden sonra, geleneksel enerji kaynaklarına rakipler aranmaya başlandı ve biyoenerji, hidrolik enerji, rüzgar enerjisi, güneş enerjisi, jeotermal enerji, okyanus (dalga, gelgit, OTEC) enerjisi gibi yenilenebilir; nükleer enerji ve füzyon enerjisi gibi alternatif enerji kaynakları üzerine yatırımlar yapılmaya başlandı. O tarihten bu yana bu yatırımlar meyvelerini verdi ve dünya enerji pastasından belirli bir pay almayı başardı. Ancak, yenilenebilir ve alternatif enerji kaynaklarının da bir çok eksikliği mevcuttur, nükleer enerji hariç hiçbiri taşıtlarda yakıt olarak kullanılamaz, hidrolik enerji hariç elektrik üretiminde geleneksel kaynaklarla ekonomik olarak rekabet edemez, depolanmaları ve taşınmaları zordur; nükleer enerji, füzyon enerjisi ve jeotermal enerjinin olumsuz çevresel etkileri mevcuttur, rüzgar ve güneş enerjisinin ise kapasite faktörü düşüktür, rüzgar esmezken rüzgar enerjisi yada bulutlu havalarda ve geceyarısı güneş enerjisi kullanılamaz, okyanus enerjisi ise hala proje safhasında olup geniş bir uygulama mevcut değildir. Son yıllarda yenilenebilir ve alternatif kaynakların daha etkin kullanımı ve eksikliklerinin bertaraf edilmesi için bu enerji sistemleriyle; elektrik ve ısı üretim, yakıt ve buhar üretim sistemleri arasında bir köprü vazifesi görebilecek sentetik yakıtlara doğru bir yönelim oluştu. Sentetik benzin, sentetik doğal gaz, sıvı ve gaz hidrojen, etanol, metanol bu vazifeye aday ara enerji sistemleri olarak sıralanabilir. Bu ara enerji sistemlerinden hidrojen

enerji sistemi diğerlerine kıyasla ekonomik ve çevresel olarak ön plana çıkmakta ve dünyada yönelim bu enerji sistemine kaymaktadır. Hidrojen enerji sistemiyle, yenilenebilir ve alternatif enerji kaynakları depolanabilir, taşınabilir ayrıca yakıt ve elektriğe dönüştürülebilir [2]. Hidrojen enerji sisteminin eksikliği geleneksel kaynaklara nazaran ekonomik olmayışıdır, ayrıca geleneksel kaynakların tüm altyapısı tamamlanmış ve kullanım halindedir. Ancak ilerleyen yıllarda mevcut enerji ve altyapı tesisleri yenilenirken hidrojen tesisleriyle değiştirilecek, bu arada hidrojen enerji sistemi ekonomik olarak iyileştirilirken, geleneksel enerji kaynaklarının kullanımında olumsuz çevresel etkileri nedeniyle azalma gözlenecektir [2].

Ülkemiz geleneksel enerji kaynakları bakımından fakir ülke statüsünde değerlendirilse de, yenilenebilir enerji kaynakları bakımından oldukça iyi durumdadır. Dünya eğilimini bu yeni tip kaynaklara çevirmişken bu avanatajımızı iyi değerlendirmeli, temiz enerji kaynaklarıyla dışa bağımlılığımızın da azalacağını göz önünde bulundurarak enerji politikamızı çok akıllıca şekillendirmeliyiz.

2. GELENEKSEL ENERJİ KAYNAKLARI

2.1 Giriş

Geleneksel enerji kaynakları kömür, petrol, doğal gaz ve bunların yan ürünleri olarak sıralanabilir. Tarih öncesi çağlarda (300-350 milyon yıl önce) bitki, ağaç ve diğer organik unsurların kalın toprak katmanları arasında sıkışıp, yüksek basınç ve sıcaklıkta fosilleşmesi sonucu meydana geldikleri için, bu enerji kaynakları fosil yakıtlar olarak da isimlendirilirler. Dünya elektrik ihtiyacının % 66'sı, tüm enerji ihtiyacının (ısıtma, ulaşım, elektrik) % 95'i fosil yakıtlarla karşılanır [3]. Fosil yakıtların kaynaklarından çıkarılması, enerji formlarına dönüştürülmesi, taşınması ve depolanması oldukça kolaydır ve bu işlemler için gerekli altyapı dünya sanayi devriminden başlayarak bugüne dek tamamlanmıştır. Bütün bunların sonucu olarak fosil kaynaklardan elektrik üretimi maliyeti 2-4 sent/kWh gibi düşük bir oranda kalmaktadır [4]. Ancak fosil kaynakların sayısız avantajının yanında birtakım ciddi eksiklikleri de mevcuttur. Karbon ve hidrojen zengini oldukları için yakılmaları neticesinde, sera etkisine sebep olan karbondioksit, metan, karbonmonoksit gibi gazlar oluşur, ayrıca fosil yakıtların bünyesinde bulunan kükürt zamanla kükürtdioksite; azot ise azotoksitlere dönüşür ve bu gazlar asit yağmurlarına

sebebiyet verir. Ayrıca yapılarında bulunan cıva da yakılma sonucu serbest kalır ve atmosfere karışır. Görüldüğü gibi fosil yakıtlar etkili enerji kaynakları olmalarına rağmen, ciddi olumsuz çevresel etkilere sebebiyet vermektedir. Fosil yakıtların bir diğer eksikliği de er geç tükenecek olmalarıdır. En iyi tahminlerle doğal gaz ömrü 40-50, petrol ömrü 50-60, kömür ömrü 150-200 yıl arasında değişmektedir [5]. Fosil yakıtların dolaylı olumsuz etkileri de mevcuttur. Bunlar ülkelerin enerji alanında dışa bağımlılığı, enerji savaşları ve gerginlikleri olarak sıralanabilir.

2.2 Fosil Yakıtlar

Milyonlarca yıl önce organik maddelerin derin toprak katmanlarında yüksek basınç ve sıcaklıkta fosilleşmesi sonucu oluştukları için kömür, petrol ve doğal gaz fosil yakıtlar olarak adlandırılır.

Kömür hidrojen ve karbonca zengin olup, 300-350 milyon yıl önce (Karbon Zamanı) ağaç ve diğer bitkilerin, kalın toprak katmanlarında, jeolojik etkiler, yüksek basınç ve sıcaklıkta çürümesi ve katı siyah cisimlere dönüşmesi sonucu oluşmuştur. Oluşan kömür kalınlığı bir metreden az olabileceği gibi üç metreye kadar varabilir.

Petrol ve doğal gaz ise kömür ile aynı çağlarda, küçük bitki ve hayvanların sığ deniz tabanını kaplayan kil tabakası altında sıcaklık ve yüksek basınç etkisiyle çürümesi sonucu oluşmuştur. Oluşan petrol ve doğal gaz zamanla kaya yapıları içerisinde sızarak ilerlemiş ve sıvı geçirmez kaya tabakalarında biriken akışkanlar petrol havzalarını, gaz geçirmez tabakada birikenler ise doğal gaz rezervlerini meydana getirmiştir. Bazen doğal gaz ve petrol birlikte bulunabilir.

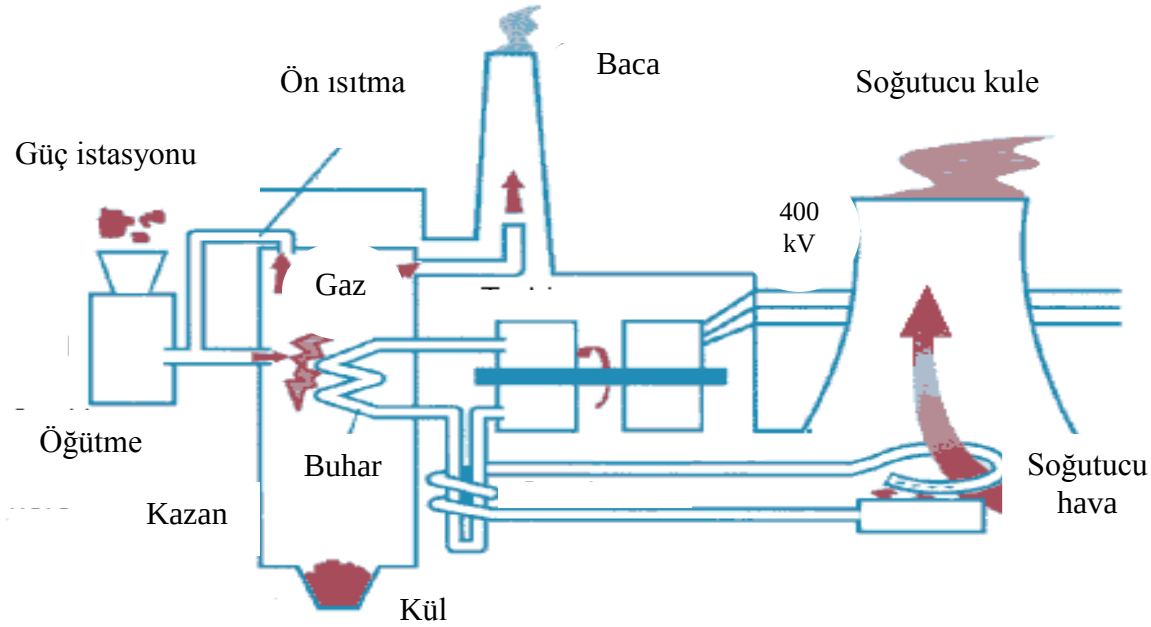
Fosil yakıtlar elektrik, mekanik ve kimyasal enerji formlarına kolayca çevrilebilir. Uzun süre bozulmadan depo edilebilirler, kaynaklarından çıkartılmaları kolaydır. Kömür, tren vagonları ve kamyonlarla taşınıken; petrol ve doğal gaz, boru hatları ve sıvı halde basınçlı konteynerlerle kolayca taşınabilirler.

2.2.1 Kömür

Kömür, fosil yakıtların % 28-30'unu teşkil eder ve 5700 kcal/kg'lık maden kömüründen (yüksek ısı değeri nedeniyle demir ayrıştırıcı kulelerde kullanılan kok kömürü imalatında kullanılır) antrasit (yavaş ve dumansız yanan çok katı kömür) ve bitümlü kömüre, 4165 kcal/kg'lık linyit ve esmer kömürden 'peat' kömürüne (yanıcı, yumuşak, poroz ve su içeriği yüzde doksana varan kömür ikamesi bir malzeme), kok kömüründen (kömürden gaz ve nemin yüksek sıcaklıkta uzaklaştırılmasıyla elde

edilir) BKB'ye (kömür tozunun yüksek basınçta bloklaştırılmış hali) kadar bütün maddelere verilen ortak addır [6].

Sanayi devrimiyle birlikte yoğun olarak kullanılmaya başlanan kömür, elektrik üretimi için kullanılan ilk fosil yakıttır. Halen tüm dünya elektrik üretiminin % 40'lık kısmı kömürden elde edilmektedir [4]. Amerika ve İngiltere'de bu rakam % 50, Hindistan'da % 70 civarındadır. Kömürden elektrik üretimi birkaç kademeden oluşur. Öncelikle kömür yüzeyden veya yeraltı madenlerinden çıkarılmalı ve pisliğinden arındırılmaldır. İkinci aşamada temizlenen kömür kamyon, tren vagonu veya konteynerle santrale taşınmalıdır. Son adım santralde kömürün yakılıp elektrik ve ısı elde edilmesidir. Termik santrallerde yakılan kömürden elde edilen ısı borulardaki suyu buharlaştırır, kapalı boru sisteminde dolaşan buhar basıncı çok yüksek değerlere ulaşır ve buhar türbinlere yönlendirilir, dönen türbin şaftları elektrik üretimi için jeneratörü harekete geçirir. Türbini geçen su buharı yoğunlaştırıcıda soğutulur ve sistemin döngüsü için tekrar ısıtıcıya gönderilir (Şekil 2.1). Pratikte, öncelikle kömür daha yüksek verim alınabilmesi için yüzey alanı mümkün olduğunca genişleyecek biçimde ufak toz parçalarına bölünür ve ön ısıl işlem görmüş hava ile karıştırılarak yakıcıya gönderilerek yüksek basınç ve sıcaklıkta (560 °C) süper ısıtılmış buhar elde edilir. Kömürün yakılması sırasında ortaya çıkan uçucu gazlar havanın ve türbinden dönen soğuk suyun ısıtılmasında ek bir kaynak olarak kullanılabilir. Çıkan egzoz gazları ise atmosfere salınır. Kömürle çalışan sıradan, orta büyüklükte bir elektrik santrali bir saatte 260 ton kömür yakar, 500 MW'lık bir santral günde 17 olimpik havuzu dolduracak kadar su tüketir.



Şekil 2.1: Kömür (termik) santrali [83]

Doksanlı yıllarda faaliyete girmiş, ortalama kömür kalori değeri 25-30 MJ/kg olan bir termik santral kömürdeki kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine ortalama % 35 verimle çevirebilir. Bu değer zamanla yakıcıdaki tahribattan kaynaklanan ısı kaybı, kömürün uygun yakılmamasından kaynaklanan hammadde kaybı nedeniyle % 27 değerine kadar gerileyebilir. Günümüz teknolojisinde verimi artıracak, olumsuz çevresel etkileri minimuma indirecek ve daha düşük kalori değerli kömürlerin yakılmasının önünü açacak teknolojiler mevcuttur ve yaygın olarak iki değişik sistem kullanılmaktadır. Akışkan yatakta alevli yakma (FBC) bu teknolojilerin başında gelir. Akışkan yatak kum, kül, silika gibi havada asılı kalabilen maddelerle doldurulur, yanmayı sağlayacak hava sisteme alttan enjekte edilir, böylelikle yatak türbülanslı bir akışkan gibi hareket eder. Yatak öncelikle ön yakıcılarla ısıtılır ve kömürle sıcaklık 850 °C'ye kadar yükseltilir, kömürün tamamı yakılır ve sıcak uçucu gazlar yüksek basınç altında tutularak türbin pervanelerine yönlendirilir, egzoz gazları ise düşük basınçlı türbinlerde buhar üretiminde kullanılarak toplam verim artırılmış olur [7]. Bu sistem özellikle gaz çevrim santrallerinde kullanılan kojenerayson (CHP) sistemiyle aynı doğrultudadır. Elektrik üretimi dışında tablet kaplama, granülizasyon, kömürün düşük sıcaklıkta karbonizasyonu, üzüm kurutma, kömürün gaz oranının azaltılması, ağır ham petrolün gazlaştırılması gibi bir çok alanda kullanılan akışkan yataklar her geçen gün geliştirilmeye devam etmektedir. Akışkan yatağın verimi sıçratma yüksekliğiyle orantılıdır, sıçratma yüksekliği ise sıcaklıkta ters orantılı olarak değişir [7]. Günümüz kömür teknolojisinde kullanılan akışkan yataklar tekrar sirkülasyonlu (RCFB) ve yüksek verimli sistemlerdir. IGCC (Integrated Gasification Combined Cycle) kullanılan bir diğer yaygın teknolojidir. Bu sistemde öncelikle kömür gazlaştırılır ve kireçle karıştırılarak pH seviyesi artırılır daha sonra oksijen-buhar karışımında yakılarak basıncı artırılır ve türbinlere gönderilir, egzoz gazları ise buhar üretiminde kullanılarak ek bir verim sağlanır.

Dünyadaki kömür rezervleri 150-200 yıl arasında tükenecek ve çıkarılması ekonomik olmayacaktır. Bu yüzden mevcut rezervlerin en optimal şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Modern kömür termik santrallerinde kömür iyileştirme safhasından sonra sisteme verilir. Bu iyileştirme safhasında kömür toz ve diğer metallerden arındırılır ancak bu aşamada kömürün bir kısmı da heba olmaktadır. Bu yüzden bu kaybedilmiş atıklardaki kömürün fiziksel ayrımı ek bir kömür rezervi olarak değerlendirilebilir. İki kademeli bir kurtarma işlemiyle bu iyileştirme santrallerinde kaybedilen kömür parçaları geri kazanılabilir. Birinci kademede '2-propanol' ve 'n-dodecone' en optimal şartlarda sırasıyla % 96 ve % 4 oranında karıştırılarak kömür parçalarını atıktan fiziksel olarak ayırabilecek bir karışım elde edilir. İkinci kademede ayrılan kömür parçaları TCLP akışkanlarıyla işleme sokularak metal ve

sülfürden arındırılır. Neticede orta kalitede sülfür oranı % 1,5 olan kömür tekrar kazanılır [8].

Elektrik üretiminin can damarlarından olan kömür aynı zamanda endüstriyel ve evsel ısıtmada, demir ve çelik endüstrisinde hammadde olarak da kullanılmaktadır.

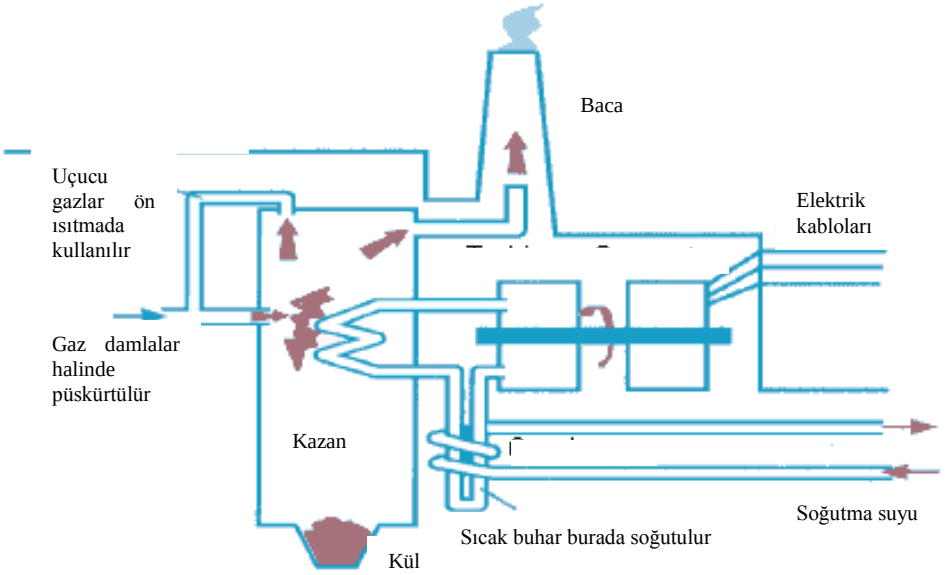
2.2.2 Petrol

Bir diğer önemli geleneksel enerji kaynağı olan petrol, fosil yakıtların % 35-40'ını oluşturur. Kabul etmek gerekir ki petrol dünya ekonomisinin can damarıdır. Bugün ABD herhangi petrol krizinde ekonomisinin çökmemesi için, ısınma ve endüstri ihtiyacını belli bir süre karşılayacak 700-750 milyon varil petrolü Meksika Körfezi'ndeki tuz yataklarında ve Kuzey Amerika'da stok olarak tutmaktadır. Dünya elektrik üretiminin % 10'u petrolden sağlanır [4], ancak artan maliyetler ve petrolün diğer alanlardaki kullanımı bu değeri gün geçtikçe düşürmektedir. 500 MW'lık bir enerji santralinde bir günde 3000 ton ağır fuel-oil yakılmaktadır. Petrolden elektrik üretimi de birkaç kademeden oluşur. Öncelikle ham petrol rezervlerine daldırılan borulardan basınçla çıkarılır, daha sonra ham petrol işlendiği rafinerilere gönderilir ve rafinerilerde işlenen petrol enerji dönüşümü için santrallere boru hatları, kamyon, tren veya gemilerle nakledilir. Ulaşım masraflarının azalımı için genelde santraller rafineri yanında yada limanlara yakın inşaa edilir ve sürekli temin için büyük depolama tanklarıyla donatılır. Petrolle çalışan elektrik santralinde, petrol tam yanmayı sağlayabilmek için hava ile karışık biçimde yakıcı kazana damlalar halinde püskürtülür. Elde edilen ısı kazana monte edilmiş borulardaki suyu buhara çevirir, kapalı boru sisteminde artan buhar basıncı pervaneleri döndürür ve pervaneler jeneratörü uyandırarak elektrik elde edilir. Jeneratörden çıkan buhar yoğunlaştırılarak tekrar sisteme verilir. Verimi artırmak için kazan içindeki en sıcak noktada boruların yüzey alanı artırılarak süper ısıtma sağlanır, yanma sonucu oluşan uçucu gazlar sistemi terk etmeden önce yanma için gerekli havayı ön ısıtmada ve buhar enerjisini artırmada ek bir kaynak olarak kullanılır ve daha sonra sistemi yavaşlatmamaları için bacaya doğru yönlendirilir (Şekil 2.2). Kalori değeri 40-45 MJ/kg olan bir petrol bazlı güç santrali petroldeki kimyasal enerjiyi yaklaşık % 35 verimle elektrik enerjisine çevirebilir. İçten yanmalı motorlarda bu verim % 20 civarındadır.

Petrolün elektrik üretiminde kullanılma eğilimi giderek azalmaktadır, çünkü petrolün daha önemli alanlarda kullanılma ihtiyacı ve mecburiyeti vardır. Petrol bugünkü taşıtlarda % 99 oranında kullanılan tek yakıttır [9], diğer yakıtlar petrolün çok uzağında kalmaktadır. Örneğin, bir varil petrolün enerji eşdeğeri 157 metreküp gazdır. Ayrıca petrokimya endüstrisinde rafinerilerde işlenen ham petrol sıvı

hidrokarbonlarlar (NGLs), alkol ve eter gibi hidrokarbon olmayan katkılar ve diğer petrol bazlı hammaddeler; değişik distilasyon (sıvının buharlaştırılmasına müteakip gazın sıvılaştırılması) değerlerinde parafin serisinin düşük karbonlu üyelerinden olan propan-bütan karışımı LPG'ye, etana, benzine, jet yakıtına, kerosene, gazoline, dizel yakıta, ısıtmada kullanılan hafif petrole, ağır gaz petrole, 'naptaya' (etilen ve aroma imalatında, leke çıkarıcılarda kullanılır), ağır fuel-oile, petrol kömürüne (çelik endüstrisi, elektrot üretimi ve kimyasal hammadde üretiminde kullanılır), motor yağı, gres yağı, asfalt, katran, sülfür, benzen ve 'polyproplyene' dönüştürülür. Enerji dışı uygulamalarda plastik, ilaç ve boya yapımında da petrol yoğun olarak kullanılır [6].

Petrolün kalan ömrünün 50-60 yıl olduğu ve bu süre sonunda petrolü çıkarmanın ekonomik olmadığı düşünülürse, eldeki kaynaklar optimal olarak kullanılırken özellikle ulaşımda kullanılan yakıt için alternatifler aramak gerekir. Bu alternatifler biyodizel (bitki, hayvan, gres yağları), elektrik, etanol, E 85 (% 85 etanol-% 15 benzin), sıvı hidrojen, gaz hidrojen, metan-hidrit, metanol, M 85 (% 85 metanol-% 15 benzin), propan, LPG, P serisi yakıtlar (% 60 petrol olmayan- % 40 petrol), doğal gaz, sentetik benzin (Syn-Gas), sentetik doğal gaz (SNG) olarak sıralanabilir.



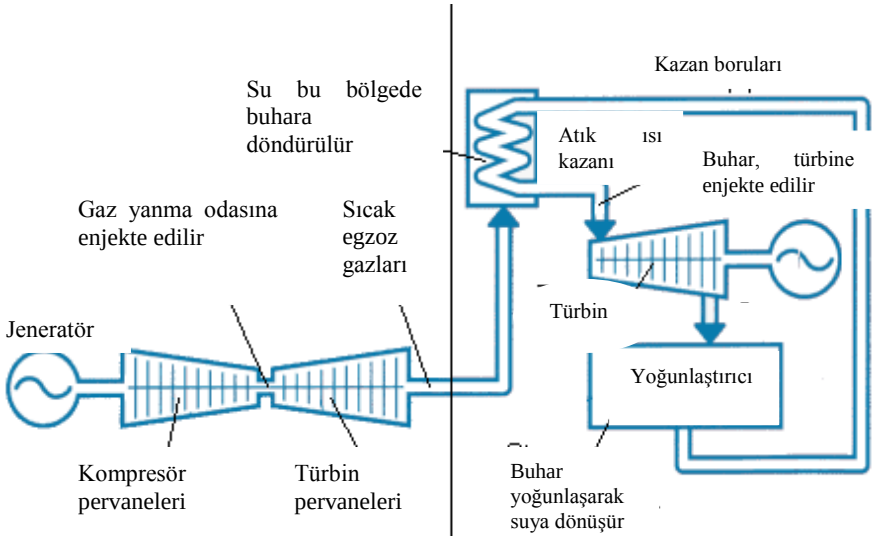
Şekil 2.2: Petrol santrali [83]

2.2.3 Doğal gaz

Çağımızda giderek önemini artıran geleneksel enerji kaynağı doğal gazdır. Fosil yakıtların % 15-20'si doğal gaz formundadır. Doksanlı yılların başında popüler olarak kullanılmaya başlanması nedeniyle şu an için dünya elektrik ihtiyacının

yalnızca % 10-15'i doğal gaz çevrim santralleriyle karşılanmaktadır. Ancak, ekonomik cazibesi, kolay elde edilişi, borularla gaz halinde ve basınçlı konteynerlerle sıvı halde taşınması, petrol ve kömür santrallerine nazaran çabuk ve ekonomik inşaası, diğer geleneksel enerji kaynaklarına kıyasla daha temiz bir yakıt olması, kojenerasyonla yüksek verim eldesi gibi üstünlükleri sayesinde 2015 yılında elektrik üretiminde doğal gazın kömürü yakalaması beklenmektedir [4].

Doğal gazdan elektrik eldesi de kömür ve petrole benzer kademelerden oluşur. Öncelikle doğal gaz rezervlerinden petrolde olduğu gibi borularla çıkarılır ve kömürdeki gibi hidrojen sülfid, helyum, karbondioksit, hidrokarbonlar ve nemden arındırılır, Daha sonra sıvılaştırılarak konteynerlerla yada boru hatlarıyla güç ünitelerine aktarılır. Doğal gazdan elektrik üretimi için iki tip güç santrali kullanılmaktadır. Geleneksel doğal gaz çevrim santralleri açık çevrimlidir (OCGT). Bu sistemde doğal gaz bir yakma odasında devamlı suretle sisteme aktarılan basınçlı havayı ısıtmak için yakılır. Isınan hava ve yanan gaz karışımı ortamda yayılarak buhar türbinini, jeneratörü ve sistemi besleyen kompresörü besler ve işlem tamamlanınca egzoz gazları atmosfere gönderilir. Bu sistemde ısı kaybı mevcuttur ve 48-50 MJ/kg kalori değerindeki gazla çalışan açık güç ünitesi yaklaşık % 25 verimle çalışır. Günümüzde inşaa edilen çevrim santralleri kapalı çevrimlidir (CCGT). Kapalı çevrimde açık sisteme ikinci bir basamak entegre edilir. Bu basamakta, açık çevrimde atmosfere gönderilen egzoz gazları, kapalı çevrimde buhar oluşturmak üzere suyu ısıtır ve türbinleri çeviren basınçlı buhar ekstra elektrik üretir daha sonra yoğunlaştırılarak sisteme geri verilir (Şekil 2.3). Bu sistemde verim benzer koşuldaki açık çevrimin iki katı değerinde yaklaşık % 50 civarındadır. Günümüzde önemini artıran kojenerasyon sisteminde doğal gaz büyük bir rol oynamaktadır.



Şekil 2.3: Doğal gaz çevrim santrali [83]

2.3 Fosil Yakıtların Çevresel Etkileri

Fosil yakıtların enerji üretimi için sayısız üstünlüğü mevcuttur, ancak karbon ve hidrojenden oluştukları için çok ciddi olumsuz çevresel etkilere sebebiyet verirler. Yakılmaları sonucu çevreye karbondioksit, karbonmonoksit, kükürtdioksit, azotoksitler, ozon gazı, cıva, toz, is, kül ve atık su gibi son derece zararlı bileşikler yayılmaktadır.

2.3.1 Sera etkisi

Karbondioksit, metan, karbonmonoksit, hidrokarbon, kloroflorokarbon sera gazı olarak bilinen gazların başında gelirler. Güneşten dünyamıza ulaşan yüksek sıcaklıktaki radyoaktif ışıklar biyosfere ulaşınca sera gazları tarafından atmosferden geçişlerine izin verilir. Dünya yüzeyinde enerjisinin bir kısmını yitiren radyoaktif ışıklar yansıyarak atmosfere geri dönerler, ancak yeterli sıcaklıkta olmadıkları için sera gazları tarafından geçişlerine izin verilmez (sera örtüsü gibi) ve tekrar yansıyarak dünya yüzeyine geri dönerler. Bu olay yeryüzünün sıcaklığını artırır, artan sıcaklık kutuplardaki buzulların erimesine sebebiyet verir, su seviyesinin yükselmesi kara parçalarınn su altında kalmasına, dolayısıyla toprak kaybına sebep olur. Su seviyesi her yıl yaklaşık 2 cm yükselmektedir, sadece Batı Antartika Buz Katmanı'nın parçalanması 7-8 metre yükselmeye sebebiyet verebilir. Hollanda, İngiltere, Japonya gibi ülkeler kıyılarını emniyete almak için projeler hazırlamaktadırlar. Karbondioksit iklim değişikliklerine sebebiyet verirken mevcut çöller kuzeye doğru ilerlemekte, ekilebilir alan miktarı azalmaktadır. Sanayi devriminden önce havadaki karbondioksit oranı 275 ppm civarındayken, bugün kimi ülkelerde bu değer 700 ppm'e kadar ulaşmıştır. Fosil yakıtlar içinde aynı enerji çıkışı baz alındığında en fazla karbondioksit yayan kömürdür, petrol kömürün % 15, doğal gaz ise % 50 gerisinde kalmaktadır. Şu anda fosil yakıt güç santrallerinde çıkan karbondioksiti yakalayıp, kalıcı olarak yok edecek bir sistem mevcut değildir ancak başını ABD'nin çektiği Karbon Islah Forumu (Carbon Sequestration Forum) değişik ülke ve bağımsız kuruluşlar tarafından önerilen karbonun yakalanması, depolanması ve ıslahını kapsayan 10 proje üzerinde çalışmaktadır. Yakın gelecekte ucuz ve etkili bir sistemin hayata geçirilmesi planlanmaktadır. Bazı Kuzey Avrupa ülkeleri de Karbon Vergi Tasarısı üzerinde çalışmaktadırlar, buna göre fosil yakıt tesislerine ekstra vergi getirerek sağlık harcamaları için devletten harcanana paranın geri kazanılması düşünülmektedir.

2.3.2 Asit yağmurları

Fosil yakıt santrallerinin zehirli gazlarından bir diğeri sülfürdioksittir. Sülfür oksitler akut nefes hastalıklarına sebep olurken (sisteki düşük pH nedeniyle solunum zorluğu) asıl önemli etkisini asit yağmurlarıyla gösterir. Enerji santralleri, fabrikalar, karayolu ulaşım araçlarının çıkardığı sülfürdioksitin sebep olduğu asit yağmurları etkilerini göl, ırmak gibi su kaynaklarına ulaştığında göstermektedir. Asit yağmurlarıyla birlikte özelikle su geçirmez granit tabanlı göllerde pH seviyesi düşmekte, dolayısıyla su içilebilme özelliğini yitirirken balıkların da yaşam alanı tahrip olmaktadır. İsveç, Amerika ve Kanada da birçok göl tahrip olmuştur, bu ülkeler bu gölleri kurtarabilmek için bu havzalara her yıl kireç pompalamakta, bu da ekonomik bir maliyete sebep vermektedir [2]. Asit yağmurlarının ayrıca tarla mahsulleri (üzüm şekerini azaltır), bitkiler (toprakta normalde çözünmeyen alüminyum tuzları çözünür ve bunlar bitki kökleri tarafından emilir), hayvanlar ve binalar üzerinde (Köln Dom Kadetrali'nin yenilenmesi için Alman Hükümeti bütçeden her yıl 2 milyon dolar tahsis etmektedir, dünyada bu katedral kadar değerli 10000 tarihi yapı bulunmaktadır) da etkileri mevcuttur. Aynı enerji çıkışı için sülfür emisyonu en fazla olan fosil yakıt petroldür, kömür % 20 daha az salım yaparken, doğal gaz da bu miktar diğerlerine kıyasla yok denecek kadar azdır. Sülfür emisyonunun azaltılması için akla gelen en basit metot düşük sülfür içeren yakıt kullanımı olabilir ancak çağımız enerji ihtiyacı, insanoğluna böyle lüks bir seçim bırakmamaktadır, dolayısıyla bir takım modern teknolojinin uygulanması zorunludur. Uçucu gazdan sülfürün uzaklaştırılması (FGD) yaygın olarak kullanılmaya başlanan bir kimyasal süreçtir, bu sistem en basit anlamda bir tünele (Şekil 2.4) yönlendirilen uçucu gaz kütlesi içerisinden 'scrubber' ismi verilen nesnelerle sülfürün temizlenmesi işlemi olarak tanımlanabilir. ABD Başkanı George Walter Bush bu ünitelerin eski ve yeni tüm kömür termik santallerine entegrasyonunu zorunlu kılmış ve bu tesislerle sülfürdioksit emisyonunu yıllık 11 milyon tondan 2010 yılında 4,5; 2018 yılında 3 milyon tona düşürmeyi hedeflemektedir. Bu tesislerin inşaası ve operasyonu son derece pahalıdır, ayrıca toplam elektrik üretimi % 1,5-2 arasında azalma gösterirken, karbondioksit salımı artmaktadır.



Şekil 2.4: Sülfürden arındırma tüneli [83]

2.3.3 Ozon tabakasının incelmesi

Azot oksitler üç şekilde oluşur; yakıtı saran nitrojenin havayla birleşmesi sonucu oluşan yakıttan kaynaklanan azot oksit (fuel Nox), yüksek alevli yanma sıcaklığında havadaki nitrojen molekülünün parçalanması ve tekrar havayla birleşmesi sonucu ortaya çıkan termal azot oksitler (thermal Nox), yada alevli yakma için kullanılan yakma havası ve yakıttaki hidrokarbon radikallerinin erken reaksiyonu sonucu oluşan anlık azot oksitler (prompt Nox). Azot oksitler bronşit gibi kronik nefes hastalıkları, akut astım ve diğer solunum yolu hastalıklarına sebep olurken, ozon tabakasının incelmesine ve asit yağmurlarına da neden olurlar. Aynı enerji çıkışı için en fazla azot oksit yayımı yapan yakıt kömürdür, petrol ve doğal gaz kömürün % 25 gerisinde kalmaktadır. Azot oksitlerin en büyük kaynağı (% 70) benzinli otomobillerdir. Fosil yakıt bazlı santrallerin katkısı % 25 civarında kalmaktadır. Azot oksitlerinin emisyonunu azaltmak için uygulanan yada uygulanması öngörülen bazı metotlar vardır. Azot oksitlerin 2800 F dereceden önce çok fazla miktarda oluşmadıkları dikkate alınarak yakıtın kademeli olarak yakılması sağlanabilirse, ilk kademelerde yakıtı saran nitrojenin serbest kaldığı anda yanma için gerekli hava limit bir değerde tutulursa yakıttan kaynaklanan azot oksitlerin; ikinci kademede belirli aralıklarla alevli yakma sıcaklığı düşürülebilirse de termal azot oksitlerin oluşması azaltılabilir. Bu tip kademeli yakma gerçekleştiren sistemlere LNBs (low-NOx burners) ismi verilir ve bu sistemlerle azot oksitlerin emisyonu % 40-70 seviyesine kadar indirilebilir. Salımın % 70'den daha üst oranlarda azaltılması için daha modern metotlara ihtiyaç vardır. Seçici katalitik azaltım (SCR) bu metotlara örnek olarak gösterilebilir. Bu sistemde bir ön yakıcı birimde üre ve amonyak katalizör eşliğinde kullanılarak azot oksitler, nitrojen ve suya dönüştürülür. Bu sistemle verim % 75 seviyesine çıkarılabilir ancak ortama amonyak yayılımı tehlikesi vardır, dolayısıyla seçici katalitik olamayan azaltım (SNCR) sistemiyle amonyak yada ürenin direkt alevli yanma kazanına enjeksiyonu daha tercih edilen bir yöntemdir. Bu yöntemlerin ekonomik uygunsuzluğu yatırımcıları gelişmiş LNBs sistemlerine yöneltmektedir. Bu gelişmiş LNBs sistemleri ön yakma haznesi kaldırılmış basit ve ekonomik sistemler olarak tanımlanabilir. Azot oksit emisyonunu azaltmanın bir diğer yolu da yeniden yakma işlemidir. Yeniden yakma işleminde alevli yanma kazanında yakılan yakıtın bir kısmı yeniden yakma birimine aktarılır, bu birimde oksijen miktarı minimumda tutularak, yakıt yönünden zengin karışımın azot oksitlere ayrıştırılmasının önü açılır. Günümüz teknolojisinde yeniden yakma sistemiyle (reburning), seçici katalitik olmayan azaltım sistemi (Selective non-catalytic reduction) birleştirilmeye çalışılmaktadır. Bu sistemlerle % 75 azaltım sağlanabilir. Azot oksit salımının % 90 mertebesine ulaşabilmesi için alevli yakma işleminin saf oksijenle gerçekleştirilmesi gerekir, oksijenin yüksek yakma sıcaklıklarına sebep

olacağı düşünülürse, kontrollü bir oksijen enjektesiyle daha az yakıtla daha çok enerji elde edilebilir, nitrojen oluşumu engellenir ve azot oksit emisyonları % 90 mertebesinde önlenebilir. Burada sorun saf oksijenin ekonomik eldesi ve sisteme enjektesidir. Günümüzde alevli yakma kazanına monte edilen yalnızca havadaki oksijeni geçiren seramik membranlar üzerinde çalışılmaktadır. Tüm bu sistemler kullanılarak ABD'de azot oksit salımının yılda 5 milyon tondan 2008 yılında 2,1 milyon tona; 2018 yılında 1,7 milyon tona azaltılması hedeflenmektedir.

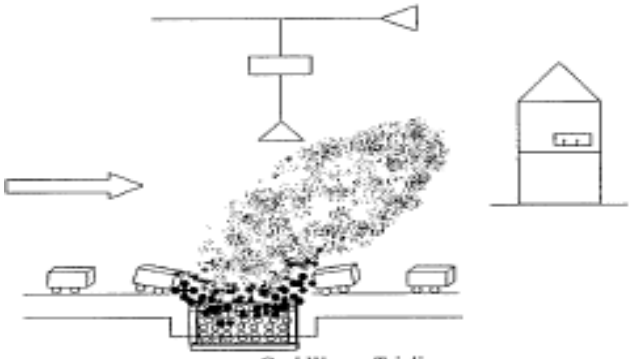
2.3.4 Cıva yayılması

Cıva, fosil yakıt santrallerinden yayılabilen bir diğer tehlikeli maddedir, yüksek cıva oranı insan sinir sistemini onarılması mümkün olmayacak şekilde etkileyebilir, bunun örneği deri şapkaların moda olduğu çağlarda işçilerin deri işleme sırasında yoğun cıvaya maruz kalmaları nedeniyle sinir sistemlerinin felç olmasıyla görülmüştür. Eğer yakılan fosil yakıt cıva içeriyorsa alevli yakma işlemi sırasında cıva buharlaşır ve atmosfere yayılır. 1995 yılında Çevre Koruma Örgütü cıva üzerinde detaylı bir çalışma yapmış ve bu yılda toplam 5500 ton cıvanın atmosfere yayıldığını tespit etmiştir. Bu oran içerisinde termik santrallerin payı % 1 civarındadır (1995 EPA). Bu araştırmadan sonra bir dizi önlemler alan Çevre Koruma Örgütü pillerde, mantar öldürücülerde ve boyalarda kullanılan cıva miktarının azaltılmasını sağlayarak; şehir çöp yakım merkezleri, tehlikeli atık yakım merkezleri, medikal atık yakım tesislerinin çalışma şartlarını düzenleyerek cıva emisyonunun gitgide azaltmasını sağlamış, günümüzde 1990'lardaki seviyenin % 50' sine indirmeyi başarmıştır. Fosil yakıt termik santralleri mevcut cıva salımına ancak % 1 katkıda bulunmasına rağmen Çevre Koruma Örgütü balıklarda biyolojik olarak biriken metilcivanın kaynağının fosil yakıtlı termik santraller olabileceği bağlantısını kurarak, bu tesisler için birtakım düzenlemeler hazırlamıştır. Buna göre ABD fosil yakıtlı santrallerden yayılan yıllık 48 ton cıva miktarını 2010 yılında 26 tona, 2018 yılında 15 tona indirmeyi planlamaktadır. Diğer endüstrilerdeki ekonomik cıva emisyonu önleme metotlarına nazaran fosil yakıtlı termik santrallerden cıva salımını azaltmak için her tip santral ve her tip yakıt için tek bir teknoloji uygulamak mümkün değildir. Bunun nedeni termik santrallerde cıvanın hem elementer hem de okside bir yapıda yayılıyor olmasıdır. Alevli yakım öncesi kömürün iyileştirildiği tesislerde cıvanın yaklaşık % 37'sini uzaklaştırmak mümkündür, ancak kömürdeki cıva içeriği ve yakım metodu uçucu gazlardan cıva ayrımını etkileyen faktörlerdir. Öyle ki, eloktrostatik ayrıştırıcılarda elementer cıvanın % 60'ı uzaklaştırılırken okside cıvanın da % 0-30'u uzaklaştırılır. Islak 'scrubberlar' okside cıvanın % 75-99'unu sülfat yan ürününe çevirirken, kuru uçucu gaz desülfürazyon 'scrubberları' bazı özel elemanlarla (baghouse) entegre edilerek hem elementer hem de okside cıva

% 90 oranında tutulabilir. Ancak bu özel entegre elemanlarının verimi seçilen filtre tipine, uçucu gaz kimyasına ve sıcaklığa bağlı olarak çeşitlilik göstermektedir. Görüldüğü üzere cıva emisyonu kontol mekanizması bir hayli karışıktır, dolayısıyla öncelikle her bir santral tek tek ele alınmalı cıva salımı anlaşılmalı, ölçülmeli ve en uygun kontol metodu seçilmelidir.

2.3.5 Tanecik emisyonu

Tanecik havada asılı kalabilen çok ufak kir, kum, toz, kül ve birtakım sıvı damlacıkların karışımı olarak tanımlanabilir. İs ve duman gibi bazı parçacıklar nispeten büyük ve siyah oldukları için gözle görülebilirler. Ancak bazı parçacıklar ancak güçlü mikroskoplarla tespit edilebilir. Belli başlı tanecik kaynakları fabrika dumanları, araç egzoz gazları, odun yakımından kaynaklanan duman, şantiye tozu, tarım ve volkan tozları olarak sıralanabilir. Fosil yakıt güç santrallerinden de ciddi miktarda tanecik salımı gerçekleşmektedir. Çevre Koruma Örgütü (EPA) tarafından 2000 yılında yapılan araştırmada dünya çapında atmosfere yıllık 110 milyon ton yan ürün yayıldığı tespit edilmiştir, ancak 2004 yılı Aralık ayı itibariyle sadece ABD'de bu yan ürünlerin miktarı yıllık 100 milyon ton civarındadır. Bu taneciklerin salımı birkaç bölümde gerçekleşir. Fosil yakıtın biriktirme elemanına aktarımı sırasında gerçekleşen toz salımı (Şekil 2.5), biriktirme elemanında açık depolamadan kaynaklanan salım, depodan ön parçalama birimine açık bant üzerinde aktarım nedeniyle oluşan emisyon, ön parçalayıcıdan parçalayıcıya benzer şekilde taşınım sonucu oluşan yayılım, parçalayıcıdan mile taşınım sırasında oluşan salım, milden yakıcı kazana aktarım sırasındaki emisyon, yakıcının tabanında biriken maddeler, sülfürizasyon sırasındaki emisyon (Şekil 2.6).

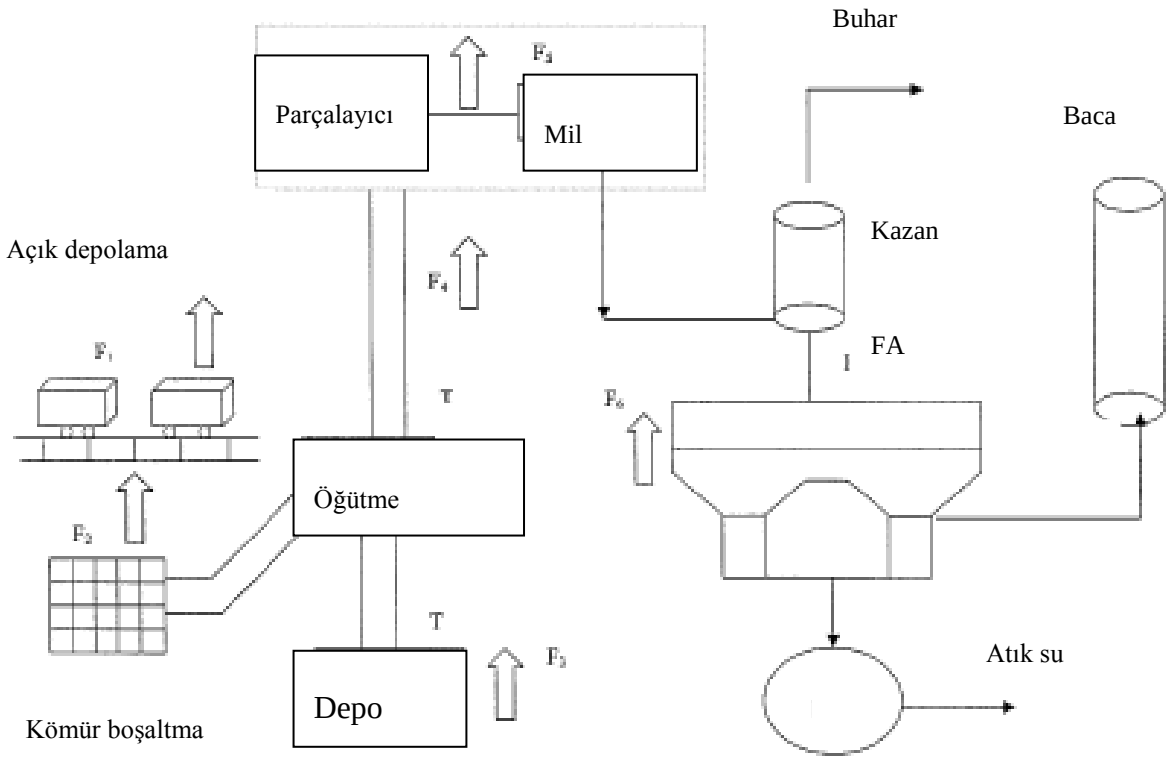


Şekil 2.5: Kömür boşaltımı esnasında toz salımı [11]

Atmosfere yayılan toplam tanecik miktarının % 50'si silt ölçeğinde olan uçucu kül (FA), % 25'i desülfürizasyon sırasında yayılan silt boyutunda uçucu kül (FGDA), % 16'sı kil (% 60)-kum (% 39)-çakıl (% 1) ölçeğinde akışkan yatak cürufu (FBA) geri kalan kısmı ise diğer taneciklerden oluşur [12]. Günümüze kadar kullanılan tanecik önleme metotları PM 10 (Particule matter ten) tanecikleri olarak adlandırılan kaba taneleri yakalamak için geliştirilmiştir. Yaklaşık 10 mikron çapındaki bu kaba cisimler kumaş filtreler (baghouse) yada elektrostatik yakalayıcılarla (ESP) tutulmaktadır. Ancak yapılan çalışmalar göstermektedir ki 2,5 mikron (insan saçı kalınlığının yaklaşık % 30'u) çapındaki tanecikler insan akciğeri ve kan dolaşımına yerleşerek insan sağlığına zarar vermektedir. Dolayısıyla tanecik yakalama çapı bu boyutlara düşürülmelidir. Çevre Koruma Örgütü de bu konuya el atmış ve 1997 yılında bir takım standartlar belirleyerek fosil enerji santrallerinin katı uçucu kül (FA) salımını azaltacak metotlar geliştirmesini salık vermiş, sülfür oksit ve nitrojen oksit emisyonunun azaltılmasını da şart koşmuştur, çünkü sülfür oksit ve nitrojen oksitler atmosferle reaksiyona girerek sülfat ve nitrat tuzları gibi PM 2,5 miktarını artıran 'aerosollerin' oluşumuna sebebiyet vermektedir. Bu boyutlarla mücadele için öncelikle atmosferdeki PM 2,5 kaynaklarını karakterize etmek, kaynakları anlamak ve buna göre kontrol metotları geliştirmek gerekir, bir yandan da mevcut tesislerin sülfür ve nitrojen oksit emisyonlarının azaltılması üzerine çalışmak gerekmektedir. Mevcut fosil yakıt santralleri özelliklerine göre gruplandırılarak, belirleyici özellikte olanlar gözetime tabi tutulup bir PM 2,5 bilgi bankası oluşturulabilir. ABD böyle bir projeyi hayata geçirmiş ve 2008 yılında sonuçlandırmayı beklemektedir. Bu bilgi bankası doğrultusunda uygun sistemler geliştirmek daha akıcı olur. Günümüzde ortaya atılan fikirler % 99,99 verim sağlaması beklenen kumaş filtrelerin elektrostatik yakalayıcılara entegrasyonu, elektrostatik yakalayıcıları geçen uçucu küllerin havadaki konsantrasyonunu artırıp tekrar ESP sistemine aktaran birimlerle ESP'lerin entegrasyonu, yada nispeten daha az maliyet getirecek bir sistem olan uçucu küllerin toksik özelliği olmayan birimlerle birleşimi sonucu oluşacak daha kaba parçaların ESP sistemine girişini sağlamak olarak sıralanabilir.

Bu taneciklerin salımını azaltmak kadar, emisyonu engellenen ürünlerin yeniden kazanımı ve ıslahı da bir başka sorun olarak ortaya çıkmaktadır. Bu problem yeni bir endüstrinin oluşmasına sebebiyet vermiştir. Fosil Yakıtların Yan Ürünlerinin Yeniden Kazanımı ve Kimyasal Islahı (Chemical Evalution of Coal Combustion by-products) bu endüstriye verilen isimdir [12]. ABD'de 100 milyon ton yıllık emisyonun 28 milyon tonu bu endüstri tarafından değerlendirilirken, 72 milyon ton tanecik çöp tesislerinde depo edilmek üzere uzaklaştırılmaktadır. 2010 yılında hedef % 50 kullanımın sağlanmasıdır. Günümüzde alternatif kullanım alanlarının başında uçucu küllerin (FA) çimentoda özellikle kireç ikamesi katkı maddesi olarak

kullanımı gelmektedir, diğer kullanım alanları arazi uygulamaları, yol stabilizasyonu, tali yol yapımı, enjeksiyon maddesi olarak değerlendirmedir. Diğer tanecikler (FBA ve FGDA) etkin olarak kullanılamamaktadır ancak yapılan araştırmalar FBA'nın alkali özelliği nedeniyle maden çıkarma suyunun asidinin azaltılmasında (Alkali Injection Treatment) etkin olarak kullanılabileceğini göstemiştir. Ayrıca FBA ve FGDA asidik atıkların nötürleştirilmesi (Acidic Waste Neutralization) ve ortamın pH seviyesinin artırılacağı her uygulamada kullanılabilir.

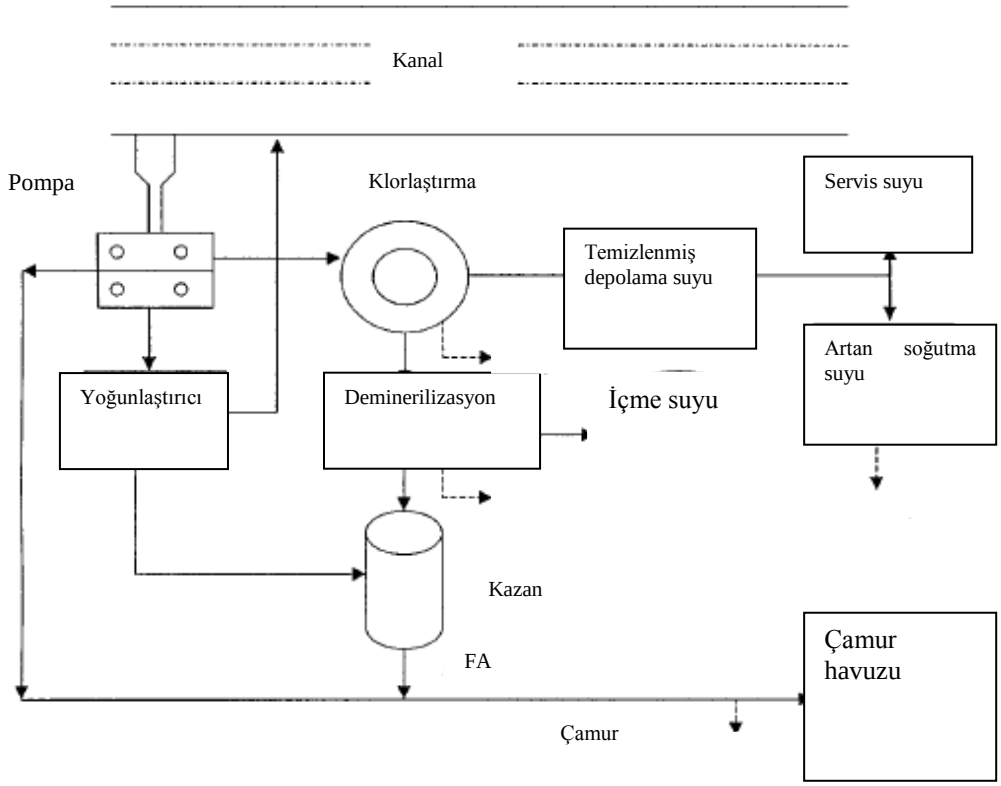


Şekil 2.6: Tanecik salımı [11]

2.3.6 Su yönetim sistemi (Water Management System)

Günümüzde elektrik üretim santralleri, tarım sektöründen sonra en fazla su tüketen sektördür. Sadece ABD'de bir günde bu sektörde 190 milyar galon su tüketilmektedir. Bu suyun dörtte üçü fosil yakıt santrallerinde tüketilir. Bir kömür

termik santralinde 1 kWh enerji üretimi için 27 galon suya ihtiyaç vardır. 500 MW gücünde bir santral her dakika 7000 galon su tüketirken bir günde 17 olimpik havuzu dolduracak kadar su kullanır. Yemek yemek, temizlik vb. için suya ihtiyaç duyuyorsak, elektrik düğmesini çevirmek için de suya ihtiyaç duyduğumuz akıldan çıkarılmamalıdır. Enerji ihtiyacı artıkça su ihtiyacı da arttığı için suyun optimal kullanımına önem verilmesi, yüzeysel su kaynakları yerine geleneksel olmayan kaynaklara yönelimin sağlanması gerekmektedir. Ancak esas özen su kaynaklarının kirlilikten korunmasına ve su kayıplarının azaltılmasına gösterilmelidir. Suyun kullanımı esnasında kayıplar oluşur. Eski tip bir termik santralde sistemden yada kanaldan alınan su, demineralizasyon sistemine (DMP) girmeden pH seviyesi ve diğer kimyasal özelliklerinin kontrol edildiği ve askıda kalmış parçaların uzaklaştırıldığı temizleme ünitesine girer (Clarifloculator) [11]. Temizleme ünitesi ile demineralizasyon ünitesi arasında su kaybı yaşanmaktadır. Demineralizasyon ünitesinden yakıcı kazana aktarımda da kayıplar mevcuttur ancak bunlar temiz su olmaları dolayısıyla sadece ekonomik kayba neden olur çevresel zarar getirmezler, yakıcı kazanda oluşan taneciklerin suyla yakalanarak akışkan çamura çevrildiği sistemlerde, bu çamurun uzaklaştırılması sonucu sızıntılar çevreye zarar vermektedir (Şekil 2.7). Santrallerde açıkta depo edilen kömür rezervinin üzerine yağan yağmur sonucu oluşan sızıntı kurşun ve arsenik gibi ağır metallerin toprağa karışmasına sebebiyet verir. Petrol çıkarılması sırasında da delici ünitelerden petrol sızarak yeraltı suyuna karışabilir. Akarsu kenarında olan santrallerde su temini sıkıntısı olmadığı takdirde yoğunlaştırma ünitesi çalıştırılmaz, dolayısıyla kanaldan alınan su buhara çevrilip işlemini tamamladığında atmosfere bırakılır, bu da kanalın yararlı hacmini azaltan bir etkendir. Bu tip tesisler özellikle gelişmekte olan ülkelerde yaygın olup giderek yenileriyle değiştirilmektedir ancak mevcut olanların ekonomik ömrü neredeyse sona erdiği için bunlara iyileştirme masrafı harcanmamakta, bu sistemlerin ömrünü tamamlaması beklenmektedir.



Şekil 2.7: Taneciklerin çamura çevrildiği santraller [11]

2.3.7 Rio Deklarasyonu ve Kyoto Protokolü

1992 Haziranında Rio'da toplanan Birleşmiş Milletler Temsilcilerinin zehirli gaz emisyonlarını 2000 yılında 1990 seviyesine getireceklerine dair imzaya açtıları iklim değişikliği çerçeve sözleşmesine [13] 1994 yılı Martı itibariyle 166 imza gelmiş ancak sadece Kanada bu vaadini yerine getirebilmiştir. Daha sonra genelleştirilen bu belgeye Mayıs 2004 itibariyle imza atan ülke sayısı 189'dur [14]. Zehirli gaz emisyonlarını azaltmaya dair bağlayıcı yasal belge [15] 1997'nin kasımında Japonya, Kyoto'da bir araya gelen Birleşmiş Milletler Komisyonunca ortaya atılmıştır. Büyük tartışmaların yaşandığı toplantıda endüstrileşmiş ülkelerin 1990 emisyon seviyesiden % 3,2 oranında, Kanada ve Japonya'nın % 6, Amerika'nın % 7 Avrupa'nın % 8 oranında azaltma yapmasına karar verilirken, bazı ülkelerin (Avusturalya, İzlanda, Norveç) emisyon artırmasına izin verilmiştir. Komisyonca azaltılması gereken zararlı gazlar karbondioksit, metan, nitroksit, hidroflorokarbon, perflorokarbon, sülfürhekzaflorid olarak tanımlanmıştır. Bir diğer sera gazı olan karbonmonoksit bu başlıkta yer almamasına rağmen kalp hastalıklarına, zehirlenme, boğulma ve alyuvarlara girerek karbon hemoglabin oluşumuna sebebiyet vermesi nedeniyle her sene dünyada yaklaşık 60000 karbonmonoksit zehirlenme vakasını gözlendiği unutulmamalıdır. Protokolü imzalayan ülkelerin emisyon azaltma hedeflerini 2012

yılına kadar gerçekleştirmeleri gerekmektedir. 5 Ekim 2004 itibariyle protokole imza atan ülke sayısı 137'dir [16]. Kyoto Protokolü'nde ortaya atılan diğer kavramlar; emisyon ticareti (ET), temiz geliştirme mekanizması (CDM), ortak yatırım (JI) kavramıdır. Emisyon Ticaretinde hedeflerini gerçekleştiremeyen ülkeler hedeflerini gerçekleştirenlerden kredi alabilecek, temiz geliştirme mekanizması gereğince temiz enerji formlarına yatırım yapanlara parasal yardım yapılacak ve ortak yatırımların önü açılacaktır. Ancak gelişmiş ülkeler gelişmekte olan Hindistan ve Çin gibi ülkeleri emisyon azaltmaya teşvik edemedikleri için, gelişmiş ülkelerin herhangi bir kısıtlama olmayan gelişmekte olan ülkelere enerji yatırımlarını taşımalarından korkulmaktadır.

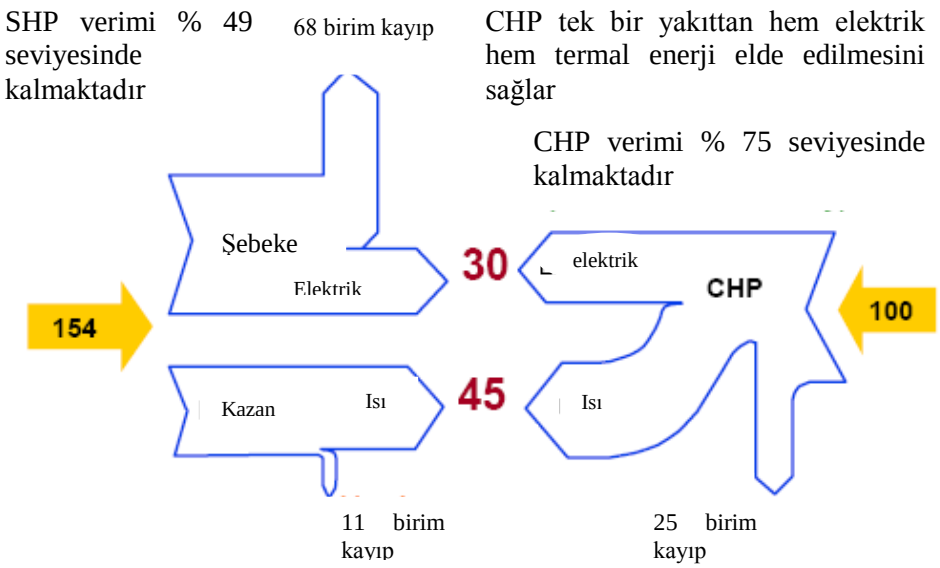
2.4 Sonuç

Kömür, petrol ve doğal gazdan oluşan fosil yakıtlar dünya enerji üretiminin % 95'ini karşılarlar. Ancak, ülkeleri dışa bağımlı bir hale getirdiği, ciddi çevresel kirliliklere neden olduğu ve sonlu kaynak oldukları için bu yakıtlara alternatifler aranmalıdır. Ekonomik anlamda da son derece rekabetçi gözüken fosil yakıtların, çevresel etkilerin ekonomik değerleri de dikkate alındığında cazibesini yitirdiği göz önünde bulundurulmalı ve ülkelerin temiz enerji metotlarına yatırım yapmaları ve bu enerji kaynaklarının kullanımını teşvik etmeleri sağlanmalıdır.

3. KOJENERASYON (CHP) VE ENERJİ ÜRETİM SİSTEMLERİ

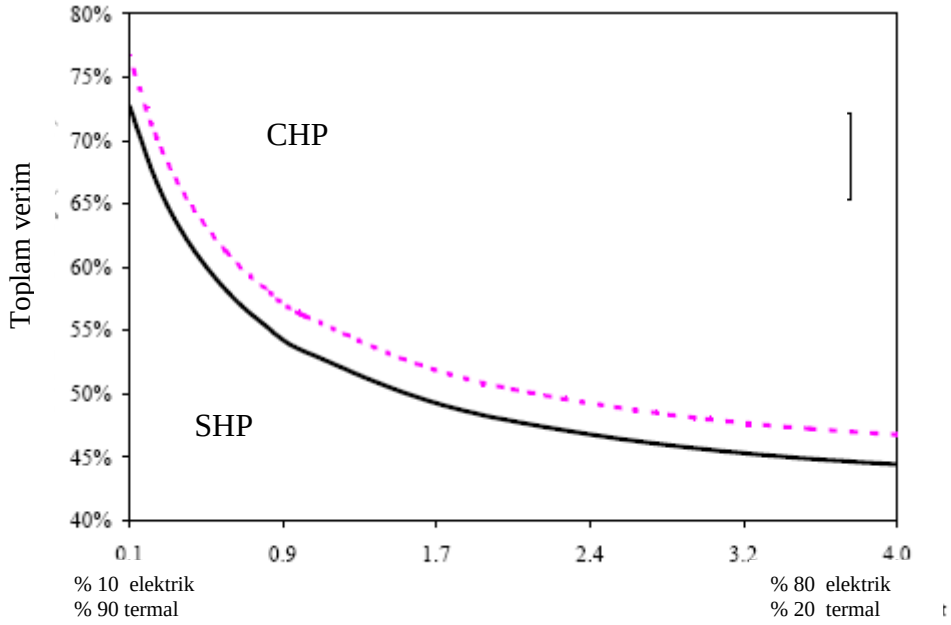
3.1 Giriş

Kojenerasyon, birçok enerji çeşidinin (çoğunlukla termal ve mekanik) eş zamanlı bir şekilde üretilmesi işlemidir. Bu sistemde elektrik değişik araçlarla elde edilebilirken, genellikle jeneratörün soğutma sisteminde kaybedilen atık ısı, yakın çevrede ihtiyaç olması durumunda, endüstriyel ve evsel ısıtma yada sıcak su ihtiyacını karşılamak üzere yeniden değerlendirilir. Kojenerasyon sistemlerinin çevrede elektrik yada ısıya ihtiyaç olması durumunda ekonomi sağlayacağı unutulmamalıdır.



Şekil 3.1: CHP-SHP mukayesesi [17]

Isı ve elektriğin ayrı ayrı üretildiği (SHP) sistemlerle kojenerasyon sistemleri toplam verim bazında kıyaslanırsa aynı ısı ve elektrik üretim değerleri için SHP sisteminin verimi % 49 civarında kalırken, CHP sistemi % 75 verimine ulaşmaktadır (Şekil 3.1). Ayrıca bu verim değerlerine ulaşırken kojenerasyon sistemi çok daha az yakıt harcar, bu da çevreye daha az emisyon yapılması anlamına gelir. Dolayısıyla, sadece ekonomi sağlanmış olmaz, ayrıca çevresel yararlar da edinilmiş olur. Sistemlerin veriminin mukayesesi için bir diğer kıstas aracı güçten ısı elde edebilme oranıdır (power to heat ratio). Bu oranın değişik değerleri dikkate alındığında her daim kojenerasyon sisteminin benzer güç üretimi için % 5 daha az yakıt ihtiyacı olduğu görülür (Şekil 3.2). Kojenerasyon sistemleri doğal gaz, kömür, petrol yada diğer alternatif ürünler gibi değişik tipte yakıtlar kullanabilir. Doğal gaz bunlar içerisinde en yaygın olanıdır. Bir kaç kilovat ile yüzlerce megavat arasında dizayn edilse de birçoğu 10 ila 20 megavat mertebesindedir. Kojenerasyon sistemleri, ısıtıcı motor (prime mover), jeneratör, atık ısı dönüştürücü, ve elektriksel entegrasyon üniteleri gibi belirli bağımsız parçalardan müteşekkildir. CHP sistemleri genellikle ısıtıcı motor tarafından isimlendirilir ve tanımlanır. En bilinen ısıtıcı sistemler pistonlu motorlar, alevli yanma yada gaz türbinleri, buhar türbinleri, mikro türbinler ve yakıt pilleridir.



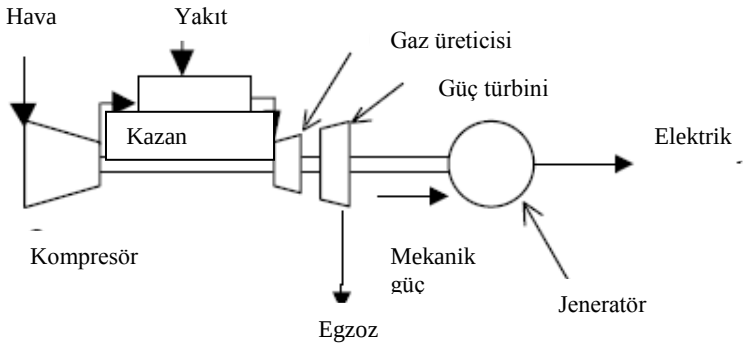
Şekil 3.2: Güç/ısı oranı [17]

3.2 Gaz Türbinleri

1900'lü yıllarda geliştirilen gaz türbinleri 1940 yılından günümüze kadar geçen sürede bir çok yeni güç üretim tesisi için tercih edilir bir sistem olarak kullanılmaktadır. Gaz türbinleri kojenerasyonda kullanılabilecek kalitede termal ısı üretir. Yakıt olarak doğal gaz, sentetik yakıtlar, çöp gazı ve fuel-oil kullanılabilir; ancak kullanılan yakıtın fazla miktarda emisyon üretmemesine ve sistem elemanlarının bozulmasına yada paslanmasına sebeb verecek alkalileri içermemesine dikkat edilmelidir. Genellikle sıvılaştırılmış yakıtla beslenen gaz yakıtlar tercih edilir. Modern gaz türbinleri oldukça güvenilirdir ve yaklaşık 50000 saat boyunca bakım gerektirmezler, 500 kilovat ile 250 megavat arasında dizayn edilirler [18]. Ancak fosil yakıt yakılması nedeniyle azot oksit, karbon monoksit, karbondioksit, kükürtdioksit emisyonu ve zararlı tanecik salımı gerçekleşir. Bu emisyonların azaltılması için önlemler alınması gereklidir. Gaz türbinleri ayrıca alevli yakma sıcaklığı düşürülerek elde edilmesi gereken ısı miktarı kadar ısı elde edecek şekilde ayarlanabilir (part-loading).

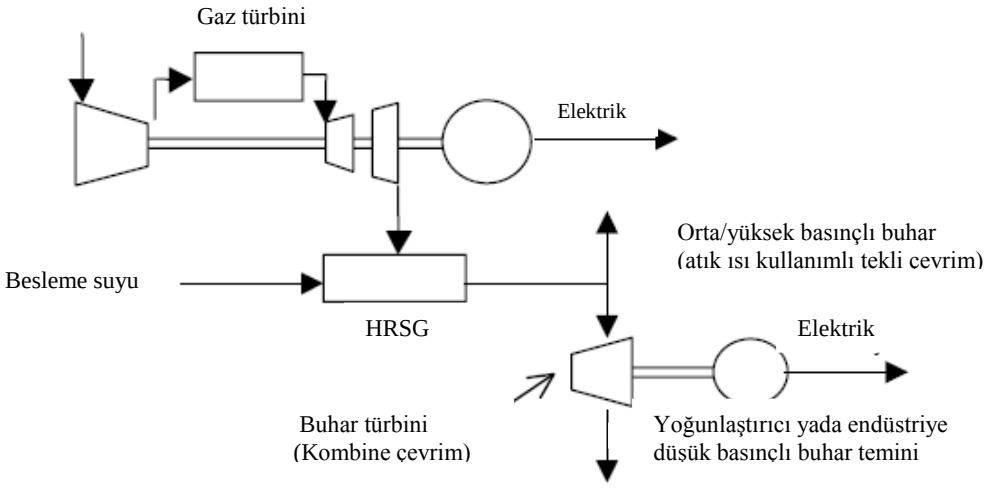
Gaz türbinleri birçok değişik konfigürasyonda kullanılabilirler: (1) sadece güç üreten, verimi % 25-40 arasında değişen basit (açık) çevrimli gaz türbinleri, (2) basit çevrimde kaybedilen ısının buhar veya sıcak su olarak tekrar kazanıldığı, % 70-80 verimli kombine ısı ve güç sistemleri (CHP), (3) basit çevrimde kaybedilen ısıdan ekstra güç üreten, % 50-60 verimli kapalı kombine sistemler. Bazı kapalı çevrimler CHP sistemleriyle entegre edilebilirler.

Açık çevrim sistemleri (simple cycle) genellikle 5-40 MW mertebesindedirler ve güç üretiminin daha önemli olduğu durumlarda tercih edilirler çünkü atık ısı kurtarımı toplam güç üretimini azaltabilir. Açık çevrimli bir gaz türbininde öncelikle sistemi besleyen kompresöre hava girişi sağlanmalıdır, kompresörde sıkıştırılan hava ve kullanılacak yakıt bir yakıcı kazana aktarılır, elde edilen yüksek sıcaklık ve basınçtaki gaz güç türbinine aktarılır, elde edilen mekanik güç bir jeneratörden geçilerek elektrik enerjisi elde edilir. Güç türbininden mekanik enerji elde edilirken sistemde elde edilen atık ısı egzoz olarak atmosfere atılır (Şekil 3.3).



Şekil 3. 3: Gaz türbini [18]

Açık çevrim santrallerinde kaybedilen ısının yeniden kazanıldığı sistemler (simple cycled CHP) genellikle 40 MW mertebesindedir ve belli başlı endüstri alanlarında kullanılır. Bu sistemlerde güç ünitesinden bırakılan atık ısı ya direkt olarak ısıtma ve kurutma işleminde kullanılır yada endüstride kullanılan orta veya yüksek basınçlı buhar oluşumunda değerlendirilir (Şekil 3.4). Kapalı çevrim santrallerinde kaybedilen ısının yeniden kazanıldığı CHP sistemleri de mevcuttur, bu sistemlerde güç üretim elemanından kaybedilen atık ısı buhar türbininden geçirilerek ek bir elektrik üretimi sağlanırken, kaybedilen düşük basınçlı buhar da endüstride kullanılır (Şekil 3.4). Eğer atık ısının tamamı elektrik üretiminde kullanılırsa bu sistemler CHP sistemleri değil, kapalı çevrim sistemleri olarak adlandırılır.



Şekil 3.4: Gaz türbini uygulamaları [18]

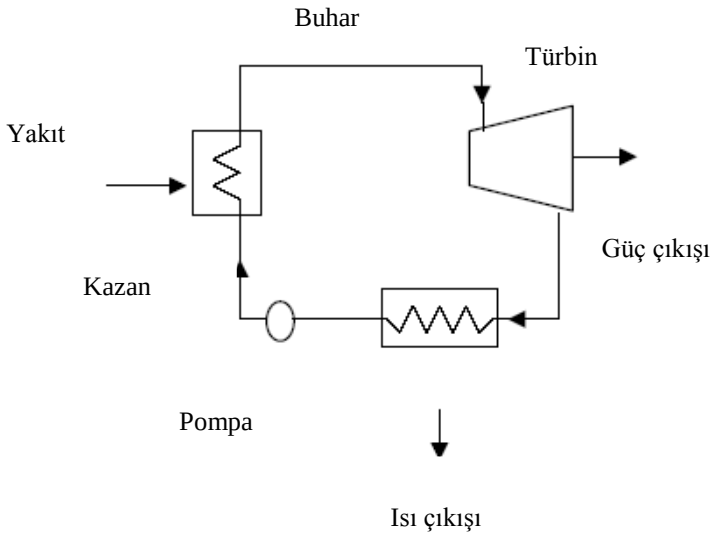
Gaz türbinlerinin performansı birçok etmenden etkilenir. Sistemi besleyen kompresöre giren havanın sıcaklığı ne kadar düşürülürse, kompresörün sistemden çektiği güç azalır. Bu soğutma sistemi 'recuperatör' yada 'intercooler' ismi verilen aletler tarafından sağlanabilir. Ayrıca kompresörden çıkan sıkıştırılmış hava yakıcı kazana girmeden sıcaklığı artırılmalıdır. Bu işlem için gerekli enerji güç ünitesinden atılan ısıdan yararlanılarak gerçekleştirilebilir.

3.3 Buhar Türbinleri

Buhar türbinleri yüz yılı aşkın bir süredir kullanılan ısıtıcı bir sistemdir. 50 kW ile 250 MW arasında dizayn edilebilirler [19]. İçten yanmalı motorlar ve gaz türbinlerinde ısı elektrik üretimi esnasında çıkan bir yan ürünken, buhar türbinlerinde elektrik ısı üretiminde ortaya çıkan bir yan üründür. Yakıt kullanımı bakımından oldukça esnektirler: odun, kömür, doğal gaz, petrol ve atık petrol, şehir atıkları gibi değişik esvapta yakıt kullanabilirler. Yeni bir sistemin inşaası sırasında gaz türbini, içten yanmalı motorlar ve buhar türbinleri arasında seçim yapılırken yarar-değer analizi çok iyi yapılmalıdır. Yakıcı kazan-buhar türbini-kojenerasyon sistemleri düşük güç/ısı oranı, yüksek yakıcı kazan maliyeti ve yakıt iyileştirme metotlarının yüksek maliyeti nedeniyle her nekadar cazip gözükmeseler de; özellikle kömür, biyoatıklar, odun, rafineri atıkları ve endüstri merkezlerinden uzaklaştırılması gerekli endüstriyel atıkları yakıt olarak kullanan orta ölçekli sistemlerin kullanılması oldukça etkilidir. Böylece endüstriyel atıklar merkezden uzaklaştırılırken, merkez için gerekli ısı da elde edilmiş olur. Birçok endüstride bu tip sistemler kullanılmaktadır. Ayrıca yakıcı kazan-buhar türbini sistemleri oluşturmak yerine mevcut yakıcı kazan sistemlerine buhar türbini entegrasyonu maliyeti düşüren bir diğer unsurdur. Gaz

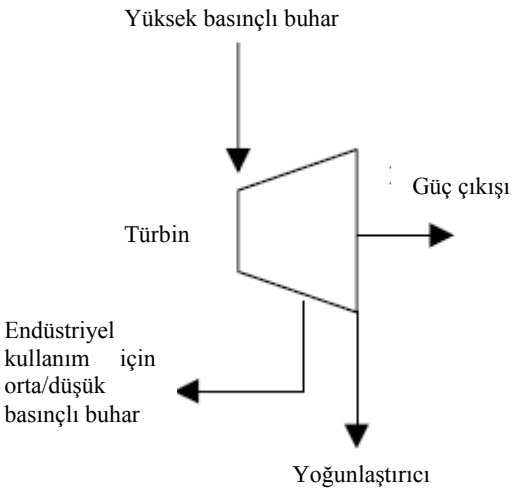
türbinlerinin kojenerasyonu sırasında buhar türbinleriyle entegrasyonu da buna örnek olarak verilebilir (Combined cycle).

En genel anlamda bir yakıcı kazan-buhar türbini sistemi bir kazan, pompa, buhar türbini ve yoğunlaştırıcıdan oluşur (Şekil 3.5). Yakınında kurulduğu yerin ihtiyaçlarına göre yakıt tipi ve dizayn özelikleri belirlenir. Isıtma (space heating) ve yemek pişirme üniteleri için düşük basınçlı buhar yeterlidir, endüstriyel merkezler için orta basınçlı buhar, bazı özel tesisler için yüksek basınçlı buhar gerekir.



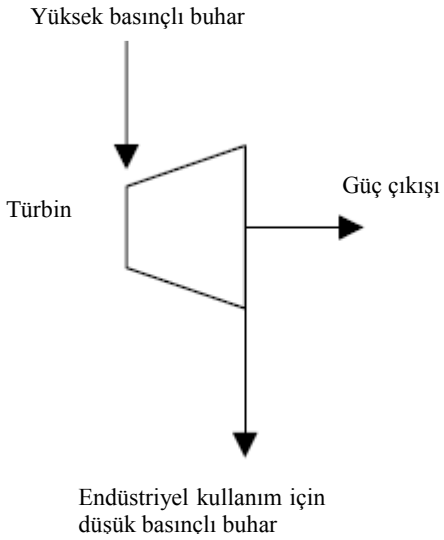
Şekil 3.5: Buhar türbini [19]

Yakıcı kazan-buhar türbini sistemleri yoğunlaştırıcılı (condensing) yada yoğunlaştırıcısız (non-condensing) olarak inşaa edilebilirler. Yoğunlaştırıcılı sistemlerde (Şekil 3.6) buhar türbinine giren yüksek basınçlı buharın tamamı güç üretiminde kullanılırken, çıkan düşük basınçlı buhar yoğunlaştırılır ve sistemi beslemeye devam eder. Ancak türbinde istenildiğinde kullanılabilecek açılan gözler (openings) mevcuttur, bu gözlerden orta yada düşük sıcaklıkta buhar çekilerek kojenerasyon sistemlerinde kullanılabilir.



Şekil 3.6: Yoğunlaştırıcılı buhar türbini [19]

Yoğunlaştırıcısız sistemlerde (Şekil 3.7) yüksek basınçlı buharın bir kısmı güç üretiminde kullanılırken bir kısmı direkt kullanım için düşük basınçta buhar olarak çevreye salınır. Bu sistemlerde giriş buhar basıncı (inlet pressure) ve çıkış buhar basıncı (outlet pressure) ayarlanarak kojenerasyon organize edilir. Yüksek giriş buhar basıncı ve sıcaklığı verimi artırırken kazan dayanımı için sıcaklık ve basınç limit değerlerine dikkat edilmelidir. Ayrıca yüksek basınçlı buharın türbin içerisinde yoğunlaşması engellenmelidir, aksi halde türbin elemanları sudan zarar görebilir bu da 50 yılın üzerine ömrü olan buhar türbinlerinin ömrünü kısaltabilir.



Şekil 3.7: Yoğunlaştırıcısız buhar türbini [19]

Buhar türbinlerinde esas elektrik üretimi amaçlanmadığı için elektrik verimi % 10-35 arasında değişmektedir ancak efektif elektrik verimi oldukça yüksektir. Yakıcı kazan-buhar türbini kojenerasyon sistemlerinin genel toplam verimi % 70-85 arasında değişebilir; bu verim ön ısıtma, tekrar ısıtma, basınç ve sıcaklık ayarlamalarıyla artırılabilir [19].

Bir yıl boyunca bakım gerektirmeden çalışabilen buhar türbinlerinin eksiklikleri devreye girme zamanının uzunluğu (start-up time), ve zararlı emisyonlara sebebiyet vermesidir. Bu zaafiyetler sırasıyla devamlı çalıştırma ve emisyon kontrol metotlarıyla aşılabilir.

3.4 İçten Yanmalı Motorlar

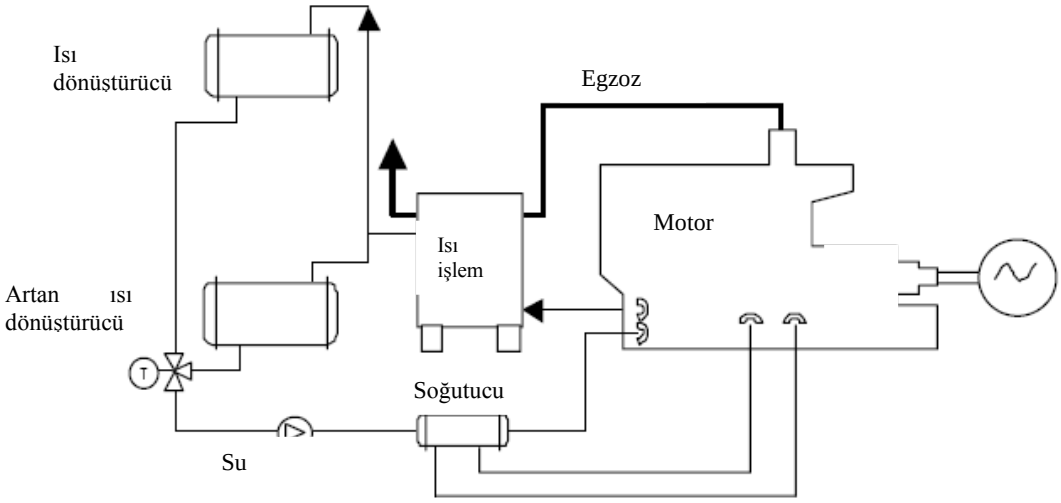
İçten yanmalı motorlar ulaşımdan statik enerji üretim tesislerine kadar birçok geniş alanda kullanım imkanı bulan birkaç kilovattan 5 megavata kadar kapasitelerde güç üretebilen sistemlerdir.

İçten yanmalı motorlar ateşlemeli (Spark Ignition) ve kendiliğinden ateşlemeli (Diesel Engine) olarak ikiye ayrılırlar. Ateşlemeli motorlar propan, gazolin ve biyogaz (çöp gazı, kanalizasyon gazı, gübre gazı) gibi yakıtlarla kullanılabilinse de genellikle yakıt olarak doğal gazı tercih ederler. Çünkü doğal gazlı motorlar daha ekonomik, güvenilir, çevreye daha az zararlı ve kojenerasyona daha uygundur. Ateşlemeli motorlarda hava ve yakıt karışımı silindir içerisinde ateşleyici buton yardımıyla yakılır ve ortaya çıkan yüksek basınçlı gazlar pistonları ileri geri hareket ettirir, pistonlara bağlı olan krank yardımı ile bu doğrusal hareket dönme hareketine çevrilir. Kendiliğinden ateşlemeli motorlarda yakıt olarak dizel yada ağır petrol kullanılır. Bu motorlarda ateşleme butonu yoktur, silindir içinde hava sıkıştırılarak basıncı artırılır ve kendiliğinden ateşleme sağlanır. Çevreye daha az zararlı olmaları nedeniyle ateşlemeli motorlara yönelim artmaktadır.

Ayrıca dizel ve ateşlemeli motorların birleştirildiği sistemlerde de cazibesini artırmaktadır (Duel fuel engine). Bu sistemler doğal gazı yakıt olarak seçerken % 1-15 oranında pilot bir dizel yakıt kullanarak otomatik ateşlemeyi sağlar [20].

Motorları hızlarına göre de ayırmak mümkündür. Yüksek hızlı motorlar iyi kalite yakıta ihtiyaç duyarlar, orta hızlı motorlar özelikle marin ve lokomotiflerden elde edilen motorlardır, düşük hızlı motorlar her tip yakıtı yakabilirler ancak masif yapıları nedeniyle yerlerini diğer tip motorlara bırakmaktadırlar.

Kojenerasyon içten yanmalı motorların egzoz ve soğutma sisteminde kaybolan, kullanılan yakıtın % 60-70 enerjisine tekabül eden termal enerjinin kullanılmasıyla sağlanabilir (Şekil 3.8). Bu termal enerji sıcak su ve düşük basınçlı buhar olarak bir çok endüstride kullanılabilir. İçten yanmalı motorlar hızlı ateş alma, kısmi kullanım (part-loading) gibi üstünlüklere sahipse de diğer bütün güç üretim sistemleri gibi zararlı emisyonları gerçekleştirmeleri yegane eksiklikleridir.



Şekil 3.8: İçten yanmalı motorlarda kojenerasyon [20]

3.5 Mikro Türbinler

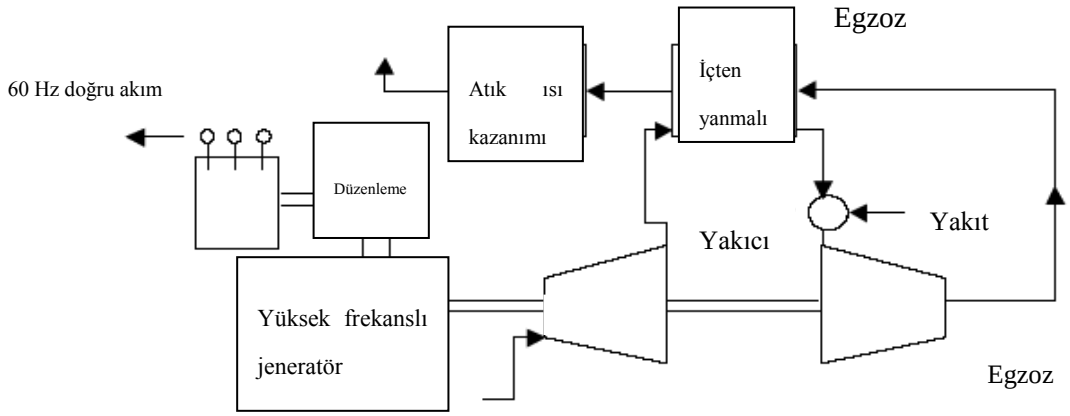
Mikro türbinler ufak gaz türbinleridir. Özellikle gelişen otomotiv endüstrisi bu tip türbinlerin önünü açmış 1997 yılında test versiyonları denenen mikro türbinler 2000'li yıllarda ticari platformda yerini bulmuştur.

Gaz türbinleri 500 kilovat ile 250 megavat arasında güç üretebilirken, mikro türbinler yalnızca 30 kilovat ile 350 kilovat arasında üretim gerçekleştirirler [21]. Yakıt olarak doğal gaz, işlenmemiş doğal gaz ve kerosen, gazolin, dizel gibi sıvı yakıtları kullanabilirler. Özellikle şehir çöplükleri, maden ocakları, petrol sahaları civarında kurulmaları durumunda bu alanlarda oluşan atık gazları yakıt olarak kullanabilirler.

Mikro türbinlerin başlıca elemanları kompresör, türbin ve şaft olarak tanımlanabilir. Tek şaftlı sistemlerde bir şaft hem türbini hem kompresörü hareket ettirirken, çift şaftlı sistemlerde her bir birim ayrı bir şaftla kontrol edilir.

Kojenerasyon egzoz gazıyla kaybedilen termal enerjinin yeniden kazanılmasıyla sağlanabilir (Şekil 3.9). Kojenerasyonun verimi egzoz gazının sıcaklığıyla doğru

orantılıdır. Mikro türbinler de fosil yakıt yaktıkları için zararlı emisyonlara sebebiyet verirler.



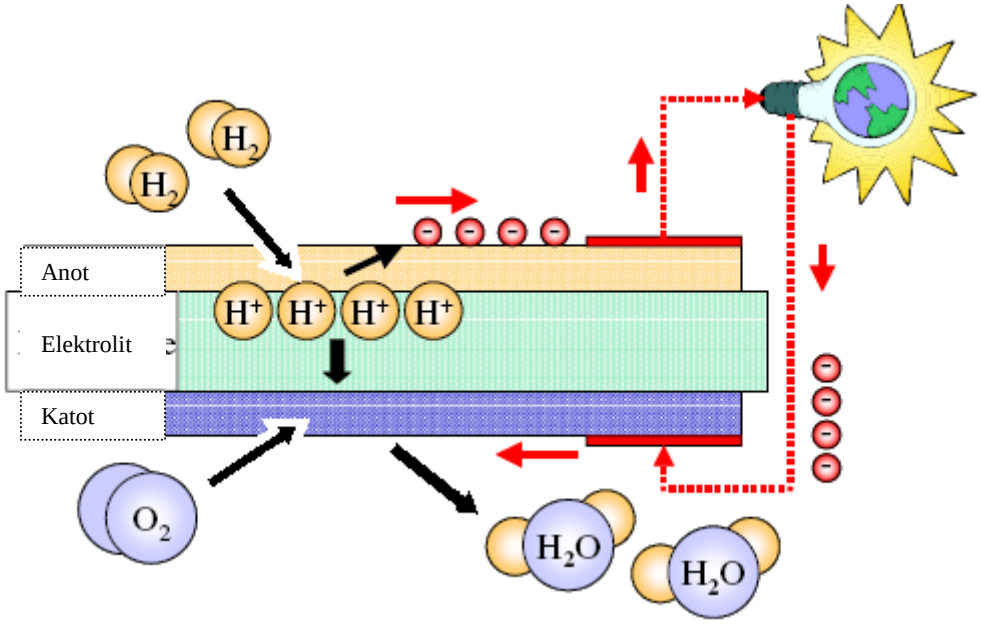
Şekil 3.9: Mikro türbinlerde kojenerasyon [21]

3.6 Yakıt Pilleri

İlk olarak 1890 yılında Sir William Grove'un ortaya attığı hidrojen yakıt pilleri, daha sonra uzay araştırılmalarında kullanılmak üzere 1950'li yıllarda NASA'nın ilgisini çekmiş ve zamanla hem ulaşım hem sabit güç üretim tesislerinde uygulamaları yaygınlaşmaya başlamıştır.

Yakıt pilleri geleneksel elektrik üretim metotlarına nazaran oldukça farklı bir yapı göstermektedir. Geleneksel termal enerji temelli Carnot Çemberinden (Carnot Cycle) farklı olarak batarya tipi bir yapı gösterirler. Normal pillerde olduğu gibi herhangi bir fosil yakıt yakılmaksızın; katot, anot, elektrolit ve katalizörün yer aldığı elektrokimyasal bir süreçle doğru akım formatında elektrik ve ısı üretildiği için bu yapılara yakıt pilleri denilmektedir. Normal pillerden farkı devamlı bir yakıtla beslendiği için hiç bir zaman bitmemesi ve çok yüksek elektrik verimlerine ulaşılmasıdır. Yakıt olarak hidrojen ve oksijen kullanılırken; hidrojen, doğal gaz yada LPG gibi herhangi bir hidrokarbonlu yakıttan, oksijen de atmosferden sağlanır.

Bütün yakıt pillerinin ortak özellikleri hidrojendeki kimyasal enerjiyi yüksek verimle suya ve elektrik enerjisine çevirmeleri, hidrojen üretebilmek için bir hidrokarbonlu yakıtı (genellikle doğal gaz) kullanmaları, ve oluşan doğru akımı düzenleyici yada alternatif akıma çevirici yapıda olmalarıdır. Ayrıca tek yakma işlemi hidrojen üretim sırasında bir fosil yakıtın yakımı sırasında gerçekleştiği için tamamı temiz enerji kaynaklarıdır.



Şekil 3.10: Yakıt pili [22]

Şekil 3.10 bir yakıt pilindeki elektrokimyasal işlemi özetlemektedir. Bir yakıt pili katot (pozitif yüklenmiş elektrot), anot (negatif yüklenmiş elektrot), eloktrolit ve bir harici yükten oluşur. Anot elektrolit ile yakıt arasında bir köprü oluşturur, bir katalizör görevi görür ve serbest kalan elektronları harici yüke iletir. Katot, elektrolit ile oksijen arasında bir köprü vazifesi görür; oksijen reaksiyonunu hızlandırır, ve harici yükten gelen elektronları oksijen elektroda iletir. Elektrolit ise hidrojen ile oksijen arasında birleşimi engelleyici bir bariyer oluştururken aynı zamanda elektrotlar arasında iyon alış verişini sağlayarak çevrimi tamamlar. Hidrojen ve oksijen sırasıyla anot ve katoda gönderilir, birleşmeleri önlenerek alevli yakmadan kaçınılır. Anoda gelen iki molekül hidrojen bir katalizör yardımıyla dört hidrojen iyonu ve dört elektrona ayrılır. Hidrojen iyonları elektrolit içeisinden katoda giderken, elektronlar harici çevrimle dış yüke hareket ederler. Olay moleküler bazda gerçekleştiği için NOx ve diğer zararlı maddeler oluşmaz. Katotta ise bir molekül oksijen dört hidrojen iyonu ve dört elektron ile birleşerek iki molekül su oluştururlar. Net pil denkleminde iki molekül hidrojen bir molekül oksijenle birleşerek, iki molekül su ve enerji oluşturmuş olur.

Temiz, sessiz ve verimli bir şekilde güç üretim imkanı sunan yakıt pilleri 5 tipte inşaa edilirler: Fosforik Asit Yakıt Pilleri (PAFC), Polimer Elektrolit Membran Yakıt Pilleri (PEMFC), Erimiş Karbonatlı Yakıt Pilleri (MCFC), Katı Oksitli Yakıt Pilleri (SOFC), Alkali Yakıt Pilleri (AFC).

Yakıt pillerinin tipini belirleyen kullanılan elektrolit ve iletilen iyon çeşididir. Polimer Elektrolit Membran Yakıt Pillerinde, elektrolit asidik özellikte katı bir polimerden oluşur ve yakıt pili hidrojen iyonlarının taşınımı üzerine inşaa edilmiştir. 1960 yılında NASA tarafından geliştirilen ve ilk insan taşıyan uzay aracında kullanılan bu yakıt pili, düşük sıcaklıkta çalışmaları (200 °F), çabuk inşaa edilebilmeleri ve modüler yapıda olmaları nedeniyle ulaşım alanında caziptirler. CO zehirlenmesine karşı aşırı hassastırlar. Fosforik Asit Yakıt Pilleri de asidik özellikte bir elektrolitten oluşur ve hidrojen iyonu taşınım prensibini benimser ve ticari platformda uygulama imkanı bulan ilk yakıt pilidir. 1990 yılında kurulan 200 kW'lık yakıt pili hala üretimine devam etmekte ve yüksek elektrik verimiyle çalışmaktadır. Alkali Yakıt Pilleri, Apollo uzay aracında kullanılmış bir yakıt pilidir. Elektrolit olarak potasyum hidroksit kullanır ve hidroksit iyonlarının taşınımı ilkesini benimser. Çok yüksek elektrik verimine sahip olsa da, karbondioksiti yakalayıp alkali elektroliti karbonatlı yapıya dönüştürmesi bir eksikliktir ve Polimer Yakıt Pillerinin icadıyla cazibesini yitirmiştir. Karbonat Yakıt Pilleri Lityum, Sodyum, Potasyum gibi alkali metalleri elektrolit olarak kullanır ve karbontrioksit iyonlarının taşınımını benimser ve yüksek operasyon sıcaklıkları nedeniyle (1100 °F-1200 °F) kojenarasyona uygundurlar. 250 kW'lık bir model ticari platformda yer bulmuş ve operasyonunu sürdürmektedir. Katı Oksit Yakıt Pilleri seramik gibi katı maddeleri elektrolit olarak kullanır ve oksijen iyonlarının taşınımı üzerine dizayn edilir.

3.7 Sonuç

Tablo 3. 1. CHP sistemlerinin özeti [17]

<table>
<tr><th>CHP Sistemi</th><th>Üstünlükler</th><th>Eksiklikler</th><th>Uygun ölçüler</th></tr>
<tr><td>Gaz türbini</td><td>Yüksek güvenilirlik
Düşük emisyon
Yüksek ısı değeri
Soğutma sistemi gereksizliği</td><td>Yüksek basınç
Düşük verim
Çevre sıcaklığından etkilenme</td><td>500 kW-40 MW</td></tr>
<tr><td>Mikro türbin</td><td>Basit yapı
Düşük ağırlık
Düşük emisyon
Soğutma sistemi gereksizliği</td><td>Yüksek maliyet
Kojenerasyona uyumsuzluk
Düşük mekanik verim</td><td>30-350 kW</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Ateşlemeli motorlar</td><td rowspan="3">Kısmi yükleme
Hızlı devreye girme
Düşük yatırım bedeli
İşletme kolaylığı
Düşük basınçlı gaz değerleri</td><td rowspan="3">Ses
Emisyon
Yüksek bakım maliyeti
Soğutma sistemi gereği
Kojenerasyona uyumsuzluk</td><td>< 5 MW</td></tr>
<tr><td>Yüksek hız
≤ 4 MW</td></tr>
<tr><td>Dizel motorlar</td><td>Düşük hız
≤ 65 MW</td></tr>
<tr><td>Buhar türbini</td><td>Toplam yüksek verim
Her tip yakıtı kullanabilme
Birden fazla alanı ısıtma
Uzun ömür ve güvenilir yapı</td><td>Yavaş devreye girme
Düşük güç/ısı değeri</td><td>50 kW-250 MW</td></tr>
<tr><td>Yakıt pilleri</td><td>Düşük ses ve emisyon
Mükemmel verim
Modüler yapı</td><td>Yüksek fiyat
Dayanıklılık
Saf hidrojen gereksinimi</td><td>200-250 kW</td></tr>
</table>

Enerji üretebilmek için kullanılan güç kaynakları buhar türbinleri, gaz türbinleri, mikro türbinler, içten yanmalı motorlar ve yakıt pilleri olarak sıralanabilir. Bütün bu güç üretim sistemlerinin verimleri kojenerasyon uygulamalarıyla artırılabilir. Tablo 3.1 bu kojenerasyon uygulamalarını özetlemektedir. Her bir güç üretim sisteminin yatırım, operasyon, işletme ve bakım giderleri farklılık gösterir. Doğru olan mevcut duruma göre güç üretim sistemini belirlemek ve inşaa etmektir. Tablo 3.2 güç üretim sistemlerinin ekonomik kıyasında bir ölçü olabilir.

Bütün güç üretim sistemlerinin çevresel etkileri mevcuttur. Tablo A.1, Tablo A.2, Tablo A.3, Tablo A.4, Tablo A.5 bu çevresel etkilerin yaklaşık değerlerini göstermektedir.

Tablo 3.2. Güç üretim sistemlerinin mukayesesi [17]

Teknoloji	Buhar türbini	Dizel motor	Doğal gaz motoru	Gaz türbini	Mikro türbin	Yakıt türbini
Güç verimi	% 15-38	% 27-45	% 22-40	% 22-36	% 18-27	% 30-63
Toplam verim	% 80	% 70-80	% 70-80	% 70-75	% 65-75	% 65-80
Efektif elektrik verim	% 75	% 70-80	% 70-80	% 50-70	% 50-70	% 60-80
Kapasite (MW)	0,2-800	0,03-5	0,05-5	1-500	0,03-0,35	0,01-2
Güç/ısı oranı	0,1-0,3	0,5-1	0,5-1	0,5-2	0,4-0,7	1-2
Kısmi yükleme	Mümkün	İyi	Mümkün	Kötü	Mümkün	İyi
CHP kurma maliyeti ($/kW)	300-900	900-1.500	900-1.500	800-1.800	1.300-2.500	2.700-5.300
Bakım giderleri ($/kW)	<0,004	0,005-0,015	0,007-0,02	0,003-0,0096	0,01	0,005-0,04
Hazır bulunma	Yaklaşık % 100	% 90-95	% 92-97	% 90-98	% 90-98	> % 95
Bakım peryodu	>50.000	25.000-30.000	24.000-60.000	30.000-50.000	5.000-40.000	10.000-40.000
Devreye girme zamanı	1 saat-1 gün	10 saniye	10 saniye	10 dakika-1 saat	60 saniye	3 saat-2 gün
Yakıt basıncı (psi)	Atmosfer	< 5	1-45	120-500	40-100	0,5-45
Yakıt	Her tip	Dizel, ağır petrol	Doğal gaz, biyogaz, propan, çöp gazı	Doğal gaz, biyogaz, propan, petrol	Doğal gaz, biyogaz, propan, petrol	Hidrojen, doğal gaz, propan, metanol
Ses	Yüksek	Yüksek			Orta	Düşük
Termal çıktı kullanımı	LP-HP buhar	Sıcak su, LP buhar	Sıcak su, LP buhar	Isı, Sıcak su, LP-HP buhar	Isı, Sıcak su, LP-HP buhar	Sıcak su, LP-HP buhar
Güç yoğunluğu (kW/m)	>100	35-50	35-50	20-500	5-70	5-20
Nox, lb/Mmbtu	0,03-0,3	1-1,8	0,18	0,05	0,03	0,004

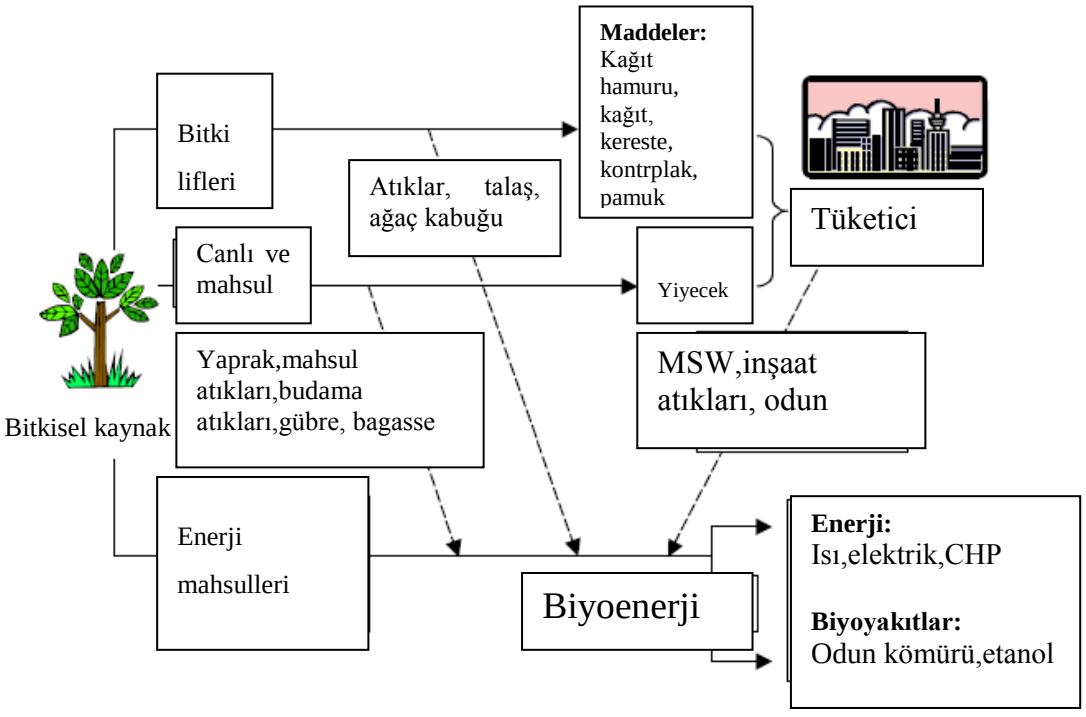
4. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI

4.1 Giriş

Fosil yakıtların olumsuz çevresel etkileri ve sonlu kaynaklar olmaları nedeniyle biyoenerji, hidrolik enerji, rüzgar enerjisi, güneş enerjisi, jeotermal ve okyanus enerjisi (dalga enerjisi, gelgit enerjisi, deniz termal enerjisi) gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim gün geçtikçe artmaktadır. Biyoenerji, hidrolik enerji ve jeotermal enerji dünya enerji pastasından belirli bir pay alırken, rüzgar ve güneş

enerjisi yeni yeni uygulama alanları bulmakta, okyanus enerjisi ise henüz deneysel boyutlarda kalmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının olumsuz çevresel etkileri fosil yakıtlara kıyasla çok daha azdır, sonlu yapıda değildirler; ancak ekonomik açıdan hidrolik ve kısmen jeotermal ve rüzgar enerjisi dışında geleneksel kaynaklarla rekabet edebilmeleri olanaksızdır. Ancak ilerleyen teknolojiyle birlikte gün geçtikçe özellikle ekonomik anlamda bazı pozitif adımlar atılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının eksiklikleri, depolanabilir olmamaları dolayısıyla taşıtlarda yakıt olarak kullanılamamaları ve kapasite faktörlerinin düşük olmasıdır. Örneğin, bulutlu havalarda ve gece güneş enerjisi kullanılamaz, rüzgar yokken rüzgar enerjisi eldesi mümkün değildir, beklenmeyen kuraklık hidrolik enerjiyi etkiler. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının teşvik edilmesi, fosil yakıtlara binen yükün azaltılmasında ve birtakım olumlu çevresel etkiler sağlanmasında ayrıca önümüzdeki yüzyıla damgasını vuracak hidrojen enerji sisteminin altyapısının geliştirilmesinde büyük yararlar sağlayacağından global anlamda önem verilmesi gereken bir husustur.

4.2 Biyoenerji



Şekil 4.1: Biyoenerji döngüsü [1]

4.2.1 Giriş

Hayvan yemi, kağıt, tekstil ve mobilyacılık hammaddesi gibi çok yönlü olarak kullanılabilen odun, tarımsal atıklar, hayvan gübresi gibi bitkisel orijinli çöpsel atıklar enerji kaynağı olarak da kullanılabilirler. Bitkilerdeki depolanmış kimyasal enerji alevli yakma işlemiyle ısı enerjisine çevrilebilir, yada ikincil enerji formu olarak değerlendirilen; buhara dönüştürülerek elektrik enerjisi elde edilmesi, gazlaştırılarak taşımacılık ve diğer alanlarda yakıt olarak kullanılabilinen metan, biyogaz, alkollü yakıtlar ve hidrojen eldesi gibi enerji formlarına dönüştürülebilir yada çeşitli kimyasal maddelerin teşekkülünde kullanılabilir (Şekil 4.1). Özellikle ülkeler geliştikçe, ısınma ve ışıklandırma için LPG, doğal gaz ve elektrik enerjisi kullanımı yaygınlaşır bu yüzden alevli yakma işlemine nazaran ikincil enerji formlarına olan yönelim artmaktadır. Fosil temelli enerji kaynaklarına oranla olumsuz çevresel etkilerinin daha az olmasının yanında özellikle kömür ile kıyaslandığında sülfür salımı ve kül oluşum miktarı daha düşük seviyelerde kalır. Bu atıkların yanması sonucu atmosfere ekstra karbondioksit salımı da olmaz; çünkü oluşan karbondioksit, karbondioksit döngüsü sırasında bitkiler tarafından atmosferden kapılan miktar kadardır. Ayrıca çöpsel atıkların değerlendirilmesi ve enerji üretimi için özel enerji mahsullerinin yetiştirilmesinin teşvik edilmesi, kırsal alanların kullanımı ve yeni iş alanlarının açılması açısından olumlu bir adım olarak değerlendirilebilir. Ayrıca özellikle kırsal alanlar, vadiler, adalar gibi merkezden uzak olan yerleşim birimlerinde halkın ısınma, aydınlanma, sulama, içme suyu temini ve yemek pişirmek için ihtiyaç duyduğu enerjinin sağlanmasında biyoenerji çok cazip bir yol olarak göze çarpmaktadır, çünkü bu alanlara ulusal şebekeden enerji ulaştırmak pek ekonomik olmayabilir. Bitkisel orijinli çöpsel atıktan enerji üretimi zararlı maddelerin emisyonunun ve petrole bağımlılığın azaltılmasına da yardımcı olur; ancak, fosil kaynaklı enerji elemanlarıyla rekabet edebilmek için çöpsel ürün kullanımının teşvik edilmesi ve bu enerji kaynağının hayatın her kademesinde kullanılması için gerekli teknik ve ekonomik belirlemelerin yapılması gerekmektedir. Günümüzde biyoenerji alevli yakma işlemiyle elde edilirken, gazlaştırma, sıvı yakıtların eldesi ve havasız ortamda ayrıştırma gibi metotlar bu enerji türüne olan ilgiyi artırmaktadır. Ayrıca günümüzde petrolden elde edilen antifiriz, plastik ve kişisel bakım ürünleri gelecekte bitkisel orijinli organik maddelerden de elde edilebilir. Dolayısıyla, önümüzdeki yirmi yıl zarfında biyoenerjinin yenilenebilir enerji kaynakları arasında kullanım payının artarak yükselmesi öngörülmektedir [23].

4.2.2 Biyoenerji elde etme metotları

Bitkisel orijinli organik çöpsel atıklardan elektrik, gaz yada sıvı yakıtların elde edilmesi için birçok değişik metot bulunmaktadır. Bu metotlar dönüştürme tekniğine yada oluşan ürüne göre sınıflandırılır.

4.2.2.1 Alevli yakma

Odun, hastahane atıkları ayrıştırılmış her türlü çöpsel atık (MSW), enerji mahsülleri elektrik ve ısı üretimi için buhar kazanlarında yakılabilirler. Bu metot en yaygın olarak kullanılan tekniktir ve günümüzde biyoenerjinin neredeyse tamamı bu işlemle elde edilmektedir. Enerji eldesi geleneksel metotlardaki gibidir, yalnızca kömür yerine bitkisel orijinli atıklar kullanılır. Yüksek enerji düşük emisyon gerektiren uygulamalarda bazen de kömürle bitkisel orijinli atıklar beraber yakılabilir, böylece yüksek enerji eldesi sağlanırken benzer bir kömür santraline göre daha düşük emisyon değerleri elde edilir. Buharlaştırma kazanında yakılan atıklar, borular içerisinde bulunan suyu buharlaştırır, oluşan buhar jeneratörün pervanelerini çevirerek elektrik elde edilir (Şekil 2.1). Bu elektrik yerel olarak kullanılabildiği gibi ulusal şebekeye katkıda bulunacak boyutta da olabilir. Elde edilen enerjinin boyutu türbin ve buharlaştırma kazanının tipine, buharın sıcaklığı ve basıncına bağlı olarak değişebilir, ancak 1-50 MW arası enerji eldesi sağlanır. Londra'daki Edmonton Santrali 50 MW kapasitededir, ancak dünya genelindeki ortalama 20 MW civarındadır. Bu santrallerinin verimini artırabilmek için elektrik eldesinin yanında oluşan buharın da kullanılması yoluna gidilebilir, özellikle endüstriyel bölgelerde üretim yada toplu konutlarda ısınma amacıyla buhara ihtiyaç duyulmaktadır, santrallerde oluşan buhar, elektrik eldesinden sonra atık hale gelmektedir; bu atık buhar değerlendirileceği bölgelere nakledilerek kullanılabilir ve toplam verim artmış olur. Kağıt endüstrisi bu uygulamanın en çok rastlandığı sektördür. Odun parçaları direkt kazanlara doldurulur ve yakılarak elde edilen buhar imalat ve ısınmada kullanılır. Ancak buharın uzak bölgelere nakli ekonomik açıdan problem yaratacağı için santralin buhar takviyesi yapacağı bölgeye mümkün olduğu kadar yakın inşaası gerekmektedir. Bitkisel orijinli çöpsel atıkların yakıt olarak kullanıldığı enerji santrallerinde yakıt maliyeti sıfır hatta negatiftir, çünkü kullanılan yakıt ya kağıt endüstrisinin çöpsel atıkları, ya tarımsal atıklar, yada enerji mahsüllerdir. Ancak tesis maliyeti ile verim kıyaslandığı zaman elektrik birim maliyeti geleneksel yöntemlere nazaran yüksek kalmaktadır. Tabii ki bu gerçek bu tip yeni tesislere soğuk bakılması anlamına gelmez, unutulmamalı ki teknoloji zamanla ilerlemektedir, bu santrallerin üzerine yeterince düşülürse zamanla yeni metotlar geliştirilecektir. Dolayısla, bu tesislere yeterli özen gösterilmelidir. Nitekim ABD 1978 yılında bu gerçeği görmüş

ve PURPA kanunuyla biyoenerji santrallerinin önünü açmıştır, İskandinav ülkeleri de karbon vergisi sayesinde bu tip tesislere yönelimi artırmıştır. Bu tip tesislerin yoğun olduğu ülkeler ABD, İskandinav ülkeleri, Avusturya, Almanya ve diğer Doğu Avrupa ülkeleridir. Bir geçiş platformu oluşturmak gerekirse, fosil yakıtlarla takviye edilmiş biyoenerji santralleri iyi bir fikir olarak gözükebilir, bu çözümle enerji kapasitesi 100 MW olan tesisler oluşturulur; böylelikle enerji verimi biyoenerji santralleriyle geleneksel santraller arasında olan bir orta yol bulunmuş olur. Enerji eşdeğeri geleneksel yöntemlere nazaran düşük olsa da bitkisel orijinli yakıtların kömüre kıyasla % 90 oranında daha az kükürt salımı yaptığı ve yanma sonrası oluşan karbondioksidin aslında fotosentez sırasında atmosferden koparılan oran kadar olduğu ve ek bir sera gazı yayılmadığı unutulmamalıdır. Sonuçta zararlı gaz salımı azaltılırken alternatif bir enerji kaynağıyla üretime katkıda bulunulabilir.

4.2.2.2 Gazlaştırma

Gazlaştırma iki aşamalı enerji veren bir süreçtir, bu süreç sonunda çöpsel atık termokimyasal bir süreçle yakıt olarak kullanılabilen hidrojen, karbonmonoksit ve metan karışımı gaza dönüşür. Birinci aşama 'pyrolysis' olarak adlandırılır ve bu aşamada katı atık 600 °C altında gerçekleşen kompleks bir süreç sonunda, uçucu özellikte yakılabilen ve yakılamayan gazlara, katrana, su buharına, hidrojene, karbonmonoksit ve karbondioksite dönüşür [24]. Bu sürecin buharlaştırılamayan yan ürünleri 'char' (fikslenmiş karbon) ve küldür. İkinci aşama 'char' (kömürleşmiş çekirdek) dönüşümü olarak adlandırılır ve 'pyrolysis' aşamasından arta kalan karbonun gazlaştırılma ve/veya yakılmasını içerir, bu aşamada 'char' oksijenle reaksiyona girerek gaza dönüşür ve aynı zamanda 'pyrolysis' için gerekli ısıyı sağlar. 'Char' kömüre oranla 10 ila 30 kat arası daha aktiftir ve gazlaştırılma süreci daha az ısı gerektirir, bu da gazlaştırma tankında daha düşük sıcaklıkların kullanılmasına dolayısıyla verimin artmasına sebeb olur [23].

Geçmişten günümüze birçok gazlaştırma ünitesi geliştirilmiş ve yakıt olarak genellikle ağaç ve tahıl atıkları kullanılmıştır. Birçok ünite direkt ısı üretimi için kullanılırken pek azı elektrik üretiminde kullanılır. Gazlaştırma ünitelerinin gaz yakıta bağlı güç üreteçlerine entegrasyonuyla, çöpsel katı atıklardan üretilen gazdan güç üretilebilir, böylelikle gazın hem kimyasal hem termal enerjisinden faydalanılmış olunur. Bu entegrasyon kömürden gazlaştırma süreci sonunda elde edilen gazdan enerji üretimi işlemiyle büyük benzerlik gösterir, dolayısıyla fikir alınacak bir oturmuş sistemin olması da çöpsel atıkların dönüşümü için bir avantajdır [1]. Gazlaştırma ünitesinin bir güç üretecine entegrasyonu iki şekilde mümkündür; Çöpsel atıktan elde edilen gazın bir gaz türbininde çok amaçlı yakılması yada özel

yakıt pillerinde değerlendirilmesi. Birinci sistem yüksek verim ve düşük zararlı gaz salımı avantajına sahiptir ve özellikle orta ölçekli güç üretimi (50 MW) için uygundur, düşük ölçekler için (25-50 MW) gaz ve buharın beraber kullanıldığı basit yapıdaki buhar enjekteli gaz türbinlerinin (STIGs) kullanımı daha uygundur. Özel yakıt pilleri, hidrojenin hava ile elektrokimyasal oksidasyonu sonucu elektrik üretirler; modüler yapıları, yüksek verimleri, güvenilirliği ve çevre dostu olmaları nedeniyle diğer sistemlere tercih edilirler, ayrıca üretim maliyeti nispeten daha düşüktür ve ölçek problemi mevcut değildir. Gaz türbinlerindeki çok amaçlı kullanım (artık ısının değerlendirilmesi) yakıt pilleri için de geçerlidir. Bu sistemlerde ön plana çıkan etmen gazlaştırma süreci sonunda elde edilen gazın kalitesidir Gazın kalitesini artırmak için sıcak gaz temizleme ünitelerine (gas clean-up tanks) ihtiyaç vardır. Gerek elektrik eldesi gerek metanol eldesinin ticari platformlarda yer bulabilmesi için gaz temizleme üniteleri anahtar vazifesi görmektedir. Gaz türbinleri için geliştirilen bu temizleme sistemleri yakıt pillerine de uygulanabilir. Ayrıca, yakıt pilinin özelliği de önemlidir. Fosforik asit temelli yakıt hücreleri yerlerini günümüzde erimiş karbonatlı ve katı oksitli yakıt hücrelerine bırakmaktadır.

Çöpsel atıkların gazlaştırma işlemi yeni gelişen bir süreçtir. Düşük basınç-soğuk gaz, basınçsız-orta sıcaklıkta gaz, basınçlı-düşük sıcaklıkta gaz gibi değişik yöntemler mevcuttur. Bu noktada Hawai'de geliştirilen üç kademeli (1. Gazlaştırma ünitesinin inşaası ve işletimi, 2. Gaz temizleme ünitesi ve 3-5 MW değerinde elektrik üretebilecek gaz türbinli elektrik jeneratörünün sisteme adaptasyonu, 3. Gaz temizleme ünitesinin metanol sentezinin gerçekleştirmesiyle testi) basınçlı ortamda şeker kamışının gazlaştırılması sürecini izlemek sistemin işleyişini görmek açısından yararlı olabilir. Gazlaştırma ünitesi 20 bar basınçta ve kuru bazda günlük 90 ton yakıt besleme hacmine sahiptir. Şekil 4.2'te verilen sistem elemanlarını tek tek inceleyecek olursak;

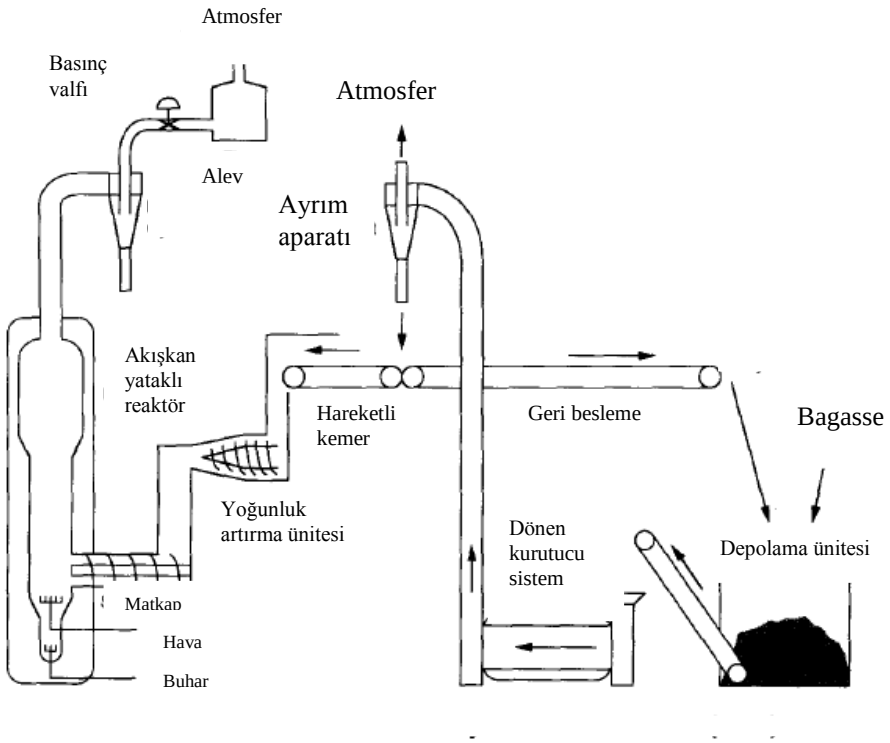
Depolama ünitesinden (Walking Floor Storage Bin) bir taşıyıcı yardımıyla çöpsel atıklar, dönen kurutucu sisteme (Rotary Drum Dryer) aktarılır. Bu kurutucu sistemin çıkışından, atıklar hava basıncı yardımıyla gazlaştırma ünitesinin tepe noktasına aktarılır ve bu noktada bir aparat yardımıyla (Feed Disengagement Cyclone) akımdan ayrılır ve ikinci bir taşıyıcıyla hareketli kemere (Weigh Belt) aktarılır bu arada besleme oranının üzerindeki miktar depolama ünitesine geri aktarılır. Besleme oranı parelelinde çöpsel atıklar hareketli kemerden yoğunluğun arttırıldığı üniteye (Plug-Screw Feeder) aktarılır. Bu ünite çıkışında matkap ünitesiyle (Shredding Conveyor) atıklar daha ufak parçalara ayrılır ve reaktöre gönderilir [24]. Reaktörde kullanılan metot çok büyük önem taşımaktadır. Hawai'deki reaktörde gazlaştırma süreci üç farklı metotla denenmiştir.

Öncelikle yanma yatağına matkap tipi kompresör yardımıyla hava üflenmiş, sıcaklık 840 ºC, basınç 3 bar, besleme oranı saatte yaklaşık 1,05 ton civarında tutulmuştur. Bu verilerle % 45 nemlilik oranıyla sisteme giren şeker kamışı % 25 nem oranıyla çıkmış ve 3,7 MJ/m³ lük bir ısı değeri elde edilirken verim yaklaşık % 96 oranında kalmıştır.

İkinci olarak, kompresör yardımıyla hava üflenirken sıcaklık 835 ºC ye düşürülmüş basınç 4,2 bara çıkarılmış, besleme oranı saatte 1,71 tona yükseltilmiştir. Yakıt nem oranı % 30 civarındayken ısı değeri 4,5 MJ/m³ değerine ulaşmıştır.

Son olarak, sisteme hava ile birlikte reaktöre yakıt sağlayan şeker fabrikasından elde edilen buhar da enjekte edilmiştir. Dolayısıyla sıcaklık 857 ºC, basınç 5 bara çıkarken nem oranı % 17'ye inmiş ve ısı değeri en yüksek değer olan 5,8 MJ/m³ değerine ulaşmıştır. Son iki metotla verim % 98 seviyesine ulaşmıştır.

Biyolojik orijinli çöpsel atıkların gazlaştırılma sürecinden bir sonraki adım, sistemin bir yakıt pili yada gaz yakıcı bir tanka entegrasyonundur. Ancak ticari bazda başarılı olabilmek için üretilen gazın iyileştirme sürecine ve bu iş için gerekli metotlara daha fazla kafa yormak gerekir.



Şekil 4.2: Gazlaştırma ünitesi [24]

4.2.2.3 Havasız ortamda ayrıştırma

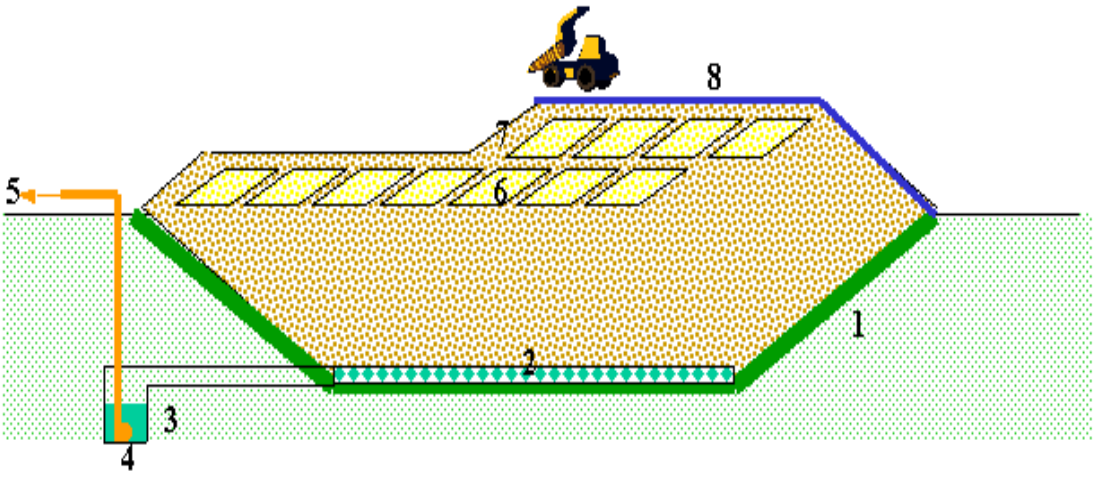
Organik içerikli çöpsel atıkların havasız ortam ve düşük sıcaklıkta, bakteriler tarafından ayrıştırılması sonucu biyogaz oluşur. Biyogaz gerek havasız ortam ayrıştırıcılarında (kanalizasyon gazı, tezek gazı), gerek modern çöplük sisteminde oluşan gaza (landfill gas) verilen ortak isimdir; ancak modern terminolojide içerdikleri metan oranı değişiklik gösterdiği için sırasıyla kanalizasyon ve çöplük gazı terimleri kullanılmaktadır. Tablo 4.1'de doğal gaz, kanalizasyon gazı ve çöplük gazının içerikleri, metan numaraları ve ısı değerleri karşılaştırılmıştır. Metan numarası gazın sıkıştırılabilme kapasitesine işaret ederken bu değer sıvı yakıtlarda oktan değeriyle tanımlanır, metan numarasının yüksek olması gazın enerji üretiminde kullanılabileceğine işaret eder. Isı değeri ise bir metreküp gazdan elde edilebilecek ısı miktarıdır. Biyogaz temelde gelişmek için güneş enerjisini kullanan bitkilerden kaynaklandığı için güneş enerjisinin depolanmış bir formu olarak görülebilir, ancak patlayıcı bir gaz olup küresel ısınmaya etkisi karbondioksite oranla yirmibir kat fazladır. Ağaç formasyonunun ana elemanlarından biri olan 'lignin' dışında her tip bitkisel orijinli katı ve sıvı atık, hayvan ve insan atıkları, kanalizasyon atıkları, endüstriyel atıklar gibi maddeler biyogaz oluşumunda kullanılabilir.

Tablo 4. 1. Doğal gaz, kanalizasyon gazı ve çöplük gazının mukayesesi [25]

	Doğal gaz	Çöplük gazı	Kanalizasyon gazı
Gaz bileşimi			
Metan (CH4)	% 90	% 50	% 65
Karbondioksit (CO2)	% 0	% 45	% 35
Azot (N2)	% 5	% 5	% 0
Etan (C2H6)	% 5	% 0	% 0
Toplam	% 100	% 100	% 100
Metan numarası	85	136	134
Isı değeri (MJ/m^3)	36	19	25

Çöplüklerde gelişigüzel yığılan atıklar içinde biriken metan gazı zamanla büyük hacimlere ulaşabilir, ısınma nedeniyle oluşan ani kaymalarda atmosferdeki oksijen gazı yüksek konsantrasyondaki metan gazıyla karşılaşarak yangın ve patlamalara sebep olabilir. İstanbul Ümraniye Hekimbaşı'nda 28 Nisan 1993'te bu tip bir patlama gerçekleşmiş ve otuzdokuz vatandaşımız hayatını kaybetmiştir. Dolayısıyla çöplük gazının kontrol altına alınması ve patlama sınırı olan % 5'in altına indirilmesi sağlanmalıdır; bu da atıkların bir kil tabakasıyla kaplanması ve bu tabakaya monte

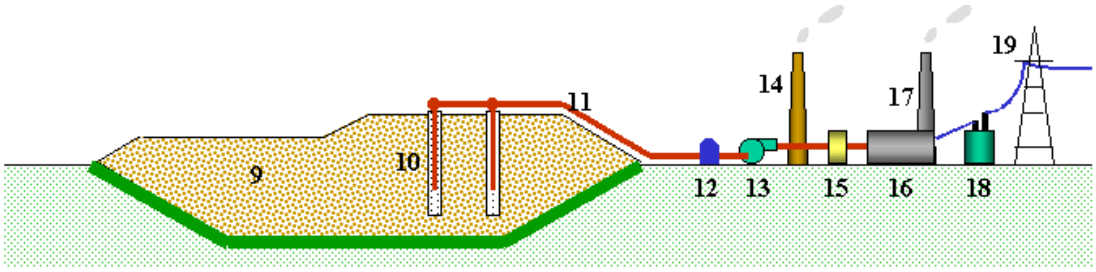
edilen borular yardımıyla biyogazın toplanması şeklinde gerçekleştirilebilir. Bu bağlamda özellikle Batı Avrupa ülkelerinde çöplük gazı borularla toplanarak bu kontrol sağlanmış ve ek olarak küresel ısınma yönünde pozitif bir adım atılırken, modern çöplük sistemleriyle çevrede oluşacak pis kokular da bertaraf edilmiştir. Ayrıca elektrik üretiminde çöplük gazını kullanan tesis için yakıt maliyeti sıfırdır, çöplük gazı üretimi mevsimsel değişiklik göstermediği için kapasite faktörü yüksektir ve çöplük gazı santralleri şehirlere çok yakın olduğu için şebeke bağlantıları kısadır bu da maliyeti ve enerji kayıplarını azaltır. Gelişmekte olan toplumlar kişi başına senelik 200 kg atık üretirken, bu değer gelişmiş ülkelerde 1,5 tona kadar ulaşır [24]. 22 Aralık 2002 tarihli İstanbul Ticaret Gazetesi'nde bu değer İstanbul için 400 kg olarak belirlenmiştir, ayrıca kullanılabilir atıklar çöplüklere ulaşmadan temizlendiği için organik madde oranı % 50'nin üzerinde kabul edilebilir. On beş milyon nüfuslu İstanbul şehrinin çöplüklerinden elde edilebilecek potansiyel biyogaz miktarı hesaplanacak olursa yaklaşık ortalama değer saatlik 130.000 m^3 civarındadır. Herhangi bir çöplük kapanmadan on sene önce kurulabilecek tesis yaklaşık 25 sene gaz üretebilir, bu da finansif açıdan yeterli bir süredir. Bu toplanan çöplük gazından elektrik üretilmek istenirse iki tip motor sisteminden birisi kullanılmalıdır. Özellikle küçük üretimlerde içten yanmalı dört pistonlu araba motoru gibi çalışan bir sistem tercih edilirken, büyük üretimlerde ise gaz türbinleri kullanılır. İstanbul için toplanan biyogazın elektrik eşdeğeri yaklaşık 210 MW'tır. Ancak bu değerin eldesi modern çöplük sisteminin geliştirilmesine bağlıdır.



1.Geçirimsiz plastik tabaka (lineer), 2. Kirli akıntı (leachate) toplayıcı boru, 3. Akıntı toplama kuyusu, 4. Pompa, 5. Sıhhi atık su sistemi (sanitary sewer), 6. Günlük çöp hücresi, 7. Toprak tabaka, 8. Kil örtü tabakası

Şekil 4.3: Modern çöplük sistemi [25]

Modern çöplük sistemi Şekil 4.3'teki gibi tesis edilir. Kirli suların yer altına sızmasını önlemek amacıyla 50-60 cm kalınlığında bir kil tabakası ve onun üzerine 1,5 mm kalınlığında HDPE membran serilmelidir. Bu kompozit tabakanın üzerine kirli suları toplamak için seri boru sistemi döşenmelidir, bu borularla toplanan sular civardaki atık su toplama kuyusuna buradan da bir pompayla kanalizasyona verilmelidir. Günlük atıklar 6 metre derinlikli hücreler halinde toplanır, gün bitiminde hücrenin üstü 50-60 cm'lik toprak tabakasıyla kaplanır. Çöplüğün etrafı tel örgülerle çevrilir ki atıklar çevreye dağılmasın. Atıklar hücrelere dökülürken toz kalkmasını önlemek için su, koku yayılmasını önlemek için özel kimyasallar kullanılmalıdır. Çöplük tamamen dolduğunda üstü kalın bir toprak tabakası ile kaplanır ve yeşil alana dönüştürülür, böylece yağmur suları çöplüğe sızmaz, metan gazı hapsedilir ve yeşil alan kazanılmış olur. Çöplük kapandıktan sonra kil tabakası altına yerleştirilen aletler yardımıyla 30 sene boyunca kirlilik oranı izlenmelidir. Çöplükten metan gazı düşey doğrultuda açılan 30-50 cm çaplı kuyulara yerleştirilen 15-20 cm delikli plastik borularla toplanır. Plastik boruların etrafı kuyu boyunca çakıl ile doldurulur. Kimi sistemlerde düşey boruların arasına çeşitli seviyelerde yatay borular da yerleştirilir. Borular, biyogazın paslandırıcı etkisi nedeniyle plastik olmalıdır. Bu düşey borular yüzeye yakın bir yerde ana borulara bağlanmalıdır. Ana borulardan gaz az bir negatif basınçla (-25 ile -120 mbar arası) emilir. Gaz basıncı fazla olursa sisteme hava girer bu da havasız ortamda yaşayan ayrıştırma bakterilerini öldürür ve verim düşer, ayrıca metan gazı konsantrasyonu da % 5'in altında tutulmalıdır, aksi hale oksijenle temas patlamaya yol açabilir. Toplanan biyogaz içten yanmalı motorlarla yada gaz debisi yaklaşık saatte 10.000 m^3 civarında ise gaz türbinlerinde elektriğe dönüştürülebilir. Bu dönüşüm Şekil 4.4'de ana hatlarıyla resmedilmiştir. Çöplükten gelen ana borular öncelikle kaba filtreden geçerek kirli sudan kaynaklanan nem alınır ve kaba toz filtrelenir. Daha sonra gaz pompa yardımıyla gaz işleme sistemine yada bakım halinde yakma haznesine gönderilir. Gaz işleme ünitesinde ince toz filtrelenir, nem tamamen alınır, kompresör ile basınç yükselir, 'chiller' yardımıyla sıcaklık makul ölçüye indirilir ve gaz dönüşüm için motora veya türbine gönderilir. Bir motor jeneratör ünitesinin gücü 1-3 MW civarındadır. Üretim sonucu çıkan egzoz bir baca ile atmosfere verilir. Jeneratör çıkışı 415-4160 V arasındadır bu değer trafo yardımıyla 22000-44000 V çıkar ve şebekeye verilir. Sistemin verimi artırmak amacıyla 500 °C egzoz gazı buhar oluşumda kullanılabilir ancak bu buharın kullanılacağı bir tesisin çöplük civarında olması gerekir. Çöplük gazı elektrik üretimi dışında da kullanılabilir. Eğer çöplük yakınında ilaç, gıda, kiremit, tekstil fabrikaları gibi ısı ve buhar ihtiyacı olan tesisler varsa detaylı gaz işleme ünitesine gerek kalmadan sadece kaba filtreden geçen gaz ısı ve buhar kazanında yakıt olarak kullanılabilir.



9. Çöplük, 10. Gaz toplama borusu, 11. Ana gaz toplama borusu, 12. Kaba filtre ve nem alıcı sistem, 13. Gaz pompası, 14. Gaz fırını, 15. Gaz işleme sistemi, 16. Motor ve jeneratör, 17. Motor bacası, 18 .Trafo, 19. Dağıtım şebekesi

Şekil 4.4: Modern çöplük sisteminde elde edilen biyogazın kullanılması [25]

Havasız ortam ayrıştırıcıları ise kanalizasyon veya tezek atıklarından biyogaz oluşumunda kullanılır. Kanalizasyon atıkları öncelikle sedimentasyon tanklarında dinlendirilir, daha sonra büyük havasız ortam ayrıştırıcılarına aktarılır yedi hafta boyunca 26-28 ºC sıcaklıkta bekletilir ve bu periyot sonunda tanktaki organik maddenin yarısı biyogaza dönüşür. Havasız ortam ayrıştırıcıları üç ana elemandan müteşekkildir. Bu elemanlar; organik atıkları ve diğer çöpleri tanka aktaran giriş elemanı, ayrıştıma tankı ve ayrıştırma bakterileri ve ayrıştırılamayan nesneleri sistemden uzaklaştıran çıkış elemanı olarak sıralanabilir.

Biyogaz ekonomik olarak geleneksel kaynaklara oldukça yakın bir enerji kaynağı olarak göze batmaktadır. Yaklaşık 5 MW'lık bir santralle elektrik maliyeti 3-4 sent/kWh civarında tutulabilir [1].

4.2.2.4 Sıvılaştırma

Diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına kıyasla organik çöpsel atıklar ulaşımda kullanılmak üzere sıvı yakıtlara dönüştürülebilirler. 1970'lerdeki petrol krizi özellikle ABD ve Brezilya'da bu teknolojiye önem verilmesine neden oldu, böylelikle yerel ekonomiyi canlandırmak dolar kaçışını önlemek ve ulaşımda petrol tekelini kırmak amaçlandı. Yüksek oktan değerlerinin önemi de bu dönemde keşfedildi.

Ancak, çöpsel atıkların sıvılaştırılması sonucu elde edilen yakıtların petrolle rekabet etmesi oldukça zor görünüyor, çünkü mevcut teknoloji temeli petrole bağımlı haldeyken bu sıvı yakıtların pastadan pay alması pek mümkün olmuyor. Avrupa'da ortaya atılan bitki yağları, hayvansal yağlar ve kısmen yeniden dönüştürülmüş yemeklik yağlardan oluşan bir ester olan biyodizel yakıt ve ABD'de kullanılan Fischer-Tropsch dizel yakıt, normal dizel yakıtla çok sınırlı oranda rekabet edebilmektedir. Dolayısıyla bu yakıtların direkt kullanımı yerine dizel yakıta katkı

yapacak ürünler olarak kullanımı emisyon azaltımı için hem ekonomik hem çevresel yarar sağlayabilir.

Gazolin ve kerosen gibi yakıtların yerine kullanılabilecek biyoyakıtlar da mevcuttur. Bunlara en iyi örnek etanoldür. Etanol bitkisel kökenli organik maddelerden sıvılaştırma yolu ile elde edilebilen bir alkoldür. Günümüz teknolojisinde gelişmiş ülkelerde etanol üretimi için en çok kullanılan madde mısırdır, gelişmekte olan ülkelerde ise şeker kamışı kullanılır. Günümüzde etanol, gazolin ve kerosenle ekonomik olarak rekabet edebilecek durumda değildir. Mısır orijinli etanol için bu rekabet gelecekte de pek mümkün gözükmemektedir, çünkü gelecek yıllarda artan talebi karşılayacak mısır üretimi, hayvan yemi olarak da kullanılan bu maddenin kullanımını ekonomik kılmayabilir. Bu nedenle alternatif maddeler üzerinde çalışmalar geliştirilmektedir. En yeni teknoloji mısır yerine lignoselilozik maddelerin hidrolizini içermektedir. Bu hidroliz birkaç adımdan oluşur. Birinci adım lignoselilozik maddelerin toplanması, ikinci adım selüloz ve hemiselüloz gibi polimerleri açığa çıkaracak bir ön işleme süreci, üçüncü adım sırasıyla şeker, glikoz, xylose'u serbest bırakacak seliloz ve hemiseliloz gibi biyokatalizörlerin üretimi, dördüncü adım etanolün içindeki şekerin fermantasyonu, beşinci adım distilasyon gibi bir etanol kurtarma işlemi, son adım da lignin ve diğer dönüştürülemeyen maddelerden kojenerasyonla güç üreterek atık yönetiminin sağlanması olarak sıralanabilir [23]. Bu yeni sistemle toplam verim % 70 seviyesine çıkarılırken gazolinle ekonomik olarak çekişebilecek etanol üretimi mümkün kılınabilir. Ancak, etanolün tek başına yakıt olarak kullanılmasındansa, yakıtlarda karbonmonoksit ve diğer zararlı emisyonlarını azaltacak bir katkı maddesi olarak kullanması daha akılcı bir çözümdür.

Diğer sıvılaştırma ürünleri metanol ve sıvı hidrojen olarak sıralanabilir. Metanol çok önemli bir endüstriyel kimyasaldır ve elli yıldır doğal gazdan geleneksel bir yöntemle üretilmektedir. Bu sistemde doğal gaz; hidrojen, karbonmonoksit ve karbondioksit karışımı olan singaz (syngas) üretimi için yeniden şekillendirilir. Oluşan singaz yüksek basınçta katalizörler yardımıyla metanole dönüştürülür. Kısaca sistemin adımları: buhar şekillendirilmesi, hidrojen-karbonmonoksit oranını 2:1 getirmek için su gazı ötelemesi, asit gazların uzaklaştırılması ve saflaştırma, basınç ve katalizörle metanol oluşumu olarak sıralanabilir [23]. Çöpsel atıklardan metanol üretme süreci hemen hemen aynı sistemi benimser, sadece doğal gaz yerine çöpsel atıktan elde edilmiş biyogaz kullanılır. Çöpsel atık orijinli metanol üretimindeki tek engel teknik imkansızlık değil ekonomik engeldir. Doğal gaz oldukça ucuzdur ancak biyogaz eldesi nispeten yüksek maliyetli bir süreçtir. Ancak, gelişen teknolojiyle birlikte yeni metotlar bulunması bu maliyeti azaltacaktır.

4.2.3 Biyoenerji sistemlerinin çevresel etkileri

Biyoenerji yenilenebilir bir enerji kaynağı olduğundan temiz enerji sınıfında değerlendirilebilir, güneş enerjisinin depolanmış bir formu olması nedeniyle temelinde bir güneş enerjisi formudur. Bitkilerin fotosentez esnasında atmosferden kaptığı karbondioksiti enerji üretimi sırasında atmosfere geri gönderdiği için çöpsel atıkların enerji üretiminde fosil kaynakların yerine kullanımı karbondioksitin ve diğer sera gazlarının atmosferdeki oranını azaltacak bir etki doğurur, çünkü ekstra bir salım söz konusu değildir. Ancak azotoksitler, kükürtdioksit emisyonu kullanılan biyoenerji kaynağına, dönüştürme sürecine ve ikame edilecek fosil yakıt türüne bağlı olduğundan, bu zararlı oksitlerin atmosferdeki oranının artıp azalacağına dair net bir şey söylemek mümkün değildir. Örneğin, odun kömüre oranla % 90 daha az sülfür içerir. Biyoenerji emisyonlarının azaltılması için fosil yakıtlarda kullanılan önleyici sistemler biyoenerji ünitelerine adapte edilebilir.

Odunun aşırı biçimde yakıt olarak kullanılması ormanların azalmasına ve erozyonun artmasına sebebiyet verir. Örneğin Himalayalar'da ve Haiti'de birçok ormanlık alan bu sebeple yok olmuştur.

Biyogazın yakılması halinde fosil yakıtlardaki gibi salımlar gerçekleşir ancak ek bir emisyon yoktur, ayrıca biyogazın toplanması patlama etkisini gidermesi ve ayrışma esnasında ortaya çıkan kötü kokunun bertarafı açısından oldukça önemlidir.

Etanol, gazoline oranla daha az karbonmonoksit içerirken en az gazolin kadar nitrojenoksit ihtiva eder ayrıca atmosfere alkol ve kanserojen aldehit salımı gerçekleştirmesi nedeniyle etanolün çevre dostu olduğu söylenemez.

Biyoenerji üretimi için özel enerji mahsulleri kullanmak bazı verimsiz toprakların değerlendirilmesi için oldukça önemlidir; böylelikle toprağın stabilizasyonu ve verimliliği artırılırken ayrıca erozyon için de ekstra bir önlem alınmış olur. Ekilen ürünler birçok kuş çeşidi için beslenme kaynağı olarak da kullanılır. Avrupada söğüt ve kavak bu nedenle tercih edilir. Ayrıca önümüzdeki yıllarda hızlı gelişen ağaç ve enerji mahsullerinin eldesiyle yenilenebilirlik süresinin kısaltılması da mümkün olacaktır.

Biyoenerji için özel ürünlerin yetiştirilmesinin olumsuz çevresel etkileri de vardır. Bu özel mahsullerin (dedicated energy crops) gelişmesi için kullanılan böcek ilacı ve gübre insan sağlığına zarar verir, su kalitesini düşürür, toprağı fosfatla tuzlandırır, yeraltı suyunu aşırı azotlandırır. Bunu önlemek için ürün tipi seçiminde dikkat edilmelidir. Kimi bölgelerde, biyoenerji mahsüllerinin üretiminde karşılaşılan bir

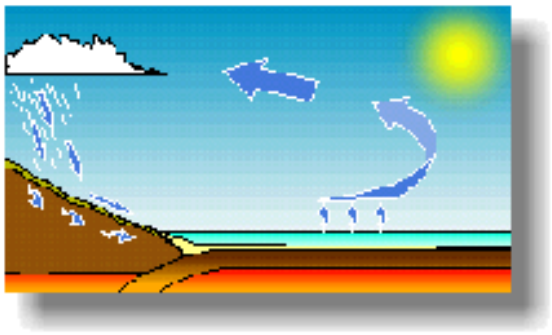
diğer sorun da sulamadır, bu da su kapasitesi yüksek olan okalüptüs ve benzeri bitkilerin tercihiyle aşılabilir.

4.2.4 Sonuç

Biyoenerji günümüzde en çok kullanılan yenilenebilir enerji formudur ve gelecek enerji açığına karşılayabilecek kapasiteye sahiptir. Yenilenebilir enerji formu olduğundan olumsuz çevresel etkileri fosil yakıtlara kıyasla oldukça azdır. Enerji mahsülleriyle özellikle Latin Amerika, Afrika, Asya, bir nebze Doğu Avrupa ve Kuzey Amerika'daki bir çok verimsiz alan biyoenerji üretimi için tahsis edilebilir. Böylelikle yeni kaynaklar değerlendirilirken ayrıca yeni iş alanları açılarak sosyal bir etki de sağlanmış olur. Ekonomik olarak sıfır yada negatif değere sahip olan biyoenerji kaynakları biyoenerjinin yaygınlaşmasıyla bir ekonomik değer haline gelirler ve en önemlisi etanol, metanol ve sıvı hidrojen petrolün yükünü azaltabilecek birer alternatif kaynak olarak değerlendirilebilirler. Modern çöplüklerin kurulmasıyla tehlike arzeden çöplük gazı kontrol altına alınırken, hem ekstra bir kaynak elde edilir hem yeşil alanlar kazanılabilir.

4.3 Hidroelektrik Enerji

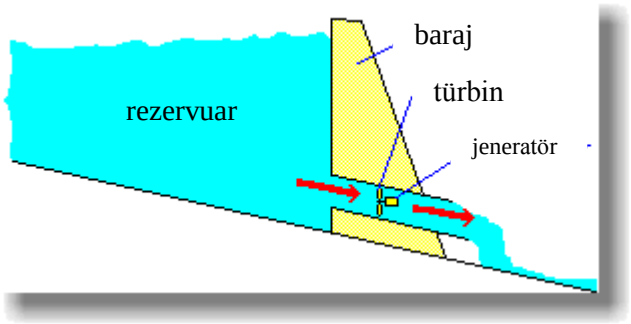
İsmini eski Yunanca'dan alan hidroelektrik enerji yenilenebilir enerji kaynakları arasında en popüler olanıdır. Dünyanın su çevrimine bakılacak olursa açık sulardan (nehir, dere, göl, akarsu, deniz, okyanus) buharlaşan su, bulutları oluşturur; oluşan bulutlar dünyaya tekrar yağmur bırakır, yağan yağmur suları yeraltı suyu akışı ve yüzeysel akışa geçerek tekrar açık su bölgelerini besler (Şekil 4.5). Dolayısıyla, hidroelektrik enerji yenilenebilir enerji kaynağı olarak değerlendirilir.



Şekil 4.5: Su çevrimi [84]

Sudan elektrik enerjisi üretmek için akarsular ve okyanuslar üzerinde (gelgit barajları) enerji üretim tesisleri inşaa etmek gerekir. Bu enerji üretim tesislerinin en

yaygın olanı biriktirmeli hidroelektrik santralleridir. Biriktirmeli hidroelektrik santral; akarsu akışının kesilerek suyun büyük rezervuarlarda toplanması, burada elde edilen potansiyel enerjinin suyun türbinlere hareketiyle kinetik enerjiye çevrilmesi, türbinlerin dönmesiyle hareket eden jeneratör yardımıyla bu kinetik enerjinin elektrik enerjisine çevrilmesi işlemlerinin gerçekleştirildiği yapı olarak tanımlanabilir (Şekil 4.6). Dünya üzerindeki ilk hidroelektrik tesis, 1882'de Amerika'da Fox Nehri'nde inşaa edilen barajdır.



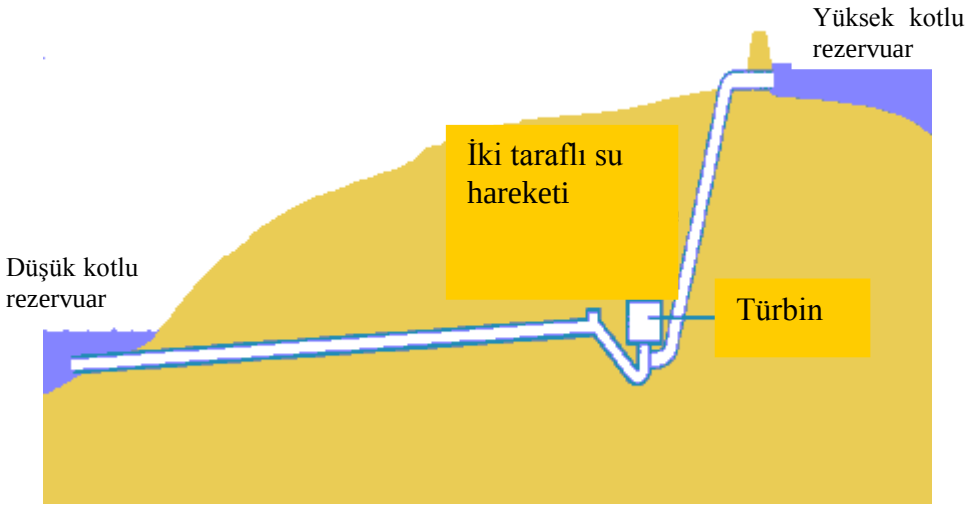
Şekil 4.6: Baraj kesiti [84]

Sudan elde edilecek güç, birim zamanda yerdeğiştiren su miktarı (debi) ve düşü yüksekliği ile doğru orantılıdır. Bu noktada türbin tiplerinden bahsetmekte yarar vardır. Genel anlamda üç tip türbin kullanılmaktadır: Pelton Türbini su tekerleği olarak tanımlanır ve düşü yüksekliği 15-2000 metre arası yapılarda kullanılabilirken 200 MW'a kadar güç üretilebilir. Francis Türbini radyal hareketin eksenel harekete dönüştüğü türbinlerdir. 3-700 metre arasında düşü yüksekliklerinde kullanılan bu türbinlerle 800 MW'a kadar güç üretilebilir. Propeller (uskurlu) tipi türbinler de 10 ila 300 feet (3 m.ile 100 m) arasında düşülerde kullanılır 100 MW'a kadar güç üretilebilir, geliştirilmiş propellerlarda (Kaplan) güç 400 MW'a kadar çıkabilir.

Bir diğer hidroelektrik güç üretim tesisi nehir akışına dayalı baraj ve rezervuar gerektirmeyen nehir tipi yapılardır Bu yapılar küçük güç üretim tesisleri olarak değerlendirilir (small hydropower). Hidrolik güç yapılarının boyutlandırılmasında çeşitli kıstaslar vardır, ancak Amerika Enerji Bakanlığı küçük güç üretim tesislerini 100 kW ile 30 MW arasında güç üreten tesisler olarak tanımlarken, 100 kW'dan düşük kapasiteli tesisler mikro türbinler olarak adlandırılır. 30 MW'dan büyük kapasiteli tesisler büyük güç üretim tesisleridir [26]. Nehir tipi güç üretim tesislerinin başlıca elemanları bağlama, su alma kanalı, pompa, türbin, jeneratör ve nehre geri su verme kanalı olarak özetlenebilir. Bu elemanlarla düşük düşü değerleri de enerjiye çevrilebilir, böylelikle birçok su kaynağı da değerlendirilmiş olur, özellikle şebeke

bağlantısının teknik ve ekonomik olarak uygun olmadığı kırsal alanlarda elektrik sağlanması açısında küçük güç üretim tesisleri oldukça yararlıdır. Nehir tipi güç üretim tesislerinin tüm dünyada potansiyelinin ancak % 5'i değerlendirilebilmektedir, bu oranın artması için bu tesislere yatırım teşvik edilmeli, yeni teknoloji uygulamaları üzerinde çalışılmalıdır [27].

Güç (enerji) üretim sistemlerinde, pompajlı tesisler (pumped storage) oldukça önemli yapılardır. Pompalama elemanına şebekeden ters akım verilerek düşük rezervuardaki su yüksek rezervura pompalanır, bu işlem özellikle gece kullanımın az olduğu zamanlarda gerçekleşir (Şekil 4.7). Böylelikle enerji depolanmış olur ve pik kullanım gerektiren ani durumlarda bu su salınarak kısa sürede pik talep karşılanabilir. Bir termik santralin devreye girmesi saatler alırken bir hidrolik santral 10-15 saniyede devreye girerek özellikle şebekeye aşırı yüklenmenin olduğu durumlarda oldukça faydalı olurlar. Kuzey Galler'deki Dinorwig Pompa Tesisi dünyada türünün en iyisidir ve 12 saniyede 600 m düşüden 1320 MW güç üretip şebekeyi besleyebilmektedir



Şekil 4.7: Pompajlı tesisler [84]

Halen dünya elektrik üretiminin % 20'si hidrolik enerjiden sağlanmaktadır [4]. Diğer yenilenebilir kaynaklar değer kazanırken ülkeler hidroelektrik kapasitelerini dolduracak ve 'Pasific Gas and Electricity Company' tahminlerine göre gelecekte hidrolik enerjinin pastadaki payı azalacaktır. Avrupa ve Amerika tüm hidrolik potansiyelini kullanırken; Asya, Latin Amerika, Afrika gelişmekte, gelişen ülkeler elektrik üretiminin % 65'ini sudan sağlamaktadır. Tüm dünyada 150'den fazla ülkede su gücü kullanılmaktadır. 63 ülke elektrik enerjisinin % 50'sini, 23 ülke % 90'ını sudan karşılarken; Norveç, Bhutan ve Uruguay tüm ticari elektriğini sudan elde etmektedir [1]. Berkeley Üniversitesi araştırmasına göre dünyadaki teorik su

gücü kapasitesi yıllık 40.000 TWh dır. Teknik yapılabilirlik bakımından bu değer 14.000 TWh'e düşerken bu değerin ekonomik yapılabilirlik olarak karşılığı 7.000 TWh civarındadır.

Su gücünün fosil yakıtlara göre üstünlükleri: pik talebe çabuk ve etkili cevap vermesi, bölgesel kaynak olması, işletme maliyetlerinin düşüklüğü, toplam maliyeti en düşük ve dış kaynak kullanımı en az olan güç yapısı olarak değerlendirilmesi, fosil yakıt verimleri % 50 civarındayken % 90 verim sağlaması; 0,7 sent/kWh ekonomik değeriyle fosil yakıt ve nükleer enerjinin üçte biri, doğal gazın altıda biri değerinde olması; güvenilir olması, temiz enerji kaynağı olması, tesis ömrünün diğer yapılara kıyasla iki kat fazla olması; sulama, taşkın kontrolü, nehir taşıması, sayfiye alanı gibi değişik çeşitli amaçlarla kullanılma avantajı bulunması olarak sıralanabilir. Ancak nihai ürün elektrik olduğundan taşımacılıkta kullanılamaz ve depolanamaz.

Büyük hidroelektrik enerji üretim tesislerinin ciddi çevresel etkileri de bulunmaktadır. Barajın inşaa edileceği çevrede yaşayan insanlar zorunlu göç ile karşı karşıya kalırlar, kimi zaman tarihi eserler, tarım alanları, doğal madenler su altında kalabilir. Akarsu rejimi değiştiği için mansapta sulama suyu azalabilir, rezervuar dibinde biriken su soğuk ve oksijen fakiri olması dolayısıyla mansaba salındığında balıklara zarar verebilir. Düşüm esnasında akan su havadan nitrojen kapar ve bu madde balıkları zehirler, taşkın durumunda ani su salımlarında, mansapta canlı hayatı tehlikeye girer, taşkının önlenmesi ise doğal taşkınla toprağın üstünü kaplayacak verimli silt tabakasını oluşumunu önleyeceğinden doğal dengeyi bozabilir. Erozyon gerçekleşir, okyanusa gidecek genç balıkların mansaba, üremeye gidecek yaşlı balıkların membaya geçisi baraj tarafından engellenir, türbin pervanelerine çarpan canlılar telef olur. Yerel iklim değişikliği meydana gelir ve tarım etkilenebilir. İnşaa sırasında zararlı emisyonlar gerçekleşir. Rezervuarda biriken aşırı bitkileşme metan salımına neden olur. Baraj yıkımı büyük felaketlere sebebiyet verebilir.

Görüldüğü gibi büyük barajlar büyük çevresel sorunları beraberinde getirmektedir. Barajlara karşı çevre örgütleri uluslararası kuruluşların baraj projelerine kredi vermesini engellemeye çalışmaktadır. Özellikle balık hayatının tehlikeye atılması ciddi bir sorundur. Bu sorunlar yeni türbin, baraj, jeneratör ve dağıtım hattı teknolojilerinin geliştirilmesiyle sınırlanabilir, toplumsal desteğinde bir şekilde sağlanması gerekmektedir. Birçok ülke hidrolik potansiyelini doldurduğundan önümüzdeki yıllarda gelişme küçük su ünitelerinde olacaktır. Bu ünitelere ilginin artması özellikle kırsal alanların enerji ihtiyacını sağlamada büyük adımlar atılmasına yol açacaktır.

4.4 Güneş Enerjisi

4.4.1 Giriş

Güneş enerjisi kızıl ötesi, ultraviole, görünebilen gün ışığı gibi geniş bir yelpazeyle tanımlanabilen elektromanyetik dalgalar halinde yayılır. Dünyadan yüz elli milyon kilometre uzakta olan güneşten atmosferimizin dış yüzeyine ulaşan radyasyonun 28-% 35'i uzay boşluğuna geri yansıtılır; % 18'i atmosfer tarafından absorbe edilir. Kalan güneş enerjisi her türlü ihtiyacımızı karşılayabilecek enerjiyi taşımasına rağmen, uygun dönüştürme metotlarının icat edilememesi sebebiyle tam olarak değerlendirilememektedir.

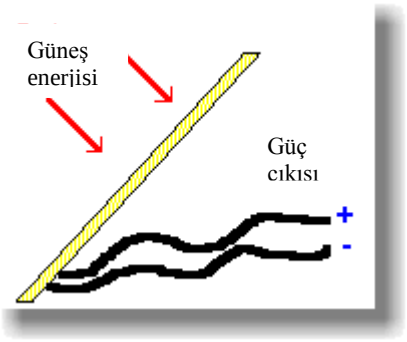
Güneş enerjisinin küçük çapta uygulamaları hesap makineleri ve saatlerde karşımıza çıkar, büyük çapta uygulamalara en iyi örnek çatı üstü su ısıtma sistemleri olarak gösterilebilir.

Güneş enerjisi, değişik toplama (konsantre) sistemleri (CSP) ve güneş kolektörü (PV) yardımıyla elektrik enerjisine çevrilirken, aynı zamanda iklimlendirme (solar heating&cooling), ışıklandırma (solar lighting) ve sıcak su temini (water heating) gibi alanlarda da güneş ışığından yararlanılabilir.

4.4.2 Güneş kolektörü (Photovoltaics)

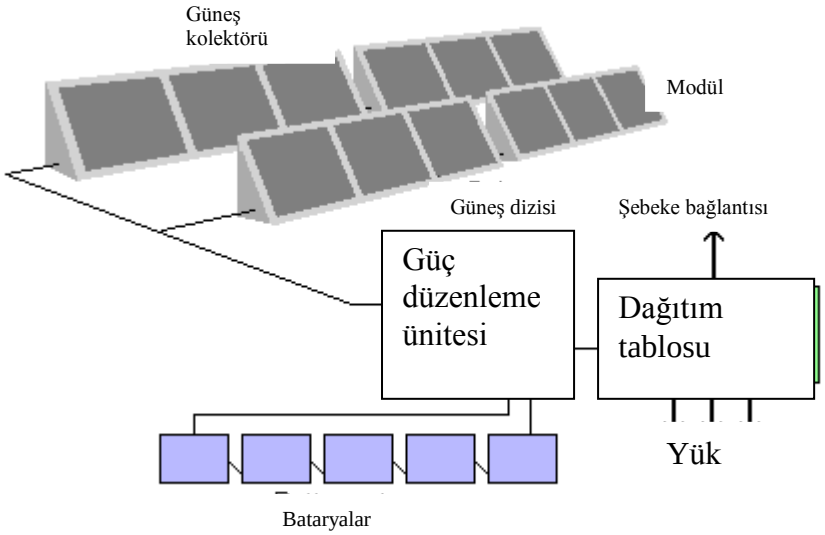
Photo, Yunanca'da ışık anlamına gelir, Volt ise bu öğeyi geliştiren Alessandro Volta'nın isminden alınmıştır. Dolayısıyla 'photovoltaic' yani güneş kolektörü gün ışığından elektrik üretimini sağlayan objeler olarak tanımlanabilir.

Ekvatorda öğlen vakti uygun açıyla bir metrekareye düşen gün ışığı yaklaşık 1 kW güce tekabül etmektedir. Dolayısıyla bir metrekarelik bir güneş kolektörü 10 W'lık bir basit ampül için gerekli gücü sağlayabilir.



Şekil 4.8: Güneş enerjisi etkisiyle voltaj oluşumu [84]

Güneş kolektörü, bilgisayar çipleri yada otomobil sinyal lambalarında kullanılanlara benzer yarı iletken maddelerden müteşekkildir. Yarı iletken maddeler elektronlarına zayıf bağlı oldukları için güneş enerjisini absorbe edince serbest kalırlar ve pozitif yüklü alt plaka ile negatif yüklü alt plakadan oluşan güneş kolektörleri boyunca bir voltaj oluştururlar (Şekil 4.8). Oluşan akım doğru akım formundadır ve istendiği takdirde aynı volt ve frekansta alternatif akıma çevrilebilirler. Bu hücreler seri bağlanarak daha yüksek voltaj, paralel bağlanarak daha yüksek akım değerleri elde edilebilir. Bir güneş kolektörünün üretebileceği güç sınırlıdır, uygulama çapına göre güneş kolektörleri birleşerek güneş modüllerini, güneş modülleri birleşerek güneş dizilerini oluşturlar, Güneş dizileri bataryalarla takviye edilerek güneş sistemleri meydana gelir (Şekil 4.9).



Şekil 4.9: Güneş sistemleri [83]

Bir güneş kolektörünün verimi ve maliyeti kullanılan yarı iletkenin tipine bağlıdır. Genel olarak üç tip yarı iletken tanımlanabilir: Tek kristalli yarı iletkenler, çok kristalli ve amorfus gibi alt tiplere ayrılan silikonlu yarı iletkenler, polikristalli ince filmler ve gallium arsenit tipi tek kristalli ince filmler. Kristalize yarı iletkenler ticari platformda öncü yapılardır, üzerlerindeki pürüz ve kusurlar kimyasal ısıtma ve yüzeyin hidrojenle teması metotlarıyla ortadan kaldırıldığı için pahalı ancak verimli (% 15-30) yapılardır. İnce filmler ve amorfus silikon ise birkaç mikrometre kalınlığında yarı iletkenlerdir. Ucuz cam, plastik, paslanmaz çelik gibi aralıklarla kullanılan bu yarı iletkenler nispeten ucuz ancak daha düşük verimli (% 10) elemanlardır. Periyodik cetvelin üçüncü ve beşinci gruplarından oluşan direkt gün ışığı yada konsantre güneş enerjisini yüksek verimle çevirebilen gallium arsenit ve fosfor, alüminyum alaşımları yeni tip yarı iletken üretiminde kullanılmaktadır. Ayrıca gelişen teknolojide depolama verimini artırmak için akışkan güneş hücreleri

üzerinde çalışılmaktadır. Güneş enerjisinin her zerresini değerlendirmek amacıyla kademeli germanyum kullanan güneş kolektörleri tasarlanmaktadır. Bu hücrelerde en üst katman en yüksek enerji seviyesini yakalarken, diğer katmanlar düşük enerji seviyelerini yakalalar. Aynı zamanda maliyeti düşürebilmek için titanyumdioksit hücreleri ve polimer-plastik hücreler üzerinde çalışmalar sürmektedir.

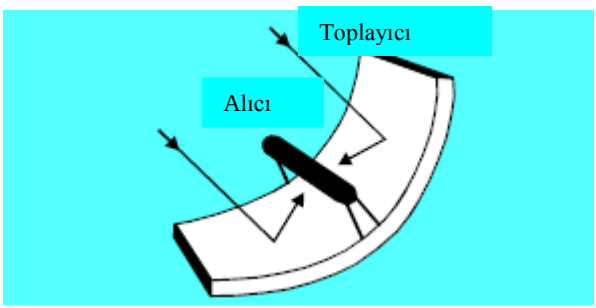
Günümüzde güneş kolektörleriyle elektrik üretmek için kWh başına 30 sent maliyetine katlanmak gerekmektedir, ABD Enerji Bakanlığı'nın tahminlerine göre bu rakamın 2010'da 10 sent, 2020'de 6 sent civarına, evsel güneş kolektörlerinde ise sırasıyla 18 ve 10 sent civarına düşmesi beklenmektedir.

Günümüzde ATM'lerde, trafik lambalarında; kablolu TV, telefon, navigasyon, internet, hava tahminleri için hayati önemi olan uydularda; bina çatı kaplamalarında güneş kolektörleri kullanılmaktadır. Özellikle elektrik hattının ulaşımının ekonomik olmadığı durumlarda güneş kolektörleri iyi birer alternatiftir.

4.4.3 Termal sistemler

Güneş enerjisini konsantre edebilmek için kullanılan üç tip teknoloji mevcuttur: parabolik çukur aynalar (Parabolic Solar Troughs), güç kuleleri (Power Towers) ve tabak/motor sistemleri (dish/engine systems). Bu sistemler termal bir çevre oluşturdukları gibi fosil yakıtlarla birleştirilerek ayrıca birtakım ilavelerle termal depolama üniteleri olarak da kullanılabilirler. Bu depolama güneş enerjisinin elde ediniminin mümkün olmadığı durumlarda öne çıkarken, karmalaştırmayla elde edilen elektriğin ekonomik değerini artırır. Henüz gerçekleştirilemese de büyük bir seranın ortasına yerleştirilen oldukça yüksek bir güneş kulesinin yükselen sıcak havayla çalışacak bir sisteme entegrasyonuyla çalışacak güneş kuleleri fikri ilgi toplamaya devam etmektedir.

4.4.3.1 Parabolik çukur aynalar



Şekil 4.10: Parabolik çukur ayna [28]

Parabolik çukur aynalar güneş ışığını, ısı transfer edici bir akışkan taşıyan termal yönden verimli alıcı tüpler üzerine toplayan yapılardır (Şekil 4.10). Isı transfer edici akışkan yaklaşık 390 °C'ye kadar ısıtılır ve seri ısı dönüştürücülerden geçirilerek geleneksel bir türbin jeneratörünü döndürecek süper ısıtılmış buhar eldesi sağlanır. Birçok çukur aynanın yanyana ve sıralar halinde sıralanmasıyla parabolik çukur ayna güneş sistemleri oluşturulur (Şekil 4.11). Genellikle 14-80 MW arası güç üretebilen bu yapıların en önemli örneği olarak Güney Kaliforniya Majove Çölü'ndeki toplam olarak 354 MW güç üreten 200.000 m²'yi kaplayan dokuz kombine sistem gösterilebilir. Güneş enerjisinin elde edilmesinin mümkün olmadığı zamanlarda da güç üretebilmek için bu sistemler genellikle % 25 oranında doğal gaz ile birleştirilirler.



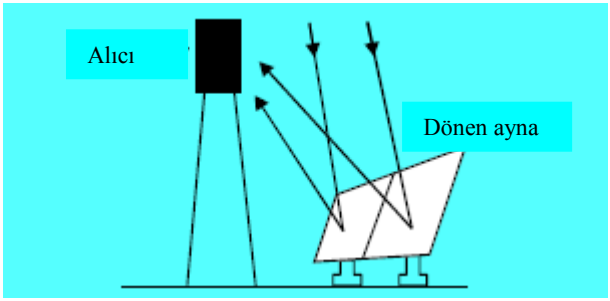
Şekil 4.11: Parabolik çukur ayna güneş sistemleri [85]

Parabolik çukur aynalar, günümüzde ticari platformda yer bulan ve yakın zamanda cazibesini artırması beklenen yapılardır. Bu sistemlerde 1 W güç üretebilmek için 4 Amerikan Doları gerekir, depolama imkanı kısıtlıdır, yıllık net verim % 10 civarında kalmaktadır. ABD Enerji Bakanlığı'nın tahminlerine göre parabolik çukur aynalar önümüzdeki yıllarda önemini artıracak ve 2030 yılında 1 W güç üretebilmek için 2,70 Amerikan Doları yeterli olacaktır.

4.4.3.2 Güç kuleleri

Güç kuleleri güneş ışığını bir yüksek kule üzerine yerleştirilmiş bir ana alıcıya odaklayan güneş ışığının geliş yönüne göre ayarlanabilen yansıtıcı aynalardan oluşur (Şekil 4.12). Güç kulelerinin ilk örnekleri 1 MW kapasiteli Sicilya Kulesi ve Fransa Pireneleri Kulesi'dir. Daha sonra Güney Kaliforniya'da, 'Solar One' isimli bir güç kulesi inşaa edilmiştir. Bu kulede su 3000 ºC'a kadar ısıtılarak buhar elde edilirken

kapasite 10 MW civarındaydı. Daha sonra geliştirilen 'Solar Two' Kulesinde eriyebilen tuz destekli bir ana toplayıcının sisteme entegresiyle güneş enerjisinin depolanması da sağlanmış oldu. Bu sistemle eriyebilen tuz yaklaşık 288 ºC değerinde soğuk bir tanktan pompalanmakta ve 565 ºC'ye kadar ısıtıldığı toplayıcıda döndürülmekte ve sıcak bir tanka geri dönmektedir. Bu sıcak tuz istenildiğinde enerji üretebilmek için 3-13 saat arası depolanabilir. Günümüzde güç kulelerinin kapasiteleri 30-200 MW arasında değişmektedir.



Şekil 4.12: Güneş güç kulesi [28]

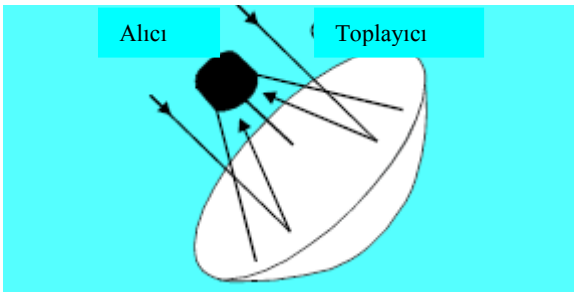
Güç kuleleri ABD dışında henüz yapılandırma aşamasındadır, depolamaya uygun olan bu yapılardan 1 W güç almak için 4-4,5 Amerikan Doları gereklidir. Yapılan hesaplamalarda yıllık net verim % 7 civarındadır. ABD Enerji Bakanlığı'na göre, 2030 yılında güç kulelerinden 1 W güç üretebilmek için 2,50 Amerikan Doları yeterli olacaktır.

4.4.3.3 Tabak/motor güneş sistemi

Yapı, güneş ışığını sistem civarına yerleştirilmiş bir ana toplayıcıya aktaran tabak biçiminde yapılandırılmış bir dizi parabolik aynadan meydana gelir (Şekil 4.13). Ana toplayıcıda 750 ºC'ye kadar ısıtılan akışkan, toplayıcıya monte edilmiş bir motor sisteminde güç üretmek için kullanılır. İki tip çevrim bu sistemlere tatbik edilebilir. Stirling Çevrimi'nde ısı motoru güneş enerjisini mekanik enerjiye çevirirken, Brayton Çevrimi'nde ana toplayıcı içerisinde poroz bir hava ortamı oluşturulur, güneş enerjisi ile genleşen hava bir gaz türbinini besler ve elektrik eldesi gerçekleşir.

% 30 verimine ulaşabilen bu sistemler özellikle kırsal alanlarda kilovat bazında gereksinimleri karşılamada kullanılabilir. 7-25 kW civarında güç üreten sistemler günümüzde MW boyutuna ulaşmayı başarmıştır (Şekil 4.14).

Yeni yeni teknolojik platforma giren yapılar olmaları nedeniyle maliyetleri yüksek kalmaktadır. 1 W güç üretebilmek için 12-13 Amerikan Doları maliyet gözükmektedir.



Şekil 4.13: Tabak/motor [28]

Depolama ve karma kullanıma yatkınlığı, yıllık net veriminin % 12 civarında olması ve modüler yapıları nedeniyle ön plana çıkarlar. ABD Enerji Bakanlığı'na göre bu yapılarda gelişme gözlenecek ve 1 W güç 1,30 Amerikan Dolarına üretilebilecek.



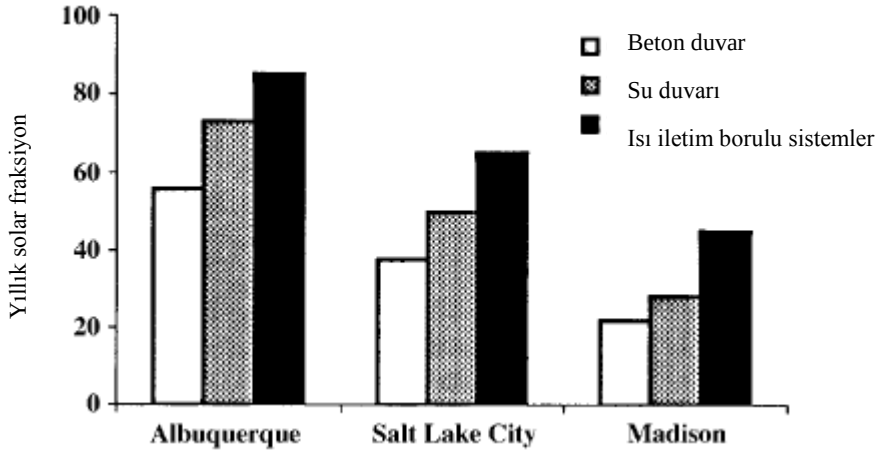
Şekil 4.14: Tabak/motor güneş sistemleri [85]

4.4.4 Pasif güneş sistemleri

Pasif güneş sistemlerinden binaların iş merkezlerinin, üniversitelerin ve diğer yapıların iklimlendirilmesi, ışıklandırılması, sıcak ve soğuk su temini, gibi konularda yararlanılabilir. Soğuk iklimlerde güneşin ısıtıcı özelliğinden yararlanılırken, sıcak iklimlerde aydınlatıcı ve soğutucu (klimalar) özelliği ön plana çıkar.

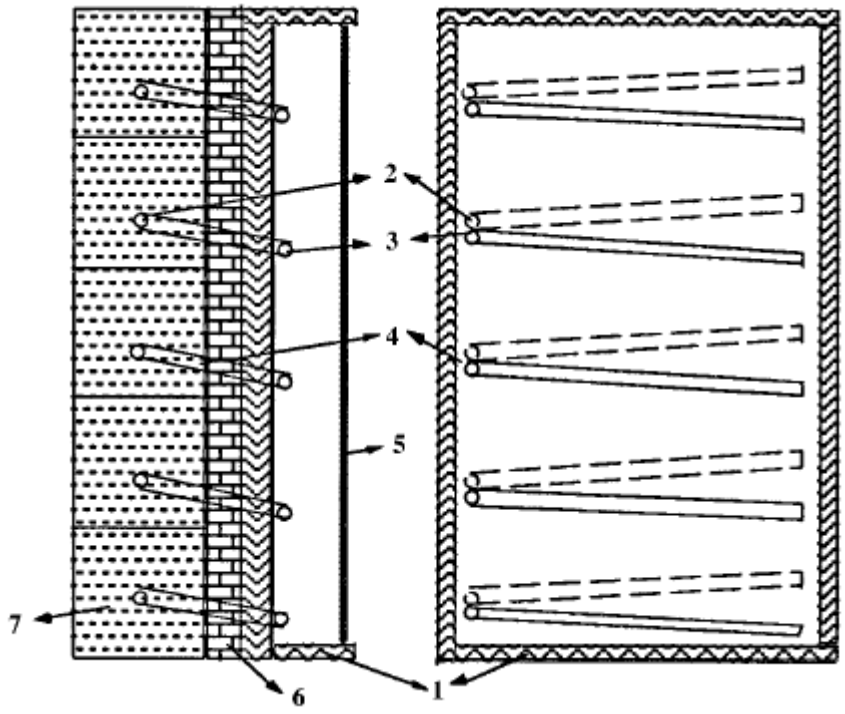
Pasif güneş sistemleri direkt ve dolaylı kazanç sistemleri olmak üzere ikiye ayırabiliriz. Direkt kazanç sisteminde ısıtılması arzulanan elemanlar direkt güneş ışığına maruz bırakılırlar. Bu yapılarda güneş enerjisi beton, yer kaplaması gibi yapılarda depolanır ve yavaşca ortama verilir. Bu yapılarda güneye bakan bina pencereleri büyük önem taşımaktadır. Dolayısıyla, kullanım alanı güney cephesine inşaa edilirken, kuzey cephe daha az kullanılan alanlara tahsis edilmelidir. Dolaylı kazanç sistemlerinde ara elemanlar güneş ışığına maruz kalır, ısıyı emer ve ısıtılacak birimlere bu enerjiyi iletirler. Bu ara transfer elemanlarından en önemlileri tamamen betondan oluşan Trombe Duvarı, su duvarı sistemi, çatı havuz sistemi, termosifon

sistemleri olarak sıralanabilir. Termosifon sistemleri haricindeki diğer bütün sistemlerin eksikliği ısı transferinin gerçekleştiği yol boyunca aşırı miktarda ısı kaybının oluşmasıdır. Bu noktada tek yönde ısı transferine müsaade eden aksi yönde iletimi engelleyen 'thermal diode' özelliğine sahip elemanlar önem kazanmaktadır. Bu elemanlar tek fazlı, çok fazlı yada gaz içerikli işletme akışkanlarıyla çalışırlar. Bu elemanlardan ısı iletim boruları; izotermal özellikleri, yüksek verimleri ve termal iletkenlikleri, hafif olmaları, işletme akışkanının dönüşümü için yardımcı bir güce ihtiyaç duymamaları, dizayn ve inşaa kolaylıkları ve 'thermal diode' etkileri nedeniyle ön plana çıkarlar. Bu ısı iletim boruları, buharlaştırma bölgesinden aldıkları işletme akışkanlarını yoğunlaştırma bölgesine ulaştırarak ısı iletimini sağlarlar. Eğer yeterli güneş etkisi mevcut değilse işletme sıvısı buharlaştırma bölgesinde kalarak ısının çevreye kaybını engeller. Yapılan çalışmalarda panel ısıtma sistemleri ve Trombe Duvarı gibi geleneksel yapılara kıyasla, ısı iletim borularıyla donatılmış sistemlerin daha verimli olduğu gözlenmektedir (Şekil 4. 15). Bu noktada ısı iletim elamanlarıyla pekiştirilmiş sistemleri biraz daha yakından incelemekte fayda vardır;



Şekil 4.15: Çeşitli pasif güneş sistemlerinin mukayesesi [29]

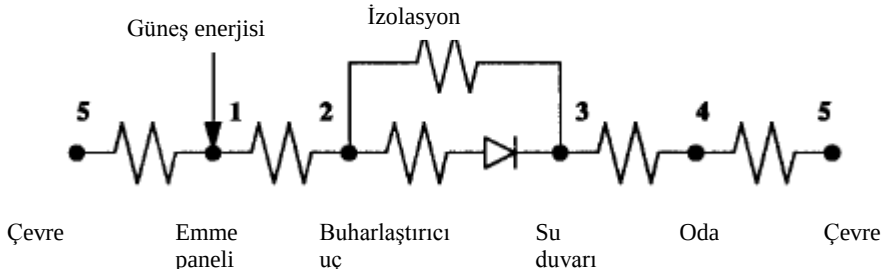
Isı iletim elemanlarıyla donatılmış pasif ısıtma sistemleriyle ilgili ilk ciddi çalışma 1979 yılında Corliss ve çalışma ekibiyle başlamıştır. Bu ekip, değişik maddelerden yapılmış ısı iletim boruları, çeşitli işletme sıvıları ve değişik konfigürasyonlarla yaptıkları çalışmalar sonucunda, her biri siyah kaplanmış, altı adet münferit emme paneli, bunlara monte edilmiş ısı iletim boruları, altı adet bağımsız su toplama tankı ve emme panelleri ile su toplama tankı arasına yerleştirilen izolasyon ünitesinden oluşan bir kafes sistemle sonuca ulaşmışlardır. Aynı zamanda iletim boruları yataydan 5º açıyla döşenerek işletme sıvısının yoğunlaştırma bölgesinden buharlaştırma bölgesine ulaştırılmasında yerçekiminden yararlanılması sağlanmıştır.



Şekil 4.16: Susheela-Sharp pasif güneş enerji sistemi [29]

Daha sonraki yıllarda bu sisteme yapılan ilaveler gelişme gösterse de, sistemin tek eksikliği olan, yalnızca yeni binalara uygulanabilirliği ve eski binalara uygulanması halinde bazı duvarların yıkılması gerekliliği 2001 yılında Susheela ve Sharp tarafından geliştirilen sistemle ortadan kaldırılmıştır. Bu sistem Şekil 4.16'da kesitsel ve güney bakış açısıyla şematize edilmiştir. Burada yapıyı bazı bölümlere ayırmak sistemin çalışma esasını daha iyi kavramakta yarar sağlayabilir. Sistemin en önemli bölümü olan toplayıcı, alüminyum bir çerçeve içine yerleştirilmiş, tek cam monte edilmiş 2,04 m² ve 0,318 cm kalınlığında siyaha boyanmış emici alüminyum plakadan oluşmaktadır. Bu plaka içindeki kanallar iletim borularının tam olarak yerleştirilmesi için uygun biçimde şekillendirilmiş olup, iletim boruları bu kanallara yüksek iletkenlikteki epoksi ile tutturulmuştur. İletim boruları 2,54 cm iç çaplı ve 0,318 cm kalınlıklı bakırdan oluşmaktadır. İletim borularının bir ucu buharlaştırıcı, bir ucu yoğunlaştırıcı olarak adlandırılır; özellikle buharlaştırıcı uç 0,041 cm çapında paslanmaz çelik ağından oluşan bir fitil ile desteklenmiştir. Burada amaç buharlaştırıcı ucun tüm iç yüzeyinin bu fitil vasıtasıyla oluşan kapiler etkiler sayesinde tamamen işletme sıvısıyla temasının sağlanmasıdır. Corliss sisteminde olduğu gibi iletim boruları yataydan 5º açıyla döşenmektedir. Aynı zamanda toplayıcı kısım, yan ve arka kısımdan ısı kaybının önlenmesi için izole edilmiştir Toplayıcı kısım deneysel amaçla yapılmış bir binanın güneye bakan duvarına monte edilmiş, su tankları aynı duvarın iç kısmına taşıyıcı bir kafes sistemle tutturulmuştur. İletim borularının yoğunlaştırıcı ucu su tankları içinde kalırken, buharlaştırıcı ucu

toplayıcı kısımda kalmaktadır. Bu iki uç deneysel yapıda rijit bakır ile birleştirilirken, ticari sistemlerde bu birleşim elemanının daha esnek bir malzemeden yapılması tavsiye edilmektedir. Bu birleşim giriş duvarında her bir iletim borusu için ufak bir delik açılarak sağlanmaktadır. Bu metot sayesinde mevcut bir duvar kaldırılmadan sistem yapıya monte edilebilmektedir. İşletme akışkanı olarak Dupont SUVA-124 (chlorotetrafluoroethane) kullanılmıştır. Sistemin çalışması şöyle gerçekleşmektedir; Güneş enerjisi emici panel tarafından yakalanarak iletim boruları içindeki işletme sıvısına ulaştırılır, buharlaştırma ucunda buharlaşan akışkan yoğunlaştırıcı uca ulaştığında ısısını su tankına ileterek yoğunlaştıktan sonra yerçekimi ve buharlaştırıcı uçtaki kapiler etkiler sayesinde buharlaştırma bölgesine geri döner. İletim borularının izotermal ve yüksek iletkenlik özellikleri sayesinde sıcaklık kaybı minimal düzeyde kalarak ısı iletilir ve ısı oda içerisine ısının konveksiyonel özelliği sayesinde dağılır. Gündüz zaman aralığında güneşin etkisinin yüksek olması nedeniyle depolanan enerji, gece zaman aralığında odanın iklimlendirilmesi için kullanılır. Diğer geleneksel sistemlerdeki, gece veya bulutlu zamanlarda ısı kaybını önlemek için ısı toplayıcı camların izolasyonu gibi fazla masraf gerektiren uygulamalara bu sistemde gerek kalmamaktadır, çünkü iletim borularının tek yönde ısı transferine müsaade etmesinin bir sonucu olarak işletme akışkanı gece yada bulutlu havalarda buharlaştırıcı kısımda kalarak, yoğunlaştırıcı uçla iletişimi minimal düzeye indirir. Sistemin işletilmesi için geliştirilen bütün programlar, Corliss ve ekibinin geliştirdiği SNAPS programından türemiştir, bu nedenle bu programı ve dayandığı temel ilkeleri belirtmek yararlı olur. Bu programda sistem birbiriyle bağlantılı belirli bir ağırlığı ve ısısı olan, enerji depolayabilen ve dışarıdan güneş enerjisini alabilen noktalara ayrılmıştır (Şekil 4.17). Temel prensip iki nokta arasındaki ısı akımının noktaların sıcaklık farkına bir transfer katsayısı boyunca lineer bağımlı olmasıdır. Böylelikle bütün noktaların sıcaklıkları, noktalar arasındaki ısı transfer miktarı, depolanan enerjideki değişim miktarı hesaplanabilir. Ticari bir sürümde kullanıcı tarafından belirlenen bir sıcaklığın üzerine çıkıldığında uzaklaştırılacak ısı miktarı belirlenerek oda arzu edilen sıcaklığa çekilebilir.



Şekil 4.17: SNAPS program elemanları [29]

Sistemin verimini incelemek için Şekil 4.17 daha detaylı incelenecek olursa; Isı öncelikle 1. bölgeden 2. bölgeye aktarılacak. Burada ısı kaybının bekleneceği bölüm emme paneliyle iletim borularının birleştiği epoksi ek olarak gözlenebilir. Dolayısıyla bu eke özen gösterilmelidir, ayrıca iletim borularının iletkenliğinin beklenen düzeyden az olması emme panelinde daha yüksek sıcaklıklara neden olurken su tankı ve oda sıcaklığında beklenen değerlerin altı gözlenebilir. İletkenliğin artırılması için optimal işletme akışkan miktarı çok iyi ayarlanmalıdır. Bu miktar için akışkan doldurma oranı olarak adlandırılan boyutsuz bir büyüklük tanımlanmıştır. Bu büyüklük işletme akışkanının hacminin buharlaştırıcı kısmın hacmine oranı olarak belirtilir ve özellikle yüksek güneş aktivitelerinde problem yaşamamak için fazla akışkan yüklenimi de tavsiye edilir. Daha sonra ısı 2. bölümden 3. bölüme aktarılacak; burada kritik bölge buharlaştıcı uç ile yoğunlaştıcı uç arasındaki bakır yada esnek ek olarak tanımlanabilir, ayrıca 4. bölgeden 5. bölgeye ve benzer olarak 1. bölgeden 5. bölgeye geçişte de ısı kaybı oluşur. Dolayısıyla sistem yapılandırılırken bütün bunlar göz önüne alınmalıdır. Ayrıca daha seçici bir emme paneli ve yüksek performanslı cam seçimi genelde % 40-60 arasında değişen toplama yapısı verimlerini artırabilir. % 60-80 arasında değişen iletim borusu verimini artırabilmek için yukarıda açıklanan önlemlere ek olarak yoğunlaştırıcı bölümdeki ısı yayılım alanını genişletmek, buharlaştırıcı uçtaki kapiler etkileri artırmak ve emme paneli ve su tankı arasındaki iletim borularına ek izolasyonlar yapılabilir.

Soğutma işlemi ise zorlanmış havalandırma (forced-ventilation) adı verilen bir sistemle gerçekleştirilir. Bu sistemde sıcak hava bir baca yardımıyla dışarı atılır ve soğuk havayla yer değiştirir.

Özellikle iş merkezleri ve eğitim kurumlarının gün içinde ışıklandırılması da güneş enerjisi ile ışıklandırma metoduyla sağlanabilir.

Sıcak su temini ise bir cam panel arkasına yerleştirilen boruların güneş enerjisini iyi izole edilmiş bir toplama tankına ulaştırmasıyla gerçekleştirilir.

4.4.5 Güneş enerjisinin çevresel ve ekonomik etkileri

Güneş enerjisinin bir çok üstünlüğü mecuttur. Öncelikle elektrik üretimi için kullanılan enerji güneşten temin edildiği için yakıt parası ödemek söz konusu değildir. Güç üretimi sırasında hiçbir emisyon gerçekleşmediğinden çevre dostu olarak adlandırılabilir. Modüler yapıları kullanımlarını kolaylaştırırken, güvenilir olmaları, bakım gerektirmemeleri, sessiz çalışmaları diğer olumlu özellikleridir. Yeni bir sektör olması dolayısıyla yeni iş alanlarının açılması ve yeni ürünlerin icadı

ekonomik yönden olumlu kakılar sağlamaktadır, yerel bir ürün olması da gözardı edilmemesi gereken bir unsurdur.

Güneş'ten güç üretiminin eksiklikleri de mevcuttur. Yarı iletken maddelerin pahalılığı nedeniyle ekonomik olarak fosil yakıtların çok gerisinde kalmaktadırlar, enerjinin depolanma imkanı kısıtlı olduğundan ulaşımda kullanılamamaktadır. Gece ve bulutlu havalarda üretim gerçekleşemediği için kapasite faktörü oldukça düşüktür. Güneş-güç ünitelerinin inşaasında kullanılan kadmiyum, selenyum gibi tehlikeli maddelerin bu güç ünitelerinin çalışma ömrü sonrası imhası sırasında çevresel bir sorun oluşturması muhtemeldir.

Bütün bu üstünlük ve eksiklikler çerçevesinde güneş enerjisinin, özellikle ekonomik güç üretiminin mümkün olmadığı kırsal alanlar (break-even cost & distance) için çok iyi bir alternatif olduğu açıkça gözlenmektedir.

4.5 Rüzgar Enerjisi

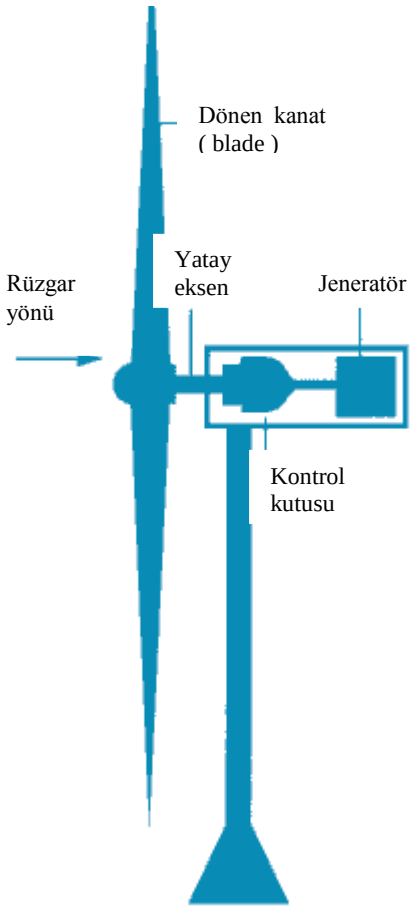
Rüzgar orijin itibariyle güneş kaynaklıdır. Güneş dünyamızı homojen olarak ısıtamaz, bu değişken hareket kimi bölgelerdeki havanın ısınmasına, basınç ve sıcaklık farkları oluşmasına sebebiyet verir. Isınan hava yükselirken yeri soğuk hava ile doldurulur, bu doldurma sırasında hissettiğimiz hava akımı rüzgar olarak tanımlanır.

Rüzgarın hızından kaynaklanan kinetik enerji, mekanik ve jeneratörler yardımıyla elektrik enerjisine çevrilebilir. İnsanoğlu binlerce yıldır rüzgar enerjisinden çeşitli alanlarda faydalanmaktadır: Yelkenli gemiler, yel değirmenleri, sulama için pompalama, tahıl öğütme bu alanlardan sadece birkaçıdır. 4000 yıl önce İran, Hindistan, Çin rüzgarın mekanik gücünden faydalanmaya başlamıştır, zamanla ABD, Avusturalya ve Birleşik Krallıkta irili ufaklı tahıl öğütümü ve su pompalamak için milyonlarca yel değirmeni inşaa edilmiştir. Endüstrileşme sürecinde fosil yakıtların etkisiyle önemini azaltan rüzgar enerjisi enerji krizinin baş göstermesiyle yeniden gündeme gelmiş ve kısa sürede enerji sektöründe en hızla gelişen enerji türü olmayı başarmıştır. Günümüzde ABD ve Avrupa ülkeleri bu gücü elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Kaliforniya'daki büyük rüzgar çiftlikleri bunun en güzel örneğidir.

Rüzgardaki kinetik enerjiyi elektrik enerjisine çevirebilmek için rüzgar türbinleri kullanılır. Yaygın olarak kullanılan iki tip rüzgar türbini vardır: Yatay eksenli rüzgar türbinleri, düşey eksenli rüzgar türbinleri.

4.5.1 Yatay eksenli rüzgar türbinleri

En yaygın olarak kullanılan sistemlerdir. Uçak pervanesinde olduğu gibi yatay bir şaft üzerine dönen türbin kanatları (blade) yerleştirilir, bir dişli kutusu yardımıyla dönen türbin kanatlarının dönme harereketi jeneratöre aktarılır ve böylece elektrik enerjisi elde edilir (Şekil 4.18). Rüzgarın yönü değiştiği için sistem rüzgarı karşılayacak biçimde döndürülebilir. Türbin elemanları açılı yerleştirilir ki elemanın önü ve arkası arasında bir basınç farkı oluşşun, böylece kanatların yanal dönme hareketi de sağlanmış olur. Gelişmiş sistemlerde verimi maksimize edebilmek için elemanların açısını da ayarlamak mümkündür. Ayrıca şebekeye bağlantı durumunda, dönme hareketi, şebekeyi besleyen diğer elemanlarla senkronize olacak biçimde ayarlanarak alternatif akım üretilebilir. Kanat sayısı iki en fazla üç adet olmalıdır, kanatlar etrafında türbülans oluşumu diğer kanadı etkileyeceği için daha fazla sayıda pervane sorun yaratmaktadır. Pervanelerin çapı enerji üretimi için önemli bir göstergedir. Daha büyük pervane çapı daha büyük miktarda enerji üretileceği anlamına gelir.



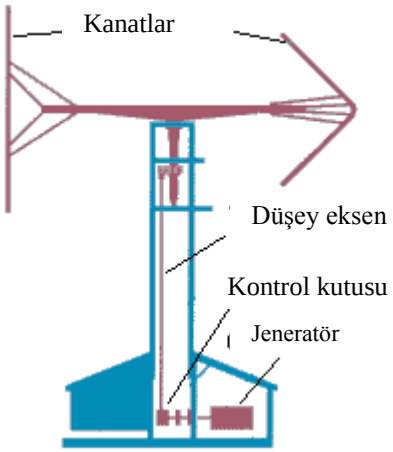
Şekil 4.18: Yatay eksenli rüzgar türbini [83]

Rüzgar türbininin yerden yüksekliği de önemli bir göstergedir, rüzgar yükseklerde daha etkili estiği için artan yükseklik artan enerji miktarına karşılık gelir. Ancak çok yüksek kuleler ve çok büyük pervane çapları mekanik problemler yaratmakta dolayısıyla 300-700 kW arasında güç üreten orta ölçekli yapılardan oluşan 10-20 adet türbinin güçlerini birleştirdiği rüzgar çiftlikleri oluşturmak daha tercih edilen bir metottur.

Rüzgar türbinlerinde elde edilen enerji rüzgar çiftliğinin büyüklüğü ve rüzgar hızının üçüncü dereceden kuvveti ile doğru orantılıdır. Olayı örneklerle açıklamak gerekirse: 7,16 m/s hızıyla esen rüzgardan enerji kWh başına 4,8 sente elde edilirken, hızın 8,08'e çıkması 3,6 sent, 9,32'ye çıkması 2,6 sent maliyet gerektirir. 3 MW kapasiteli bir rüzgar çitliğinden kWh başına 5,9 sentle elektrik elde edilirken bu değer 51 MW gücündeki bir tesis için 3,6 senttir [1].

4.5.2 Düşey eksenli rüzgar türbinleri

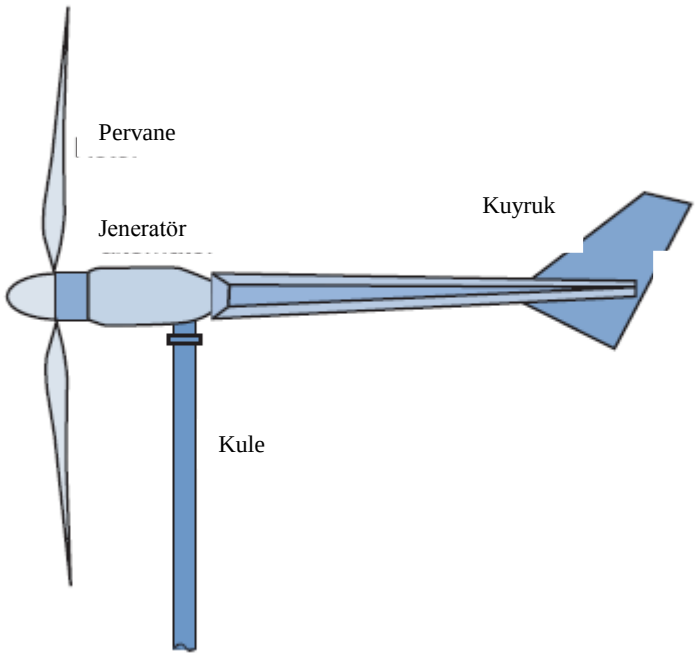
Bu sistemde şaft düşey bir şekilde yerleştirilir. Bu şaftın üzerine iki adet yatay eksenel kol, bu kolların ucuna düşey kanatlar yerleştirilir (Şekil 4.19). Bu elemanlar, sert rüzgarlara karşı ayarlama yapabilmek için V şeklini alabilirler. Bu sistemin üstünlüğü, ağır jeneratör ve dişli kutusu yere yerleştirildiği için yatay eksenli sistemlerdeki aşırı stres birikimi önlenir. Ayrıca bu sistemlerle her yönden gelen rüzgar yakalanabilir.



Şekil 4.19: Düşey eksenli rüzgar türbini [83]

4.5.3 Küçük rüzgar türbinleri

Küçük rüzgar türbinleri özellikle şebeke ulaşımının mümkün olmadığı kırsal alanlar için çok iyi bir alternatif sistem olarak görülebilir. Genellikle vat seviyesinden 100 kW düzeyine kadar olan sistemler küçük rüzgar türbinleri olarak değerlendirilir. Yapılan araştırmalar bir evdeki enerji tüketimin % 14'ünün su ısıtma, % 44'ünün iklimlendirme, % 33'ünün ışıklandırma ve pişirme, % 9'unun da buzdolabı faaliyeti için harcandığını göstermektedir [30]. İklimlendirmenin payının büyüklüğü göz önünde bulundurulursa, küçük rüzgar türbinleri fiyat avantajı sağlayan yapılar olarak öne çıkarlar.

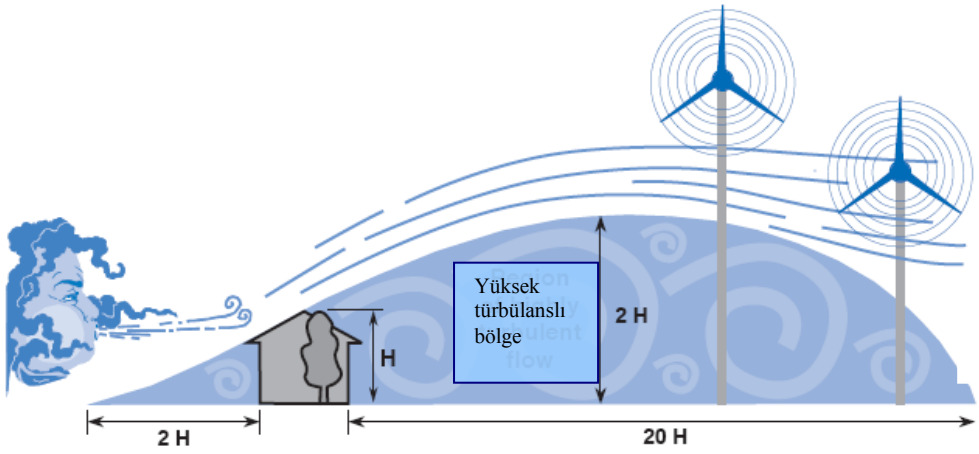


Şekil 4.20: Küçük rüzgar türbini [30]

Küçük bir rüzgar türbini, bir pervane, bir kule, kuyruk, jeneratör ve diğer yardımcı elemanlardan oluşur (Şekil 4.20). Pervane çapı büyük çaplı sistemlerde olduğu gibi önemlidir ve genellikle fiberglas gibi kompozit malzemelerden üretilir. Kulenin boyu da iyi ayarlanmalıdır. Zira yeryüzünden belirli bir yükseklikte hava çevre yapılar, ağaç ve tepeler nedeniyle türbülanslı bir yapıdadır dolayısıyla sistem bu yükseklikten üste çıkarılmalıdır (Şekil 4.21). Kuyruk ise sistemi rüzgar yönüne çevirmeye yarar. Kuleler genellikle bağlantı elemanlarıyla tespit edilirken, kendini destekleyen ve fırtına gibi durumlarda korunmak amacıyla yatırılabilen kuleler mevcuttur.

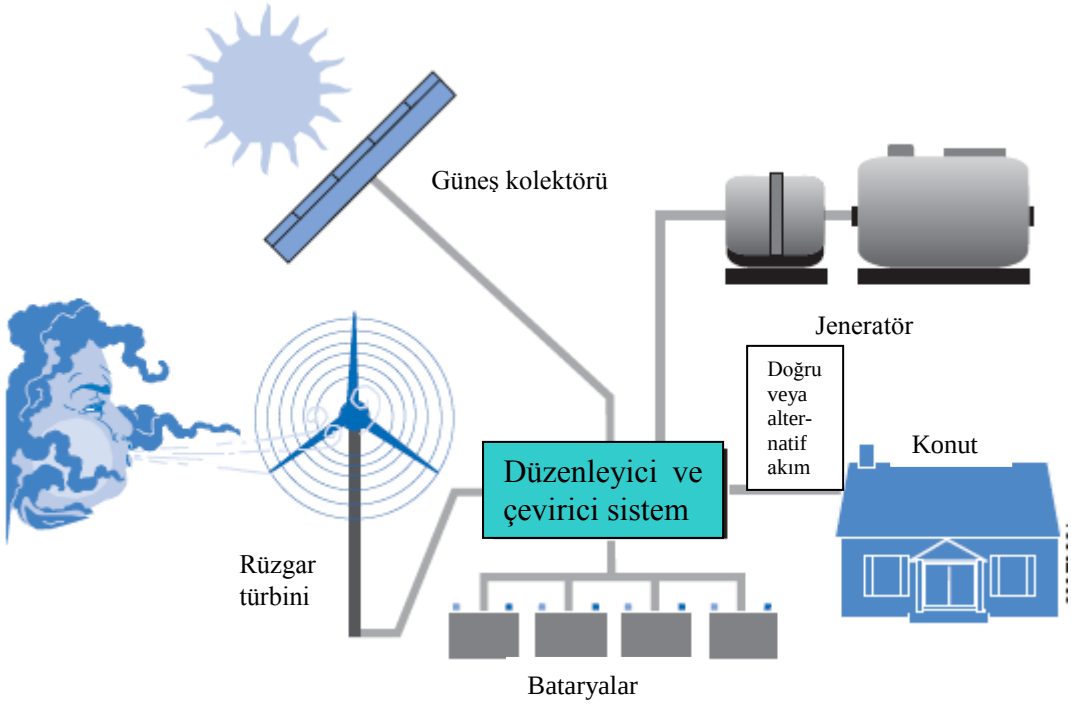
Küçük rüzgar sistemleri şebekeye bağlanabilir, böylece rüzgar esmeyen durumlarda şebekeden güç çekilirken, fazla üretimde şebekeye satılabilir.

ABD Rüzgar Enerji Birliği'ne (AWEA) göre 10 kW'lık bir rüzgar tesisi 32.000 dolara mal olurken, aynı güçteki bir güneş kolektörü 80.000 dolara mal olmaktadır.



Şekil 4.21: Küçük rüzgar türbinlerinin verimine yerden yüksekliğin etkisi [30]

4.5.4 Karma sistemler



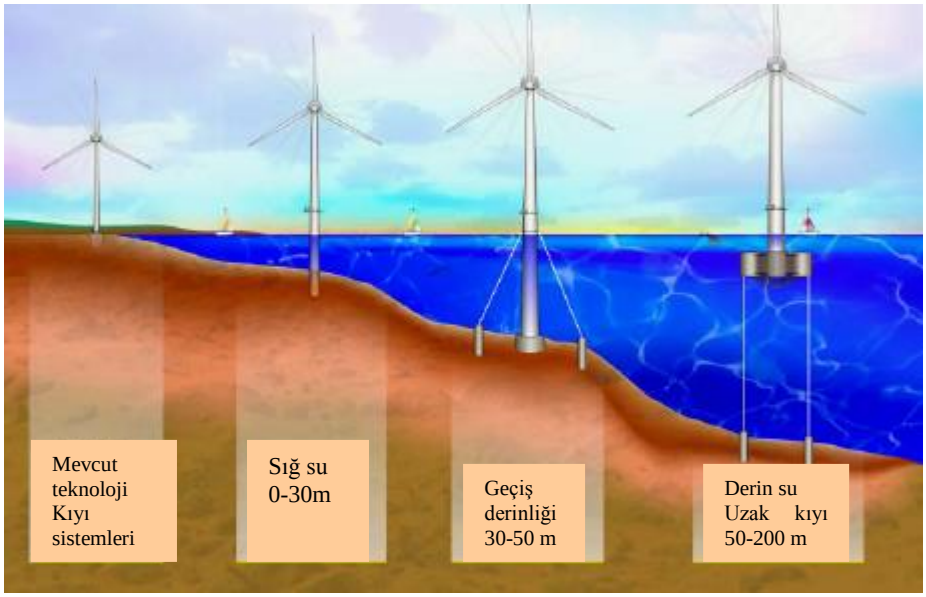
Şekil 4.22: Karma enerji üretim sistemleri [30]

Rüzgarın değişken yapısı kapasite faktörünü % 15-22 civarına indirmektedir. Yıllık verim % 40 civarında kalmaktadır. Özellikle yazın rüzgar miktarı ve hızı azalmakta dolayısıyla sistemlerin verimi de azalmaktadır. Bu eksikliği giderebilmek için özellikle ABD'de ortaya atılan karma yapılar büyük ilgi çekmektedir. Bir rüzgar

enerji sistemine, nikel-hidrojen yada vanadium-redox tipi batarya ilavesiyle enerji depolaması sağlanırken, güneş kolektörlerinin montajıyla da özellikle yaz aylarındaki düzensizlik önlenebilir. Ayrıca dizel motorların eklenmesiyle sistem tamamen şebekeden bağımsız hale getirilebilir (Şekil 4.22). Rüzgar enerjisinden elektroliz yardımı ile hidrojen eldesi de sağlanabilir. 1 kg hidrojen yaklaşık bir galon gazoline eşittir ve rüzgar teknolojisiyle bir kilogram hidrojen 1,50-2,25 Amerikan Dolarına mal edilebilir, bu değer oldukça makul bir fiyattır.

4.5.5 Kıyı ve uzak kıyı sistemleri

Rüzgar tesisleri geniş araziler üzerine inşaa edildikleri için genellikle ekonomik değeri düşük kırsal alanlar tercih edilir. Ancak görüntü kirliliğine neden oldukları da bir gerçektir. Özellikle Hollanda ve Danimarka küçük ülkeler olmaları nedeniyle karadan uzak, deniz üzerindeki rüzgar yapılarına yönelmektedir. İngiltere ve İsveç gibi ülkelerde ise toprak korunumu ulusal politika olduğu için bu yapıların deniz kıyısında tesisi tercih edilmektedir.



Şekil 4.23: Kıyı ve uzak kıyı rüzgar türbinlerinde inşaat zorlukları [31]

Kıyı yapıların geleneksel yapılara göre üstünlüğü mevcuttur. Kumsal civarında rüzgar daha üniform, türbülanstan uzak ve kalitelidir. Görüntü kirliliği önlenir, merkeze yakın olduğu için şebeke bağlantısı daha az masraf gerektirir. Ancak bu yapıların eksiklikleri de mevcuttur. Zira, denizde inşaat zordur. Su derinliği okyanus kıyısı ülkelerde 30 metre civarınadır ve bu derinlikte inşaat problemlidir. (Şekil 4.23). Günümüzdeki kıyı yapıları genellikle 5-12 metre derinlikte inşaa edilmektedir. Fakat teknoloji daha büyük derinliklerde inşaa için mümkün olabilecek sistemler

üzerinde çalışmaktadır. Ayrıca korozyon ve su altında kablo donanımının zorluğu bir başka önemli etmendir.

Dalga enerjisindeki gelişmelerle ileride dalga enerji çiftlikleriyle entegre edilmiş kıyı rüzgar enerji sistemleri ütopik bir fikir olmaktan çıkacaktır.

4.5.6 Rüzgar enerjisinin ekonomisi ve çevresel etkileri

Rüzgar enerji türbinleri yerel, zararlı emisyon salgılamayan, yakıt maliyeti olmayan, kısa sürede yatırım maliyetini karşılayan yapılardır. Modüler yapıları nedeniyle kolayca inşaa edilebilirler, geliştirilebilirler, herhangi bir arıza yada bakım halinde bir rüzgar çiftliğinde diğer güç üniteleri üretime davam edebildiği için üretim bu nedenle aksamaz, kapasite artırımı için yeni üniteler kolayca ilave edilebilir. Ancak, rüzgar enerjisinin yegane eksikliği aralıklı esme özelliğidir. Zira rüzgar esmediği zaman sistem enerji sağlayamamakta bu da üretimde aksaklığa sebebiyet vermektedir. Gün geçtikçe depolama sistemleri geliştirilmekte ve karma sistemler bu eksikliği bertaraf edebilmek için iyi bir yol olarak gözükmektedir.

Bunun yanında rüzgar sistemleri görüntü bozukluğuna sebebiyet vermektedir, ancak kuruldukları alan üzerinde tarım faaliyeti devam ettirilebilir. Yüksek frekansta bir ses yayımı rüzgar çitliklerinin bir diğer sorunudur. Günümüz teknolojisi daha aerodinamik ve az ses çıkaran yapılar üzerinde çalışmaktadır. Rüzgar çiftlikleri radar, TV ve radyo yayınlarını da etkilemektedir, ancak bunun önüne geçmek mümkündür. Göç eden kuşlar için bu türbinler tehlike yaratmaktadır, ancak Hollanda'da yapılan bir araştırma bu yolla ölen kuşların sayısının trafik ve yüksek gerilim tellerinde yok olan kuş sayısına göre oldukça az olduğu tespit edilmiştir [1].

Rüzgardan elektrik üretmenin maliyetinde belirleyici parametre yıllık enerji miktarıdır. Bu miktarı etkileyen başlıca birimler, türbülans yoğunluğu, ortalama rüzgar hızı, istatiksel rüzgar hız dağılımı, rüzgar yönünün dağılımı, çevre alanın coğrafyası olarak sıralanabilir. Bunların içinde en önemlisi şüphesiz rüzgar hızıdır.

Kaliforniya Enerji Komisyonu 1996 yılında enerji kaynakları arasındaki maliyet durumunu belirten bir açıklama yayınladı. Bu açıklamaya göre kilovat saat başına kömürden elektrik üretimi için gerekli maliyet (levelized cost: 30 yıllık bir proje ömrü boyunca gereken tüm maliyetlerin aynı zaman diliminde üretilen enerji miktarına oranı) 4,8-5,5 sent arasında değişirken bu değer sırasıyla doğal gaz için 3,9-4,4 sent, hidrolik enerji için 5,1-11,3 sent, biyoenerji metodlarıyla 5,8-11,6 sent, nükleer enerjide 11,1-14,5 sent arasında kalırken; rüzgar için bu değer 3,3-5,3 sent

arasında değişmektedir. Bu değerlere çevresel faktörler ilave edilmemiştir. (Kömür için 3-6 sent, doğal gaz için 0,5-2 sent çevresel maliyet öngörülmektedir)

1996 yılından bu yana özellikle doğal gaz fiyatlarında büyük bir artış gözlendi, bunun yanında rüzgar enerjisinden elektrik maliyeti giderek azalmaya devam etmektedir ve tahminlere göre yakın zamanda 2,5 sent civarında bir değer kWh için katlanılması gereken maliyet olacaktır.

4.6 Okyanus Enerjisi

Okyanuslar dünya yüzeyinin % 70'inden fazlasını kaplamaktadırlar ve birçok sektör için önemli birer kaynak oluşturmaktadırlar. Okyanuslar ıslak çöller olarak adlandırılan doğal güneş termal enerji depoları olmaları ayrıca gel-git ve dalgalardaki kinetik enerjinin yüksek bir elektriksel değeri olması nedeniyle enerji sektörü için de el değmemiş önemli birer değer olarak durmaktadırlar.

Okyanuslarda enerji iki formda bulunur: güneşin ısıtma özelliğinden kaynaklanan depolanmış güneş termal enerjisi, sırasıyla rüzgar ve ayın yerçekimi etkisiyle oluşan dalga ve gelgitlerdeki mekanik enerji.

Okyanuslarda bir günde kullanılabilecek termal enerjinin 245 milyar varil petrol değerinde olduğu düşünülürse, bu enerji formları elektrik enerjisine çevrilerek atıl bir kaynak değerlendirilebilir.

4.6.1 Dalga enerjisi

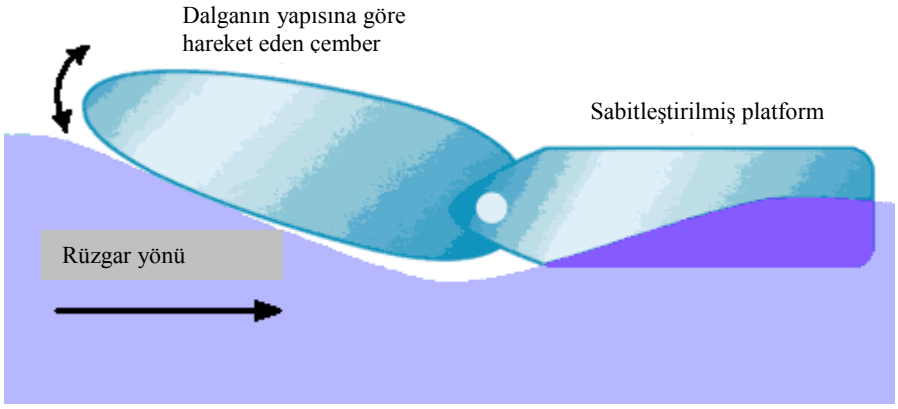
Dalgalar rüzgarın okyanus yüzeyiyle temas ederek enerjisinin bir kısmını suya aktarmasıyla oluşur. Rüzgarlar güneş orijinli oldukları için, dalgaların kaynağı da güneş enerjisi olarak gösterilebilir.

İyi nitelikle bir okyanus dalgasından verimli yakalama ve enerji çıkartma metotları uygulanırsa 50 kW güç elde edilebilir. Dünyadaki dalgaların enerji eşdeğeri 2-3 milyon megavat arasındadır, iyi dalga alan bir kumsalda 1 mil mesafeden yaklaşık 65 MW güç elde edilebilir.

Her ne kadar dalga enerjisi günümüze kadar değerlendirilememişse de, bilim adamları yaklaşık 200 yıldır bu konuda çalışmalarını devam ettirmektedir. Ancak endüstrileşme devriyle birlikte bu konuda çalışmalar durağan bir döneme girmiş, 1973 dünya enerji kriziyle yeniden gündeme gelmiştir.

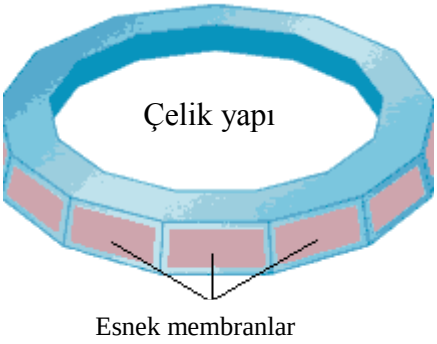
Dalgadaki mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirebilmek için üç ana sistem üzerinde çalışılmaktadır: yüzen sistemler (floats or pitching devices), salınım yapan su sütunu (oscillating water column), kanal toplama sistemleri (wave surge or focusing devices) [32].

Yüzen sistemlere en iyi örnek Stephan Salter tarafından dizayn edilen ve Edinburg ve Coventry Üniversitelerinden oluşan çalışma ekibi tarafından geliştirilen 'Ördek' (Duck) isimli yüzen güç üretim sistemidir. Bu sistem arkasından sabit bir platforma monte edilmiş, dalga etkisiyle aşağı yukarı hareket ederek su üzerinde kalabilen basık silindir biçimindedir (Şekil 4.24). Dalganın salınım hareketi bu sistemle dönme hareketine çevrilir ve bu dönme bir hidrolik akışkanı basınç altında bir türbine göndererek elektrik enerjisi üretilebilir. Sistemin verimi çok üst düzeydedir, ancak dalgaların derin sularda etkili olduğu düşünülürse okyanus alanındaki inşaat zorluğu, korozif etkiler, güç kablolarının deniz altı aplikasyonunun güçlüğü ve kullanılan inşaat elemanlarının maliyeti sistemin başlıca eksikliklerindendir. Nitekim İngilterede denenen 'Ospery' isimli yüzen eleman ve Norveç'te denenen benzer elemanlar kısa sürede batarak başarısız olmuştur.



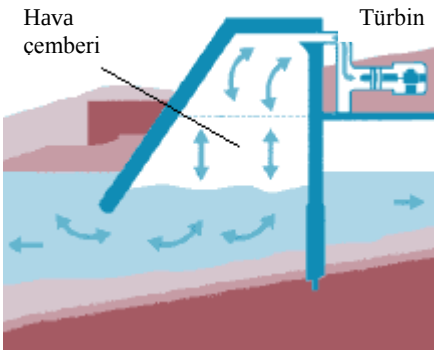
Şekil 4.24: Ördek tipi dalga çevrim santrali [83]

Gelecek vaad eden yüzen dalga sistemi Coventry Üniversitesi'nde dizayn edilen Deniz Midyesi (Sea Clam) olarak adlandırılır. Bu sistem 60 metre çapında, suya bakan yüzeyleri esnek membranlardan oluşan 12 ufak odacıktan müteşekkil bir güç üretim sistemidir (Şekil 4.25). Bu sistemde esnek membranlara temas eden dalgalar odacıktaki havayı sıkıştırıp genişleterek güç üretmeyi hedeflemektedir. Bu şekilde 1 MW'lık bir dalga çevrim sistemi inşaa edilebilir. 'Ocean Power Delivery' isimli bir şirket de yakın zamanda yüzen sistemlerle dalga güç üretim sistemlerini ticari platforma sunmayı planlamaktadır.



Şekil 4.25: Deniz Midyesi dalga çevrim santrali [83]

Salınım yapan su sütunu sistemi özellikle kıyılardaki dalgaları kullanma amacı gütmektedir ve günümüzde üzerinde çalışılan yegane çevrim sistemidir. Her ne kadar kıyı dalgaları kumsala gelene dek enerjisinin büyük bir kısmını yitirse de, derin sulardaki olumsuz etkiler nedeniyle kıyı dalgaları daha çok talep görmektedir. İnşaat maliyeti düşük, bakımları daha kolaydır ayrıca iyi bölgeler tespit edilirse kıyı dalgalarıda iyi birer enerji kaynağı olarak görülebilir. Salınım yapan su sistemleri 1976 yılında Belfast Kraliçe Üniversitesi çalışma ekibi tarafından geliştirilmiş ve bu sistemlere 'Wells' ismi verilmiştir. Kıyı şeridine inşaa edilen bu sistemlerdeki temel prensip kapalı bir çembere hapsedilen havanın salınım yapan su sütunu etkisiyle emme ve pompalama işlevini gerçekleştirmesi ve bir türbini hareket ettirerek elektrik enerjisi eldesi üzerine kurulmuştur (Şekil 4.26). Bu sistemlerle dalga enerjisi pünomatik güce çevrilir; elde edilen güç dönme hızı ve pervane alanıyla doğru orantılıdır ancak bu değerlerin de belli limitleri vardır.



Şekil 4.26: Salınım yapan su sütunlu dalga çevrim santrali [83]

Salınım yapan su sütunu sistemlerinin verimini artırabilmek için kullanılacak türbin tipi üzerinde uzun çalışmalar yapılmış ve birçok fikir ortaya atılmıştır: tek kanatlı sabit kılavuz pervaneli türbinler (monoplane turbine with fixed guide vanes), her yöne salınım yapan tek kanatlı türbinler (monoplane turbine with swinging or

variable-pitching blades), çift kanatlı ters yöne de dönebilen türbinler (biplaneturbine with counterrotating rotors). Bu sistemlerin tamamında pik verimin artırılması hedeflenirken, her yöne salınım yapan sistemlerde akımın da düzenlenmesi hedeflenmiştir. Sonuç olarak her yöne salınım yapan sistemlerde pik verim düşük bir düzeyde kalmıştır, sabit kılavuzlu sistemlerde duraksama problemi gözlenmiştir. En iyi verim ters yöne de dönebilen çift kanatlı türbinlerle elde edilmiş, bu türbin tipiyle pervanenin daha üniform hareketi de sağlanmştır ancak bu sistemlerde de dönen pervane alanının toplam türbin alanına oranının (solidity) mümkün olan en düşük değerde olması gereği gözlenmiştir [33].

Wells Türbinleri'nin başarılı uygulamaları 180 kW'lık İskoçya Islay Adası Dalga Türbini, 500 kW'lık Portuquese Azores Dalga Türbini olarak sıralanabilir. Ayrıca, Norveç, Japonya ve Hindistan'da benzer uygulamalar mevcuttur. Wavegon isimli bir şirket Greenpeace ile işbirliği yaparak Islay adasında 'Limpet' ismini verdikleri 500 kW gücünde bir tesis inşaa edip ada enerji ihtiyacını karşılamayı hedeflemektedir.

Kanal toplama sistemleri ise huni biçiminde bir yapıyla dalgaları bir rezervuarda toparlayıp geleneksel hidrolik yöntemlerle elektrik eldesi prensibi üzerine geliştirilmiştir.

Dalga enerjisinin potansiyeli iştah kabartıcı düzeydedir, temiz bir enerji kaynağı oluşu, zararlı emisyon salgılamaması, yerel enerji kaynağı oluşu olumlu özelliklerdir; ancak derin bölgelerde inşaat zorluğu, deniz altı kablolarının tesisi ve iletimi, fırtına ve paslanma gibi etkilere dayanma sorunu, derin bölgelerdeki muhtemel inşaatın gemi ulaşımını etkileme durumu bu enerji tipinin deneysel platformdan gerçek hayata geçişini zorlaştırmaktadır. Bu sektördeki teknoloji gelişme sürecinde olduğu için henüz dalga enerjisinden ekonomik olarak elektrik üretebilmek mümkün değildir.

4.6.2 Okyanus termal enerjisi (OTEC)

Okyanuslar dev güneş enerjisi depoları olarak değerlendirilebilirler. Her gün okyanuslar tarafından emilen termal enerjinin eşdeğeri 245 milyar varil petroldür. En basit şekilde okyanus katmanları arasındaki sıcaklık farkının kullanılarak elektrik enerjisi elde edilmesi olarak özetlenen OTEC için bilim adamları yüzlerce yıldır uğraşmaktadır. 1881 yılında Fransız bilim adamı Jacques d'Arsonval, kapalı devre bir ısı makinesiyle sıcaklık farkından elektrik elde etmeyi denemiştir. Bu alanda ilk deneysel çalışma 1928 yılında Fransız Georges Claude tarafından fırın soğutma suyu ile nehir suyu arasındaki sıcaklık farkının değerlendirilmesiyle yapılmış; aynı bilim adamı bu kez 1930 yılında Küba'nın Matanzas Körfezi'nde 1 ºC'lik bir sıcaklık

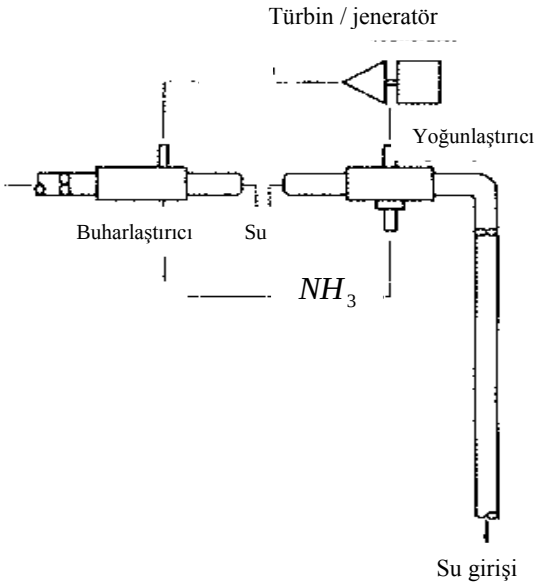
farkından açık bir çevrimle 22 kW güç üretmeyi başarmış ancak elde edilen bu güç soğuk su pompasını çalıştırmak için kullanıldığından net enerji üretimi sıfır olmuştur. Bu başarısız denemeden sonra Fransızlar Fildişi Sahili'nde bir çalışma gerçekleştirmiş ancak tesis etrafında taze ve atık suların karışması verimi azaltmıştır. Aynı ekip 1958 yılında Antil Adaları'nda yürüttükleri çalışmada bu kez mevsimsel farklardan kaynaklanan verim değişimi problemiyle karşılaşmıştır. 1960 yılında Amerikan Anderson'lar bu fikri yeniden ortaya atmış ve yaptıkları çalışmalar sonunda OTEC tesislerinde balık üretiminin enerji üretiminden 2 ila 20 kat daha verimli olduğu sonucuna varmışlardır [2]. En son olarak 1992 Haziranında Ulusal Bilim Vakfı, Ulusal Okyanus ve Atmosfer Birliği, Atlantik, Körfez ve Pasifik bölgelerindeki bilim adamları ve ülkeleri 'Mavi Program' (Project Blue Revolution) çatısı altında birleşerek OTEC sistemini yeniden gündeme getirmişlerdir [34]

Güneş ısısı deniz yüzeyi tarafından yutularak konveksiyon prensibiyle dağılır, güneşin etkisi okyanus yüzeyinin 100-150 metre altında kaybolur, bu nokta dirsek noktası olarak adlandırılır. Dirsek noktası yaz aylarında 150 metre civarında, kış aylarında 100 metre civarında oluşur. Denizin 700 metre ve daha altında deniz suyu sıcaklığı sabit ve +4 °C'dir. Deniz yüzeyinden başlayarak 100 metreye kadar sıcaklık +4 °C den fazladır ve büyük bir değişiklik göstermez. Özellikle tropikal ve astropikal bölgelerde denizin üst katmanında yıl boyunca sıcaklık 25-27 °C civarındadır. Dolayısıyla, iki katman arasındaki sıcaklık farkı 20 °C civarındadır ki bu farkın enerji eşdeğeri 7,5 x 100^{23} jul gibi müthiş bir enerjiye tekabül etmektedir [2].

Görüldüğü üzere sıcak deniz yüzeyinin 100 metrelik bir ısı kaynağı, soğuk su katmanın ise bir ısı havzası olarak değerlendirildiği bir termal sistemde depolanan güneş enerjisi bu katmanlar arasına yerleştirilen ısı çeviricilerle elektrik ve mekanik enerjiye çevrilebilir. Çevrim sistemleri dört başlık altında toplanabilir: kapalı çevrim sistemleri, açık çevrim sistemleri, karma sistemler ve kaldırma/köpük devresi.

Kapalı devre (Rankine) sistemlerinde denizin ısı kaynağı olarak değerlendirilen üst katmanlarındaki sıcak su, çalışma sıvısının buharlaştırılmasında kullanılır; elde edilen buhar yüksek basınçla türbinden geçer ve basıncını kaybederek yoğunlaştırma odasına geçer. Yoğunlaştırma odasında düşük basınçlı buhar, deniz ısı havzası olarak değerlendirilen alt katmanlardan gelen soğuk suyla yoğunlaştırılır ve sistemi tekrar beslemesi için bir pompa yardımıyla buharlaştırıcıya geri gönderilir, türbine bağlı jeneratör ise elektrik üretir (Şekil 4.27). Bu sistemlerde çalışma sıvısı olarak kaynama noktası düşük, termal iletkenliği yüksek, ısı kapasitesi büyük, buharlaşma sıcaklığı yüksek amonyak, propan, Freon R-12/31 gibi akışkanlar tercih edilir [2]. Bu özelliklerin hepsine sahip olması ve ek olarak parlama seviyesinin orta derecede,

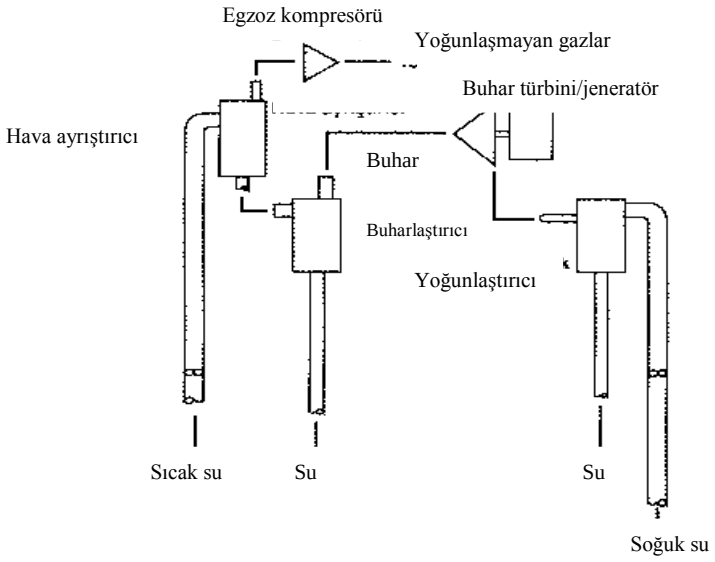
suda çözünebilirliliğinin yüksek, dış çevreye etkisinin az derecede olması ve kolay bulunabilme özelliğine sahip olması nedeniyle genellikle kullanılan sıvı amonyaktır.



Şekil 4.27: Kapalı devre OTEC santrali [2]

Açık devrelerde denizin sıcak suyu çalıştırma sıvısı olarak kullanılır. Sıcak su bir vakum sistemi yardımıyla havadan arındırılır ve kısmi buharlaşma gerçekleştirmek üzere buharlaştırıcıya iletilir, elde edilen buhar türbinden geçirilerek mekanik enerji, jeneratörden geçirilerek elektrik enerjisi elde edilir. Türbinden çıkan düşük basınçlı buhar iki tip yoğunlaştırıcı kullanılarak yoğunlaştırılabilir. Doğrudan kontak yoğunlaştırıcı sisteminde, denizin alt katmanlarından gelen soğuk su kullanılır ve elde edilen karışım denize geri gönderilir. Bir yüzey yoğunlaştırıcısı kullanılırsa tuzsuz kullanma suyu elde edilebilir (Şekil 4.28).

Karma devreler ise açık ve kapalı devrelerin birleştirilmesi sonucu elde edilir. Bu sistemde açık devrede elde edilen buhar kapalı devre sisteminde çalışma sıvısını buharlaştırmak için kullanılır ve daha sonra bir yüzey yoğunlaştırıcısına iletilerek tuzsuz su üretilir. Böylece kapalı devre sistemiyle açık devre sistemi entegre edilmiş olur (Şekil 4.29).

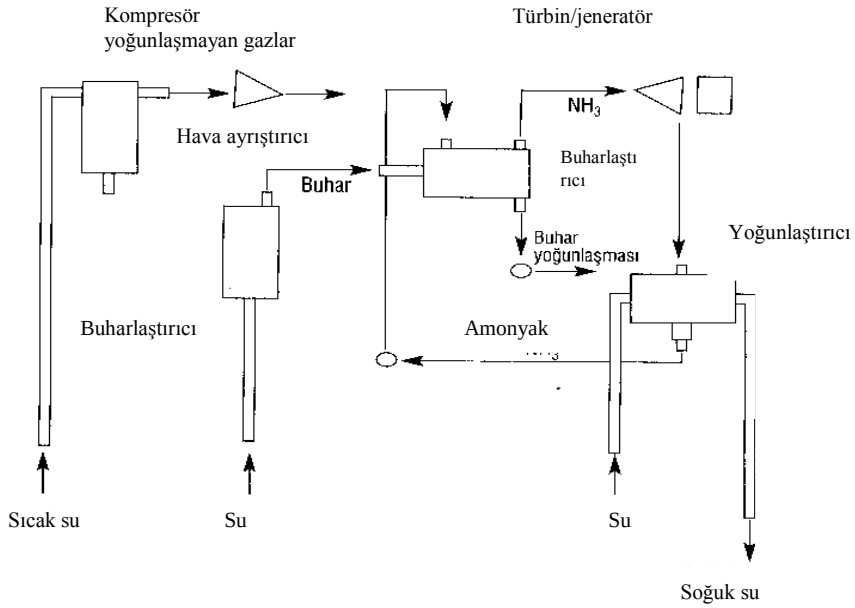


Şekil 4.28: Açık devre OTEC santrali [2]

Kaldırma/köpük devresinde ise sıcak ve soğuk deniz suları çalıştırma sıvısı olarak kullanılır. Sıcak su çekirdekleşme odası olarak adlandırılan bir yapıya girerek kısmi şekilde buharlaştırılarak su-buhar karışımı elde edilir. Düşük yoğunluklu iki fazlı yapıdan dolayı karışım yükselir ve ayrıştırıcıya iletilir, ayrıştırıcıda karışımın havası ve gazı alınır. Daha sonra bu karışım doğrudan kontak yoğunlaştırıcıya girer ve derin katmanlardan gelen soğuk deniz suyuyla temas ederek yoğunlaşır. Böylece soğuk su-sıcak su-buhar karışımı elde edilir. Bu karışım geleneksel bir hidrolik türbinden geçerek şaft gücü elde edilir. Türbine bağlı bir jeneratör yardımıyla şaft gücü elektrik enerjisine çevrilir. Türbinden geçen su tekrar okyanusa geri bırakılır. Homojen buhar-su karışımını uzun süre yukarıda tutabilmek için çekirdekleşme odasında sisteme katkı maddesi (genellikle deterjan) katılması gerekmektedir (Şekil 4.30).

Bu dört devre kıyaslanacak olursa; kapalı devre sistemleri geniş yüzeyli ısı değiştiricilere ihtiyaç duyarken, türbin hacmi daha küçüktür. Açık devre sistemlerinde buharlaştıcı küçük hacimli ancak türbin büyük hacimlidir, ayrıca bu sistemle tuzsuz kullanma suyu da elde etmek mümkündür. Bu su hidrojen ve alüminyum üretiminde kullanılabilir. Karma sistemler her iki sistemin üstünlüğünü de taşır, ancak karışık sistemlerdir. Kaldırma/köpük sistemlerinde ise su-buhar

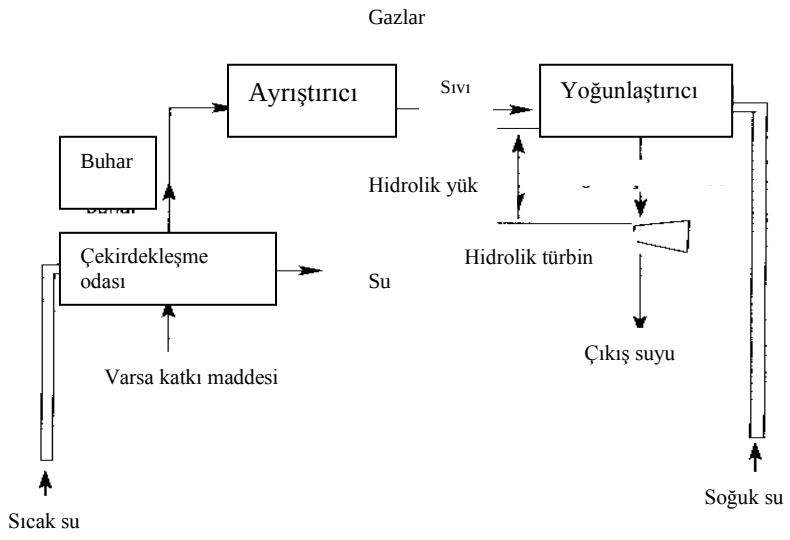
karışımının geniş borular boyunca birbirinden ayrılmaması gerekmektedir, bunun temininde zorluklar yaşanmaktadır.



Şekil 4.29: Karma devre OTEC santrali [2]

OTEC güç üretim sisteminin üstünlükleri: sonu gelmeyen bir kaynak oluşu, çok geniş bir ısı deposu olması, teoride fosil yakıtlarla benzer maliyetlerle elektrik üretiminin gerçekleştirilmesi, elektrik yanında balık yetiştirme, alüminyum ve hidrojen üretiminde kullanılancak temiz tuzsuz su ve deniz minarellerinin eldesi olarak sıralanabilir. Ayrıca okyanuslarda periyodik cetveldeki bütün elementler bulunur, dolayısıyla fisyon reaktörleri için uranyum, füzyon rekatörleri için döteryum (ağır hidrojen) üretimi OTEC tesisinde gerçekleştirilerek termonükleer yakıt üretilip termal enerjinin 273 katı enerji elde etmek teorik olarak mümkündür. Bu avantajların yanında bazı zorluklar da mevcuttur. Bu kaynak sadece Hawai, Porto Riko, Brezilya gibi Atlas Okyanusu Ülkeleri, Pasifik Okyanusu gibi tropikal ve astropikal okyanus ülkerinde kulanılabilen bölgesel limitli bir kaynaktır. OTEC güç sisteminin çetin fırtınalı okyanus ortamına (deniz suyu scaklığı 26,2 ºC üstüne çıkınca fırtına oluşumu) uygun olarak inşaa edilmeleri gerekmektedir. Bunun için denizde 40 senelik bir proje ömrü boyunca çalışabilecek, saatte 110-185 kilometre hızla esen

rüzgar, 9-18 metrelik dalgalar ve 4-12 km/saat akıntı karşısında 100 yıl dayanacak güçte platform imalatı önem kazanmaktadır. Gemi, dairesel mavna, yarı-sualtı, ayarlı küre, denizaltı, seren tipi platformlar değişik okyanus koşulları için kullanılabilir. Ayrıca denizin dinamik etkilerini karşılayabilecek 10-30 metre çapında 600-3000 metre boyunda soğuk su boruları geliştirmek bunların denizde tutunmasını sağlamak gerekmektedir. En ufak ısı farkını değerlendirebilecek ısı dönüştürücüler geliştirilmelidir. Denizin korozif etkisi de göz önünde bulundurulmalıdır. Çok büyük miktarda su yerdeğiştirdiği için çok verimli türbinler geliştirmek gerekir. Üretilen gücün deniz altı iletim sistemleriyle karaya ulaştırılması da farklı bir problemdir. Ayrıca santral etrafında ısı farkının azalmasının da önlenmesi zorunludur.



Şekil 4.30: Kaldırma/köpük OTEC santrali [2]

Çevresel olarak hiçbir sorun teşkil etmeyen OTEC santrallerinin maliyeti ve üretilen elektriğin üretim fiyatı hakkında kesin bir yargıda bulunmak mevcut bir yapı bulunmadığı için mümkün değildir. Ancak maliyet paydaları çıkarılacak olursa: ısı dönüştürücüler % 40, platform % 27 ile ilk iki sırada gelirler ayrıca türbin, pompa, soğuk su borusu, jeneratör ve muhtelif diğer giderler de diğer maliyet kalemlerini oluşturur [2]. 1000 MW'lık bir kömür termik santrali kurmak için kW başına 950 dolar, bir nükleer santral kurmak için 1300 dolar gerekmektedir. Kağıt üzerindeki

tahminler bugünkü teknoloji ile 100 MW değerinde bir OTEC santrali kurmak için (yapılan araştırmalar Hawai'de, Porto Rico ve Bezilya'da 100 MW lik tesislere imkan vermektedir) kW başına 1850-4500 dolar gerekmektedir. Ancak OTEC tesislerinin yakıt ve çevresel maliyetleri olmadığı gözönünde bulundurulmalıdır. 1992 yılında ortaya atılan Project Blue Revolution'a göre Güney Asya ve Pasifik ülkelerinde 2015 yılında 20.000 MW ek enerji ihtiyacı doğacaktır, bu enerji OTEC ile kazanılabilir. Şu an için dizel yakıttan üretilen güç için yaklaşık 0,5 dolar/kWh maliyete katlanan bu ülkeler aynı zamanda temiz su kaynaklarını da bu iş için heba etmektedirler. Tahminlere göre 10 MW'lık OTEC tesislerinde 0,24 dolar/kWh maliyetle enerji üretmek ve ek olarak temiz su elde etmek mümkündür [32].

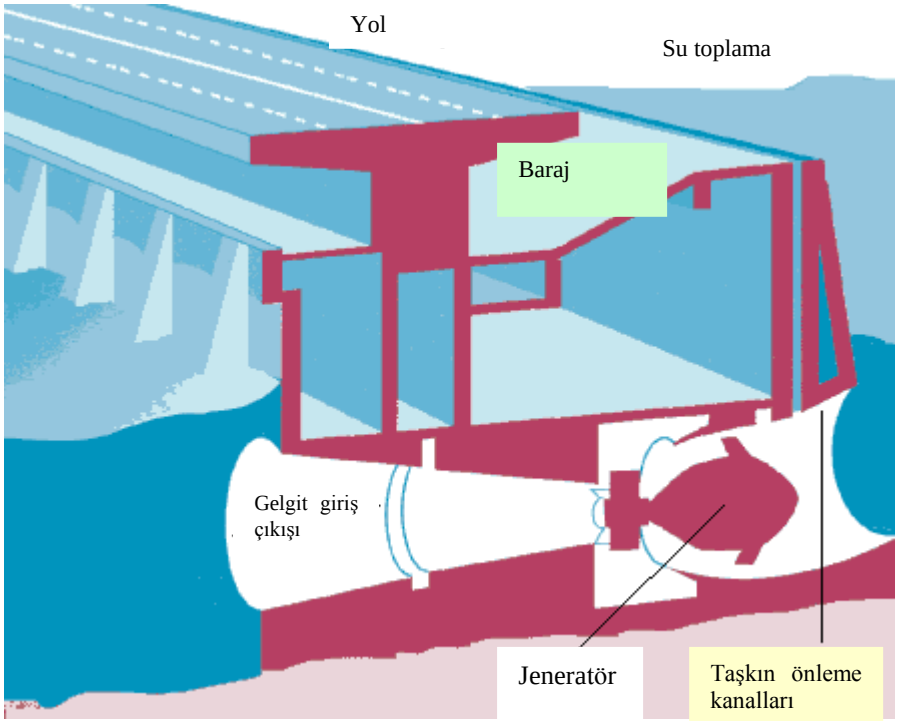
4.6.3 Gelgit enerjisi

Ayın çekim etkisiyle günde iki kez dünyanın zıt iki bölgesinde okyanusta şişkin ve çukur bölgeler oluşur. Gelgit olarak adlandırılan bu değişim dünyanın dönüşü nedeniyle sabit kalabilmektedir. Güneş ise ayın ve dünyanın birbirlerine göre konumlarına bağlı olarak gelgitlerin etkisini azaltıp artırabilir. Dolunay ve yeni ay zamanında güneş, gelgit farkını artırarak ilkbahar gelgitlerini (spring tides); Ay takviminin birinci ve son çeyreğinde ise gelgit farkını azaltarak minimum gelgitleri (neap tides) oluşturur.

Gelgitlerden enerji üretebilemek için öncelikle doğru coğrafya seçilmelidir. Dünya genelinde ortalama gelgit farkı 1 metre civarındayken, bazı bölgelerde yöresel coğrafya nedeniyle bu fark 10 metrenin üzerine çıkabilir. 5-10 metrelik farklar enerji üretimi için yeterli olabilir, ancak dünya üzerinde sadece 20 bölge gelgit enerjisi çevrimi için uygundur. Bu bölgelerin başında Fransanın Güney Brittany bölgesi yer alır. Bu bölgede Rance Nehri üzerinde 1966 yılında kurulan ve halen faaliyette olan 240 MW kapasiteli bir gelgit barajı mevcuttur. Rusya'nın Kislaya Guba bölgesinde 1968 yılında kurulan sistem 0,4 MW değerindedir. Çinde toplam 10 bölge mevcuttur. Nova Scotia'nın Annapolis bölgesinde 1984 yılında kurulan sistem 20 MW gücündedir. Ayrıca gelgit çevrim sistemleri kurulması düşünülen başlıca bölgeler ve barajlar: İngiltere'de 8.640 MW kapasiteli Severn Barajı, Hindistan'da 7.000 MW kapasiteli Gulf of Cambay Barajı, Amerika'da planlanan 6.500 MW kapasiteli Turnagain Arm Barajı, Rusya'da yapımı planlanan 1.5000 MW gücünde Mezen Barajı, Canada Bay of Fundy Barajı, Galler North Devon ve Milford Haven enerji sistemleri olarak sıralanabilir.

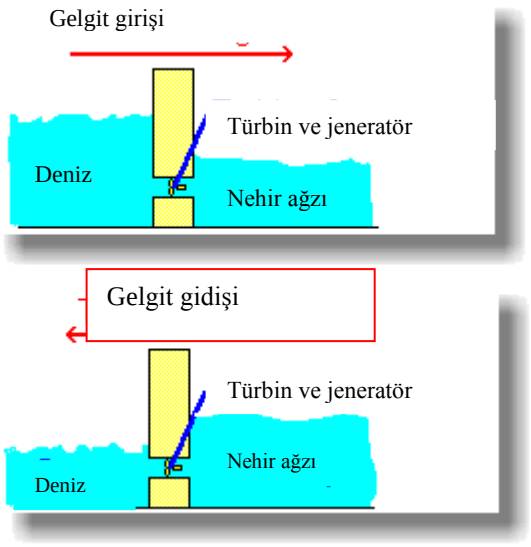
Gelgitlerde enerji üretebilmek için başlıca üç sistemden bahsedilebilir: gelgit barajları, su altı güç üretim sistemleri, gelgit akım sistemleri.

Gelgit barajları, gelgitlerle dolan nehir ağızlarında veya doğal kumsallarda inşaa edilebilir. Bir gelgit barajından elde edilecek enerji, havza alanı ve gelgit farkının karesiyle doğru orantılıdır. Bu sistemde bir koy boydan boya büyük bir barajla geçilmelidir. Su alma yapıları gelme (flooding tide) halinde açılarak su içeri alınır, rezervuar doldurulur ve su alma yapısı kapatılır. Gitme halinde (ebb tides) ise kapaklar açılarak su salınır ve düşen su türbinden geçerek elektrik üretilir. Sadece gitme halinde enerji üretilebildiği gibi ters dönen pervanelerle gelme halinde de enerji üretilebilir. Ayrıca düşük enerji talebi gelme zamanına denk geliyorsa pompalama kapasitesiyle düşü boyu artırılarak pik dönem için depolama yapılabilir (Şekil 4.31). Gelgit barajlarının büyük çevresel etkileri mevcuttur. Koyda yaşayan canlıların hayatı için büyük bir tehlike oluşturur, inşaat süreci uzun ve oldukça masraflıdır. Suyun tuz oranı değişir. Örneğin İngiltere'de planlanan Severn Barajı'nın 9 yılda tamamlanması planlanırken proje bedeli yaklaşık 11 milyar sterlindir.



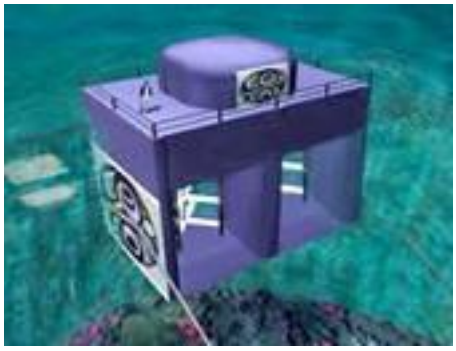
Şekil 4.31: Gelgit barajı [83]

Gel-git akım sistemleri büyük barajlara iyi birer alternatif olabilirler. Bu sistemler küçük barajlar olarak değerlendirilir ve gelme gitme halinde sisteme yerleştirilen bir türbinle elektrik eldesi planlanır (Şekil 4.32). Bu sistemin verimi düşüktür, çünkü sadece gelme gitme anında (yaklaşık 10 saat) çalışabilir, ancak özellikle kırsal bölgeler için iyi bir enerji üretim alternatifi olarak değerlendirilebilir çünkü insansız çalışma özelliğine sahiptirler [33].



Şekil 4.32: Gel-git akım sistemleri [84]

Su altı güç üretim sistemleri 2003 yılında ortaya atılan bir fikirdir. Büyük barajların maliyeti düşünülerek hazırlanmış bu sistemler henüz deney aşamasındadır. Bu sistemlerin en iy iki örneği Canada Blue Energy Ltd'in hazırladığı 'Mavi Enerji Türbini' (Şekil 4.33) ve Marine Current Turbines'in hazırladığı su altı rüzgar tarlalarıdır (Şekil 4.34).



Şekil 4.33: Su altı güç üretim sistemi [84]

Gelgitlerden güvenilir, tahmin edilebilir, yenilenebilir, temiz enerji elde etmek mümkündür. Taşkınları önleme, yerel endüstriyi canlandırma ve sayfiye alanı eldesi, yeni ulaşım yolları kazanımı gelgit enerji sistemlerinin diğer önemli üstünlüğüdür.



Şekil 4.34: Su altı rüzgar tarlaları [84]

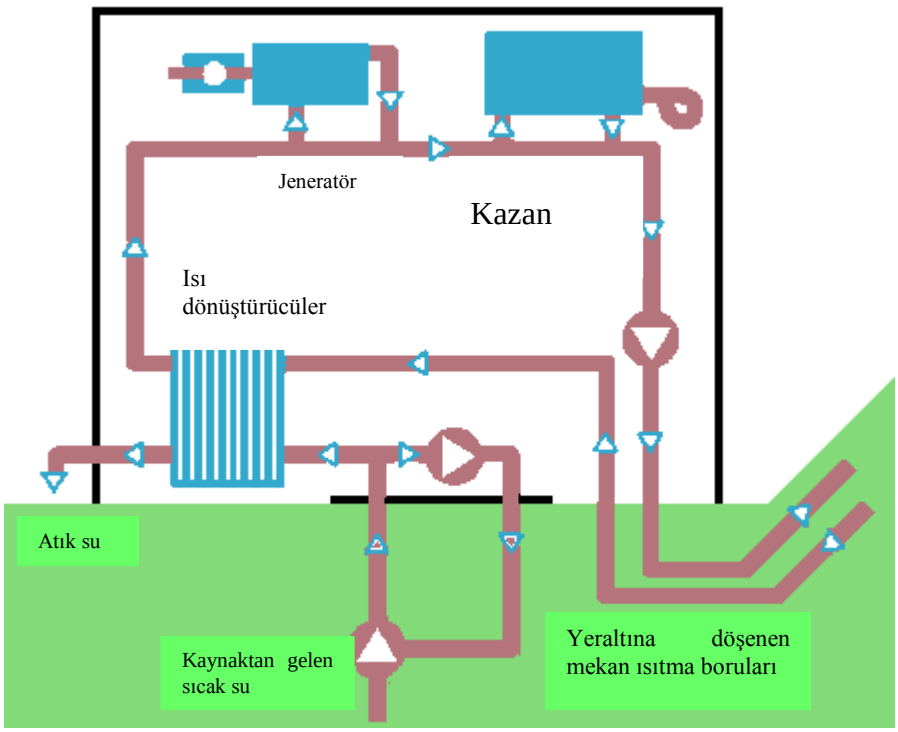
4.7 Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji kaya katmanları arasında sıkışmış ve kısmi radyoaktif etkiyle kapasitesi artmış bir enerji formudur. Dünya yüzeyinin 10 kilometrelik bir kısmı tüm fosil yakıtların 500 katı kadar enerji içermektedir. İnsanoğlu yüzyıllardır (Roma ve Osmanlı Kaplıcaları) sıcak su kaynağı olarak jeotermal enerjiden faydalanmaktadır, ancak kullanım 1975 yılına kadar kısıtlı kalmıştır, özellikle 1973 Dünya Enerji Krizi'nin ardından daha hassas incelenmeye başlanan jeotermal enerji 1975-95 yılları arasında altın yıllarını yaşamıştır.

Jeotermal enerji sığ yeraltı katmanları, sıcak su akiferi, derin katı kaya parçaları ve magma eriyiğinden elde edilebilir. Sığ katmandaki yeraltı suyunun sıcaklığı 10-16 ºC arasındadır. Bu sıcaklık ısı pompalarında değerlendirilerek evlerin ısıtma ve soğutma faaliyetleri gerçekleştirilebilir. Isı pompası; iletim sistemi ve ısı dönüştürücü bir elemandan oluşan yatırım maliyeti yüksek ancak işletme ve bakım maliyeti düşük olan iklimlendirme cihazıdır. Cihaz, kışın sığ katmandan aldığı ısıyı, ısı dönüştürücüsüne gönderip evsel ortama pompalarken; yazın ise, odadaki sıcak havayı emip, ısı dönüştürücüye gönderir ve bu ısı sıcak su temininde kullanılır.

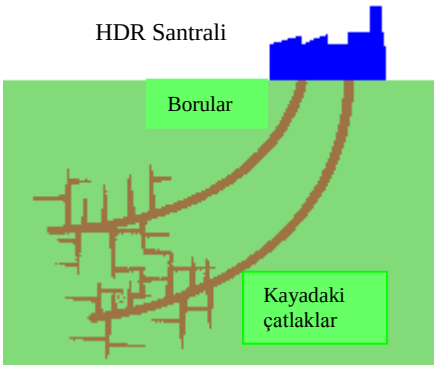
Poroz kireç ve kumtaşından müteşekkil sıcak su akiferinde sıcaklık 2 kilometrede 100 ºC'de, 3 kilometrede 200 ºC'dedir. Derin katmanlarda yüksek basınç nedeniyle buharlaşmayan su atmosfere ulaşınca buhar haline gelir. Bu su ya direkt olarak kullanılır yada elektrik eldesi için kullanılabilir. Direkt kullanım elektrik eldesine göre daha verimlidir. Direkt kullanımda verim % 50-70 arasında değişmektedir. Direkt kullanım daha az maliyet getirir, sıcaklığı düşük yada yüksek kaynaklar kullanılabilir, tesisi kolay inşaa edilir ancak elde edilen buharın yerel olarak kullanılması gereklidir zira bu buharın fazla uzağa taşınımı zordur. Direkt kullanım alanları: evsel ısınma, termal kaplıcalar, seralar, ısı pompaları, balık çiftliklerinin

iklimlendirilmesi, mahsul kurutma ve süt pastörizasyonu gibi endüstriyel kullanım olarak sıralanabilir. İzlanda evlerinin % 65'i ve seralarının tamamı jeotermal enerji ile ısıtılmaktadır. İsveç'te sıcak su sağlayan sistemler kanalizasyon atıklarını yakan sistemlerle kombine edilerek kullanılmaktadır. Elektirik eldesi için daha yüksek sıcaklıklara ihtiyaç vardır, daha maliyetli ve kompleks tesis inşaası gerekmektedir. Elektrik üretim tesisleri jeotermal enerjiyi suyun ön ısıtmasında, direkt buhar olarak yada bir çalışma sıvısının buharlaştırılmasında kullanılabilir. Her sistem neticede bir türbini döndürerek elektrik enerjisi elde eder. Sıcak su akiferinden çıkarılan su mineral tuzlar içerdiği için direkt olarak buhar kazanıyla teması korozyona sebebiyet vereceğinden, sıcak su bir kanaldan çekilerek ısı dönüştürücü bir sisteme aktarılır ve derhal yer altına geri drenajı yapılır. Isı dönüştürücü eleman ısıyı soğuk suya aktarır ve ön ısıtma gerçekleşir, daha sonra bu su geleneksel bir türbine gönderilerek buhar oluşturulur ve elektrik elde edilir. Türbinden geçen buhar bir yoğunlaştırıcı sisteme gönderilir ve burdan elde edilen su evsel ısınmada kullanılabilir (Şekil 4.35). Elektrik enerjisi eldesinde verim % 5-20 arasında değişmektedir. Şu anda ticari anlamda faaliyette olan jeotermal çevrim sistemleri, 1904'te inşaa edilen 370 MW değerinde İtalya Larderello Jeotermal Çevrim Tesisi, 1500 MW'lik Kaliforniya Geyserville Jeotermal Çevrim Tesisi olarak sıralanabilir. Ayrıca Çin, Endonezya, Japonya, Kenya, Meksika, Yeni Zellanda, Filipinler ve Rusya Federasyonu'nda da jeotermal çevrim tesisleri bulunmaktadır.



Şekil 4.35: Jeotermal enerjiden elektrik ve sıcak su eldesi [83]

5-10 kilometre derinlikteki katı kaya parçalarındaki (hot dry rocks) jeotermal enerji de elektrik üretiminde kullanılabilir. Bunun için yüzeyden derin katmanlara basınçlı su pompalanır ve derin kayalardaki ısıyı alan su geri çekilerek buhar üretiminde kullanılır ve elde edilen buhar türbinden geçirilerek elektrik elde edilir (Şekil 4.36). HDR tipi olarak adlandırılan bu sistemler henüz uygulama alanı bulamamıştır.



Şekil 4.36: HDR santrali [83]

Magma eriyiğindeki jeotermal enerjiyi çevirecek teknoloji henüz geliştirilememiştir.

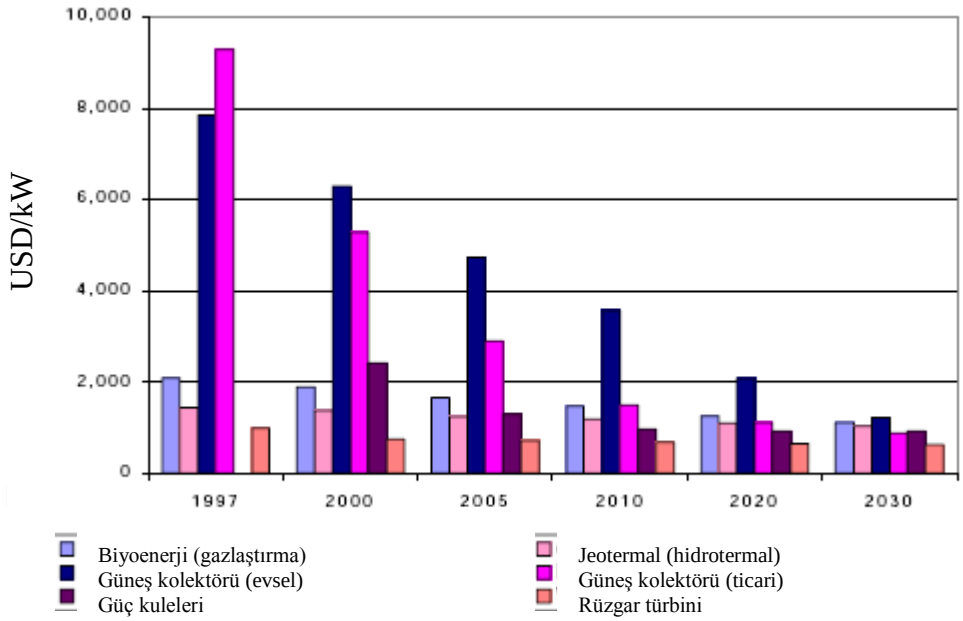
Hidrolik enerjinin değerlendirmeye alınmadığı bir ortamda yenilenebilir enerji kaynakları arasında elektrik üretimine katkıda bulunan en büyük kaynak % 80 ile jeotermal enerjidir. Tüm kaynaklar arasındaki payı ise % 3 civarındadır. Jeotermal enerjiden 4 sent/kWh değerinde elektrik üretmek mümkünken bu değer direkt ısıtmada 2 sent/kWh civarına düşmektedir.

Jeotermal enerji direkt kullanım halinde yenilebilir, elektriksel kullanım halinde akiferin ısısını bitirdiği ve ısının yeniden kazanımının yüzyıllar boyunca sürmesi nedeniyle kıt kaynak olarak değerlendirilmektedir. Jeotermal enerji yüzeye çıkartılırken kayma ve çökme gibi zemin stabilitesini etkileyecek zararlar verilebilir, ayrıca sülfür, nitrojen, karbondioksit, hidrojen sülfür, amonyak, cıva, boron ve radon gibi tehlikeli maddelerde yüzeye çıkar, ancak kullanılan suyun akifere geri iadesiyle bu zaralı maddeler atmosfere salınmamış olur.

4.8 Sonuç

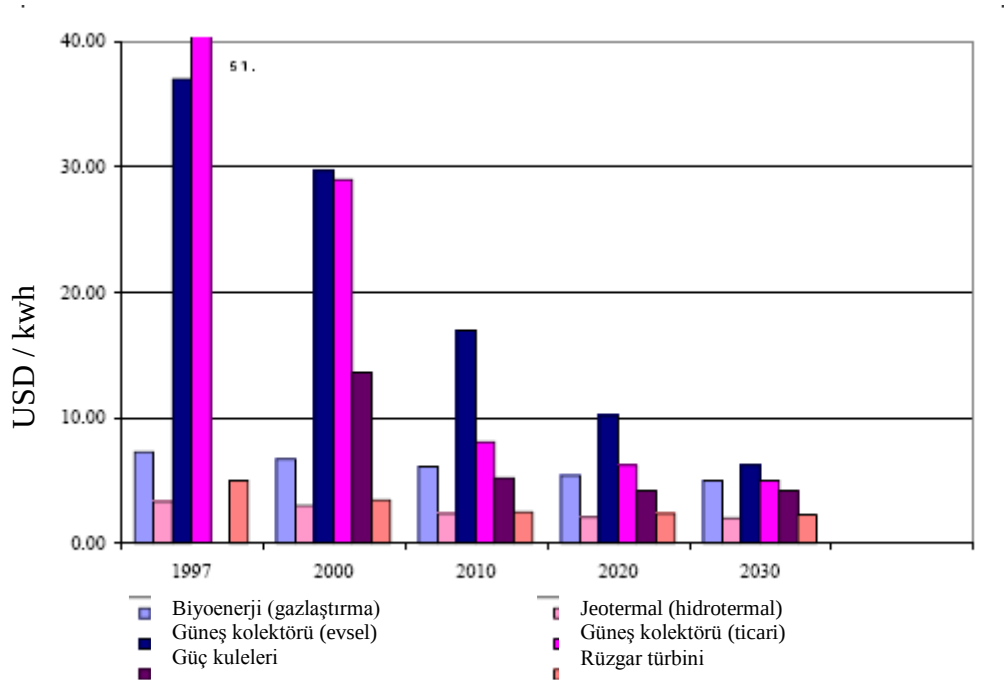
Yenilenebilir enerji kaynaklarına fosil yakıtların yükünü hafifletmek, zararlı salımları azaltabilmek ve yeni iş alanları açabilmek için gerekli önemin verilmesi gerekmektedir. Günümüzde hidrolik enerji fosil yakıtlarla rekabet edebilmekte,

rüzgar enerjisi çıkışını sürdürmekte, güneş enerjisi kullanım alanını artırmaktadır. Biyoenerji ise şu anda en popüler yenilenebilir enerji kaynağı olarak yerini korumaktadır. Bu enerji kaynaklarının depolanamama ve ekonomik olmama gibi eksiklikleri olmasına karşın olumlu çevresel etkileri nedeniyle bu sistemlerin üzerinde durulması yerel ve uluslararası anlamda yenilenebilir enerji projelerinin desteklenmesi gerekmektedir. ABD Enerji Bakanlığı yenilenebilir enerji kaynaklarının 1997 yılındaki yatırım bedellerini baz aldığı bir çalışmayla, bu enerji sistemleri için 2030 yılına kadar sürecek bir tahmin süreci geliştirmiş ve bunu toplumla paylaşmıştır (Şekil 4.37).



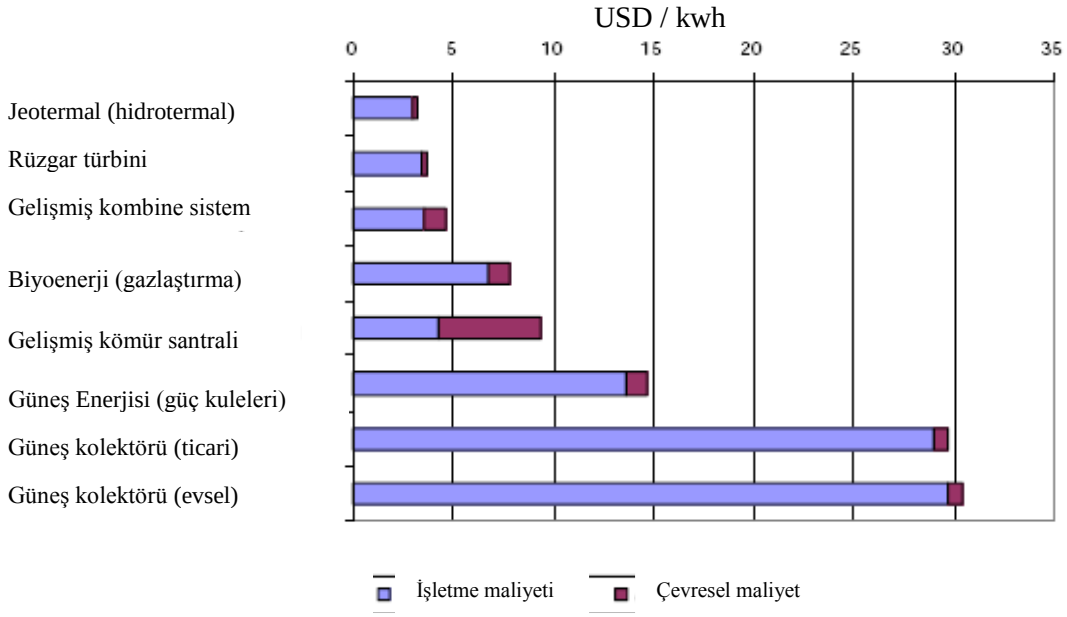
Şekil 4.37: RES'den elektrik üretimi için gerekli yatırım bedellerinin gelişimi [1]

Tabii ki yatırım bedeli bir tesisin tüm maliyetini göstermemektedir. Yakıt, işletme ve bakım giderleri de maliyeti etkileyen kalemlerdir. Yenilenebilir enerji kaynaklarında yakıt maliyeti sıfır, işletme maliyeti rekabetçi, bakım maliyetleri teknolojinin yeni yeni gelişmesi nedeniyle yüksektir. ABD Enerji Bakanlığı yenilenebilir enerji kaynaklarının bakım ve işletme masraflarının da eğilim tablosunu benzer şekilde açıklamıştır (Şekil 4.38).



Şekil 4.38: RES'den elektrik üretiminin maliyet gelişim eğilimi [1]

Günümüzde artık enerji kaynakları artan olumsuz doğa etkileri nedeniyle çevresel maliyetlerle birlikte değerlendirilmektedir. Dolayısıyla geleneksel enerji kaynaklarıyla yenilenebilir enerji kaynaklarının ekonomik kıyasını yaparken çevresel faktörleri de değerlendirmek gerekir. ABD Enerji Bakanlığı 2000 yılında bu kıyas tablosunu da topluma sunmuştur (Şekil 4.39).



Şekil 4.39: Çevresel faktörlerin elektrik maliyetine etkisi [1]

Görüldüğü üzere jeotermal enerji ve rüzgar enerjisi ilerlemiş kojenerasyon sistemleriyle ekonomik olarak yarışabilmektedir. Dünyadaki birçok ülkenin hidrolik kapasitesinin tamamına yakınını kullanması hidrolik enerjinin ilerleyen yıllarda enerji pastasındaki payını azalacağı için bu enerji sistemi değerlendirmeye alınmamıştır.

5. ALTERNATİF ENERJİ KAYNAKLARI

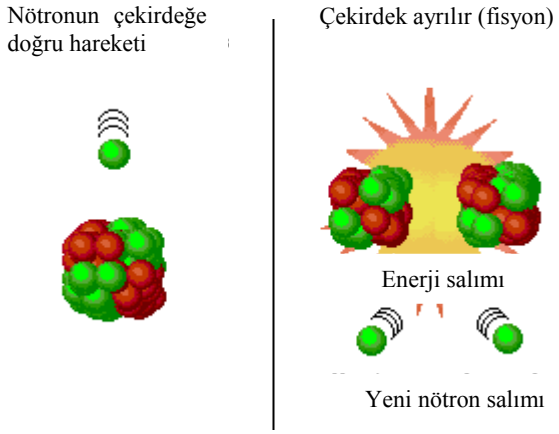
Alternatif enerji kaynakları yenilenebilir ve geleneksel olmayan ancak dünya genelinde uygulama alanına sahip olan enerji kaynaklarıdır. Nükleer enerji, sentetik yakıtlar, füzyon enerjisi belli başlı alternatif enerji kaynakları olarak sıralanabilir.

5.1 Nükleer Enerji

Nükleer güç uranyum, plütonyum ve toryum atomlarının çekirdeklerinin parçalanıp (fission) ortama salınan enerjinin değerlendirilmesiyle elde edilir. Uranyum kurşundan % 76 daha yoğun, doğal radyoaktif özellikte bir elementtir ve doğada % 0,7 uranyum-235 ve % 99,3 uranyum-238 izotopları şeklinde bulunur. Sadece uranyum-235 nükleer enerji üretiminde kullanılabilir ve 1 ton uranyum yaklaşık 20.000 ton kömürün enerji eşdeğeridir. % 0,7 olan uranyum-235 miktarı zenginleştirme (enrichment) ismi verilen bir sistemle % 3 seviyesine çıkarılabilir. Ayrıca uranyum-235 kullanılarak nükleer enerji niteliği olmayan uranyum-238 geliştirme (breeding) denen bir operasyonla nükleer enerji üretiminde kullanılabilen ve atom bombasının da temelini oluşturan son derece zehirli plütonyum-239 izotopuna dönüştürülebilir, Toryum elementinden ise uranyum-233 izotopu elde edilebilir.

Nükleer enerjinin oluşumu için uranyum-235 izotopu yada nükleer enerji eşdeğeri olan diğer radyoaktif elementlerin nötron bombardımanına maruz kalması gerekir. Bünyesine bir nötron katan radyoaktif çekirdek, kararsız bir hal alır ve birçok küçük parçalara ayrılırken ortama yeni nötronlar da bırakır. Bu yeni nötronlar diğer parçaları etkileyerek yeni parçalanmalara sebebiyet verirler, muazzam miktarda enerji açığı çıkar ve reaktöre salınır (Şekil 5.1). Nötronların hareketinin kontrol altında tutulması gerekmektedir, aksi halde reaksiyon giderek hızlanır ve çıkan enerji inanılmaz boyutlara ulaşarak reaktörü yok eder. Nötronlar moderatörler yardımıyla

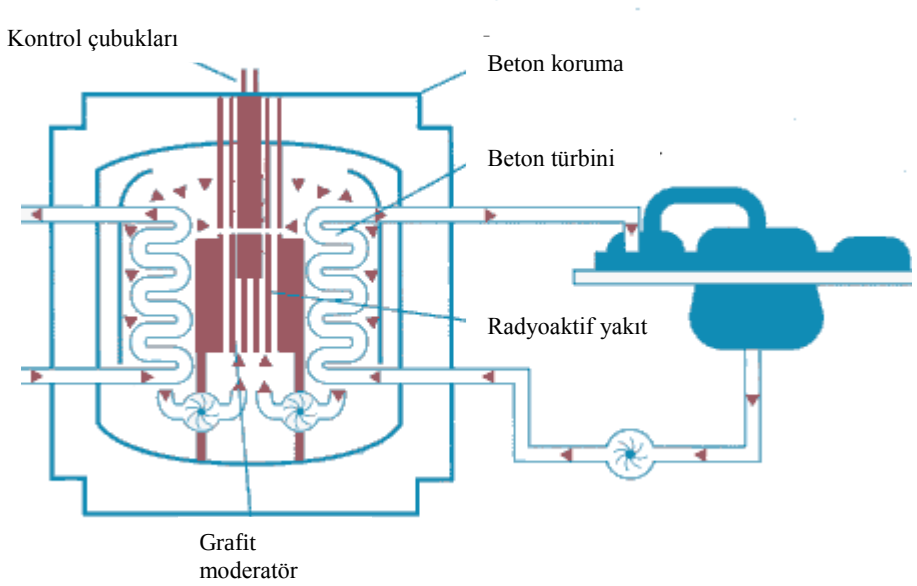
istenilen enerji seviyesinde tutulurlar, bu olaya kontrol zincir reaksiyonu adı verilir (controled chain reaction). Moderatör olarak su yada grafit kullanılabilir. Reaksiyonun mertebesi ise doğal nötron yakalayıcı bir element olan boron içeren çelik çubukların reaktör içinde alçaltılıp yükseltilmesiyle kontrol edilir. Tam alçaltma reaksiyonu tamamen durdurur. Üretilen enerji ise soğutucu (coolant) yardımıyla absorbe edilerek buhar kazanına iletilir. Böylece ayrı bir sistemde türbinler yardımıyla mekanik enerji elde edilirken, türbinlere bağlı jeneratörler de elektrik enerjisi üretir.



Şekil 5.1: Nükleer enerjinin oluşumu [83]

Dünya üzerinde kullanılan nükleer reaktörler zenginleştirilmiş uranyum kullananlar ve doğal uranyum kullananlar olarak iki ana başlık altında toplanabilir. Almanya iki tip reaktörü de kullanırken, Romanya ve Kanada 800-1000 MW kapasiteli doğal uranyum reaktörleri kullanmaktadır, bu reaktörler CANDU ismiyle anılır. Reaktör çapı 4-7 metre arasında değişirken, reaktör yüksekliği de 4-6 metre arasında kalır ve reaktörün onda biri kadar kısmı yakıt alabilir. Bu reaktörlerde doğadan çıkarılan uranyum hiçbir zenginleştirme işlemine tabi tutulmadan kullanılır. Zenginleştirme işlemi masraflı ve üstün teknoloji gerektiren bir işlem olduğu için daha kompleks sistemlere ihtiyaç duyulur, hatta uygulanacak ülkede teknoloji yok ise uranyumun hariçte işleme kaydıyla ihraç edilip yurtdışında zenginleştirilmesi gerekebilir. İngiltere ise zenginleştirilmiş uranyum reaktörleri kullanmaktadır. Bu ülkede üç tip zenginleştirilmiş uranyum reaktörü kullanılmaktadır: Magnox tipi, geliştirilmiş gaz soğutmalı reaktör (advanced gas-cooled reactor), basınçlı su reaktörleri (pressurised water reactor). Magnox tipi reaktörler 245-950 MW arasında olup, çalışma sıcaklığı 350 ºC'dir. Soğutucu olarak karbondioksit, moderatör olarak ta grafit kullanılır, ilk modellerde doğal uranyum kullanılsa da daha sonraki modellerde zenginleştirilmiş uranyum kullanılmştır. Bu reaktörlerde yakıt bir metrelik magnox alaşımlı çubuklara monte edilerek reaktöre yerleştirilir. AGR tipi reaktörler 1020-1250 MW gücünde, Magnox tipinin gelişmiş versiyonlarıdır daha verimli ve yüksek sıcaklılarda

çalışırlar. Çalışma sıcaklığı 650 ºC dir, soğutucu olarak karbodioksit, moderatör olarak grafit kullanırlar (Şekil 5.2). PWR tipi reaktörler dünya üzerinde en yoğun olarak kullanılan zenginleştirilmiş uranyum kullanan reaktör tipidir. Kapasitesi 1175 MW civarındadır, soğutucu ve moderatör olarak ağır su kullanır, çalışma sıcaklığı 320 ºC tan fazla olacak biçimde ayarlanır.

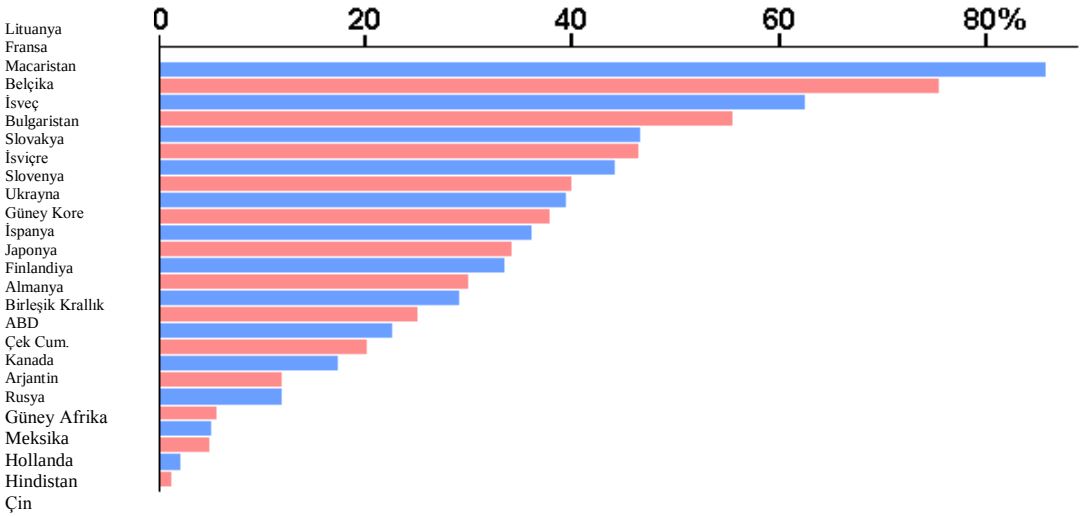


Şekil 5.2: AGR nükleer reaktörü [83]

Nükleer reaktörlerin inşaası yıllardır tartışma konusu olmaya devam etmektedir çünkü bu enerji kaynağının çok ciddi potansiyel çevresel zararları bulunmaktadır. Nükleer reaktörler fosil yakıt kullanmadığı için karbodioksit, azot oksitler ve kükürt bileşikleri salgılamazlar, soğutma ve enerji üretmede oldukça fazla miktarda su kullanmalarına karşın, kullanılan su radyoaktif maddelerle temas etmediği için herhangi bir tehlike söz konusu değildir ancak radyoaktif madde kullanılması nedeniyle radyasyon salımı gerçekleştirme tehlikeleri mevcuttur. Radyosyon salımı pek çok aşamada gerçekleşebilir. Adım adım incelenecek olursa: uranyum elementinin madenlerden çıkarımı, çıkarılan madenin temizlenip işlenmesi ve zenginleştirme işlemi birinci adım olarak görülebilir. Yapılan araştırmalarda bugüne kadar bu adımda gerçekleşen sızıntı miktarı binde bir seviyesinde kalırken hastahane ve terapi aletlerinden olan sızıntının % 14 seviyesinde gerçekleştiği gözlenmiştir. İkinci adım reaktörde meydana gelebilecek bir nükleer sızıntıdır. Nükleer reaktörlerde kullanılan uranyum kendi başına önemsenecek kadar radyoaktif değildir ve reaktöre ulaşan yakıt çubukları ince plastik eldivenlerle dahi tutulabilir ancak reaksiyon sırasında çok aktif diğer izotoplar oluşur. Strotinyum-90 izotopu bunlardan biridir. Tatsız, kokusuz ve görünmeyen bu izotop 600 yıl boyunca aktif kalır, vücutta kalsiyumun yerini alarak göğüs ve kemiklere yerleşerek kansere sebebiyet verir.

Sezyum-137 izotopu da benzer nitelikte bir maddedir. Plütonyum ise dünyanın en tehlikeli radyoaktif maddesidir. Temas ettiği herşeyi yok eder, 250.000 yıl aktif kalır, insan vücuduna akciğerden girerek kısa sürede ölüme yol açar, atmosfere karışması halinde insan ırkının genetik yapısını değiştirir ve etkisi 10.000 kuşak boyunca sürer. Plütonyum üreten reaktörler (breeder) atom bombasının da altyapısını oluşturur ancak dünya genelinde bu reaktörlere bir tepki de mevcuttur [34]. 1979 yılında Three Miles Adası'nda bir sızıntı meydana gelmiş ancak kısmi olarak izolasyon başarılmıştır fakat 26 Nisan 1986'da buhar ve hidrojen patlaması sonucu Ukrayna Çernobil'de reaktör alev almış ve bir nükleer bulut (fallout) atmosfere salınmıştır. Bu felekatten 9 milyon insan direkt veya dolaylı yoldan etkilenmiş, Ukrayna'da o tarihten sonra doğan çocukların % 70'inde doğum bozukluğu gözlenmiş, kalan % 30'unun ise ancak yarısı hayatta kalabilmiştir. Günümüzde reaktör kazalarını önleyecek kontrol sistemleri vardır hatta en son çare olarak reaktör yapay sele maruz bırakılarak bir daha kullanılmama pahasına yok edilebilir. Üçüncü adım yeniden işleme olarak değerlendirilebilir. Nükleer reaktörler 18-24 ay süre sonra (genellikle her yıl) kapatılarak nükleer yakıtlar değiştirilir. Değiştirilen bu yakıtlar yeniden işlenerek zenginleştirilebilirler, bu aşamada sızıntı tehlikesi mevcuttur. Ancak bu güne kadar ciddi bir durum tespit edilmemiştir. Bir sonraki adım nükleer atıkların saklanması sırasında doğacak sızıntı durumudur. Nükleer atıklar hafif, orta ve ağır dereceli olarak üç tipte değerlendirilir. Hafif atıklar sistem kaplamaları ve çeşitli sıvı ve gazlardır. Katı atıklar yakılırlar, sıvı ve gazlar ise arıtılıp atmosfere verilirler. Orta dereceli radyoaktif atıklar eski yakıt çubuk kaplamaları ve yardımcı malzemelerdir, ağır radyoaktif atıklar yeniden işleme esnasında ortaya çıkan malzemelerdir. Bu iki tipe giren atıklar içi su dolu dışı kalın betonarme katmanla kaplanmış çelik kaplarda, ya reaktörde yada özel bölgelerde yeraltında saklanırlar. Bu maddelerin binlerce yıl boyunca saklanması gerekmektedir, bu saklanma esnasında radyoaktif maddenin bir yolunu bulup atmosfere sızıp sızamayacağı henüz tespit edilebilmiş değildir. Beşinci adım ömrünü tamamlamış nükleer reaktörün tasfiyesi esnasında gerçekleşen tehlikedir. Nükleer reaktörlerin ömrü yirmi yıldır. Bu süre sonunda reaktörün tasfiye edilmesi gerekmektedir. Radyoaktif minerallerle temas eden bütün reaktör parçaları radyoaktif özellik kazandıklarından tesisin tamamen izolesi ve tesis elemanlarının özel yöntemlerle saklanması gerekmektedir. İngiltere'de 1956-70 yılları arasında kurulan üç Magnox tipi reaktör (Berkeley, Hunterston-Ayr ve Trawsfynydd) ömrünü tamamlamış, tasfiye edilmiştir ve herhangi bir sorun yaşanmamıştır. Bir diğer adım radyokatif maddelerin kara, hava deniz veya tren yoluyla taşınımı esnasında meydana gelebilecek kazalardır. Görüldüğü gibi nükleer enerji; kolay elde edilmesi, yerel kaynak olması, zararlı emisyonlara neden olmaması gibi üstünlüklerinin yanında oldukça ürkütücü radyoaktif özelliklere de sahiptir.

Büyük uranyum kaynakları Kanada, Avusturalya, Rusya ve Nijerya'da bulunmakta ve bilinen 44 ülke nükleer enerji kullanarak günümüzdeki dünya elektrik ihtiyacının % 17'sini karşılamaktadırlar, bu oran yüzden fazla nükleer santrali bulunan ABD'de % 19, 14 ticari santrali bulunan İngiltere'de % 25, Fransa'da % 75, Belçika'da % 60 civarındadır (Şekil 5.3). ABD 1996 yılından itibaren nükleer santral inşaatını durdurmuş, İsveç ve Almanya nükleer enerjiyi yasaklamış olmasına rağmen Japonya, Rusya, Fransa, İngiltere, Pakistan, Bulgaristan ve Romanya bu çalışmalara devam eden ülkelerin başında gelmektedir.



Şekil 5.3: Elektrik üretiminde nükleer enerji kullanan ülkeler [83]

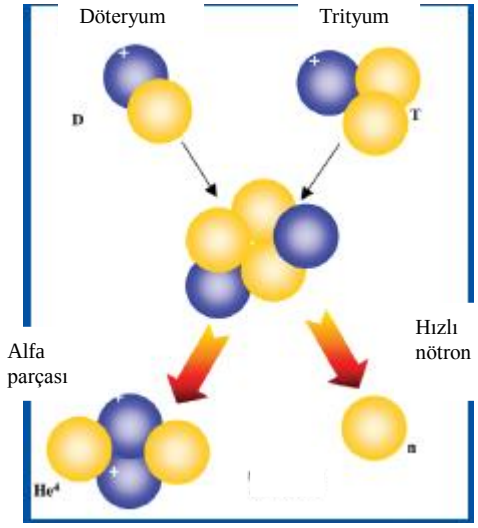
Bir nükleer santralin ilk yatırım bedeli 600 milyon Amerikan Doları ile 1 milyar Amerikan Doları arasında değişmektedir. Bu değer benzer kömür santralinden % 30 daha pahalıdır ancak kulanılan yakıt termik santralin milyonda biri olması nedeniyle ve işletme ve bakım masrafları nispeten daha makul olduğu için nükleer enerji kömür ile yarışabilir [1] ve 3,63 cent/kWh maliyetle elektrik üretilebilir [86].

5.2 Füzyon (kaynaşma) Enerjisi

Füzyon kaynaşma anlamına gelen bir kelimedir. Bugün evrende bütün yıldızlarda enerji üretimi füzyonla gerçekleşir (Güneş'in enerji üretmesi). Yıldızlarda var olan çok kuvvetli doğal çekim kuvvetleri sayesinde hafif elementlerin milyonlarca santrigrad derecede bir plazmada yoğunlaştırılıp bu noktada birbirleriyle kaynaşarak ağır elementler ve yüksek enerji taşıyan nötron parçacıklarına dönüştürülmesi mümkün olmaktadır. Son derece güvenilir, temiz, atık üretmeyen bir enerji kaynağı olan füzyon reaksiyonunun dünya üzerinde gerçekleşmesi için bilim adamları kırk yılı aşkın bir süredir çaba göstermektedirler ancak tam tatmin edici sonuçlar

alınamamıştır. En iyi tahminlerle ticari füzyon reaktörlerinin 35 yıla kadar enerji platformuna girmeleri zor gözükmektedir.

Dünya üzerinde füzyonu gerçekleştirebilmek için kullanılabilecek kaynaşıcı özellikte element hidrojendir ve dünyada deniz ve tüm kullanma sularında mevcuttur. Füzyon işlemi hidrojenin iki izotopu olan döteryum ve trityumun milyonlarca santrigrad derecede kaynaşarak bir soy gaz olan helyum gaz plazmasına dönüşmesiyle gerçekleştirilebilir. Bu esnada ortama nötron yayılır ve büyük miktarda enerji açığa çıkar (Şekil 5.4).



Şekil 5.4: Füzyon [85]

Füzyon yakıtını bir plazma çerçevesinde yoğunlaştırabilmek için iki tip metot üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. En bilinen metot, manyetik toplama olarak adlandırılır. Bu sistemde manyetik güç ve elektriksel alanlar kullanarak bir plazma oluşturmak ve bu yapıyı aynı füzyon yoğunluğu ve sıcaklığında tutmak amaçlanır. İkinci metot, eylemsizlik (inertial) olarak bilinir ve lazer ışınları yada tanecik demeti saniyenin milyarda biri süre zarfında füzyonun gerçekleşeceği bölgede füzyon yakıt zerrelerini sıkıştırarak plazma ortamı oluşturmayı hedefler. Bu metodlar füzyon ve plazma bilimi ve plazma teknolojisinin çok iyi bilinmesini gerektirir çünkü füzyon boyunca özellikle manyetik alanın sebebiyet verdiği tanecik türbülansı gibi sıcak plazma dinamikleri ile uğraşmak gerekmektedir. Bu dinamikler ancak bilgisayar ortamında oluşturulan simülasyonlar yardımıyla aydınlatılabilir. Ayrıca plazma işlemi, atık uzaklaştırma, ışıklandırma gibi uygulamalar esnasında açığa çıkan yan ürünlerin (spin-off) değerlendirilmesinin yapılması da gerekmektedir. Plazma fiziği, akışkanlar mekaniği, manyetohidrodinamik, kinetik teori, astrofizik, atom fiziği, non-lineer dinamik, bilgisayar ve iletişim bilimi gibi rejimlerin çok iyi özümsenip

kullanılması ve bu konulara vakıf ekiplerin koordineli çalışması bu olayları aydınlatmada kullanılmalıdır.

Bugüne kadar yapılan çalışmalardan en başarılıları Rusya orijinli Tokamak Füzyon Reaktörleridir. 1978 yılında Princeton Plazma Fizik Labaratuarı'nda 58 milyon santigrad sıcaklık elde edilmiştir ki bu derece füzyon başlaması için taban sıcaklıktır. 1994 yılında aynı laboratuarda Tokamak Füzyon Test Reaktörü'nde 10 MW anlık füzyon gücü elde edilmiştir. Oxford Birleşik Avrupa Tokamak Reaktörü'nde çalışmalar devam etmektedir. ABD füzyon ve plazma fiziği ve füzyon teknolojisini geliştirmek için Füzyon Enerji Bilimi Birliği'ni kurarak çalışmalarını bu çatı altında devam ettirmektedir ve bu birlik Uluslararası Termonükleer Deney Reaktörü (ITER: latincede yol anlamına gelir) fikrini ortaya atmıştır. Kanada, Avrupa Birliği, Japonya, Çin, Rusya Federasyonu ve Güney Kore bu fikri desteklemektedir. Yakın zamanda Kanada, bir Avrupa Birliği Üyesi yada Japonya'da bu deney reaktörü hayata geçirilecektir. Ancak bu reaktör hayata geçirilmeden önce yüksek sıcaklıkların ve yüksek güç yoğunluğunun güvenilir, bakıma uygun, çevresel tehlikeden uzak, füzyon gereklerini yerine getiren plazma-füzyon teknolojisi çevresinde elde edilmesi ve sabit tutulmasının en uygun yolu bulunmalıdır. Bu noktada gelinen en son adım sıvı duvarlardır ve bu sistemler üzerinde çalışma devam etmektedir. Reaktörlerin onarımı, bakımı, yenilenmesi ve tasfiyesi için birçok kaynağın kesilmesi, bulonların ayrılması, gaz ve su pompalarının ayrılması ve tonlarca ağırlığın yerdeğiştirmesi gerekecektir. Bu işlemlerin reaktörü minimum etkilemesi için uzaktan uygulama (remote handling) sistemleri geliştirilmelidir. Ayrıca aktivasyon, trityum alımı, kimyasal reaksiyon, toz taşınımı gibi olayların çevresel etkileri iyi analiz edilmelidir.

5.3 Ara Enerji Sistemi

Yenilenebilir enerji kaynakları olumlu çevresel etkileri nedeniyle günden güne önemini artırmakta ve fosil yakıtların omuzundaki enerji yükünü azaltmayı hedeflemektedir. Ancak yenilebilir enerji kaynakları depolanamaz ve kapasite faktörleri genelde düşüktür (Bulutlu havalar ve gece güneş enerjisi üretilemez, rüzgar esmeyince rüzgar enerjisinden yararlanılamaz). Yenilenebilir (güneş, rüzgar, hidrolik, jeotermal, okyanus) ve alternatif (nükleer, füzyon) enerji kaynaklarının bu olumsuz özelliklerini yok etmek ve bu enerji formlarından daha iyi yararlanabilmek için ara enerji sistemi üzerinde çalışmalar gün geçtikçe yoğunlaşmaktadır. Ara enerji sistemi ana enerji kaynağıyla kullanılabilir enerji kaynağı arasında taşıyıcı bir sistem vazifesi görmeli, depolanabilir, taşınabilir, yenilenebilir, üretildiği ana enerji kaynağından bağımsız, temiz ve depolayabildiği enerji miktarına göre üretimi en ekonomik yakıt olmalıdır [2]. Bu ara enerji sistemi için en uygun adaylar sentetik

benzin (SynGas), sentetik doğal gaz (SNG), sıvı ve gaz hidrojen, etanol, metanol ve hidrazin gibi sentetik yakıtlardır. Sentetik benzin, petrol kaynaklarının tükenme sürecini uzatabilmek için ortaya atılmış bir fikirdir, ancak oldukça maliyetli (14,45 dolar/GJ) ve temiz olmayan bir yakıttır. Sentetik doğal gaz ise maliyet yönünden daha tatminkar (7,41 dolar/GJ) ancak üretildiği ana enerji kaynağına (kömür, doğal gaz) bağımlıdır [2]. Etanol, metanol, metan, amonyak ve hidrazin gibi biyoenerji orijinli sentetik yakıtların ise bu ara enerji sisteminde kullanılmaları benzer sebeplerle akılcı değildir. Hidrojen ise ara enerji sisteminin gerektirdiği bütün özelliklere sahiptir ve önümüzdeki yüzyılın enerji kaynağı olması beklenmektedir.

5.3.1 Hidrojen enerji sistemi

Hidrojen enerji sistemi ilk olarak ünlü Fransız hayalperest Jules Verne tarafından 140 yıl öncesinde ortaya atılmıştır. Ünlü yazarın Esrarlı Ada isimli kitabında bir kahraman 'yüzyıllar sonra kömürün yerini su alacak ve bütün enerjimizi sudan elde edeceğiz' diyordu. Bugüne kadar üçyüze yakın tahmini gerçekleşen ünlü yazarın bu tahmininde de haklı olduğunu görmekteyiz. Hidrojen enerji sistemiyle ilgili ilk adımlar Miami Üniversitesi öğretim üyelerinden Prof. Dr. T. Nejat Veziroğlu ve arkadaşları tarafından 1962 yılında NASA'nın uzay mekikleri için geliştirdiği roket motorundaki hidrojen kararsızlıklarını incelerken atılmıştır [2]. Daha sonra Dr. Robert R. Adt. Jr. Milli Bilim Vakfı bünyesinde bu konuyla ilgili çalışmalar yapmıştır. 18 Mart 1974 yılında başkanlığını Prof. Dr. Veziroğlu'nun yaptığı 1. Hidrojen Enerjisi Miami Enerji Konferansında hidrojen romantikleri (Cesare Marchetti, İtalya; John O. M. Bockris, Avusturalya; Tokio Ohta, Japonya; William D. Van Vorst, ABD; Anibal R. Martinez, Venezuella; Walter Seifritz, İsviçre; Hussein K. Abdel-Al, Suudi Arabistan; William J. D. Escher, ABD; Robert M. Zweig, ABD; Kurt H. Weil, ABD) olarak bilinen topluluk bu enerji sistemini dünyaya tanıtmışlardır. Prof. Dr. Veziroğlu bu fikri ortaya attığı için 2000 yılında Nobel'e aday gösterilmiştir.

Hidrojen enerji sistemi dört bölümden meydana gelir: hidrojenin üretilmesi, depolanması, iletilmesi (tevzi edilmesi) ve kullanımı.

5.3.1.1 Hidrojen üretimi

Onbeş milyar yıl önce kainatın tamamı hidrojendi, bugün ise kainattaki kütlenin % 90'ı hidrojendir. Uzayda her santimetrekare başına bir hidrojen atomu bulunur, bütün yıldızlar hidrojenden oluşur, Jüpiter gezegeni tamamen sıvı ve katı hidrojenden meydana gelmiştir. Hidrojen dünyada saf halde pek fazla bulunmaz, ancak dünyanın dörtte üçünü kaplayan su kaynaklarından hidrojen elde etmek mümkündür. Suyun

kendisini oluşturan moleküller olan hidrojen ve oksijene ayrılmasıyla hidrojen serbest kalır. Suyun bileşenlerine ayrılması için gerekli enerji geleneksel enerji kaynaklarından (tercihen kömür), yenilenebilir enerji kaynaklarından (güneş, jeotermal, rüzgar, hidroelektrik) ve alternatif enerji kaynaklarından (nükleer) sağlanabilir. Hidrojen üretimi için başlıca beş metot ve bunların karma metotları bulunmaktadır: doğrudan termal metot, termokimyasal metot, elektrolitik metot, fotolitik metot ve biyolojik metot.

Doğrudan termal metot en randımanlı metottur. 3000 Kelvin ve daha yüksek sıcaklıkta suyun elementlerine ayrılması için güneş enerjisi kullanılır. Sıcaklığın düşmesi halinde santifürüj, difüzyon ve manyetik ayırma metotlarıyla desteklenir.

Termokimyasal metot, doğrudan güneş ve nükleer enerji kullanarak elektrokimyasal bir yolla hidrojen üretimini sağlar.

Elektrolitik metotta, elektroliz yardımıyla doğru akımla hidrojen gazı elde edilir. Bu sistemde su, rüzgar ve OTEC enerjisinden faydalanılabilir.

Fotolitik metot, MSEPG Solar Power Corporation şirketinin geliştirdiği fotogalvanik elektrolizörle hidrojen elde edilmesi metodudur.

Biyolojik metot ise fotosentetik yada oksijensiz yaşayan bakterilerin hidrojen üretim çitfliklerinde toplanmasıyla hidrojen elde edilebilir. ‘Phodopsendomonas capsulata’ % 5 verimle hidrojen üreten bir bakteri çeşididir.

5.3.1.2 Hidrojenin depolanması

Yenilenebilir (güneş, su, rüzgar, jeotermal, okyanus) ve alternatif (nükleer, füzyon) enerji kaynaklarının yegane eksikliği uzun süre depolanamamalarıdır. Hidrojen bu eksikliği bertaraf eden ve birincil enerji kaynaklarının daha verimli kullanımını sağlayan eşsiz bir ara enerji sistemidir. Üretilen hidrojen; sıvı, gaz ve katı haldeki bazı element ve metallerle kimyevi bileşim halinde (hidrit) depolanabilir [2].

Hidrojen sıvı ve gaz halde büyük çaplı depolarda, akiferlerde, petrol ve doğal gazdan arta kalan yeraltı boşluklarında, madencilik ve diğer faaliyetlerle meydana gelen mağaralarda muhafaza edilebilir. Örneğin Fransız Gaz de France şirketi hidrojen yoğun rafineri gazlarını Beynes Tesisi’nde, İngiliz Imperial Chemical Industires Ltd. Şirketi Teesside Tuz Madeni Mağaraları’nda hidrojen depolamaktadır.

Hidrojen katı halde de depolanabilir. Bu metotta hidrojen; Alüminyum, Silisyum, Fosfor, Kükürt, Klor, Argon, Potasyum, Kalsiyum, Sezyum, Titanyum, Vanadyum,

Krom, Manganez, Demir, Kobalt, Nikel, Bakır, Çinko gibi metaller, nadir toprak elementleri (Cs, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Cd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb ve Lu) ya da alaşım gibi hidritleme maddeleriyle kimyevi reaksiyona sokularak hidrit ve ısı elde edilir (şarj etme). Elde edilen ısı hidrojen basıncına, hidritleme maddesine ve reaksiyon sıcaklığına bağlıdır, ayrıca reaksiyonun daha verimli olması için hidritleme maddesinin temas yüzeyi artırılmalıdır. Bu sebeple hidritleme maddesi toz halinde reaksiyona sokulur. Depolanmış hidrojen tekrar kullanılmak istendiğinde hidrite ısı tatbik edilir (deşarj etme). Eğer hidritleme reaksiyonunda verilen kadar ısı tatbik edilirse yaklaşık depo edilen kadar hidrojen açığa çıkar (histeresis etkisi nedeniyle bir miktar az), eğer daha fazla ısı tatbik edilirse daha fazla hidrojen eldesi mümkündür. Kısaca, basınç ve tatbik edilen ısı miktarıyla oynayarak istenilen miktarda hidrojen depolanmış ortamdan serbest ortama aktarılabilir.

Tablo 5.1. Çeşitli hidrojen depolama sistemlerinin mukayesesi [2]

Depo hacmi 1Nm² 90g % hidrojen	Basınç konteyneri	Fe-Ti Konteyneri	Kriyostat (sıvı)
Hacim (lt)	10	1,0	1,3
Toplam ağırlık (kg)	17	6,5	4,0
Çalışma basıncı (bar)	0-100	5-30	1,0

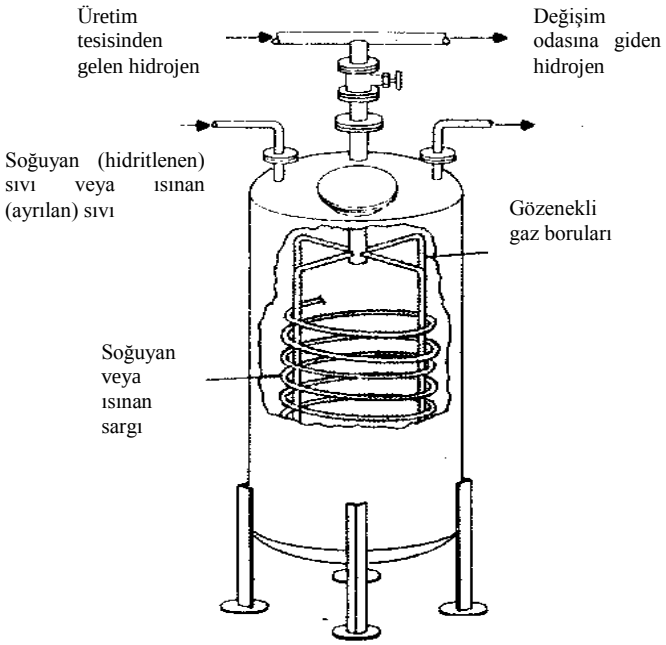
Tablo 5.1 90 gram hidrojenin depolanması için gereken çeşitli hidrojen depolama sistemlerinin mukayesesini göstermektedir. Tablo 5.2 ise bazı hidritleme maddeleriyle sıvı hidrojen, hidrojen gazı ve N-Oktan arasındaki mukayeseyi vermektedir.

Tablo 5.2. Çeşitli hidrojen depolama ortamlarının mukayesesi [2]

Ortam	Hidrojen muhtevası % ağırlık	Depolama kapasitesi Hacmin g/ml'si	kal/g	Hacmin kal/ml'si
RENNiH	1,37	0,089	464	3051
VH	2,07	-	-	701
Sıvı H	1,35	0,09	583	3050
Gaz H	100	0,07	33900	2373
N-Oktan	-	-	11400	8020

Tablolardan görüleceği üzere hidritleme metoduyla hidrojen depolamak oldukça etkili bir yoldur ve özellikle sabit uygulamalar, kara araçları ve hidrojenin su, rüzgar güneş enerjisinden elde edildiği küçük çapta evsel uygulamalar için tavsiye edilir çünkü hidritleme tankının bir diğer özelliği ise hiçbir yangın tehlikesinin olmamasıdır, bununla birlikte basınçlı gaz depolama sisteminde patlama ve yangın tehlikesi mevcuttur. Evsel uygulamalarda hidrojen hidrit tankında depolanabilir. Hidrit tankı ısı alışverişine yarayan bir boru ve granül bir yüzeyden oluşur. Hidrojen elde edilmek istendiğinde bu boru kendisini çevreleyen sargı yardımıyla ısıtılır, hidrojen depolanmak istendiğinde sistem soğutulur (Şekil 5.5). Gerekli ısı güneş

kolektörlerinden, hidrojen eldesi sırasında açığa çıkan artık ısının depolanmasından yada hidrojenin yakılmasından elde edilebilir.



Şekil 5.5: Hidrit tankı [2]

5.3.1.3 Hidrojenin tevzi edilmesi

Depolanmış hidrojenin enerji üretim merkezlerine taşınması gerekir. Küçük çaplı uygulamalarda hidrojen sıvı halde yüksek basınçlı ve izolasyonlu süper tankerlerle taşınıp dağıtılabilir; ancak büyük çaplı uygulamalarda en ekonomik yol boru hatlarıdır. Boru hatlarıyla taşımada benzer özellik gösteren doğal gaz altyapısı kullanılabilir. Uzunluğu 350 kilometreyi geçen hatlarda hidrojen elektrikten daha ekonomik olarak taşınabilir. Hidrojenin düşük yoğunluğundan kaynaklanan yüksek sıkıştırma maliyeti yüzünden doğal gaza nazaran taşıma maliyeti pahalı ancak elektriğe göre ucuzdur. Amerikan Air Products and Chemicals Inc. Texas'ta bir hidrojen boru hattı işletmektedir. 10 ile 30 cm çapında olan bu yeraltı borularının uzunluğu 96 kilometreyi bulmaktadır. Ara kompresör kullanılmadan hidrojen üretim tesisindeki kompresörler yardımıyla basınç sağlanır. İngiliz Imperial Chemicals Industries ise 16 kilometre uzunluğunda bir yerüstü hidrojen nakil hattı işletmektedir.

Fransız Chemishe Huls ve L' Air Liquide ise 550 kilometrelik hatlar işletmektedir. Yapılan çalışmalar enerji nakli sırasında kaybın % 3 civarında kaldığını göstermektedir.

5.3.1.4 Hidrojenin kullanım alanları

Hidrojen, fosil yakıtların kullanıldığı her alanda (sadece fosil yakıt gerektiren özel haller -gübre, sentetik fiber, yağlayıcılar- hariç) rahatlıkla kullanılabilir: elektrik üretimi, iklimlendirme, su ısıtma, su pompalama, yemek pişirme, içme suyu eldesi, soğutma, artık ısı depolama, aydınlatma, evsel kullanım.

Hidrojenden elektrik üretmenin en etkili yolu yakıt pilleri (bölüm 3.6) kullanmaktır. Fosil yakıtlarle elektrik % 40-42 verimle üretilmekte, nükleer enerjide bu rakam % 30-35 civarına düşmektedir. Aşındırıcı hidrokarbonlar olmadığı dolayısıyla bakım gerektirmediği için ve hidrojenin yüksek verimi nedeniyle yakıt pillerinde % 85-90 verimle elektrik üretilebilir. Havalandırma ünitesi büyüklüğündeki bir yakıt pili bir meskenin bütün elektrik ihtiyacını karşılar. Bu yapıların önünde duran yegane engel kilovat kapasite başına 2000-3000 Amerikan Dolarını bulan maliyetleridir, ancak seri üretimle bu değerin 350 Amerikan Dolarına düşmesi beklenmektedir [2].

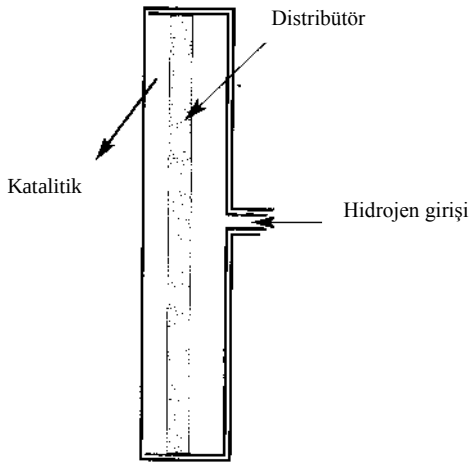
Hidrojenden elektrik üretmenin bir diğer yolu ise bir hidrit tankından diğerine geçen hidrojeni bir türbin yada gaz genişleten motordan geçirmektir. Bu sistem lantan-nikel alaşımından oluşan üç hidrit tankı bir güneş kolektörü, gaz genişletici motor ve bağlantı elemanlarından oluşur [2, sayfa 326). Birinci devrede, güneş kolektöründen gelen ısı veya atık ısı kullanılarak 1 nolu hidrit tankında deşarj gerçekleşir ve oluşan hidrojen gaz genişletici motordan geçirilerek elektrik üretilir. Motordan geçen hidrojen 104 F ısı kaybeder, basıncı düşer ve 2 nolu tanka yönlendirilerek lantan-nikel 5 alaşımı tarafından emilir ve ısı açığa çıkar bu ısı soğutma sistemiyle ortamdan uzaklaştırılır. İkinci devrede sistem birer sağa kayarak operasyona devam eder. Bu sistemle düşük kaliteli bir ısı elektrik enerjisine çevrilmiş olur [2].

İklimlendirme için önerilen sistem dört adet hidrit tankı, bir güneş kolektörü ve ısı değiştiricilerden oluşur. 1 ve 3 nolu tanklar ile 2 ve 4 nolu tanklar birbirlerine hidrojen borularıyla bağlanmıştır.1 ve 2 nolu tanklar kalsiyum-nikel, 3 ve 4 nolu tanklar ise lantan-nikel hidritleme maddesi ihtiva eder. Sistem ısıtma amacıyla çalıştırılırsa; birinci devrede, güneş kolektöründen gelen ısı 1 nolu tankta deşarj işlemi gerçekleştirir, açığa çıkan hidrojen 3 nolu tanka iletilir ve açığa çıkan ısı, ısı değiştiriciler yardımıyla ısıtılmak istenen ortamın sıcaklığının artırılmasında kullanılır. 4 nolu tank binadaki artık ısıyı emer, bu ısı 4 nolu tankta bulunan hidrojeni açığa çıkarır, 2 nolu tanka taşır ve 2 nolu tankta lantan-nikel hidriti ve ısı açığa çıkar.

Bu ısı da benzer şekilde binayı ısıtmada kullanılır. İkinci devrede sistem birer sağa kayarak benzer işlemler gerçekleşir [2, sayfa 325]. Sistem soğutma amacı güderse; birinci devrede, 4 nolu tank odadaki ısıyı emerek odayı soğutur ve bu ısıyı atmosfere gönderir. İkinci devrede ise, 2 ve 3 nolu tanklar ısıyı emer ve oluşan hidrojen 4 ve 1 nolu tanklara geçer ve depolanır, oluşan ısı atmosfere gönderilir.

Yakıt pili yada bir başka yol kullanılarak elektrik üretildikten sonra, elektrikli rezistans ısıtıcılarla ısıtmada, geleneksel elektrikli iklimlendirme sistemleriyle ısıtma ve soğutmada, bu üretilen elektrik kullanılabilir. Tabii doğru akım üretildiğinden geleneksel kumanda cihazları ve akım motorları doğru akıma ayarlanmalıdır.

İklimlendirme cihazlarında kullanılan doğal gaz yerine hidrojen gazı kullanılabilir. Ayrıca ‘Aphodid’ adı verilen buhar üretecinde hidrojen kullanılırsa % 100 verimle daha kaliteli buhar elde edilebilir.



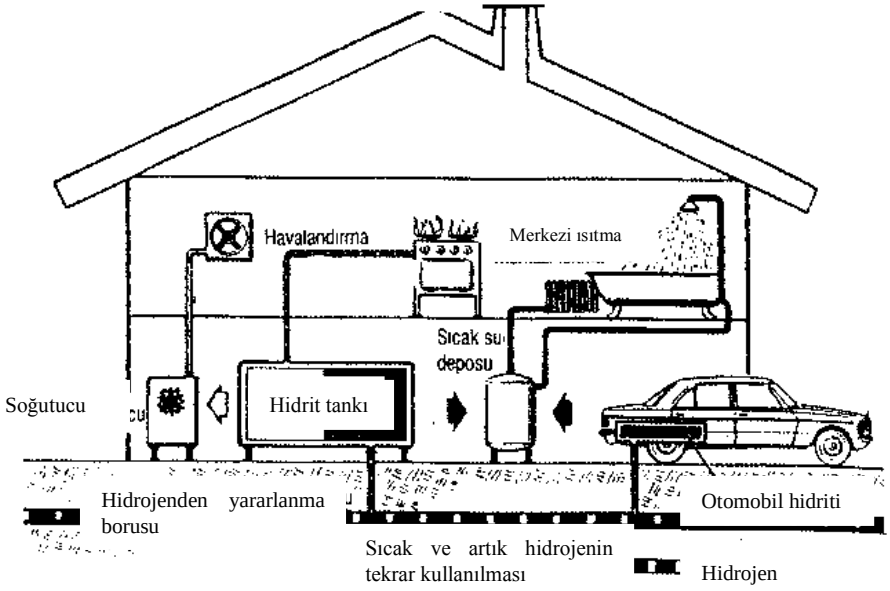
Şekil 5.6: Katalitik duvar ısıtıcısı [2]

Isınmayı temin etmenin bir diğer yolu ise katalitik hidrojen yakma hücresinin bina duvarlarında kullanılmasıdır. Platin veya paladyum gibi bir katalizörün bulunduğu böyle bir hücrede hidrojenin oksijenle birleşme özelliğinden dolayı, alevsiz bir ekzotermik reaksiyon meydana gelir. Bu sistem gözenekli iki plakadan oluşur. Bir plaka gazı dağıtırken, diğeri katalitik yatak vazifesi görmektedir. Devr-i daim etkisiyle iki plakalı setten geçen kontrollü bir hidrojen akışı meydana gelir.

Hidrojenin oksijenle reaksiyonu sonucu açığa çıkan ısı odaya yayılır. Isının miktarı hidrojenin geliş hızı ve katalitör sahasının aktif yüzeyi ayarlanarak artırılıp, azaltılabilir (Şekil 5.6). Katalitik sistemle ısınma verimi % 300 civarındadır.

Su ısıtma işleminde geleneksel elektrikli ısıtıcılarda hidrojenden elde edilen elektrik kullanılırken, gazlı ısıtıcılarda ise direkt olarak hidrojen gazı kullanılabilir. Ayrıca katalitik hidrojen ısıtıcıları, 'aphodid' buhar üreteci su ısıtma işleminde yüksek verimle kullanılabilir.

Su pompalama, yemek pişirme, aydınlatma, buzdolabı gibi evsel kullanımlarda elektrik ve doğalgazın kullanıldığı her alanda hidrojen kullanılabilir. The Institute of Gas Technology firmasının yaptığı bir araştırmada doğal gaz sisteminde kullanılan tüm elemanların hidrojen enerji sisteminde kullanılabileceğini tespit etmiştir. Sadece plastik ürünler, yağlar ve yapımında kullanılan malzemelerin hidrojenden etkilenebileceğine dair birtakım göstergeler elde edilmiştir. Kısaca hidrojen evlerin her türlü ihtiyacını karşılayabilecek durumdadır (Şekil 5.7).



Şekil 5.7: Hidrojen enerji sistemi [2]

Kağıt ve kimya sanayisi için buhar üretiminde (hidrojen % 100 verimle buhar üretir), demir eritmede karbon yerine, içten yanmalı motorlarda, hava ulaşımında jet yakıtı olarak, hipersonik uçak yakıtı olarak (fosil yakıtlar sesten hızlı ulaşımda

kullanıldığında atmosferin stratosfer tabakasına direkt etki yapmaktadır ve gürültüye sebebiyet verirler, ancak hidrojen kullanımında yan ürün su buharı olduğundan böyle bir tehlike mevcut değildir) hidrojen kullanılabilir.

Hidrojen ayrıca bitkisel yağların hidrojenarasyonu sırasında ihtiyaç duyulan hidrojen arıtmada ve margarin üretiminde de kullanılır. Döteryumun ayrılması işleminde hidrojen emili gerçekleştiren sitemlerle döteryum ayrılır ve oksijenle yakılarak CANDU tipi reaktörlerin ihtiyaç duyduğu ağır su elde edilebilir.

5.3.2 Hidrojen enerji sisteminin çevresel etkileri

Hidrojen sisteminde enerji üretimi sonucu yan ürün olarak su buharı ve oksijen oluşur. Su buharı atmosfere verilir ve yağmur olarak tekrar yeryüzüne döner, oksijen ise atmosfere verilip hidrojenle birleştirilebilir, yakıt pillerinde (% 80-90 verimle elektrik üretimi) hava yerine kullanılabilir, kirlenmiş nehirleri temizlemede yada atık su tasfiyesini hızlandırmada kullanılabilir. Dolayısıyla hidrojen yenilenebilir çevre dostu bir enerji kaynağıdır. Hidrojen enerji sisteminin mevcut enerji sisteminin yerine geçmesiyle çevre kirlenmesinde büyük oranda düşüş beklenmektedir. Veziroğlu ve Başar 1974 yılında yaptıkları araştırmada çevre kirliliğinin yıllara göre değişimini ve hidrojen kullanımı halinde oluşacak tabloyu gözler önüne sermişlerdir [2, sayfa 278]. Yapılan tahminler 2005 yılı itibariyle % 100 isabet kaydetmektedir, dolayısıyla hidrojen enerjisine geçilmediği taktirde 2100 yılında dünya çevre kirliliği 1974 yılındakinin yaklaşık 8 katına çıkacaktır.

Hidrojen hiçbir olumsuz çevresel özellik göstermez, sadece yakılması durumunda bir miktar azotoksit oluşur ve hafif olması nedeniyle sızma tehlikesi mevcuttur. Hindenburg faciası temelinde hidrojenden kaynaklanmamaktadır. Hindenburg Zeplininde bulunan 100 insandan 35'i hidrojenin yanması sonucu zeplinden atlayarak ölmüşlerdir. Halbuki zeplinde kalanlar hidrojenin alev parlaklığının az olması, hidrojenin yanlara doğru değil yukarı doğru yanması, alev dokunmadıkça çevredeki cisimlerin ısınıp tutuşmaması, hidrojen dumanını solumanın rahatsızlık vermemesi ve çevreye verdiği ısının az olması nedeniyle hiçbir yara almadan kazadan kurtulmuşlardır. Halbuki dünyanın en acı uçak kazası olarak bilinen Pan-Am ve KLM Hava Yolları'na ait iki uçağın Kanarya Adaları'nda pistte çarpışması sonucu oluşan yangında ölen 400 kişi yangından direkt olarak etkilenmemiş fosil yakıtların yüksek ısı ve zehirli özelliğinden dolayı zehirlenmiş yada kavrulmuşlardır. Aynı kaza hidrojen yakıtlı iki uçakta olsaydı kimse burnu kanamadan bu elim kazadan kurtulabilirdi. Yıllardır hidrojen kullanan NASA'da hidrojenden kaynaklanan hiçbir kaza meydana gelmemiştir.

5.3.3 Hidrojen enerji sisteminin ekonomisi

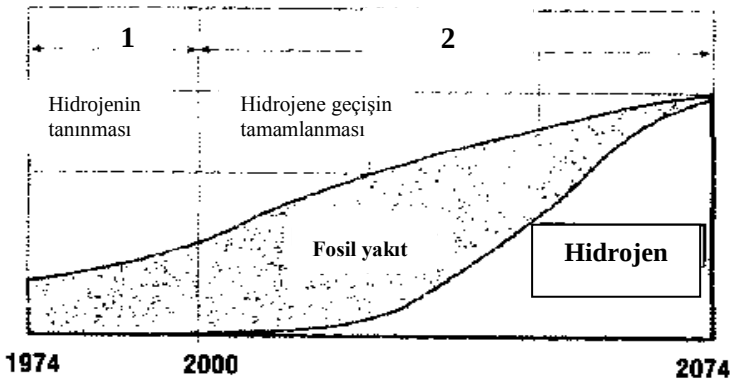
Dünya Gayri Safi Milli Hasılası'nın üçte birlik bir kısmı enerji sektöründen oluşur. Enerjideki % x'lik artış mallara % x/3, enflasyona ise % x/9 oranında tesir etmektedir. Dolayısıyla bir yakıtın ekonomisi en önde gelen etmenlerden biridir. Hidrojen enerji sistemi yeni gelişen bir enerji formu olması dolayısıyla geleneksel enerji kaynaklarına nazaran maliyetli bir sistemdir. Sıvı yakıtlar içerisinde alev hzı en yüksek, tutuşma sınırları en uygun yakıt hidrojendir, ancak 1 varil petrolün enerji eşdeğeri 10 varil su olacağı için hidrojenin kapladığı hacim fosil yakıtlara kıyasla oldukça fazladır (Tablo 5.1, Tablo 5.2), ancak fayda verimi açısından yakıtların karşılaştırılmasında yapılan arştırmalar yolcu ve yük taşıyan bir jet yolcu uçağının fosil jet yakıtı yerine hidrojen enerjisi kullanması durumunda % 19'luk bir enerji tasarrufu sağlayacağı, bu tasarrufun süpersonik jetlerde % 38'e çıkacağı görülmüştür. Bugünkü otomobil sektöründe hidrojen kullanılması durumunda fayda tasarrufun % 22-60 arasında değişeceğini söyleyebiliriz. Burdan hareketle 100 birim fosil yakıtın 30'u meskenlerde, 30'u sanayide, 15'ticari platformda ve 25'inin ulaşımda kullanıldığı düşünülürse kümülatif verim % 26 olarak tespit edilebilir. Dolayısıyla kaynak tasarrufu hesaplamalarında 1 olan faktör hidrojen enerji sisteminde 0,74'tür. Ayrıca sermaye yatırımı yönünden kıyas yapılırsa bir tesisi iki kat kapasiteye çıkarmak için karekök iki kat kapitale ihtiyaç vardır, hidrojen enerji sistemi bu bağlamda da % 18 verim sağlayabilir.

Sentetik yakıtlarla üretim maliyeti kıyaslanacak olursa: Sentetik benzin (SynGas) 14,45 dolar/GJ, sentetik doğalgaz (SNG) 7,41 dolar/GJ maliyete sahiptirler. Sıvı hidrojen kömürden elde edilirse 8,97 dolar/GJ, hidrolektrik sistemle elde edilirse 12,04 USD/GJ, diğer metotlarla elde edilirse 22,63 dolar/GJ değerine malolmaktadır. Gaz hidrojen ise sırasıyla 7,18 dolar, 9,63 dolar, 18,10 dolar gibi fiyatlarla elde edilebilmektedir. En yaygın olarak kullanılan güneş-hidrojen enerji siteminde bir galon mazot eşdeğeri olarak 2,80-4,50 Amerikan Doları arasında bir maliyete katlanmak gerekir [2].

Fosil yakıtlarla fiyat kıyaslanırsa; NASA bir varil sıvı hidrojeni New Orleans yada Kaliforniya liman teslimi (FOB) 2,11 dolara mal etmektedir. % 26 verim değeri düşülürse bu rakam 1,62 dolara gerilemekte nakliye ve dağıtım bedeliyle bu miktar 1,94 dolara yükselmektedir. Gaz hidrojen için benzer fiyat 1,40 dolar olmaktadır. Şu an NASA bir varil petrol için 1 dolar ödemektedir. Bu hesaplamaya fosil yakıtların çevresel etkileri katılmamıştır, ancak artık bu etkilerin de katılması elzem olmuştur. Görülüyor ki hidrojen şu an için fosil yakıtlardan 40-94 % pahalı kalmaktadır, ancak yapılan hesaplar hidrojenin 2030 yılında rekabetçi bir hal alacağını göstermektedir.

5.3.4 Hidrojenin günümüzdeki uygulamaları

Dünya her 40-60 yılda bir temel yakıtını değiştirmiştir. Önceleri odun sonra kömür, daha sonra petrol şimdilerde doğal gaz, görülen o ki önümüzdeki 60-70 yıl zarfında hidrojen enerji sistemine geçiş gerçekleşecektir. Hidrojen enerji sisteminin yaratıcısı Veziroğlu'nun tahminlerine göre 2074 yılında Hidrojen Enerji Sistemi'ne geçiş tamamlanacaktır (Şekil 5.8).



Şekil 5.8: Hidrojen enerji sisteminin gelişim eğrisi [2]

1974 öncesinde çok az tanınan hidrojen şimdilerde iyi biliniyor ve kabul edilmiş durumda, 1974 öncesi hidrojenle ilgili hiçbir teşkilat yokken günümüzde yirminin üzerinde teşkilat bulunmaktadır. Dergiler, kitaplar, televizyon belgeselleri, internet sitelerinin gelişiminde de durum aynıdır.

Elektrik üretiminde de 1974 öncesi hiçbir uygulama yokken bugün Tokya'da Tokyo Elektrik Kurumu tarafından işletilen 4,5 MW gücünde Pratt ve 11 MW gücünde Whitney Santrali şehre elektrik vermektedir. Japonya 2020 yılında tamamen hidrojen enerji sistemine geçişi sağlamak amacıyla 4 milyar dolarlık kaynak ayırmış durumdadır.

Hidrojen yakıt hücreli ilk otomobil 1991 yılının haziranında Pensilvanya'da ilk kişisel bilgisayarı geliştiren Roger E. Billings tarafından piyasaya sunulmuştur. Billings maliyet ve ağırlık problemlerinin çaresini 'Lazer Hücresiyle' aşmıştır. Geliştirilen bu hücre bir Ford Fiesta'yı 480 kilometre götürecek iki galon (7,5 litre) sudan yeterli hidrojeni üretmektedir. Bu sistemle 1,6 kilometre 1 sente mal olmakta ve maksimum hız 130 kilometrede sınırlandırılmaktadır. Westinghouse şirketi ticari yakıt pillerini pazarlamaya başlamış durumdadır. Almanya'da BMW 735i ve 745i 3, 8 litrelik modeller sıvı hidrojenle çalışıyor. Mercedez-Benz ise 230 E modelini metal hidritlerde depolanmış hidrojenle çalışan 2,3 litrelik bir dizel otomobil üzerinde

çalışmaktadır. Mazda Wankel araçları için hidrojeni en uygun olan yakıt olarak tanımlıyor. Ancak hidrojenin benzine alternatif olarak kullanılmasında madalyonun bir de diğer yüzü vardır: depo doldurma işlemi 10 dakika ile 1 saat arasında değişmektedir ve sıvı formu yakalamak için -253 °C sıcaklığa ihtiyaç vardır en ufak bir ısı değişimi problem yaratcağı için BMW firması insan eli değmeyen robot pompa geliştirmiştir. Ayrıca bir galon benzine göre bir galon hidrojen daha düşük enerji muhtevasına sahip olduğundan hidrojen benzine göre on kat fazla hacim kaplar. Hidrojenin yakılması durumunda ise azot oksitler oluşur.

1974 öncesi gemicilik alanında uygulama şansı bulamayan hidrojen, bugün Alman, Avusturalya, Kanada, İtalyan Deniz Kuvvetleri tarafından kullanılmaktadır.

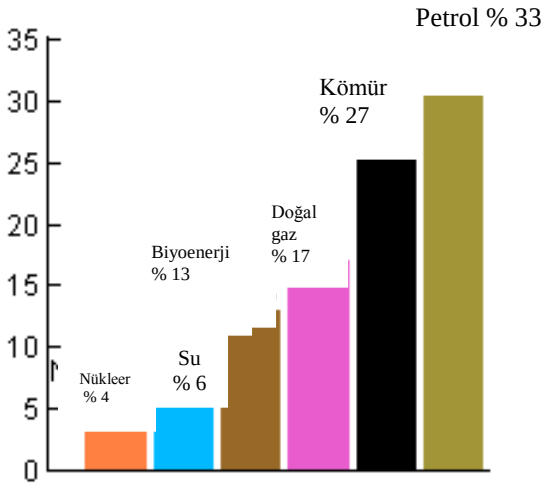
Hava taşımacılığında 1974 öncesi B-57 denemesinde kullanılan hidrojen bugün havacılık sektörünün de ilgisini çekmektedir. Airbus şirketi hidrojenle çalışan jet uçağını 2010 yılında uçurmayı planlamaktadır. Münih Havaalanı'ndaki taşıtların çoğu hidrojenle çalışıyor.

1974 öncesi uzay programlarında sadece ABD ve SSCB tarafından kullanılan hidrojen, günümüzde ABD, Rusya Federasyonu, Avrupa, Çin, Japonya, Hindistan uzay programlarında kullanılmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri uzay programını hidrojene dayandırmaktadır; uzay aracı yakıtı, astronotlar için elektriği, ısınma ve soğutmayı hidrojenle sağlamaktadırlar.

İzlanda Hükümeti, üniversiteler, otobüs, balıkçılık ve elektrik şirketleri, Shell Petrol Şirketi, Daimler-Chrysler otomotiv şirketi bir konsorsiyom kurarak 2030 yılına kadar İzlandayı Hidrojen Enerji Sistemi'ne taşımayı amaçlamaktadırlar.

6. ÜLKELERİN ENERJİ POLİTİKALARINA GENEL BAKIŞ

Mevcut düzende dünya elektrik ihtiyacının % 66'sı ve tüm enerji ihtiyacının % 95'i fosil yakıtlarla karşılanmaktadır [3]. Dünyadaki kaynaklara baktığımızda biyoenerji, hidroelektrik enerji ve nükleer enerji bu payı azaltabilecek noktada durmaktadırlar (Şekil 6.1). Yakın gelecekte rüzgar ve güneş enerjisinin de bu pastadan belirli bir pay alması beklenmektedir. Dünya enerji platformu beş ana bölümde özetlenebilir: Amerika Birleşik Devletleri (U.S), Birleşik Krallık (U.K), Japonya, Avrupa Birliği ve gelişmekte olan ülkeler.



Şekil 6.1: Dünya enerji pastası [83]

6.1 Amerika Birleşik Devletleri

Dünyanın en güçlü ve lider ülkesi olan Amerika Birleşik Devletleri'nin enerji yönetimi Enerji Bakanlığı (U.S. Department of Energy) tarafından sağlanmaktadır. Bakanlık Amerika'nın ulusal, ekonomik ve enerji güvenliğini sağlamak, bunun için geçerli olan teknolojiyi üretmek, bunları yaparken de olumsuz çevresel etkileri mümkün olduğunca azaltmayı planlamaktadır. Dünyanın en büyük ekonomisi olan Amerikan ekonomisinde enerji için her yıl 500 milyar dolar harcanmaktadır.

Ülkenin enerji kaynaklarına ve tüketimine bakacak olursak; dünya kömür rezervlerinin % 25'i Amerika'da bulunur ve bu miktar dünyanın ekonomik olarak çıkarılabilir tüm petrol rezervlerinin enerji eşdeğeridir. Kömür ülkenin lokomotifidir ve ülkenin elektrik ihtiyacının yarıdan fazlası kömür ile karşılanır. Kömürün olumsuz çevresel etkilerini azaltabilmek için de yoğun bir teknoloji yatırımı mevcuttur.

ABD'de yakın gelecekte inşaa edilecek her 1000 güç istasyonundan 900'ünün doğal gaz ile çalışması beklenmektedir. Dağıtımı ve üretimi kolay olduğu için doğal gaz Amerika'da trendini giderek artırmaktadır.

ABD hidroelektrik kapasitesinin tamamını kullanıma açılmış durumdadır. Ülkedeki kaynaklar birçok evin elektrik ihtiyacını temin ederken bu enerji 500 milyon varil petrolün enerji eşdeğeridir. Ülkedeki pompalama kapasitesi dahil toplam kapasite 95.000 MW civarındadır.

Amerika Birleşik Devletleri 1996 yılından itibaren nükleer tesis inşaasını durdurmuş bulunmaktadır, ülke dünya genelinde nükleer tesislerin işleyişini büyük bir dikkatle

takip etmekte herhangi bir nükleer silahlanma tehlikesini önlemeye çalışmaktadır, bununla birlikte ABD'de faaliyet halinde olan yüzden fazla nükleer reaktör ülkenin enerji ihtiyacının % 19'unu karşılamaktadır.

Ülke yenilenebilir enerji kaynaklarını değerlendirmek için jeotermal, rüzgar, güneş haritaları hazırlayarak bu enerji formlarını da kullanabilmek için çeşitli programlar yürütmektedir, ayrıca füzyon enerjisi üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Ülke gelecek yüzyılın enerji kaynağı olarak belirlediği Hidrojen Enerji Sistemi'ne geçiş fikrini benimsemiş ve Başkan George W. Bush 'Hidrojen Fuel Initiative' ismini verdiği proje için 1,2 milyar dolarlık bir kaynak ayırmış bulunmaktadır.

Bütün bu kaynakları bir yana koyarak, petrolün ABD ekonomisinin can damarını oluşturduğu gerçeğini ifade edebiliriz. Tüm enerji ihtiyacının % 40'ı ve taşımacılık için gerekli yakıtın % 99'u petrolden temin edilir. Enerji Bakanlığı'nın Fosil Enerji Departmanı'nın amacı yeni kaynaklar bulmak ve mevcut kaynakları korumaktır. ABD herhangi bir petrol krizinde ekonomisinin çökmemesi için, ısınma ve endüstri ihtiyacını belli bir süre karşılayacak kadar petrolü (yaklaşık 700-750 milyon varil) Meksika Körfezi'ndeki tuz yataklarında ve Kuzey Amerika'da stok olarak tutmaktadır. Şu an çıkarılması kolay bütün kaynaklar değerlendirilmiş ve tahminlere göre kalan kaynaklar 2050 yılında tükenecektir, bu yüzden Amerika Alaska Vahşi Hayatı Koruma Alanı ve Florida Mercan Adaları da dahil her yerde sondaj çalışması yaparak yeni yerler aramaya devam etmektedir. Kimi kesimler ABD'nin Afganistan, Irak gibi ülkelere saldırmasının temel nedenini enerji olarak göstermektedir. Güngör Uras 8 Kasım 2004 tarihli Milliyet Gazetesi'nde çıkan yazısında Fas'tan Çin sınırına kadar 22 ülkenin siyasal ve ekonomik coğrafyasını yeniden düzenlemek için Amerika tarafından ortaya atılan Genişletilmiş Ortadoğu ve Kuzey Afrika Projesi (GOP)'nin altında yatan gerçekleri şöyle sıralamaktadır:

''ABD yönetimi GOP'u, "ABD'nin küresel sorumluluğu çerçevesinde, küresel bir güç olarak dünyanın geri kalmış yörelerini demokrasi ve medeniyet ile tanıştırma projesi" olarak kamuoyuna sunuyor. Fakat, GOP'un temelinde "ABD' nin petrol ihtiyacını karşılama" arayışı yatıyor. 11 Eylül terör saldırısı, ABD'nin "terörü önleme, terör yataklarını kurutma" gerekçesine sarılmasına imkân verdi. Fakat uygulamada, (1) ABD'nin GOP çerçevesinde, Ortadoğu'daki askeri eylemleri (2) ABD desteğinde İsrail'in Filistinlilere karşı uyguladığı (ABD'nin ve zengin ülkelerin ses çıkarmadan izledikleri) acımasız politika (3) Ortadoğu ülkelerindeki fakirlik, terörü azaltacak yerde teşvik ediyor, tırmandırıyor. Bunların daha iyi anlaşılmasına imkan verecek birkaç rakam sunayım: Bugünlerde günde 80 milyon varil olan petrol tüketiminin 20 yıl sonra 120 milyon varile çıkacağı tahmin ediliyor. Yeryüzündeki petrol yataklarının bu yüzde 50 tüketim artışını karşılamakta zorlanacağı belirtiliyor. Dünya nüfusunun yüzde 4,6'sının yaşadığı ABD'deki petrol tüketimi toplam tüketimim yüzde 26'sı

büyüklüğünde. ABD'nin petrol tüketiminin 1970'lerde sadece yüzde 20'si dış kaynaklardan karşılanırken şimdilerde yüzde 60'ı dış kaynaktan karşılanıyor. Petrolun bir varilinin çıkartma maliyeti ABD'de 6 dolar, Ortadoğu'da 2 dolar. GOP kapsamındaki Ortadoğu, Hazar, Kafkasya ve Orta Asya'da dünya petrol kaynaklarının yüzde 69'u bulunuyor. Batı ve Kuzey Afrika'daki petrol yataklarıyla birlikte bu oran yüzde 80'e ulaşıyor. Dünyadaki doğal gaz yataklarının yüzde 49'u bu bölgede. Buna karşılık bu bölgelerde yaşayan fakir insanların durumu düzelemiyor. Giderek bozuluyor. 1960'larda en zengin yüzde 20 nufusun geliri, en fakir yüzde 20 nufusun 30 katı iken 1990'larda 225 katı oldu. En zengin yüzde 20'lik nüfus dünya gelirinin yüzde 85'ine sahip. ABD'de en varlıklı iki yüz yirmi beş kişinin yıllık geliri dünya nufusunun yüzde 47'sinin, başka anlatım ile 3 milyar kişinin gelirine eşit. ABD'nin en varlıklı 2 insanının geliri en yoksul altmış ülkenin milli gelirinin üzerinde. En yoksul seksen üç ülkenin son on yılda ödedikleri dış borç faizi, ana borcun altı katına çıkmış. Kültür Girişimi Başkanı Şakir Eczacıbaşı soruyor: "Yüzlerce yıl yabancıların, diktatörlerin, şeyhlerin buyruğu altında yaşamış, insan haklarını hiç bilmeyen, kadınlara hak tanımayan, mezhepler ile ayrışmış, yalnızca Müslümanlığa sığınmış toplumlara silah zoruyla dışarıdan demokrasi nasıl getirilebilir ?.. Hedef terörü önlemek ise, ABD'nin terörü önlemek için Afganistan'a ve Irak'a girmesinden sonra terör azalmadı. Tersine arttı.." ’’

Güngör Uras ile aynı fikri paylaşan birçok yerli ve yabancı gazeteci bulunmakta ve bu fikri destekleyen Amerikan eylemleri artmaktadır. Son zamanlarda Amerika’nın üzerinde hassasiyetle durduğu Kerkük Bölgesi’nde dünya petrol rezervlerinin % 4’ünün bulunması mı yoksa bu bölgedeki Kürt Azınlığın hakları mı Amerikan Hükümetinin ilgisini daha fazla çekmektedir?

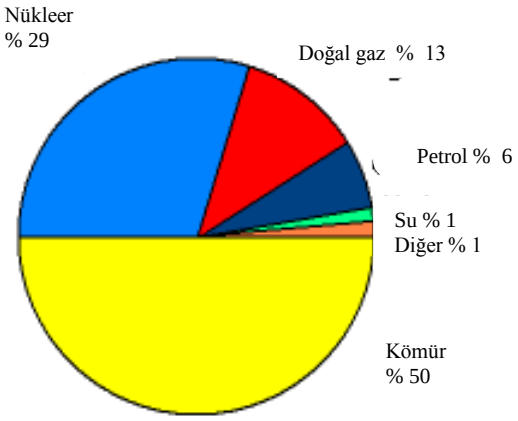
6.2 Birleşik Krallık

1989’da çıkan kanunla İngiltere, Galler ve İşkoçya; 1992’deki kanunla da Kuzey İrlanda enerji yönetimlerini kamusal platformdan özel sektöre taşımışlardır. Dolayısıyla hem üretim hem dağıtımda rekabet vardır. İngiltere ve Galler’deki birçok güç istasyonu üç ana şirket (Innogy, Powergen, British Energy) tarafından işletilmektedir, bu gücün ana dağıtımı ‘National Grid Group’, bölgesel dağıtımı ise ‘Regional Electricty Companies’ (RECs) tarafından sağlanmaktadır. İngitere’de nükleer santral işleten ‘Magnox Electric’ ve nükleer atık depolayan ‘Nirex Ltd.’ de öne çıkan firmalarıdır. İskoçya’da da üç şirket (Scottish Power, Hydro Electric, Scottish Nuclear-a part of Brittish Energy-) üretim, ana ve bölgesel dağıtım alanında rekabet halindedir Kuzey İrlanda’da üç şirket rekabet halindedir ve ürünlerini ana ve bölgesel dağıtım için ‘Northern Ireland Electricity’ şirketine satmaktadırlar.

İngiltere’de elektrik üreticileri ürünlerini temincilere ‘Elektrik Havuzu’ (Electricity Pool) denen bir sistemle satarlar. Bu sistemde fiyatlar gün boyunca her yarım saatte

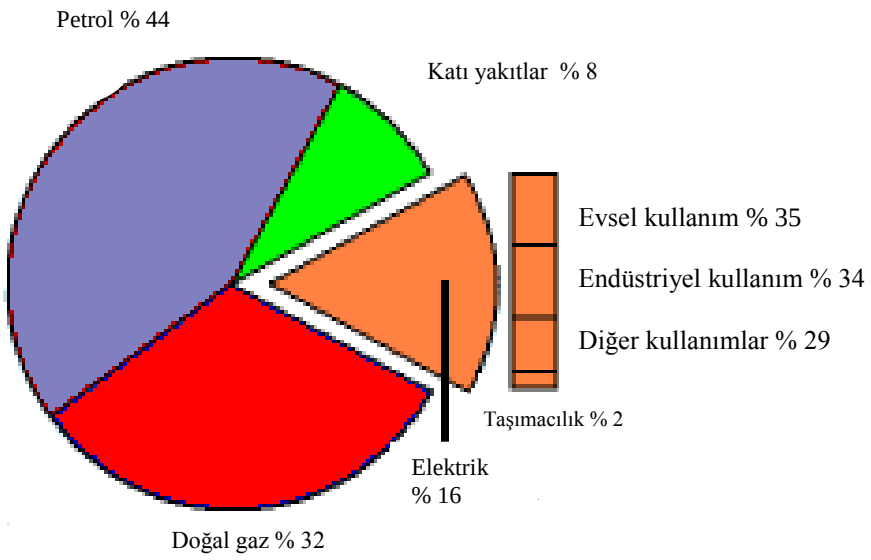
talep ve arza göre belirlenir. Ayrıca Fransa ile İngiltere arasında elektrik alıp satabilmek için kurulmuş bir doğru akım hattı bulunmaktadır.

Birleşik Krallık fosil yakıt yönünden zengin bir ülkedir. Elektrik ihtiyacının % 50'si kömür tarafından karşılanmaktadır. Bu rakam yenilenebilir kaynakların pastadan pay alması ve Avrupa Birliği'nin 1988 yılında doğal gazın güç üretiminde kullanımını yasaklayan kanunu kaldırmasıyla giderek azalmaktadır. Özellikle doğal gaz tesisleri inşaasının kolay olması, ekonomik güvenilir ve diğer fosil yakıtlara nazaran temiz bir yakıt olması nedeniyle giderek yükselen bir değer olmaya devam etmektedir. Şu an için doğal gaz elektrik ihtiyacının % 13'ünü karşılamaktadır. Ülkede mevcut on nükleer santralin elektrik üretimine katkısı % 29 civarındadır. Ülke hidroelektrik kapasitesinin tamamını kullanmış durumdadır ve bu gücün elektrik üretimine katkısı % 1 dir. Petrol özellikle 1973 krizinden itibaren güç üretim tesislerinde yalnızca pik zamanlarda kullanıldığından elektrik üretimine katkısı % 6 civarındadır. Diğer kaynakların katkısı % 1 civarında kalmakla birlikte ilerleyen yıllarda artış beklenmektedir (Şekil 6.2).



Şekil 6.2: Birleşik Krallık elektrik pastası [83]

Enerji üretiminde ise durum şöyledir: Petrol % 44 ile başı çekmekte, doğal gaz % 32 ile değerini gün geçtikçe artırmakta, elektrik % 16 seviyesinde kalmakta ve katı yakıtlar yalnız % 8 katkı sağlamaktadır (Şekil 6.3).



Şekil 6.3: Birleşik Krallık enerji pastası [83]

Yenilenebilir enerji kaynaklarında bir sıralama yapılacak olursa: biyoenerji % 79, hidroelektrik % 18 ve rüzgar % 3 civarında kalmaktadır.

6.3 Japonya

Japonya özellikle ilk enerji krizinden sonra enerji sektöründe büyük bir tasarruf kampanyası başlattı ve enerji harcamasını 1973 rakamlarının % 30 gerisine çekmeyi başardı. Ancak değişen dünyanın Japonya'yı etkilemesi de uzun sürmedi ve kısa sürede Japonya'nın enerji talebi tekrar artış trendine girdi. 1998 yılında endüstride yaşanan durgunluk (recession) bu sektördeki talebi düşürse de daha sonraki yıllarda talep her sektörde katlanarak artmaya devam etti.

Japonya enerji kaynağının çok büyük bir bölümünü (% 85) ithal fosil kaynaklara bağlamıştır ancak bu rakam 1973 öncesi % 95 civarındaydı. Ülke bugün elektrik ihtiyacının % 60'nın fosil yakıtlardan, % 19'unu hidroelektrik enerjiden, % 18'ini nükleer enerjiden temin etmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının (biyoenerji, güneş, jeotermal, rüzgar ve dalga) pastadaki payı % 3 civarında kalmaktadır.

Japonya Kyoto Protokolü gereği emisyon seviyesini 2008 ila 2012 yılları arasında 1990 seviyesinin % 6 gerisine getirmeyi hedeflemektedir. Bunun için ülke çapında Enerji Koruma Kanunu çıkarılarak klima, televizyon alıcıları, bilgisayarlar ve benzeri elektrik uygulamalı alanlarda % 14-63 arası tasarruf hedeflemektedirler. Ülkenin geleneksel enerji kaynakları yönünden fakir bir ülke oluşu, onu bu hedefin tutturulması için enerji tasarrufu sağlamaya ve alternatif kaynaklara yönelmeye

zorlamaktadır. 1997 yılının Nisan ayında resmileşen yeni enerji kanunu gereğince alternatif kaynaklar; doğal enerji (güneş, rüzgar, OTEC, hidroelektrik, dalga ve jeotermal), yenilenebilir enerji (atık yakılması, kanalizasyon enerjisi, bina ve metroların sıcak atıkları, biyogaz), yüksek verimli enerji (kojenerasyon ve yakıt pilleri) ve diğerleri (temiz enerji araçları) olarak dört ana başlıkta toplanmış ve bu alanlarda gelişme kaydedebilmek için harekete geçilmiştir. Amaç ekonomik gelişim kaydetmek, güçlü bir enerji temini sağlamak, olumsuz çevresel etkileri azaltmak ve yerli yada yarı-yerli imalatı teşvik etmektir. Doğal enerji kaynaklarından güneş ve rüzgar enerjisi ilk planda değerlendirilmesi hedeflenen kaynaklardır. 'Yeni Gün Işığı Projesi' ve 'Rüzgar Gücü Projesi' doğrultusunda ülkenin rüzgar ve güneş haritaları çıkartılarak uygun tekniklerle bu enerjinin değerlendirilmesi adım adım gerçekleşmektedir. Yenilenebilir kaynaklardan en ilgi çeken çöp enerjisidir, bu alanda da ülke büyük yol katetmektedir. Temiz enerji araçları; doğal gaz taşıtları, elektrikli taşıtlar, karma yakıtlı taşıtlar (dizel-bateri), metanollü araçlar, yakıt pilli araçlar olarak sıralanabilir. Japonya'da bu yeni enerji kanunu adım adım uygulanmakta ve çok planlı bir enerji devrimi sessiz sedasız gerçekleşmektedir.

6.4 Avrupa Birliği

Avrupa Birliği çatısı 15 ana üye (Avusturya, Belçika, Danimarka, Finlandiya, Fransa, Almanya, Yunanistan, İrlanda, İtalya, Lüksemburg, Hollanda, Portekiz, İspanya, İsveç, Birleşik Krallık), birliğe 2004 yılında kabul edilen 9 yeni üye (Kıbrıs Rum Kesimi, Çek Cumhuriyeti, Polonya, Macaristan, Litvanya, Slovakya, Slovenya Estonya, Malta) ve birliğe entegre aşamasında olan 4 aday ülkeden (Türkiye, Romanya, Bulgaristan, Hırvatistan) oluşmaktadır. Ayrıca birliğe üye olmayan ancak Ekonomik Toplulukta (EEA) yer alan Norveç de bu başlıkta değerlendirilebilir.

Birlikte enerji ihtiyacı büyük ölçüde (% 93) fosil yakıtlar ve nükleer enerjiden sağlanmaktadır. Avrupa Komisyonu fosil yakıtlara bağımlılığı azaltmak, sera gazı oranını düşürmek, enerjide çeşitlilik yaratabilmek, teknoljik gelişme sağlayabilmek, yeni iş alanları açmak için 26.11.1997'de yayınladığı 'The Commision's White Paper for a Community Strategy and Action Plan' bildirgesi ile, 2010 yılı itibariyle birliğin enerji ihtiyacının % 12'sini yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlayacağını tebliğ etmiştir ve 1993 yılında ortaya atılan ALTENER I ve 1997 de yenilenen ALTENER II programlarına 8 Haziran 1998 yılında CTO (Campain for Take-Off) programını ekleyerek bu hedefi yakalayabilmek için planlı bir çalışma başlatmıştır [35]

CTO güneş, rüzgar ve biyoenerjide büyük bir atılımı hedefleyen; birlik üyeleri, özel sektör ve toplum tarafından desteklenen, 2010 yılına kadar 30 milyar Euro harcamayı

gerektiren bir projedir. Projenin uygulamaya konulduğu 1999 yılı itibariyle proje kapsamında birlik üyelerinin yenilenebilir enerji kaynaklarındaki durumu özetlenecek olursa;

Avusturya, Finlandiya ve İsveç hidroelektrik ve biyoenerji kaynaklarına sahip olmaları nedeniyle % 12 hedefini çoktan tutturmuşlardır. Avusturya'da yenilenebilir kaynak dağılımı; hidroelektrik % 53, biyoenerji % 46 ve güneş enerjisi % 1 olarak sıralanabilir ve yenilenebilir enerji kaynakları toplam enerji talebinin % 23,4'ünü karşılamaktadır [36]. Avusturya, mevcut bütün su kaynakları değerlendirildiği için hidroelektrik enerjiye ek yatırım hedeflememekte aksine ilerleyen yıllarda biyoenerji üzerine yatırımları özendirmeyi hedeflemektedir [37]. Finlandiya'da petrol, biyoenerji, nükleer enerji, doğal gaz ve tüm enerji ihtiyacının % 6'sını karşılayan 'peat' (bataklık) kömürü enerji pastasını oluşturmaktadır [38]. Yenilenebilir kaynakların dağılımı % 85 biyoenerji ve % 15 hidroelektrik enerji şeklindedir ve tüm ülke enerji ihtiyacının % 22,2'si bu kaynaklarla karşılanmaktadır [36]. Finlandiya yakın zamanda güneş ve rüzgar enerjisine yatırım yapmayı planlamaktadır. İsveç ise mekan ısıtma ihtiyacının % 50'sini biyoyakıtlarla sağlamaktadır. Ülkede elektrik ihtiyacı nükleer ve hidroelektrik enerjiden sağlanmaktadır. 'Climate Bill 2001' ve 'Energy Bill 2002' programlarıyla ülke nükleer enerjiyi biyoenerji, güneş ve rüzgar enerjisiyle değiştirmeyi planlamaktadır [37]. 2015 yılında rüzgar enerjisinden yılda 10 TWh enerji sağlanması hedeflenmektedir. Yenilenebilir kaynakların dağılımı, biyoenerji % 54 ve hidroelektrik enerji % 46 biçimindedir ve bütün enerji ihtiyacının % 26,7'si bu kaynaklarla sağlanmaktadır [36].

Birliğin 'Enerjide Beyaz Sayfa' (White Paper) projesine karşılık İrlanda 'Yeşil Enerji', İspanya ve İtalya ise 'Beyaz Enerji' isimli kampanyalarla gelişimi hedeflemektedir [35]. İrlandada yenilenebilir kaynakların dağılımı % 66 biyoenerji, % 28 hidroelektrik enerji, % 6 rüzgar enerjisi şeklindedir ve bu kaynaklar toplam enerji ihtiyacının % 1,9'unu karşılamaktadır [36]. İspanya'daki dağılım % 64 biyoenerji, % 32 hidroelektrik enerji, % 4 rüzgar enerjisi olarak sıralanır ve toplam enerji talebinin % 5,2'si yenilenebilir enerji kaynaklarıyla temin edilmektedir [36]. İtalya ise jeotermal enerji ile ön plana çıkar. Jeotermal enerjinin yenilenebilir enerji kaynakları içerisindeki dağılımı % 21 civarında olmakla birlikte biyoenerji % 50, hidroelektrik enerji % 29 seviyesinde kalmaktadır. Yenilenebilir kaynaklar tüm enerji ihtiyacının % 7, 8'ini karşılayabilmektedir [36].

Danimarka, Yunanistan ve Hollanda ise 70'li yıllarda çok düşük oranlarda yenilenebilir kaynaklara sahipken durum 1999 itibariyle değişmiştir [35]. Yunanistanda yenilenebilir kaynakların dağılım; % 63 biyoenerji, % 28 hidroelektrik

enerji, % 1 rüzgar enerjisi biçimindedir ve bu kaynaklar enerji talebinin % 5,5'ini karşılamaktadır [36]. Danimarka'daki dağılım % 86 biyoenerji ve % 14 rüzgar enerjisi şeklindedir ve toplam enerji talebinin % 9,2'si yenilenebilir bu kaynaklarla sağlanmaktadır [36]. Hollanda ise rüzgar gücüyle artış hedeflemektedir. Ülkedeki yenilenebilir kaynakların dağılımı % 96 biyoenerji ve % 4 rüzgar enerjisi şeklindedir. Tüm enerji ihtiyacının % 2,1'i bu kaynaklarla sağlanmaktadır [36].

Belçika ve Lüksemburg ise hedeflerini belirlemiş ve uygulamaya başlamış ülkelerdir. Belçika'da yenilebilir kaynaklara, biyoenerji % 96 ve hidroelektrik enerji % 4 oranında katkı yapmaktadır ve bu kaynakların tüm enerji pastasındaki payı % 1,2 civarında kalmaktadır. Lüksemburg ise küçük bir ülkedir ve biyoenerji % 79, hidroelektrik enerji % 18 ve rüzgar % 3 oranında katkıyla yenilenebilir kaynakları oluşturmaktadır [36].

Portekiz ise hedefleri tutturmak için sadece toplumsal destek sağlamanın yeterli olacağını düşünmektedir [35]. Zira, ülkede değerlendirilmiş yenilenebilir kaynaklar biyoenerji, hidroelektrik enerji ve jeotermal enerjidir ve pastadaki payları sırasıyla % 72, % 24 ve % 4 civarındadır ve bu kaynaklar tüm enerjinin % 11,1'ine tekabül etmektedir [36]

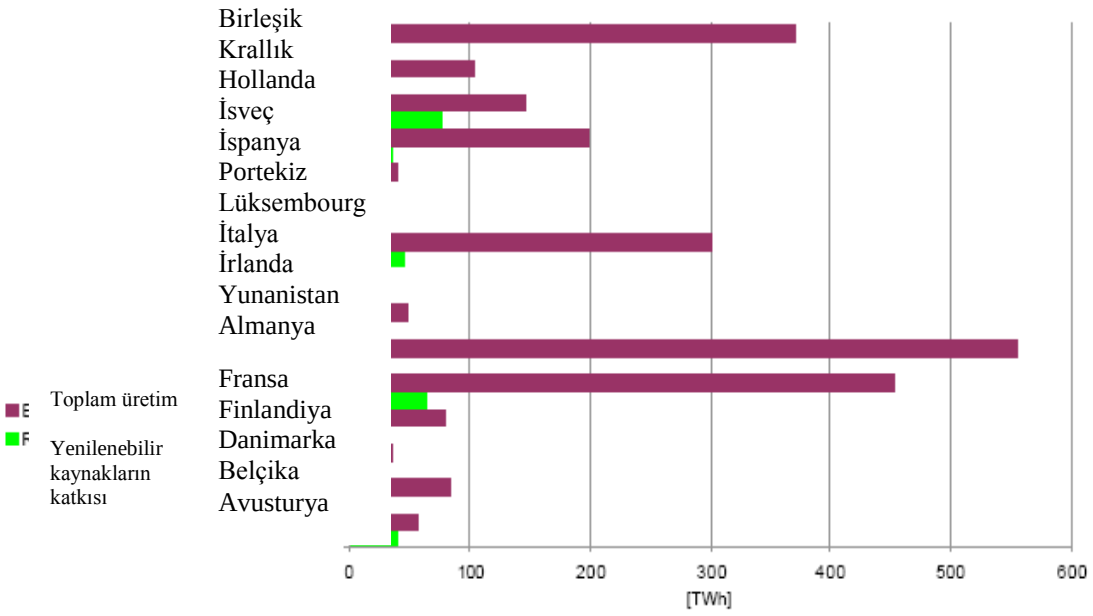
Birliğin en çok enerji tüketen ülkeleri Almanya ve Fransa'dır. Fransa 2000 yılında ADEME'nin (the French Agency for Enviroment and Energy Management) başlattığı planla güneş enerjisi, biyoenerji, rüzgar enerjisi ve jeotermal enerji alanlarında atılım yaparak hedefleri tutturmayı planlamaktadır [39]. Ülkedeki yenilenebilir enerji kaynaklarına bakılacak olursa: biyoenerji % 63, hidroelektrik enerji % 36 ve jeotermal enerji % 1 civarındadır ve yenilenebilir enerji kaynakları tüm enerji ihtiyacının % 7'sini karşılayabilmektedir [36]. Almanya'da ise tüm enerji ihtiyacının ancak % 2,6'sı yenilenebilir enerji kaynaklarıyla karşılanabilmektedir. Ülkede değerlendirilmiş yenilenebilir kaynaklar ve yüzdeleri: biyoenerji % 75, hidroelektrik enerji % 19 ve rüzgar enerjisi % 5 civarındadır [36]. Ülke hidroelektrik enerji kapasitesini doldurduğundan bu alanda yeni yatırım imkanı bulunmamakta ancak ilerleyen yıllarda jeotermal ve güneş enerjisinden faydalanmayı planlamaktadır [40].

CTO programı altında güneş enerjisi, rüzgar enerjisi ve biyoenerji alanlarında 1999-2003 yılları arasında gerçekleştirilmek üzere yapılan planlar büyük ölçüde gerçekleştirilmiştir. Tablo 6.1 bu yıllar arasında gerçekleştirilen projeleri özetlemektedir. Görülen o ki birlik yenilenebilir enerji kaynaklarından optimal şekilde yararlanmaya başlamıştır ve 2010 yılı itibariyle bu kaynaklar toplam enerji ihtiyacının % 12'sini karşılamayı başaracaktır.

Tablo 6.1. 1999-2003 yılları arasında gerçekleşen projeler [35]

Sektör	Anahtar faaliyetler	Kapasite	Yatırım bedeli (milyar Euro)
Güneş Enerjisi	650.000 güneş kolektörü : EU 350,000 güneş kolektörü : diğer ülkeler	650 MWp 350 MWp	2,85 2,45
	15 milyon m² güneş kolektörü	15 Mm²	4,7
Rüzgar enerjisi	10.000 MW rüzgar türbini	10.000 MW	10,1
Biyoenerji	10.000 MWth CHP	10.000 MWth	5,5
	1.000.000 biyoenerji ile ısıtılmış mekan	10.000 MWth	4,4
	1.000 MW biyogaz	1.000 MW	1,2
	5 milyon ton akışkan biyoyakıt	5 milyon ton	1,25
Toplam			**30 milyar Euro**

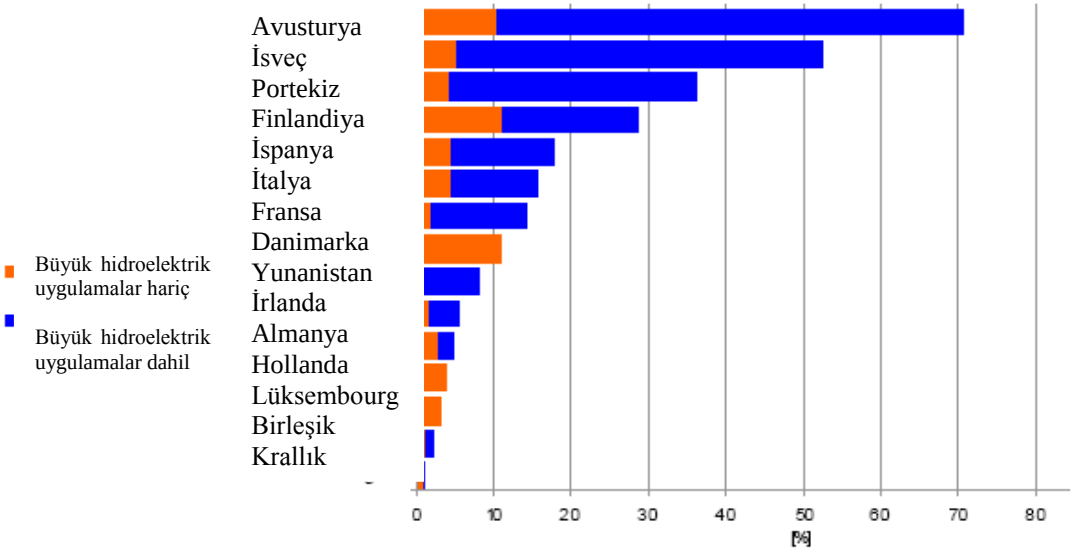
Avrupa Birliği yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimine de büyük önem vermekte ve 2010 yılı itibariyle tüm elektrik ihtiyacının % 22'sini yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılamayı planlamaktadır [41]. Şekil 6.4 Avrupa Birliği Ülkeleri'nin 1998 yılı itibariyle elektrik üretimini ve bu üretimin ne kadarının yenilenebilir kaynaklarla sağlandığını göstermektedir. Şekil 6.5 ise yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretiminde Avrupa Birliği ülkelerini sıralamaktadır.



Şekil 6.4: AB'nde 1998 yılı itibariyle elektrik üretimi ve RES'nin katkısı [41]

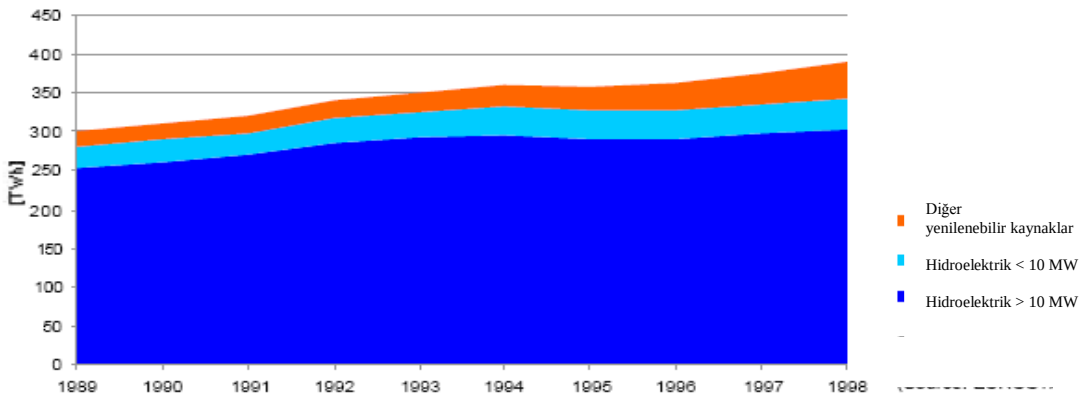
Hidroelektrik enerji yenilenebilir kaynaklar arasında birinci sırada yer almaktadır. Özellikle 70'li yıllarda bu alanda büyük atılım yapılmış ve büyük su projeleri (>10 MW) gerçekleştirilmiştir. Ancak günümüzde birlik ülkeleri su potansiyellerinin tamamını kullandığı için hidrolektrik enerji alanında gelecekte bir gelişme görülmeyecektir. Diğer yenilenebilir kaynaklar da (küçük hidroelektrik uygulamalar,

rüzgar enerjisi, biyoenerji, güneş enerjisi ve jeotermal enerji) önümüzdeki yıllarda büyük bir gelişme gözlenecektir. Şekil 6.6 1998 yılı itibariyle Avrupa Birliği ülkelerinde bu diğer yenilenebilir kaynakların dağılımını göstermektedir. Şekil 6.6 hidroelektrik enerji dahil, Şekil 6.7 ise hidroelektrik enerji hariç yenilenebilir enerji kaynaklarının zaman içindeki gelişimini göstermektedir.



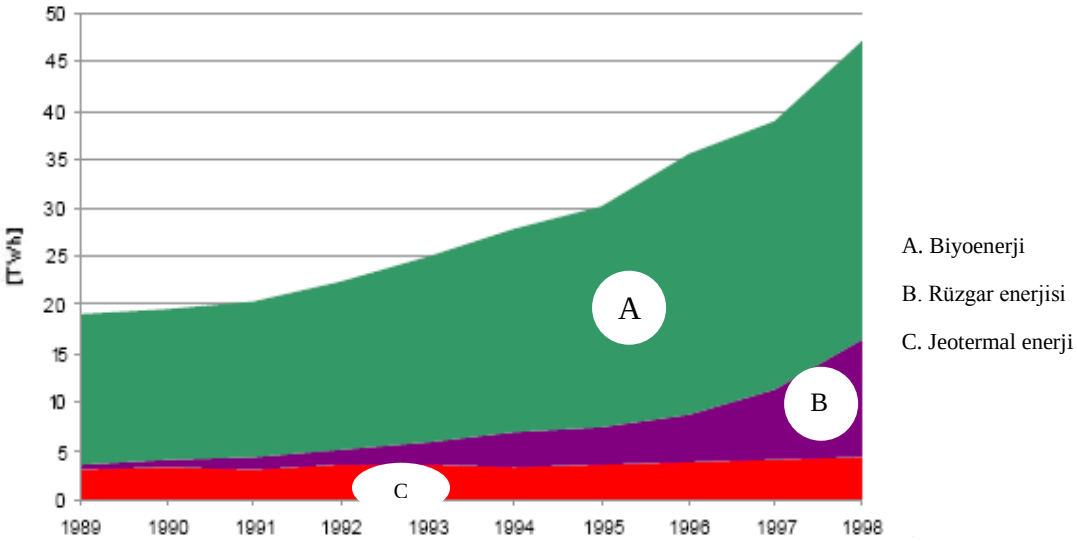
Şekil 6.5: RES'den elektrik üretiminde AB ülkelerinin sıralaması [41]

Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretiminin maliyeti de Avrupa Birliği'nin önem verdiği bir diğer konudur. Şekil 6.8 bu enerji kaynaklarının zamanla değişen yatırım maliyetlerini grafiksel olarak göstermekte, Şekil 6.9 ise bu kaynaklardan enerji maliyetini göstermektedir. Şekil 6.10 ise 2010 yılı itibariyle tahmin edilen elektrik üretim potansiyelini göstermektedir.

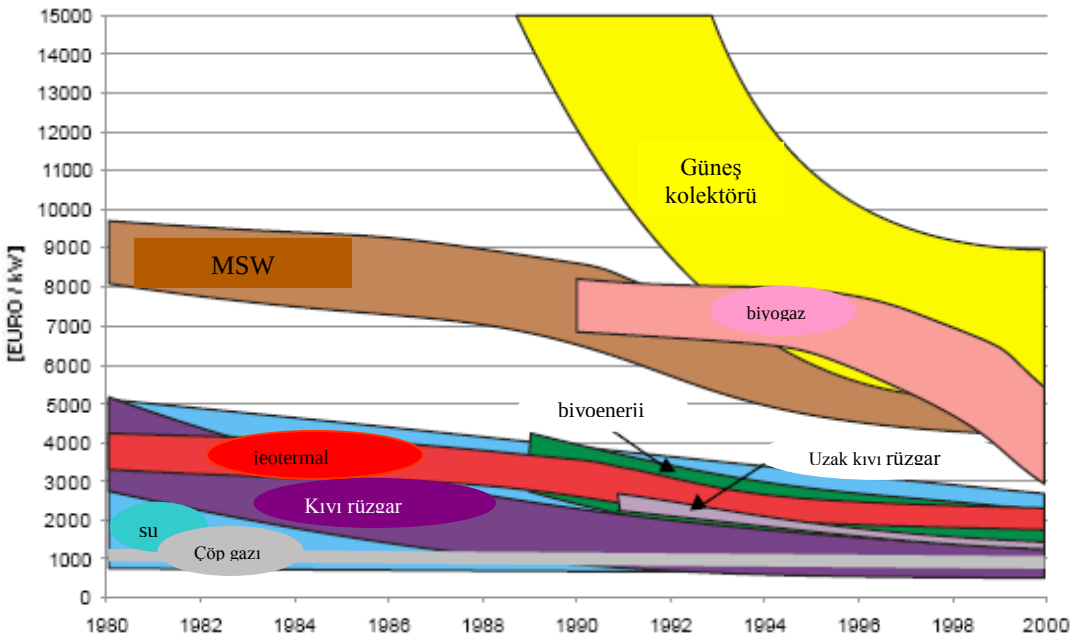


Şekil 6.6: Hidrolik enerji dahil RES'den elektrik üretiminin dağılımı [41]

Norveç Avrupa Birliği'nde olan bir ülke olmamasına rağmen ekonomik toplulukta (EEA) yer almakta ve bu çatı altında değerlendirilmektedir. Ülkede elektrik ihtiyacının % 100'ü 850 hidroelektrik tesisle sağlanmaktadır. Ülke önümüzdeki yıllarda biyoenerji, rüzgar ve güneş enerjisi alanlarında gelişme kaydetmeyi planlamaktadır.



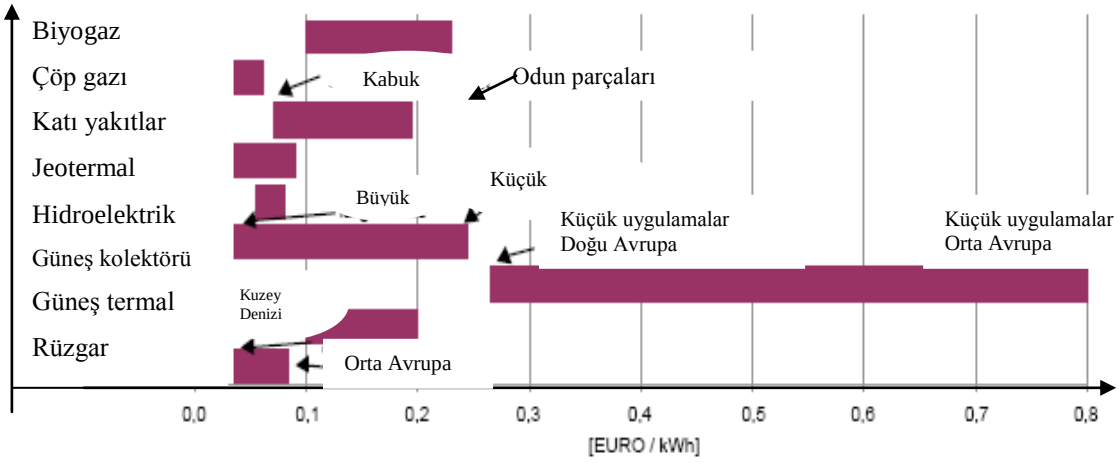
Şekil 6.7 : Hidrolik enerji hariç RES'den elektrik üretiminin dağılımı [41]



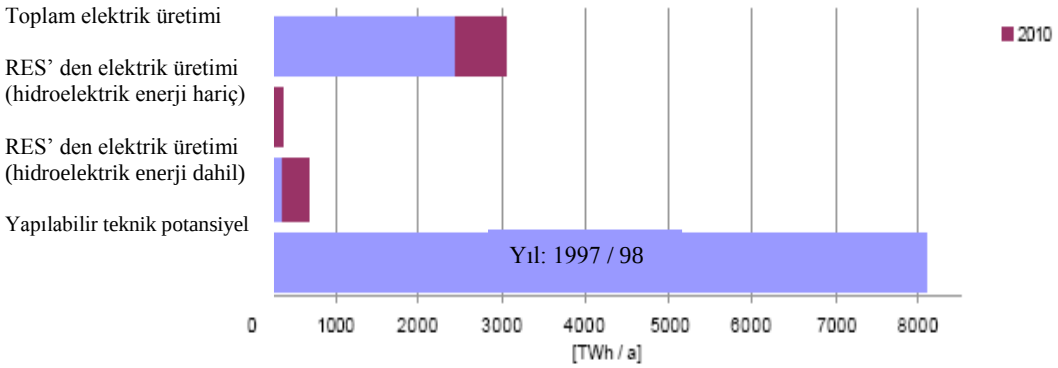
Şekil 6.8: RES'den elektiktrik üretiminde yatırım maliyetlerinin zamanla değişimi [41]

Yeni üye ülkelerden Polonya 40 milyonu aşkın nüfusuyla Avrupa Birliği ülkeleri içinde ciddi bir konuma gelmesi beklenen ülkelerin başında gelir. 2000 yılında

kanunlaşan 'Notes to Poland Energy Policy until 2020' isimli dökümanla ülke yenilenebilir enerji kaynaklarında Avrupa Normları'nı yakalamayı hedeflemektedir. Ülkede yenilenebilir kaynaklar tüm enerji ihtiyacının % 60'ını karşılayacak potansiyele sahiptir. Ülke güneş enerjisi, biyoenerji, jeotermal enerji, rüzgar ve hidrolektrik enerji yönünden değerli kaynaklara sahiptir ancak bu potansiyelinin % 9'unu değerlendirebilmiştir [42]. Litvanya ise enerji ihtiyacının % 29'unu doğal gazdan, % 26'sı petrolden sağlanmaktadır. Ülke Daugava Nehri üstünde inşaa edilen 3 büyük 150 küçük hidroelektrik tesis ve bioenerji ile tüm elektrik ihtiyacının % 40'ını temin edebilmektedir. Estonya ise enerji ihtiyacının % 11'ini yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlarken biyoenerji ve rüzgar enerjisine yatırım yapmayı planlamaktadır [37].



Şekil 6.9: RES'den elektrik üretim maliyetleri (2000) [41]



Şekil 6.10: AB ülkelerinde RES'den elektrik üretimi ve potansiyeli [41]

6.5 Gelişmekte Olan Ülkeler

Endüstrileşmesini tamamlamış ülkeler fosil yakıtlara tamamen bağlanmış olmaları nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişleri bir hayli zor olmaktadır. Ancak

gelişmekte olan ülkeler enerji yapılanmalarını yeni oturtmaya başladıkları için yenilenebilir enerji kaynaklarına bağlı projelerle kendi öz kaynaklarını değerlendirme fırsatı bulabilecekleri gibi aynı zamanda olumsuz çevresel etkileri de bertaraf edebilirler. Avrupa ve Okyanusya'daki ülkeler gelişmelerini tamamlamış yada Avrupa Birliği yada Amerika Normları'na uygun olarak tamamlamak üzeredirler. Gelişmekte olan ülkelerin durumlarına bakmak için Güney Amerika'dan Brezilya ve Arjantin; Asya'dan Çin, Hindistan ve Güney Kore'yi incelemek yeterlidir. Diğer ülkeler de bölgelerindeki bu lider ülkelerin yolundan gitmektedirler.

Arjantin, Güney Amerika'da doğal gaz kapasitesi bakımından en zengin ikinci ülke (Venezuella'dan sonra) konumundadır. Gaz arama ve elde etme faaliyetleri dünyanın en büyük 100 şirketinden biri olan Repsol'ün bir alt kuruluşu YPF tarafından gerçekleştirilmektedir. Ülke petrol yönünden kendi kendine yetebilecek durumda olup, Brezilya ve Şili'ye fosil yakıt ihraç etmektedir. Arjantin'de ayrıca az miktarda kömür kaynakları da bulunur. Ülke elektrik ihtiyacının % 56'sını fosil yakıtlardan, % 40'ını hidroelektrik enerjiden ve % 4'ünü nükleer enerjiden sağlamaktadır [4]. Enerji sektörü devlet tarafından adım adım özelleştirme programına alınmıştır. Ülkede iki ana elektrik şebeke firması bulunmaktadır. MEM piyasanın neredeyse tamamına hakimken tek rakibi MEMSP'nin pazar payı % 8 civarındadır. Elektrik fiyatları alıcı tiplerine göre anlık ve toptan değerlerle belirlenir. Arjantin yenilenebilir enerji kaynakları yönünden de zengin bir ülkedir. Özellikle güney kesimlerin (Patagonya) rüzgar kapasitesi oldukça yüksektir (7,0 m/s-10,7 m/s) ve ilerleyen yıllarda rüzgar enerjisinin enerji dağılımındaki oranı giderek artacaktır. Ülkede kırsal kesimlerin elektriklendirilmesi için PAEPRA projesi hayata geçirilmiş ve 2010 yılı itibariyle % 95 oranında kırsal elektriklendirmenin güneş enerjisi, biyoenerji ve rüzgar enerjisiyle sağlanması planlanmaktadır.

Brezilya elektrik sektörü üç ana bölüm tarafından yönetilmektedir. Bir devlet kurumu olan Eletrobras, bu kurumdan lisanslı olarak nükleer santralleri işleten bir firma ve Eletrobas'ın bayisi olarak faaliyet gösteren üç ana elektrik şirketi (FURNAS, CHESF, Eletronorte) bu yapıyı oluşturan kurumlardır. Ülke 1990'larda yaşadığı enerji krizinden sonra Arjantin modeli bir özelleştirme sistemi belirlemiştir ve 1995 yılından beri bu yönde adımlar atmaktadır. Ülkede amaç devlet yönetiminde olan ve neredeyse bütün sektöre hakim olan Eletrobas kurumunun tamamen özelleştirilmesidir. Her ne kadar bu bağlamda adımlar atılmış olsada bu devlet kurumunun sektördeki payı (2/3) hala azımsanmayacak seviyededir. Ülkede kuzey ve güney olmak üzere iki ana dağıtım şebekesi bulunmaktadır ve 60 kadar yerel dağıtım firması (% 40 özelleştirilmiş durumda) faaliyet göstermektedir. Devlet politikasına göre hiçbir firmanın sektördeki payının % 20'yi aşmaması

gerekmektedir. Bu oranlar kuzey şebekesi için % 35 ve güney şebekesi için % 25 olarak belirlenmiştir. Ülke elektrik ihtiyacının % 92'sini hidroelektrik enerjiden sağlamaktadır. Kalan kısım fosil yakıtlar ve nükleer santrallerden sağlanmaktadır. Ayrıca Arjantin, Bolivya, Uruguay ve Paraguay'dan enerji ithal edilmektedir. Brezilya hemen hemen bütün elektrik ihtiyacını sudan sağladığı için kuraklık ülke enerji piyasasında büyük bir kaos ortamı yaratmaktadır, ayrıca su kaynaklarının kuzeyde (Amazon) yoğunlaşması ve enerji talebinin % 80'inin güney ve orta-batıda olması da bir diğer handikaptır. Bu nedenle yakın gelecekte fosil yakıtlar, biyoenerji, küçük hidroelektrik santraller ve rüzgar enerjisi alanlarında büyük adımlar atılması planlanmaktadır. 2001 yılında CRESESB firması ülkenin rüzgar atlasını çıkarmış ve bu değerlerden teorik olarak yılda 272 TWh (2005 yılı tüketiminin yaklaşık % 50'si) elektrik elde edilebileceğini belirtmiştir. Bu rapordan sonra Danimarka, Almanya ve İspanya gibi ülkelerin bu bölgelere ilgisi giderek artmaktadır. Brezilya'da halen nüfusun % 15'lik kısmına elektrik ulaştırılamamaktadır [4]. Kırsal kesimin elektriklendirilmesini sağlamak amacıyla PRODEEM ve Luz no Campo isimli programlar kılavuzluğunda hareket edilmektedir. Bu programlar özellikle güneş enerjisi potansiyelini artırma hedefi gütmektedir. Hidroelektrik ve biyonerji orijinli santrallerle güneş enerji sistemlerinin rekabetini sağlamak amacıyla devlet teşviklerinin de uygulanması görüşü giderek hakim olmaktadır.

Çin dünyanın en büyük ikinci elektrik üreticisi ülkesidir (yılda 390 GW). Elektrik ihtiyacının % 81'i fosil yakıtlardan (çoğunlukla kömür), % 18'i hidroelektrik enerjiden ve % 1 ise nükleer enerji ve yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanır [4]. Ulusal ekonomik planlama, beş yıllık kalkınma planı, ülkenin gelişmesi için gerekli uzun vadeli planlamalar, dış borçlanma gibi ana konularda tek yetki sahibi olan SDPC (State Development and Planning Commision) tüm önemli enerji projelerinin hayata geçirilmesi için de tek yetki sahibi kuruluştur. Bejing, Moğolistan, Tibet hariç hemen hemen tüm bölgelerin elektrik yönetimi SPCC (State Power Corporation of China) isimli devlet kurumu tarafından yönetilmektedir. Kırsal kesimlerin elektriklendirilmesi MWR (Ministry of Water Resources) ve kısmen Tarım Bakanlığı Enerji Departmanı tarafından gerçekleştirilmektedir. Yabancı yatırımcıya sadece elektrik üretimi gerçekleştirecekse devlet tarafından izin verilmektedir. Halen elektrik ulaştırılamayan ev sayısı 7 milyon civarındadır. Bu bölgelerin elektrik ihtiyacının sağlanması için SDPC, Japonya, Almanya ve Hollanda tarafından desteklenen Işıklandırma Programı (Brightness Program) ve Dünya Bankası tarafından desteklenen Yenilenebilir Enerji Geliştirme Programı (REDP) uygulamaya alınmıştır. Bu programlar çerçevesinde güneş enerjisi, rüzgar enerjisi ve küçük hidroelektrik (small hydropower) uygulamalar hayata geçirilerek yaklaşık 23 milyon insan elektriğe kavuşturulacaktır [4]. Ülke su gücüne büyük yatırım

yapmaktadır (2009 yılında bitirilmesi planlanan Yangtze bölgesindeki Three Gorges Güç İstasyonun kapasitesi 18,2 GW olacaktır); zira Çin, dünyadaki su gücü potansiyeli bakımından açık ara lider konumundadır. Ancak su kaynaklarının ülkenin batısında kalması ve bu gücün endüstri merkezlerine ulaştırılması bir hayli sıkıntı yaratmaktadır. Bununla birlikte Çin, 2015 yılı itibariyle hidroelektrik enerjiden tüm elektrik ihtiyacının % 28'ini karşılamayı planlanmaktadır. Çin'in rüzgar gücü kapasitesi 250 GW civarındadır, bu gücün değerlendirilebilmesi için Çin, Almanya ile işbirliği içerisindedir ve rüzgar gücü diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına nazaran ülkenin enerji politikasında daha önemli bir yer tutar. Değerlendirilmiş rüzgar gücü 340 MW civarındadır ve bu oran 1-2 yıl içinde tamamlanacak projelerle 1,5 GW civarına ulaşacaktır. Güneş enerjisinde mevcut üretim 80 MW mertebesindedir ve bu enerji formunun kısa sürede gelişmesi ekonomik eksiklikler nedeniyle pek mümkün gözükmemektedir, ancak kırsal alanların elektriklendirilmesinde güneş enerjisinden faydalanılması planlanmaktadır. Biyoenerjinin Çin enerji sisteminde çok önemli bir konumu vardır. 5 milyonun üzerinde biyoenerji tesisi halen faaliyettedir, ancak bu tesislerden çok azı elektriksel amaç gütmektedir. Biyoenerjiden elektrik üretimi ancak 80 MW civarında kalmaktadır. Bununla birlikte biyogaz üretiminde Çin dünya lideri ülkedir. Milyonlarca mikro yada küçük çaplı tesisin yanında, yüzlerce büyük çaplı tesis biyogaz üretimi gerçekleştirmektedir. Ülkedeki potansiyelin yalnızca % 50'si kullanılsa doğal gaz üretimine eşit miktarda biyogaz üretilebilecektir. Diğer bir yenilenebilir kaynak olan jeotermal enerjiden elektrik elde üretilebilme kapasitesi SPDC'ye göre yaklaşık 5,8 GW'tır. Bu kapasitenin 30 MW'ı değerlendirilebilmektedir. Özellikle Tayvan, Tibet ve Yunnan bölgesindeki potansiyelin önümüzdeki 20 yıl içerisinde değerlendirilmesi planlanmaktadır [4].

Hindistan mevcut elektrik ihtiyacını karşılamakta büyük güçlük çekmektedir. Ülkenin ancak % 85'ine elektrik verilebilmektedir [4]. Kırsal kesimlerin elektriklendirilmesi için dizel jeneratörler, küçük hidroelektrik uygulamalar, güneş enerji sistemleri ve biyogaz üniteleri kullanılmaktadır. Ülke elektrik ihtiyacının % 72'sini fosil yakıtlardan, % 24'ünü hidroelektrik enerjiden, % 2'sini nükleer enerjiden, yaklaşık % 2'sini ise yenilenebilir enerji kaynaklarından (çoğunlukla rüzgar) sağlamaktadır [4]. Ülkenin enerji yönetimi Enerji Bakanlığının kontrolü altındadır. CEA (Central Electricity Authority) ise özellikle 100 MW'ı geçen (hidroelektrik tesislerde 250 MW) uygulamalarda teknik ve ekonomik konularda Enerji Bakanlığına destek verir. Elektrik üretimi ve dağıtımı 18 Eyalet Elektrik Kurumu (State Electricty Board), eyaletler kontrolünde 13 Elektrik Departmanı (Electrcity Department) ve birçok sayıda alt birimden oluşmaktadır. Bunların üzerinde aralarında Ulusal Hidroelektrik Güç Üretim Kurumu'nun (National

Hydroelectric Power Corporation) da bulunduğu 5 ana elektrik üretici şirket bulunmaktadır. Ülke yabancı ve yerli özel müteşebbise 1991 yılından beri kapılarını açmış olmasına rağmen özelleştirme altyapısını sağlamlaştıramadığı için (bir çok kurum özellikle çiftçiler ve teşvik kapsamındaki kurumlar neredeyse bedavaya elektrik almaktadır) henüz bir başarı sağlayabilmiş değildir. Bununla birlikte aralarında Andhra Pradesh, Gujarat, Haryana, Madja, Pradesh, Orissa ve Rhajastan'ın bulunduğu eyaletler Dünya Bankası (World Bank) ve Asya Kalkınma Bankası'nın (Asian Development Bank) yardımlarıyla elektrik yönetim birimlerini özelleştirmek için Elektrik Reform Kanununu (Electricty Reform Law) yürürlüğe koymayı başarmışlardır. Hindistan enerji yönetiminde yenilenebilir kaynaklara en ciddi yönelen ülkelerden biridir. Bu amaçla 1982 yılında Enerji Bakanlığı'nın altında görev yapan Geleneksel Olmayan Enerji Kaynakları Departmanı, 1992 yılında Geleneksel Olmayan Enerji Kaynakları Bakanlığına (MNES) dönüştü. Bu bakanlığın faaliyet alanı ekstra enerji kaynağı sağlamak, kırsal kesimlerin elektriklendirilmesini sağlamak, biyogaz santrallerinin artışını temin etmek, küçük ve mikro ölçekli hidroelektrik tesisleri ve jeotermal enerji tesislerinin gelişimini temin etmek, güneş kolektörlerinin gelişimini sağlamak, okyanus enerjisini değerlendirebilmek ve IREDA'nın (Indian Renewable Energy Development Agency) müşavirliği görevini sağlamak olarak sıralanabilir. Rüzgar enerjisi Hindistan'da en çok önem verilen yenilenebilir enerji formudur. İkinci sırada biyoenerji gelirken, küçük hidroelektrik uygulamalar için çok elverişli devlet teşvikleri mevcuttur. Ülke 2012 yılında rüzgar enerjisinden 6.000 MW, biyoenerjiden 3.500 MW, küçük hidroelektirik uygulamalardan 2.000 MW ve diğer yenilenebilir enerji formlarından yaklaşık 700 MW değerinde elektrik üretmeyi planlamaktadır.

Güney Kore çok hızlı bir büyüme sürecinden geçtiği için enerji ihtiyacının hemen hemen tamamını ithal fosil yakıtlardan sağlamaktadır. Yoğun çevresel etkiler ve dışa bağımlılık sorunu ülkeyi yenilebilir kaynakların değerlendirilmesine yöneltmiştir. Enertopia projesiyle ülke yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyelini % 20 olarak belirlemiş ve bu oranı hayata geçirmek için çalışmalara başlamıştır [43].

7. TÜRKİYE'NİN JEOENERETİK KONUMU

7.1 Enerji Yönetimi

Türkiyede enerji yönetimi Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın kontrolü altındadır. Bakanlık enerji kaynaklarının optimal şekilde değerlendirilmesi, yeni enerji projelerinin üretilmesi ve enerji tasarrufu gibi konularda tek yetkili kurum olup geniş bir faaliyet alanına sahiptir.

Enerji deyince akla gelen ilk sektör olan elektrik piyasasında ülkemiz dünyada son yirmi yıl zarfında en hızlı gelişen ülkelerden biridir. Uluslararası Enerji Ajansı'na (International Energy Agency) göre 1973-1995 yılları arasında elektrik tüketimi her yıl % 9-10 arasında artış göstermektedir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'na göre bu eğilimin 2015 yılına kadar benzer oranda artması ve 2010 yılında toplam elektrik ihtiyacının 64 GW olması beklenmektedir.

Türkiye'de elektrik yönetimi 1993'e kadar Türkiye Elektrik Kurumu (TEK) tarafından gerçekleştirildi. 19.12.1984'te yürürlüğe giren 3096 sayılı kanun 15.3.1990'da 3613 sayılı kanunla iyileştirilerek özelleştirme yolunda ilk adımlar atıldı ve böylece elektrik üretim ve dağıtımı için özel müteşebbislerin önü açılmış oldu. 15.9.1993'te TEK iki ayrı kuruma bölündü. Bunlardan ilki ülkede elektrik üretimi, elektrik santrallerinin inşaası ve 66 kV'dan yüksek voltajlarda dağıtımı sağlayan Türkiye Elektrik Üretimi ve İletimi Anonim Şirketi (TEAŞ), ikincisi daha düşük voltajlarda elektrik dağılımını sağlayan ve elektriği yalnızca TEAŞ'tan satın alabilen Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi (TEDAŞ) olarak tanımlanmıştır.

2002 yılı sonu itibariyle TEAŞ 15 fosil yakıtlı enerji santrali ve 30 hidroelektrik santraliyle Türkiye elektrik ihtiyacının % 91'ini karşılamaktadır (% 28 kömür, % 18 doğal gaz, % 9 petrol, % 44 hidroelektrik enerji, % 1 diğer kaynaklar) [4]. Elektrik ihtiyacının tamamı öz kaynaklarla karşılanamadığı için Bulgaristan (yapılan anlaşma gereği 2005 yılı itibariyle 5 TWh), Gürcistan kanalıyla Rusya, Türkmenistan ve İran'dan elektrik ithal edilmektedir. Ayrıca son yıllarda önem verilen sıvı doğal gaz (LNG) ithalatıyla özel müteşebbise doğal gaz çevrim santralleri kurdurarak elektrik üretimine ivme kazandırılması hedeflenmektedir.

3.3.2001 yılında yürürlüğe giren 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu [44] elektrik sektörünü düzenlemeyi amaçlamaktadır. Kanunda açıklanan haliyle bu kanunun amacı: 'elektiriğin yeterli, kaliteli, sürekli, düşük maliyetli ve çevreyle uyumlu bir şekilde tüketicilerin kullanımına sunulması için, rekabet ortamında özel hukuk hükümlerine göre faaliyet

gösterebilecek, mali açıdan güçlü, istikrarlı ve şeffaf bir elektrik enerjisi piyasasının oluşturulması ve bu piyasada bağımsız bir düzenleme ve denetimin sağlanmasıdır.' Ayrıca bu Kanun; elektrik üretimi, iletimi, dağıtımı, toptan satışı, perakende satışı, perakende satış hizmeti, ithalat ve ihracatı ile bu faaliyetlerle ilişkili tüm gerçek ve tüzel kişilerin hak ve yükümlülüklerini, Enerji Piyasası (02/05/2001 tarihli ve 24390 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan 4646 sayılı Doğalgaz Piyasası Kanunu ile Elektrik Piyasası ibaresi Enerji Piyasası ile değiştirilmiştir) Düzenleme Kurumu'nun kurulması ile çalışma usul ve esaslarını ve elektrik üretim ve dağıtım varlıklarının özelleştirilmesinde izlenecek usulü kapsar.

Bu kanuna göre TEAŞ; Türkiye Elektrik Üretim Anonim Şirketi, Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi, Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt Anonim Şirketi gibi üç şirkete ayrılacak. Kanuna göre Türkiye Elektrik Üretim Anonim Şirketi ve Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt Anonim Şirketi'nin özelleştirilmesi planlanırken, Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi'nin devletin yönetiminde kalması planlanmaktadır.

Kanun hükmünce elektrik üretimi gerçekleştirebilecek tüzel kişiler; Türkiye Elektrik Üretim Anonim Şirketi, özel sektör üretim şirketleri, otoprodüktör veya otoprodüktör grubu olarak tanımlanmıştır. Türkiye Elektrik Üretim Anonim Şirketi yeni üretim tesisleri kurabilir, kiralayabilir ve işletebilir. Şirket TEAŞ ve DSİ (Devlet Su İşleri) bünyesindeki üretim tesislerini de bu kanunla devralmaktadır. Özel sektör üretim şirketleri de sahip oldukları, finansal kiralama (leasing) yoluyla edindikleri veya işletme hakkını devraldıkları tesislerde elektrik enerjisi üretip bu enerjinin satışını gerçekleştirebilirler. Bu kurumların üretim lisansı almaları zorunludur ve hiçbir özel sektör üretim şirketinin bir önceki yıla ait yayımlanmış Türkiye Elektrik Enerjisi Kurulu gücünün yüzde yirmisini aşan bir üretim payına sahip olmasına izin verilmez. Otoprodüktör kendi kullanımı için elektrik üreten tüzel kişilere verilen isimdir. Bu kurumlar ürettikleri elektriğin yüzde yirmisini rekabet ortamında satabilir bazı hallerde bu oran yüzde elli civarında artırılabilir ancak Kurulca belirlenen orandan fazla miktarda elektrik satılması halinde üretim lisansı alınması zorunludur [44].

Kanun gereğince elektrik iletimi Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi tarafından gerçekleştirilir. Kamu mülkiyetindeki tüm iletim tesislerini devralmak, kurulması öngörülen yeni iletim tesisleri için iletim planı hazırlamak, yeni iletim tesisleri kurmak ve işletmek, iletim tesislerinin bakımını yapmak bu şirketin görevleri arasındadır. Ayrıca üretim yapan tesislerle iletim kontrol anlaşması yaparak iletim sisteminin kararlılığının ve işletme bütünlüğünün sağlanması da Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi tarafından gerçekleştirilir. 36 kV'dan düşük voltajlarda iletim

Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. veya özel sektör şirketleri tarafından gerçekleştirilir [44].

Toptan satış faaliyetleri Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt Anonim Şirketi ve özel sektör toptan satış şirketleri tarafından bu Kanun ile ilgili yönetmelikler, lisanslar, şebeke yönetmeliği, dengeleme ve uzlaştırma yönetmeliği ve ikili anlaşmalarca yürütülür. Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt Anonim Şirketi TEAŞ ve TEDAŞ'ın elindeki bütün alış ve satış anlaşmalarını ve özel sektörün elindeki bütün anlaşmaları devralır, bu anlaşmaları sürdürür veya sona erdirir. Özel sektör toptan satış şirketleri de elektrik ticaretinde bulunabilir ancak hiçbir özel şirketin piyasada bir önceki yılda tüketilen toplam elektriğin % 10'unu geçen bir paya sahip olmasına izin verilmez.

Elektrik piyasasını denetlemek, üretim lisanslarını sağlamak, sözleşme düzenlemek, fiyatlandırma esaslarını tespit etmek ve düzenlemek için Kanun, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu adıyla bir teşkilat kurulmasına karar vermektedir. Bu teşkilatın ilişkide olduğu bakanlık Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'dır. Kurumun en önemli görevi lisans sağlamaktır. Piyasa faaliyetleri ile iştigal edecek tüzel kişiler, faaliyetlerine başlamadan önce, her faaliyet için ve söz konusu faaliyetlerin birden fazla tesiste yürütülecek olması halinde, her tesis için ayrı ayrı lisans almak zorundadır. Lisanslar, bir defada en çok kırk dokuz yıl için verilir. Üretim, iletim ve dağıtım lisansları için geçerli olan asgari süre on yıldır. Üretim lisansı sahibi şirketlerin dağıtım şirketlerinde de hisse sahibi olmasını engelleyici bir yaptırım yoktur. İletim lisansı sadece Türkiye Elektrik İletim A.Ş'ye verilir, bu kurum iletim faaliyeti haricinde hiçbir faaliyet gerçekleştiremez. Dağıtım lisansı belirli bir bölgede dağıtım faaliyetinde bulunabilmek için tüzel kişilerin Kurumdan almak zorunda oldukları lisansı ifade eder. Özel sektör dağıtım şirketleri dağıtım ve perakende satış faaliyeti dışında, üretim lisansı alarak dağıtım yaptıkları bölgede elektrik üretebilirler. Ancak yıllık elektrik enerjisi üretimi bir önceki yılda bölgelerinde tüketime sunulan yıllık toplam elektrik enerjisi miktarının yüzde yirmisinden fazla olmamalıdır. Dağıtım şirketleri ticari ilişkide oldukları üretim şirketlerinden bölgelerinde bir önceki yılda dağıtımını yaptıkları yıllık toplam miktarın yüzde yirmisinden fazla elektrik enerjisi satın alamaz. Toptan satış lisansı, Toptan satış şirketlerinin piyasada elektriğin toptan satışı ve serbest tüketicilere satışı için Kurumdan almak zorunda oldukları lisansı ifade eder. Toptan satış lisanslarında elektrik ithalat ve ihracatını serbest bırakan bölümler bulunabilir. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, Türkiye Elektrik İletim A.Ş'den görüş alarak belirli bir süre ve belirli bir miktar için bu bölümleri lisansa ekleyebilir. Tüzel kişilerin, piyasada perakende satış yapabilmek ve/veya perakende satış hizmeti verebilmek için Kurumdan almak zorunda oldukları lisans perakende satış lisansıdır. Bir perakende

satış lisansında 36 kV'dan düşük voltajlarda elektrik ithalatında da izin verilebilir. Perakende satış şirketleri, herhangi bir bölge sınırlaması olmadan perakende satış ve perakende satış hizmeti faaliyetinde bulunur. Perakende satış lisansına sahip dağıtım şirketleri ise ancak perakende satış lisansında yer alması halinde, başka bir dağıtım şirketinin bölgesinde bulunan serbest tüketicilere elektrik enerjisi ve/veya kapasite satışı yapabilir. Otoprodüktör ve otoprodüktör grubu lisansı; kendi ihtiyaçlarını karşılamak üzere elektrik enerjisi üretimi yapan ve iletim ve/veya dağıtım sistemi ile paralel çalışan otoprodüktörlerin ve ortaklarına elektrik enerjisi temin eden otoprodüktör gruplarının Kurumdan almak zorunda oldukları lisansı ifade eder.

Bu kanun elektrik piyasasına yeni bir sistem getirmekle birlikte bazı noktalarda yeni düzenlemelere gerek duyulmaktadır. Örneğin, Kanunda Yap-İşlet-Devret (BOT) ve İşletme Hakkı Devri (TOR) projelerine dair açıklayıcı bölümler bulunmazken [4], yenilenebilir kaynaklara ilişkin de detaylı bir düzenleme söz konusu değildir. Ancak her kanunun belirli bir zaman dilimi içinde eksiklerini tamamlayarak rayına oturduğu da unutulmamalıdır. Zira, elektrik sektöründe ileriye dönük arz ve talep projeksiyonlarının belirlenmesindeki boşluk 2005 Mart ayı içerisinde Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nca alınan kararla aşılmaktadır. Buna göre, enerji talebinin karşılanabilmesi için hazırlanan projeler; Bakanlık koordinatörlüğünde Devlet Planlama Teşkilatı, Türkiye Elektrik Üretim Anonim Şirketi ve Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'nun mutabakatıyla hayata geçirilecek ve bu değerlendirmede özel sektörün bu talebi karşılayıp karşılamayacağı da dikkate alınacaktır. Bu bağlamda alınan ilk kararla 2005-2010 yılları arasında enerji talebindeki artışın karşılanabilmesi için 2800 MW'lık kaynağa ihtiyaç duyulmaktadır. Bu gücün doğal gaz çevrim, hidrolektrik ve rüzgar santrallerinden karşılanması öngörülmektedir.

Petrol dünya ekonomisinin can damarı olmaya devam etmektedir. Halen Ortadoğu'nun en büyük yirmi şirketinden onüçü petrol şirketidir (Tablo 7.1). Türkiye'de doğal gaz ve petrol yönetimini elinde tutan kurum Boru Hatları İle Petrol Taşımacılığı Anonim Şirketi'dir (BOTAŞ). BOTAŞ Irak petrolünün Ceyhan'a taşınmasını gerçekleştirmek üzere 15 Ağustos 1974 tarihinde Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı'na bağlı olarak kurulmuştur. Faaliyetlerini bu kimlikle 1995 yılına kadar sürdüren BOTAŞ, aynı yıl Kamu İktisadi Teşekkülü olarak yeniden yapılandırılmıştır. Faaliyet alanına 1987 yılında doğal gaz taşımıcalığını da ekleyen BOTAŞ, bu tarihten sonra yapılanmasını petrol ve doğal gaz olmak üzere iki ana başlıkta toplamıştır. BOTAŞ, yurt dışında yürütülecek projelerde de etkin olarak yer alabilmek düşüncesinden hareketle 1996'da Botaş International Limited'i (BIL) kurmuştur. Aynı doğrultuda, Rus gazını Batı hattı üzerinden taşıyarak Türkiye'ye satan TURUSGAZ şirketinde BOTAŞ'ın % 35 oranında iştiraki bulunmaktadır.

Tablo 7.1. Ortadoğu'nun en büyük yirmi şirketi [79]

Sıra	Şirket	Ülke	Faaliyet alanı	Cirosu (milyon dolar)
1	Saudi Arabian Oil Company	Suudi Arabistan	Petrol	87,100
2	National Iranian Oil Company	İran	Petrol	38,375
3	Petronas	Malezya	Petrol	25,664
4	Sonatrach	Cezayir	Petrol	24,100
5	Kwait Petrolium Corporation	Kuveyt	Petrol	22,911
6	Pt Pertemina Persero	Endonezya	Petrol	22,171
7	Abu Dhabi Oil Company	Birleşik Arap Em.	Petrol	17,000
8	Iraq National Oil Company	Irak	Petrol	14,100
9	Saudi Basic Industry	Suudi Arabistan	Kimya	12,478
10	Koç Holding	Türkiye	Özel	10,995
11	Kingdom Holding	-	Finans	-
12	Ziraat Bankası	Türkiye	Bankacılık	8,287
13	Saudi Telecommunication	Suudi Arabistan	Telekom	-
14	Sabancı Holding	Türkiye	Özel	7,300
15	Egpyt General Oil Company	Mısır	Petrol	-
16	Katar Petrolium Company	Katar	Petrol	-
17	National Petrolium Company	-	Petrol	-
18	Tüpraş	Türkiye	Petrol	5,917
19	Petrol Ofisi	Türkiye	Petrol	5,534
20	Türk Telekom	Türkiye	Telekom	5,112

Petrol sektöründe; Kerkük petrolünü Ceyhan'a taşıyan ve Irak topraklarında 579, Türkiye'de ise 1297 km olmak üzere toplam 1876 km uzunluğunda olan ITP I ve ITP II boru hatlarının yanısıra BOTAŞ, Batman-Dörtyol ve Ceyhan-Kırıkkale arasındaki ham petrol boru hatlarını da işletmektedir. Yılda toplam 80,2 milyon ton taşıma kapasiteli, 2297 km uzunluğunda, değişik çaplardaki petrol boru hatları üzerinden BOTAŞ, kuruluşundan bugüne 6 milyar varilden fazla petrol taşımıştır.

BOTAŞ tarafından taşınan petrol TÜPRAŞ'ın yönetimindeki rafinerilerde işletilmektedir. Türkiye şu anda 22-23 milyon ton petrolü yurtdışından alıyor. Türkiye'de çıkarılan petrol miktarı ise 2,7 milyon ton ve bu miktarın 1 milyon tonu Adıyaman bölgesinden çıkan kaliteli petrolken, geri kalan kısmı Batman bölgesinden çıkan düşük kaliteli petroldür. Ülkemiz 2005 yılında İran'dan 5,5-6 milyon ton, Suudi Arabistan'dan 3,5 milyon ton, Libya'dan 4-4,5 milyon ton, Tataristan Cumhuriyeti'nden 4-4,5 milyon ton, Suriye'den 400 bin ton petrol alımını hedeflemektedir. Rafineri 2004 yılında ham petrolü brent petrole nazaran ortalama 3,74 dolar daha ucuza alarak ilk 9 ayda 408 trilyon net kar elde etmiştir. TÜPRAŞ yüksek kükürtlü ağır ve orta graviteli kükürtlü petrolü de işleyebilecek durumda, sigorta değeri 4,4 milyar dolar olan dev bir şirket konumundadır. Rafineri herhangi bir kriz anında 90 gün yetecek petrolü elinde bulundurmaktadır. Rafineride 1 ton petrolün % 10-15 benzine, % 29-30'si motorine çevrilebilmektedir. 1 ton ham petrolün rafineriye maliyeti 262 dolarken, rafineri ürettiği petrolü 290 dolara satmaktadır ancak bu rakam pompa fiyatlarına yüksek KDV ve ÖTV değerleri nedeniyle 720 Amerikan Doları olarak yansımaktadır [72].

Doğal gaz sektöründe; 14 Şubat 1986'da eski Sovyetler Birliği ile yapılan anlaşma gereği yılda 6 milyar metreküp doğal gaz alımıyla 1987 yılından itibaren Türkiye doğal gaz kullanmaya başlamıştır. 500 milyon metreküp ile başlayan doğal gaz tüketimi 2001 yılında 16 milyar metreküpe ulaşmıştır. BOTAŞ'ın tahminlerine göre 2010 yılında tüketim 55 milyar metreküp, 2020 yılında 82 milyar metreküpe ulaşacaktır. Artan talebi karşılayabilmek için BOTAŞ, 1994 yılında Cezayir'den sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG) alımına başlamış, bunu 1999 yılında Nijerya ile yapılan alım anlaşması ve spot alımlar izlemiştir. BOTAŞ, LNG olarak deniz yoluyla taşınan gazı Marmara Ereğlisi'nde bulunan ve 685.000 m^3/saat enjeksiyon kapasitesine sahip Gazlaştırma Terminali'ni işletmeye alarak Ana İletim Hattına gaz enjekte etmektedir. BOTAŞ'ın geleceğe dair en önemli projesi Hazar petrolünü Bakü-Tiflis-Ceyhan boru hattı ile dünya pazarlarına ulaştırmaktır. Bir diğer proje de Hazar ve Orta Doğu petrol ve gaz kaynaklarının Avrupa'ya taşınmasıdır. Bu amaçla ilk adım Yunanistan'la gerçekleştirilmesi planlanan INNOGATE projesidir. Bu zincire ilerleyen yıllarda Bulgaristan, Romanya, Macaristan, Avusturya da eklenmek istenmektedir. BOTAŞ'ın doğal gaz ithali, dağıtımı, satışı ve fiyatlandırılması hususunda tekel olma özelliği 2 Mayıs 2001 tarihinde yasallaşan 4646 sayılı Doğal Gaz Piyasası Kanunu ile [45] ortadan kalkmıştır. Bu kanun gereği BOTAŞ, sahip olduğu 16 milyar metreküplük altı adet doğal gaz kontratını (Tablo 7.2) 2005 yılı içerisinde yapılacak ihale ile başvuru yapan (Tablo 7.3) özel sektör şirketlerine devredecek. Yeni kanuna göre Kuruluş, 2009 yılına kadar piyasa payını % 20'ye düşürecek.

Tablo 7.2. BOTAŞ'ın devredeceği altı kontrat [73]

Sözleşme tarihi	Satıcı taraf	Yıllık mktar
15.12.1997	Gazexport	3 milyar metreküp
18.02.1998	Gazexport	4 milyar metreküp
14.02.1986	Gazexport	3 milyar metreküp
08.08.1996	NIGC	3,6 milyar metreküp
09.11.1995	NLNG	17,8 milyon MMBtu
14.04.1988	Sonatrach	18 milyar termi

Tablo 7.3. BOTAŞ'ın kontrat devri ihalesine başvuru yapan firmalar [74]

Numara	Şirket Ünvanı
1	BP DOĞAL GAZ TİCARET A.Ş
2	PETROL OFİSİ ALTERNATİF YAKITLAR TOPTAN SATIŞ A.Ş.
3	KOÇ STATOİL GAZ TOPTAN SATIŞ A.Ş.
4	ENERJİSA DOĞAL GAZ TOP. SATIŞ A.Ş.
5	SHELL ENERJİ A.Ş.
6	ZORLU DOĞAL GAZ İTH. İHR. VE TOP. TİC. A.Ş.
7	MITSUI DIŞ TİCARET LTD. ŞTİ.
8	VİTERAGAZ DOĞALGAZ SAN. VE TİC. A.Ş.
9	SUEZ-TRACTEBEL ENERJİ TİCARET A.Ş.
10	BOSPHORUS GAZ CORP. A.Ş.
11	AKENERJİ ELE. ÜRETİMİ OTOPR. GRUBU A.Ş.
12	AYTEMİZ GAZ A.Ş.
13	HABAŞ SINAİ VE TIBBİ GAZLAR İSTİHSAL ENDÜSTRİSİ A.Ş.
14	İGSAŞ İSTANBUL GÜBRE SANAYİİ A.Ş.
15	ERDEMİR GAZ TİCARET A.Ş.
16	EGEGAZ A.Ş.
17	SOM PETROL TİC. A.Ş.
18	AVRASYA GAZ A.Ş
19	AKSA DOĞAL GAZ TOP. SATIŞ A.Ş
20	ENAK PAZ. DEP. VE NAK. A.Ş
21	İGATAŞ İST. GAZ VE AKARYAKIT TED. SAN. VE TİCARET A.Ş.
22	TRANSBALKAN İNŞAAT SANAYİ VE TİCARET A.Ş.
23	CENGİZ ELEK. TOPTAN SATIŞ A.Ş.
24	NUROL ENERJİ ÜRETİM PAZ. A.Ş.
25	BİSEN DOĞALGAZ TOPTAN SATIŞ İTHALAT İHRACAT İNŞAAT VE TİC. A.Ş.
26	İLAB GAZ A.Ş.
27	İLCİ DOĞAL GAZ İŞLETME DAĞITIM SANAYİ VE TİCARET A.Ş.
28	ZİHNİ GOLAR A.Ş. ENERJİ.
29	ENERCO ENERJİ SANAYİ VE TİCARET A.Ş.
30	TRUVA DOĞALGAZ A.Ş
31	GAP PETROL DOĞALGAZ İTHALAT VE İHRACAT PAZ. SAN. VE TİC. A.Ş.
32	MEDGAZ A.Ş.
33	GAZPORT DOĞAL GAZ TOPTAN SATIŞ TİCARET A.Ş.

7.2 Türkiye'nin Enerji Kaynakları

Türkiye fosil kaynaklar yönünden fakir ülkeler sınıfında değerlendirilebilir. Ülkemizin toplam petrol rezervi 42,8 milyon ton (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanı Dr. Hilmi Güler, 27 Mart 2005 Sabah Gazetesi) olup; bu rezervler Adıyaman civarında kaliteli, Batman çevresinde ise düşük kaliteli rezerv durumundadır (Tüpraş Genel Müdürü Hüsamettin Danış, 19 Aralık 2004 Vatan Gazetesi). Ülkemiz şu anda 22-23 milyon ton ham petrolü yurtdışından alırken yerli üretimin katkısı 2,7 milyon ton civarındadır. Türkiye'nin linyit ve taşkömürü kapasitesi yıllık 131 milyar kWh olup bu miktarın ancak % 35'i değerlendirilmiş durumdadır [75]. Kömür potansiyeli Zonguldak havzasında yoğunlaşmaktadır, kömürün kalitesi de asfaltit ve düşük kalorili kömür mertebesindedir. 8 milyar metreküp [75] doğal gaz rezervi bulunan

ülkemiz bu sektörde ise net bir ithalatçı konumundadır. Görüldüğü üzere fosil yakıtlar yönünden tamamen dışa bağımlı durumdayız. 11 Şubat 2002 tarihinde dönemin enerji bakanı Zeki Çakan Enerji Günleri Panelinde aynen aşağıdaki cümleleri sarfetmiştir:

"Doğal kaynaklarımız ihtiyacımız olan enerjiyi karşılamaktan çok uzak bir durumdadır. Ülkemiz net bir ithalatçı konumundadır ve her geçen gün bu durum daha ağırlaşmaktadır. Son 10 yılda enerji ihtiyacı hızla artan ülkemizin 2000 yılında toplam birincil enerji talebinin % 34'ü yerli kaynaklarla karşılanmaktadır. Belirlenen kaynaklara göre üretim imkanlarının çok üzerinde gelişen talep artışı nedeniyle 2010 yılında talebin ancak % 27'sinin ve 2020 yılında ancak % 22'sinin yerli üretimle karşılanabileceği beklenmektedir."

Fosil yakıtların tersine yenilenebilir enerji kaynakları yönünden ülkemiz oldukça zengin bir konumdadır hatta bazı otoritelere göre cennet olarak nitelendirilmektedir. Ancak bu potansiyelin değerlendirilemediği de su götürmez bir gerçektir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanımız Dr. Hilmi Güler'in Doğru Yol Partisi Denizli milletvekili Ümmet Kandoğan'ın soru önergesine verdiği yanıtta ülkemizin yıllık 259 milyar kilowat enerji potansiyeli bulunduğunu ancak bu rakamın % 35'inin değerlendirildiğini belirtmektedir. Büyük çaplı hidroelektrik santrallerin değerlendirmeye alınmadığı bir çerçevede ülkemiz 2003 yılı sonu itibariyle rüzgar ve jeotermal kaynakları kullanarak 150 MW (www.enerji.gov.tr) gücünde elektrik üretebilmiştir. 2010 yılında bu miktarın 600 MW değerine ulaşması beklenmektedir [4], 2020 yılına kadar ise rüzgar ve jeotermal kaynaklardan 3083 MW elektrik üretilmesi hedeflemektedir [75].

Hidroelektrik enerji ülkemiz elektrik ihtiyacının % 44'ünü karşılamaktadır. 433 TWh/yıl brüt hidroelektrik enerji potansiyeli ile Türkiye Avrupa'da ikinci sırada yeralmaktadır [5]. Ülkemizin ekonomik hidroelektrik enerji potansiyeli 128 TWh/yıl olmakla birlikte bu potansiyelin ancak % 35'i değerlendirilmiş durumdadır ve % 9'u de geliştirilme aşamasındadır [75]. Planlaması yapılan 339 yeni tesis ile 2010 yılında hidroelektrik tesislerden üretilen elektrik miktarının iki katına çıkarılması planlanmaktadır ancak Türkiyede özellikle Dicle ve Fırat üzerindeki barajlanma faaliyetlerine susuzluk sorunu çeken Suriye ve Irak şiddetle karşı çıkmaktadır. Büyük kapasiteli hidroelektrik projelerinin yanında, küçük ve mikro ölçekli su havzaları üzerinde (özellikle Karadeniz Bölgesinde) yapılabilecek küçük hidroelektrik enerji sistemleriyle Toplam ekonomik potansiyel 152,5 TWh/yıl değerine ulaştırılabilir.

Türkiye özellikle geniş kumsallık alanlara sahip olması dolayısıyla rüzgar enerji potansiyeli yüksek olan bir ülkedir. EGETEK'e (Ege Teknoloji Kurumu) göre ülkemizin toplam rüzgar kapasitesi 116 GW civarındadır ve bugünkü teknolojiyle %

10 civarındaki kısım ekonomik olarak kullanılabilir. Rüzgar enerjisi de diğer yenilenebilir enerji kaynakları gibi yeterince değerlendirilebilmiş değildir. Günümüzde potansiyelimizin ancak onbinde üçünü kullanmaktayız. Bunun en büyük nedeni TEAŞ'ın, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın rüzgar enerjisine gerekli önemi vermemesidir. Hükümet programlarında rüzgar enerji kapasitesinin 2025 yılı itibariyle 1,6 GW seviyesine getirilmesi planlanmaktadır, ancak TÜSİAD'göre 2010 yılı itibariyle 3 GW, 2020 yılında 8 GW, 2023 yılında 10 GW değerinde güç rüzgar enerjisinden elde edilebilir. Nitekim, ülkemizdeki ilk rüzgar enerji santrali 1998 yılında İzmirde Demirel Holding'in kendi enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla Alman Enercon GmbH kurdurduğu 1,6 MW kapasiteli Germiyan Rüzgar Enerji Santrali'dir. 1998 yılının sonunda İzmir Alaçatı'da Danimarka'nın rüzgar konusunda tecrübeli şirketlerinden Vestas'ın danışmanlığında ARES şirketi tarafından kurulan Alaçatı Rüzgar Enerji Santrali 7,4 MW kapasiteli bir santraldir. Yap-işlet-devret (BOT) modeliyle hayata geçirilen bu santral İşviçre orijinli Interwind, Lockheed Martin, Güçbirliği Holding, Atamer Dış Ticaret, Ergun Özatak ve Alaçatı Belediyesi tarafından oluşturulan bir konsorsiyumla işletilmektedir. Ülkemizde kurulan üçüncü rüzgar enerji santrali BORES A.Ş tarafından yap-işlet-devret modeliyle 2000 yılının Haziranında Çanakkale'de kurulan 10,2 MW kapasiteli Bozcaada Rüzgar Enerji Santrali'dir ve santral Demirel Holding ve Enercon GmbH tarafından işletilmektedir. Bu üç santralden sonra 2000 yılının ortalarında toplam 2,4 GW değerinde 71 proje yetkili devlet kurumlarına iletilmiş ve bunlardan toplam 494 MW değerinde 17 proje onaylanarak 2002 yılının sonunda hayata geçirilmiştir. Görülen o ki; hükümet ve bakanlığın rüzgar enerjisine kayıtsız kalmasına ve yeni Elektrik Piyasası Kanunu'nda yenilenebilir enerji projelerine yönelik kaynak ve destek içeren maddeler bulunmamasına rağmen, rüzgar enerji santrallerine yönelik talep gün geçtikçe artmaktadır. Şu an için Alman, İsviçre, Hollanda ve Danimarka şirketlerinin kurduğu rüzgar enerji santrallerinin Türkiye'de üretilebilmesi için Alman-Türk ortaklığı ile Düzce yakınlarında bir fabrika kurulması planlanmaktadır [4].

Biyoenerji ülkemizde geniş anlamda kullanılan bir enerji kaynağıdır. Hayvansal ve bitkisel orjinli organik atıklar özellikle ısınma amacıyla direkt yakılarak yoğun olarak kullanılmaktadır. Ancak, bu şekilde istenilen özellikte ısı üretilemediği gibi, ısı üretiminden sonra atıkların gübre olarak kullanılması da mümkün olmamaktadır. Biyogaz teknolojisi ise organik kökenli atık/artık maddelerden hem enerji eldesine hem de atıkların toprağa kazandırılmasına imkan vermektedir. Son yıllarda biyoenerji kaynaklı elektrik üretim santrallerine yönelik ilgi de giderek artmaktadır. Şu an için Bursa'da 1,4 MW kapasiteli çöp gazı enerji santrali, Ankara'da 3,2 MW ve İzmir'de 5,4 MW gücünde biyogaz santralleri belirli şirketlerin kendi enerji ihtiyaçlarını karşılamakta kullanılmaktadır. Yakın zamanda Adana'da 45 MW,

Ankara'da 10 MW, Mersin ve Tarsus'ta 30 MW kapasiteli çöp gazı enerji santrallerinin hayata geçirilmesi planlanırken; Kastamonu'da teorik kapasitesi 23 MW olan odun atıklarından enerji üreten bir güç santrali, Selçuk Gıda tarafından ise yiyecek atıklarından güç üreten 16 MW kapasiteli bir güç santrali üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Türkiye'nin hayvansal atık potansiyeline karşılık gelen üretilebilecek biyogaz miktarı teorik olarak yılda 2,2-3,3 milyar metreküp mertebesindedir [86].

Güneş enerjisi yönünden ülkemiz dünyanın sayılı ülkeleri arasındadır. Güney Doğu Anadolu, İç Anadolu, Ege ve Akdeniz bölgeleri birer güneş enerji cennetidir. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nde (DMİ) mevcut bulunan 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verilerinden yararlanarak EİE tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışınım şiddeti 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir [86]. Ancak diğer kaynaklarda olduğu gibi güneş enerjisi alanında uygulamalar ancak sıcak su elde etme mertebesindedir ve kapasitemizin ancak binde sekizini kullanmaktayız. Güneş kolektörleri mertebesinde birkaç mikro ve küçük ölçekli uygulama mevcuttur. Orman Bakanlığı tarafından kurulan 175 kW'lık güneş kolektörü, Elektrik İşleri Etüd İdaresi tarafından kurulan meterolojik gözlem amaçlı kullanılan 50 kW'lık güç santrali, Ankara-Bolu otobanı arasındaki acil telefon kullanımı amaçlı kurulan 25 kW değerindeki güç santrali bu uygulamalara birkaç örnek olarak verilebilir. İlk şebeke bağlantılı santral 1998 yılında Didim'de kurulan 4,7 kW'lık güneş enerji santralidir.

Türkiye 31,5 GW'lik teorik ve 4,5 GW'lık ekonomik potansiyeli ile jeotermal enerjide dünyada yedinci sırada gelir, ancak potansiyelimizin sadece binde beşini değerlendirebilmekteyiz [46]. 2,5 TWh/yıl değerinde jeotermal enerji kullanma kapasitesi ile Türkiye dünyada ilk on ülke arasındadır [1]. Jeotermal enerjiden elektrik üreten sadece bir tesis bulunmaktadır. Bu tesis Denizli Kızıldere'de kurulmuş olup yaklaşık 20 MW kapasitelidir. Bu tesisin 2006 yılına kadar genişletilerek yaklaşık kırkbin ev ile birçok seraya ısı ve elektrik sağlaması planlanmaktadır. 2009 yılında ise bu rakamın yüzbin ev seviyesine çıkarılması düşünülmektedir. Yakın zamanda Aydın Germencik civarında yap-işlet-devret modeliyle planlanan 25 MW kapasiteli yeni bir tesis de hayata geçecektir. Isı eldesi amacıyla toplam 730 MW değerinde 14 yeni proje de planlanma aşamasındadır.

Ayrıca, özellikle Karadeniz kıyıları dalga enerji santralleri kurmaya oldukça uygun alanlar olarak değerlendirilmektedir.

7.3 Enerji Sektöründe Atılabilecek Adımlar

Tablo 7.4. Avrupa'nın en hızlı büyüyen beş ülkesi [76]

Ülke	GSMH Milyar dolar	Büyüme oranı (%)	Enflasyon oranı (%)
Türkiye	250	5,6	9,8
Çek Cumhuriyeti	161	3,6	2,9
Macaristan	139,8	3,7	5,8
Polonya	427,1	4,8	4,5
AB bölgesi	11.030	1,8	2,2

20. yüzyılın en önemli iki temel sorunu: tatlı su gereksinimi ve genel enerji gereksinimi olarak sıralanabilir. Son yıllarda oldukça fazla telaffuz edilmeye başlanan sürdürülebilir kalkınma ve sürdürülebilir enerji kavramları; tüm enerji kaynaklarından olan üretimin yüksek verimle ve temiz teknolojilerle olması, fosil yakıtların temiz teknolojilerle değerlendirilmesi, tükenir fosil yakıtların zamanla yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarıyla değiştirilmesi ve kojenerasyona önem verilmesiyle, çevre ile uyumlu bir şekilde ekomik büyüme sağlanması olarak açıklanabilir [5]

Tablo 7.5. Çeşitli yakıtların maliyet mukayesesi (kaynak EMTA Ltd. Şti.)

sıra	Yakıt	Isıl değer (kalori)	Birim fiyat (YTL)	Maliyet (YTL/ 1000 kcal)
1	Doğalgaz	8.100	0,298	0,041
2	İthal linyit	5.600	0,158	0,047
3	Fuel-oil 4	9.700	0,799	0,103
4	LPG propan	11.000	1,480	0,149
5	Elektrik	860	0,127	0,150
6	Tüpgaz	11.000	1,620	0,167
7	Motorin	10.200	1,631	0,190

Gelişmekte olan ülkeler arasında Avrupa'nın en hızlı büyüyen ülkesi % 5,6 ile Türkiye'dir (Tablo 7.4) Ekonomik büyüme daha fazla enerji gereksinimi anlamına gelmektedir. Mevcut konjonktüre bakılacak olursa enerji sektöründe eğilim doğal gaz yönünde olmaktadır. Devlet, özel sektörü doğal gaz çevrim santralleri kurmaya yönlendirmektedir. Sekizinci beş yıllık kalkınma planının 1423. maddesinde sektör kaynakları arasında fiyat, verimlilik ve çevre açısından üstünlükleri nedeniyle doğal gazın payının artırılmasının planlandığı açıklanmaktadır. Günümüzde rakipleri kömür, petrol, elektrik, motorin ve LPG ile kıyaslandığında nispeten daha ekonomik olan (Tablo 7.5) doğal gaz birçok otoprodüktörün tercih ettiği yakıt durumundadır. Ancak OECD ülkelerine bakılacak olursa doğal gaz elektrik üretiminde en son sırada yer almaktadır (Kömür % 38,4; nükleer % 23,4; hidroelektrik enerji % 16,9; doğal gaz % 11,4; yenilenebilir kaynaklar % 9,7). AB ülkeleri de doğal gazdan elektrik üretmeyi bir lüks olarak görmektedir (% 10). Fiyatların dünyanın ekonomik durumuna çok bağlı olması, rezervlerin 40-50 yıl içinde tükenecek olması ve her ne

kadar diğer fosil yakıtlardan az olsa da sera gazı, azot oksitler ve kükürt oksitlerin emisyonu neticesinde çevreye zarar veren yapısıyla doğal gazın ülke elektrik üretiminde bu kadar ön plana çıkarılması pek tutarlı gözükmemektedir [5]. Ayrıca ithal yakıt ithal elektrik ve dışa bağımlılık demektir. Türkiye'nin bu gelişen yapısını dışa bağımlı kaynaklarla inşaa etmesi temeli sağlam olmayan bir yapılanma olarak görülebilir. Madencilik sektöründe de faaliyet gösteren Ciner Group Yönetim Kurulu Başkanı Turgay Ciner 25 Aralık 2004 tarihinde Sabah gazetesine verdiği röpörtajda Avrupa ve Rusya'nın üretim maliyeti 1 senti geçmeyen kömür yoğun elektrik üretimini gerçekleştirdiğini ve doğal gazın mantıklı bir elektrik üretim kaynağı olmadığını açıkça ifade etmektedir.

Türkiye elektrik üretiminde mümkün mertebe yerli kaynaklara yönelmeli, ekonomiklik kriteri sürekli olarak güncelleştirilmeli ve önyargılı olunmamalıdır. Ülkemiz hidroelektrik potansiyel bakımından Avrupa'da ikinci sırada olmasına rağmen devletin bu enerji kaynağına bakışı çok ilginçtir. Sekizinci kalkınma planının 1414. maddesinde hidrolektrik santrallerin veriminin düşük olduğu ve bu hususun problem teşkil ettiği belirtilmektedir. Ancak hidroelektrik santraller yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarıdır, dışa bağımlılığı ortadan kaldırır, ihraç olasılığı doğurur, yabancı yatırımcıların ilgisini çekebilir, yatırımda ithalat oranı düşüktür (biriktirmeli santrallerde % 30 doğal gaz santrallerinde % 75), işletme maliyetleri doğal gaz çevrim santrallerinin 1/20'si kadardır. Dolayısıyla hidroelektrik enerji projelerine daha fazla önem verilmesi gerekmektedir [5]. Ayrıca Türkiye'nin ekonomik hidroelektrik enerji potansiyeli yeniden incelenmelidir, çünkü DSİ değerlendirmesinde küçük suları ve yıl boyu akışı olmayan akarsuları değerlendirmemektedir. Ancak özellikle son yıllarda yenilenebilir enerji kaynağı olarak değerlendirilen küçük ve mikro ölçekli hidroelektrik sistemlere verilen önem giderek artmaktadır. Bu küçük su havzaları değerlendirmeye alınırsa EİEİ'ye göre 1515 küçük su havzasından 33 TWh/yıl güç üretmek mümkündür [5].

Türkiyenin madencilik sektöründe de atılım yapması gerekmektedir, Ciner Group Yönetim Kurulu Başkanı Turgay Ciner'e göre madencilik sektörü GSMH'nın % 11 civarında olmalıdır [70]. Bu değerin maddi karşılığı 23 milyar dolardır. Mevcut üretim ise 1 milyar doların bile altındadır. Bu sektörde atılım için öncelikle Türkiye Maden Kadastrosu yeniden çıkarılmalıdır, ayrıca devlet işlettiği bütün santralleri daha yüksek verim alabilmek ve belirli maliyetlerden kurtulmak için özelleştirmelidir [70]. Örneğin Çayırhan'da devlet çalıştırdığı dönemde kişi başına günde 100 kilogram kömür çıkarırken, tesisi devralan Ciner Group kişi başına 14 ton kömür çıkartmaktadır. Özel sektöre maden arama lisanları sağlanmalıdır. Bu lisanları elde eden Ciner Group kısa zamanda Gaziantep Islahiye'de alüminyum rezervi tespit

etmiş, Cudi Dağı tabanında çıkardığı asfalti ile 2007 yılında faaliyete geçecek 135 MW'lık bir termik santral kurma çalışmalarına başlamış, Siirt Madenköy'de bakır madeni bulmuş, Adana Tufanbeyli'de düşük kalorili kömürü çıkararak 2008 yılında faaliyete geçecek 350 MW'lık bir santral kurma çalışmalarına başlamıştır [70]. Bilindiği üzere periyodik aralıklarla Türkiye'nin olağanüstü yeraltı kaynaklarına sahip olduğu (Zonguldak taş kömürü havzasında bulunduğu tahmin edilen 1,2 trilyon metreküp doğalgaz [71], Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde bulunduğu düşünülen petrol rezervleri) yönünde iddialar ortaya atılmaktadır. Verilecek bu arama lisanlarıyla kısa ve masrafsız bir süreçle enerji haritamız çıkarılabilir.

Kyoto Protokolü'nde emisyonların azaltılması için üç metot sıralanmıştır: emisyon ticareti, temiz gelişme mekanizması ve ortak yatırımlar. Ülkemizin emisyonu diğer Avrupa Ülkeleri'nin aldukça gerisindedir (% 14-36). Dolayısıyla emisyon ticaretinden yararlanabiliriz, ayrıca HES ile temiz gelişme mekanizması ile alakalı kredileri de alabilmemiz muhtemeldir.

14 Şubat 2005 tarihli Sabah Gazetesi'nin haberine göre hükümet yeni bir enerji tasarısı üzerinde çalışmaktadır. Bu tasarıya göre enerji tüketiminde belirli sınırı aşan sanayi firmasının, cirosunun binde 2'sini Maliye'ye aktarması öngörülmektedir. Taslakta geçen 10. madde şöyle açıklanmaktadır: "Fosil enerji kaynağı kullanan elektrik enerjisi üretim şirketleri, yılda en az yüz bin gigajoule (mekanik enerji birimi) eşdeğeri kömür, akaryakıt veya doğalgaz tüketen şirketler ve yılda en az bir milyon gigajoule enerji tüketen şirketler, bir önceki yıl satış hasılatının binde 2'si oranında Maliye'ye katkı payı yatırırlar" Bu tip enerji taslakları rekabeti etkileyebileceği gibi, yabancı yatırımcıyı korkutabilir. Bu tip tasarılarla vakit kaybetmek yerine Manisa kentindeki Organize Sanayi Bölgesi tipi projelerin nasıl artırılacağının düşünülmesi daha yararlı olabilir. Manisa OSB'de kurulan elektrik tesisiyle firmalar elektriği % 3 ucuza alabiliyor, yan ürün buharın da tonunu 13 dolara mal edebiliyorlar. Manisa bu projesiyle İngiliz Financial Times Basın Grubuna bağlı Foreign Direct Investment Magazin Dergisi tarafından Avrupa'nın yatırıma en uygun bölgesi seçilmiştir.

Nükleer enerji bölgemizdeki gücümüzü artırmamız, füzyon enerjisinin temelini atmamız ve geleceğin enerji sistemi olan hidrojen enerjisine geçişimizi kolaylaştırmamız açısından bir an önce değerlendirilmesi gerekli olan bir enerji kaynağıdır [2]. Dünya toryum rezervlerinin üçte birine sahip olan ülkemizin nükleer enerji santralinin olmayışı üzüntü verici bir durumdur. Ülkemizin nükleer santral tipi olarak doğal uranyumu yakıt olarak işleyen santrallere yönelebilir. Böylelikle gerekli yakıt yerel kaynaklardan sağlanabilir ve zenginleştirme işlemi gerekmediği için dışarıya para akışı olmaz [2]. Romanya örneğinde olduğu gibi mühendis ve teknik

elemanlarımız ilk santralin kurulması aşamasında gerekli teknik desteği aldıktan sonra, ilerisi için kendi santrallerimizi kurmanın temellerini de atabiliriz ayrıca 'breeder' reaktörleriyle atom bombası yapacak konuma de gelmiş oluruz. Mevcut hükümetimiz Kırıkkale ve Konyada 2007 yılında inşaasının başlaması planlanan iki nükleer santral üzerinde çalışmaktadır. Nükleer santrallerin işletilmesi oldukça dikkat ve disiplin gerektirdiğinden personelin deneyimli bir kadrodan oluşturulması büyük önem arz etmektedir.

Yenilenebilir enerji kültürünün oluşabilmesi için devlet teşvikine ihtiyaç vardır, zira devletin desteği olmaksızın yenilenebilir enerji kaynaklarının fosil yakıtlarla rekabet edebilmesi zordur. Birçok Avrupa Ülkesi'nde güneş ve rüzgar enerjisinden üretilen elektriğin dağıtılmasında belirli bir peryot boyunca (5 yıl) % 50'ye varan indirimler uygulanırken, ülkemizde yürürlüğe giren yeni elektrik piyasası yasasında yenilenebilir kaynaklarla ilgili bir düzenleme olmaması oldukça tezat bir durum oluşturmaktadır. Halbuki, hükümetimiz yerli ve yabancı yatırımcıya yenilenebilir kaynaklara yatırım yapabilmesi için yol açmalıdır. Gerek güneş gerekse rüzgar santrallerinin kurulması için gerekli ekipmanın yurtdışından geldiği hesap edilecek olursa, bu ürünlerden alınacak K.D.V (Katma Değer Vergisi), K.K.D.F (İthalatta devlet destek fonu), Gümrük Vergisi, Özel İletişim Vergisi oranlarının minimum seviyeye çekilmesi düşünülebilir. Kurulan işletmeye her türlü vergi kolaylığı sağlanmalıdır. Yatırım için düşük faizli kredi imkanı tanınmalıdır. Özellikle ülkemizin gelişmemiş bölgelerinde yapılacak yatırımlara ekstra kolaylıklar sağlanmalıdır. Böylelikle yerel enerji kaynaklarımızı kullanma şansı yakalayacağımız gibi, sosyal ve ekonomik bir kalkınma da gerçekleştirebiliriz.

Tablo 7.6. Türkiye Cumhuriyeti maden potansiyeli [75]

Maden	Görünür/muhtemel rezerv (ton)
Altın	405
Alünit	4.000.000
Antimuan	106.306
Asbeat	29.646.379
Asfaltit	74.370.000
Bakır	2.279.210
Barit	35.001.304
Bentonit	250.543.000
Bitümli Şist	1.641.381.000
Boksit	87.375.000
Bor	1.805.709.953
Civa	3.820
Çinko	2.294.479
Demir	149.925.000
Diatomit	44.224.029
Disten	3.840.000
Dolomit	15.887.160.000
Feldspat	239.305.500
Fosfat	70.500.000
Fluorit	2.538.000
Grafit	90.000
Gümüş	6.062
Kaolen	89.063.770
Kaya Tuzu	5.733.708.017
Kil	354.362.650
Krom	25.931.373
Kurşun	860.387
Kuvars kumu	1.307.414.250
Kuvarsit	2.270.287.821
Kükürt	626.000
Linyit	7.964.982.000
Lületaşı	1.483.000 (sandık)
Manganez	4.560.000
Manyezit	111.368.020
Mermer	5.161.000.000 (metreküp)
Perlit	5.690.027.600
Pomza	1.479.556.876 (metreküp)
Profillit	6.644.000
Sepiyolit	13.546.450
Sodyum Sülfat	16.536.000
Stronsiyum	665.082
Talk	482.736
Taşkömürü	975.000.000
Toryum	380.000
Trona	233.317.680
Uranyum	9.137
Volfram	36.719
Zeolit	19.923.750
Zımpara	3.725.082

Gelecek yüzyılın enerji sistemi hidrojen enerji sistemidir. Ülkemiz Prof. Veziroğlu'nun büyük katkılarıyla dev bir adım atmış ve Dünya Hidrojen Enerji Merkezi'nin İstanbul'da kurulmasını başarmıştır. Bu fırsatı çok iyi değerlendirip

hidrojen enerji sisteminin altyapısını oluşturmalıyız. Avrupa Ülkeleri, Amerika ve Japonya'nın hidrojen projelerini ülkemizde gerçekleştirmesini sağlamak amacıyla Dış İşleri nezdinde adımlar atılmalıdır. Tüm dünyadaki bor madenlerinin % 64'ünün ülkemizde olduğu bilinen bir gerçektir [46]. Her ne kadar Ciner Group Yönetim Kurulu Başkanı Turgay Ciner; 'Bor bir sanayi tuzudur, tek başına birşeye yaramaz, Türkiyede bir trilyon dolarlık rezerv var hepsini çıkarırsak ancak birkaç bin yılda satabiliriz bu nedenle bor madeni ile ilgilenmiyoruz' desede boronun hidrojen üretiminde etkili bir biçimde kullanılabileceği unutulmamalıdır.

Buna göre Türkiye'deki durum için genel bir değerlendirme yapılacak olursa ;

Ülkemizin yer altı ve yer üstü kaynakları tam olarak değerlendirilebilmiş değildir. Bu nedenle Türkiye maden kadastrosu yeniden hazırlanmalıdır [70]. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanı Dr. Hilmi Güler'in 27 Mart 2005 tarihli Sabah Gazetesinde verdiği maden potansiyel değerleri Tablo 7.6 da özetlenmektedir. Enerji sektöründe özelleştirmeye hız verilmeli ve yabancı yatırımcının önü açılmalıdır. Ülkemizin mevcut enerji ihtiyacının önümüzdeki beş yılda iki katına çıkacağı kabul edilirse; enerji kaynaklarımızı çeşitlendirmek, dışa bağımlılık oranımızı azaltmak için gerekli önlemler alınmalıdır. Bu nedenle ancak % 36'sını değerlendirebildiğimiz hidroelektirk enerji santrallerine yatırım yapılmalıdır [5], ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarının (özellikle jeotermal, rüzgar, güneş) kullanımının artırılması sağlanmalıdır. Nükleer enerji füzyon ve hidrojen enerji sisteminin altyapısı olması nedeniyle önem verilmesi gereken bir başka enerji kaynağıdır [2]. Ayrıca fosil yakıtların negatif çevresel etkileri göz önünde tutularak mevcut termik santraller üzerinde denetimler artırılırken, yeni santrallerin lisans işlemleri daha sıkı tutulmalıdır.

8. SONUÇ

Enerji kaynakları geleneksel, yenilenebilir, alternatif ve ara enerji kaynakları olarak dört bölüme ayrılabilir. Geleneksel enerji kaynakları fosil yakıtlar olarak da bilinen petrol, kömür ve doğal gazdır. Bu enerji kaynakları depolanabilmeleri, yakıt olarak kullanılabilmeleri, ekonomik olmaları nedeniyle oldukça yaygın olarak kullanılırlar. Ancak fosil yakıtların çevreye; sere etkisi, asit yağmurları, cıva ve tanecik emisyonu gibi birçok olumsuz etkisi bulunmaktadır ve rezervleri sınırlı olduğu için eninde sonunda tükeneceklerdir. Bu nedenle insanoğlu enerji kaynaklarında çeşitleme

yolunu gütmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları bu çeşitleme için uygun kaynaklardır. Su, güneş, rüzgar, jeotermal, okyanus enerjisi (dalga, gelgit, OTEC) yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Hiçbir olumsuz çevresel etkileri olmayışı büyük bir üstünlük olsa da, depolanamamaları ve yakıt olarak kullanılamamaları bu enerji kaynaklarının yeterli ivmeyi gerçekleştirmesini önlemektedir. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynaklarıyla nihai tüketici arasında bir köprü kuracak ve depolama sorunun giderecek ara enerji sistemleri geliştirilerek yenilenebilir enerji kaynaklarının önü açılmak istenmektedir. Bu ara enerji sistemine en büyük aday hidrojen enerji sistemidir. Hidrojen enerji sistemi önümüzdeki yüzyıla damgasını vuracak ve odun ile başlayıp, kömür, petrol ve doğal gaz ile devam eden sürecin en son ve değişmez halkası olacaktır. Alternatif enerji kaynakları ise fizyon ve füzyon enerjisi olarak tanımlanabilir. Nükleer fizyon, füzyon enerjisinin altyapısını oluşturması nedeniyle oldukça önemlidir. Birçok bilim adamı soğuk füzyonun gerçekleştirilmesi halinde zaman yolculuğunun bile mümkün olacağını öne sürmektedir. Güç üretim sistemleri ise buhar türbinleri, su türbinleri, mikro türbinler, içten yanmalı motorlar ve yakıt pilleri olarak sıralanabilir. Günümüzde birçok güç üretim sistemi birlikte kullanılarak kojenerasyon (bir süreç sonunda çıkana atığın, diğer süreçte girdi olarak kullanılması) uygulamalarına yönenilmektedir. Dünya enerji piyasasının en büyük aktörü Amerika Birleşik Devletleri'dir. İngiltere, Avrupa Birliği ve Japonya ise sektör lokomotifleri olarak sıralanabilir. Gelişmekte olan ülkelerden Çin ve Hindistan diğer sektörlerde olduğu gibi giderek dünya enerji konjonktüründe de söz sahibi olmaya başlamışlardır. Ülkemiz ise dünyada en hızlı büyüyen ülke konumundadır, fosil yakıt yönünden fakir ülke sınıfına girse de, yenilenebilir enerji kaynakları dikkate alındığında özellikle jeotermal ve hidrolektrik enerji yönünden dünyanın sayılı ülkeleri arasındadır. Ülkemiz özelleştirme işlemini akıllıca gerçekleştirip, yenilenebilir kaynaklara yönelimi teşvik edebilirse önümüzdeki yıllarda beklenmeyen noktalara ulaşabilir.

KAYNAKLAR

[1] **Herzog, A.V., Lipman, T.E. and Kammen, D.M.,** 2001. Renewable Energy Sources, Berkeley Energy Report, Berkeley, USA.

[2] **Veziroğlu, T.N.,** 2004. Dünya Barışı İçin Türkiye Dünya Barışı İçin Hidrojen. Çağlayan A.Ş, Gaziemir/İzmir.

[3] **Hoenraet, C.,** 2000. The Energy Sources and Nucleer Energy, A point of view of the Belgian Catholic Church, Bruge, Belgium.

[4] **Loy, D. and Gaube, J**., 2002. Producing Electricity from Renewable Energy Sources, *Energy Sector Framework in 15 countries in Asia, Africa and Latin Amerika,* Eschborn, Germany

[5] **Ünsal, İ.**, 2004. Kişisel Görüşme.

[6] **International Energy Agency,** 2004. *Energy Statistics of OECD Countries*, Paris, France

[7] **Alappat, B.J and Rane, V.C.,** 2001. Solid Circulation Rate In Recirculating Fluidized Bed, *Journal of Energy Engineering,* **August,** 51-68.

[8] **Ukwa, U.I., Atalay, A. and Everett, J.,** 1997. Beneficiation of Coal From Impounded Coal Waste, *Journal of Energy Engineering*, **April,** 20-32.

[9] **Youngquist, W.,** 1998, Alternative Energy Sources - Myths and Realities, *Electronic Green Journal*, Spec. Iss.**,** 9.

[10] **Rosenblatt, J.,** . Compressed Natural Gas and Liquifed Petroleum Gas as Alternative Fules, *Journal of Energy Engineering, ,* 47-48.

[11] **Sharma, M. and Vyas, P**., 2001. Identification and Quantification of Enviromental Issues of Aging Coal-Based Power Palant-Case Study, *Journal of Energy Engineering,* **December,** 59-73.

[12] **Canty, G. and Everett, J.W.,** 2001. Physical and Chemical Eveluation of CCBs For Alternative Uses, *Journal of Energy Engineering,* **December,** 41-58.

[13] **United Nations Conference,** 1992. Rio Declaration on Enviroment and Development, Rio de Janerio, Brazil.

[14] **United Nations**., 2004. Status of Ratification List.

[15] **United Nations**, 1997. Kyoto Protocol to The United Nations Framework Convention On Climate Change, Kyoto, Japan.

[16] **United Nations**, 2004. Status of Ratification.

[17] **Energy Nexus Group**, 2002. Introduction to CHP Technologies, Virginia, USA

[18] **Energy Nexus Group**, 2002. Technology Chracterization:Gas Turbines, Virginia, USA

[19] **Energy Nexus Group**, 2002. Technology Chracterization:Steam Turbines, Virginia, USA

[20] **Energy Nexus Group**, 2002. Technology Chracterization:Reciprocating Engines, Virginia, USA

[21] **Energy Nexus Group**, 2002. Technology Chracterization:Microturbines, Virginia, USA

[22] **Energy Nexus Group**, 2002. Technology Chracterization:Fuel Cells Virginia, USA

[23] **Overend, R.P., Kinoshita, C.M. and Antal Jr., M.J,** 1996. Bioenergy in Transition, *Journal of Energy Engineering*, **December,** 78-92.

[24] **Kinoshita, C.M., Turn, S.Q., Overend, R.P. and Bain, R.L,** 1997. Power Generation Potantional of Biomass Gasification Systems, *Journal of Energy Engineering*, **December,** 88-99.

[25] **Aydın, M.,** 2001. Çöp Gazından Elektrik Üretimi, Araştırma, Toronto, Kanada.

[26] **Mohammadabad, S.H. and Riordan, D.,** 2000. Small Hydropower Advisor:Application and User Perspective, *Journal of Energy Engineering*, **August,** 83-93.

[27] **Ciocci, L.C., Suloway, C. and Brown, S.R.,** 2001. Hydropower Research and Development Recommendations, Forum, Washington D.C., USA.

[28] **Pilkington Solar International,** 1996. Status Report on Solar Thermal Power Plants, Report ISBN 3-9804901-0-6, Köln, Germany.

[29] **Susheela, N. and Sharp, M.K.,** 2001. Heat Pipe Augmented Passive Solar System For Heating Of Buildings, *Journal of Energy Engineering*, **April,** 18-36.

[30] **National Renewable Energy Laboratory**, 2004. Small Wind Electric Systems, *A Colorado Consumer's Guide*, **DOE/GO-102004-1895,** Golden, USA

[31] **Musial, W. and Butterfield, S**., 2004. Future for Offshore Wind Energy in the United States, *Energy Ocean 2004 Conference Paper*, **NREL/CP-500-36313,** Palm Beach, Florida, USA, June 28-29.

[32] **Curran, R.,** 2002. Productivity of Ocean-Wave-Energy Converters:Turbine Design, *Journal of Energy Engineering*, **August,** 13-31.

[33] **Curran, R., Whittaker, T.J.T, Raghunathan, S. and Beattie, W.C.,** 1998. Performance Prediction Of Contrarotating Wells Turbines For Wave Energy Converter Design, *Journal of Energy Engineering*, **August,** 35-53.

[34] **Takahashi, P.K,** 1996. Project Blue Revolution, *Journal of Energy Engineering*, **December,** 114-124.

[35] **Grant, A.D,** 1997. Simplified Tidal Barrage For Small Scale Applications, *Journal of Energy Engineering*, **April,** 11-19.

[36] **Lin**, **W.,** 1998. Nuclear Power Powers The Bomb, Proposal for an International Sustainable Energy Research Agency, Columbia University

[37] **European Commision,** 1998. Campaign For Take-Off, Energy For Future:Renewable Sources of Energy

[38] **VTT Processes.,** 2000. Annual Energy Review, European Bioenergy Networks, *Renewable Energy Sources in the EU Member States in 199*, Espoo, Finland

[39] **Indriksone**, **D.,** 2003. Workshop on Developments Regarding Use Of Renewable Energy Sources in The Baltic States, Report in Baltic Enviromental Forum, Sigulda, Latvia

[40] **Peltola**, **E., Holttinen, H.,** 2001. The wind power market from the point of view of Finnish technology export, VTT Energy Report No 45/2001, Espoo, Finland.

[41] **Demarcq**, **F., Bal, J.L.,** 2002. Renewable Energy Sources in French National Plan for Improved Energy Efficiency, ADEME, Berlin, Germany.

[42] **the Federal Republic of Germany.,** 2000. Act on Granting Priority to Renewable Energy Sources, Berlin, Germany.

[43] **Faber**, **T., Green, J., Gual, M., Haas.,** 2001. Promoting Strategies for Electricity from Renewable Energy Sources in EU Countries, Review Report co-financed under the fifth framework programme of the European Commision, Vienna, Austria.

[44] **EC BREC/IBMER.,** 2000. Economic and Legal Aspects of Utilization of Renewable Energy Sources in Poland, Warsaw, Poland.

[45] **Choi, K.,** 1996. Conceptual Design of Enertopia in Korea, *Journal of Energy Engineering,* **December,** 102-113.

[46] **Elektrik Piyasası Kanunu,** 2001. 4628 sayılı kanın, Ankara, Türkiye.

[47] **Doğalgaz Piyasası Kanunu,** 2001. 4646 sayılı kanın, Ankara, Türkiye.

[48] **Choi, K.,** 1996. Conceptual Design of Enertopia in Korea, *Journal of Energy Engineering,* **December,** 102-113.

[49] **Bora, V.,** 2003. Experts Urge Turkey to Seek Alternative Energy Sources, *Southeast European Times,* **October,** web-version.

[50] **American Wind Energy Association.,** 2000. Comperative Cost of Wind and Other Energy Sources, Washingtoan, D.C., USA.

[51] **National Association of State Energy Officials.,** 1998. Energy Efficieny and Renewable Energy Sources:A Primer, Alexandria, Virginia, USA.

[52] **Helynen**, **S., Flyktman, M., Makinen, T.,** 2002. The possibilities of bioenergy in reducing greenhouse gases, VTT Research Notes, Espoo, Finland

[53] **SLV Development Resources Group.,** 2002. Geothermal and Other Alternative Sources, Alamosa, Colorado, USA.

[54] **Department of Business Economic Development and Tourism.,** 2002. Feasibility of Developing Wave Power as a Renewable Energy Resources in Hawai, Honolulu.

[55] **Veziroğlu, T.N.,** 2004. Ulusal Hidrojen Enerjisi Teknolojileri Merkezi, *21. Yüzyılın Enerjisi:Hidrojen Enerji Sistemi ve Türkiye'nin Anahtar Rolü*, İstanbul, Türkiye. Kasım 4.

[56] **Moujaes, S.F., Alsaiegh, N.T.,** 2000. Numerical Heat transfer Attic Model Using a Radiant Barrier System, *Journal of Energy Engineering*, **April,** 32-51.

[57] **Fingersh, L.J.,** 2004. Wind-Battery-Hydrogen Integration Study, *National Renewable Energy Laboratory Technical Report*, **NREL/TP-500-35889,** Golden, Colorado, USA.

[58] **Johannessen, L.M.,** 1999. Urban Development Division, *Guidance Note on Recuperation Landfill Gas From Municipal Solid Waste Landfills*, Woking Paper Series, Washington, D.C., USA.

[59] **EPA.,** 1997. Landfill Reclemination, *Solid Waste and Emergncy Response*, **EPA530-F-97-001,** Washington, D.C., USA.

[60] **Kaya, M.,** 2001. Discussion on Issues and Policies Affecting the Energy Division, ASCE, *Journal of Energy Engineering*, **December,** 37-40.

[61] **Tasker, M., Crutchfield, Z.,** 2002. Marine Renewable Energy Sources, *Joint Nature Conservation Commitiee Paper*, **JNCC 02 N14,** Peterborough, UK.

[62] **Muljadi, E., Wang, C., Nehrir, M.E.,** 2004. Paralel Operation of Wind Turbine, Fuel Cell and Diesel Generation Sources, *IEEE-Power Engineering Society General Meeting Conference Paper*, **NREL/CP-500-35353,** Denver, Colorado, USA.

[63] **US Department of Energy,** 2004. Wind Energy for Rural Economic Department, **DOE/GO-102004-1826,** Washington, D.C., USA.

[64] **Berkovski, B.,** 1996. Editorial:World Solar Summit Process-Taking The World Into the Era of Renewable Energy, *Journal of Energy Engineering*, **December,** vi-x.

[65] **Wolters, D.,** 2001. The contribution of renewable energy sources and rational use of energy to economic development, Rio de Janerio, Brazil.

[66] **Chiba, M.,** 1996. New Sunshine Program:Comprehensive Approach to The 21st Century, *Journal of Energy Engineering*, **December,** 93-101.

[67] **Brinkworth, B.J,,** 1998. Simplified Tidal Barrage for Small-Scale Applications, *Journal of Energy Engineering*, **December,** 123-127.

[68] **deMonsabert, S., Liner, B.L.,** 1998. Integrated Energy and Water Conservation Modelling, *Journal of Energy Engineering*, **April,** 1-19.

[69] **Uemura, Y., Kai, T., and Takahashi T.,** 2003. Renewable Energy Sources in Yakushima Island, *Renewable Energy Sources for Island Tourism and Water*, Kagoshima, Japan, May 24-28.

[70] **Sabah Gazetesi,** 2004. 29 Aralık 2004

[71] **Milliyet Gazetesi,** 2004. 8 Kasım 2004, Güngör Uras.

[72] **Vatan Gazetesi,** 2004. 19 Aralık 2004

[73] **Hürriyet Gazetesi,** 2004. 5 Kasım 2004

[74] **Hürriyet Gazetesi,** 2005. 14 Şubat 2005

[75] **Sabah Gazetesi,** 2005. 27 Mart 2005

[76] **Sabah Gazetesi,** 2004. 19 Aralık 2004

[77] **Sabah Gazetesi,** 2004. 25 Aralık 2004

[78] **İstanbul Ticaret Gazetesi,** 2002. 22 Aralık 2002

[79] **Dinar Standard Magazine,** December 2004

[80] **Enerji Günleri Paneli,** 2002. 11 Şubat 2002, Zeki Çakan

[81] **Sekizinci beş yıllık kalkınma planı,** 1423. madde

[82] **Sekizinci beş yıllık kalkınma planı,** 1414. madde

[83] http://www.energy.uk

[84] http://www.darvill.clara.net

[85] http://www.energy.gov

[86] http://www.energy.gov.tr

[87] http://www.botas.gov.tr

[88] http://www.tupras.com.tr

[89] http://www.epa.gov

EKLER

Tablo A.1. Yakıt kazanı emisyonları [19]

Yakıt	Sistem 1 500 kW			Sistem 2 ve 3 3 MW/15 MW		
	Nox	CO	PM	Nox	CO	PM
Kömür (lbs / Mmbtu)	Atmosfer	Atmosfer	atmosfer	0,20-1,24	0,02-0,7	
Odun (lbs / Mmbtu)	0,22-0,49	0,6	0,33-0,56	0,22-0,49	0,06	0,33-0,56
Fuel-oil (lbs / Mmbtu)	0,15-0,37	0,03	0,01-0,08	0,07-0,31	0,03	0,01-0,08
Doğal gaz (lbs / Mmbtu)	0,03-0,1	0,08	-	0,1-0,28	0,08	-

Tablo A.2. Mikro türbin emisyonları [21]

Emisyon karakteristikleri	**Sistem 1**	**Sistem 2**	**Sistem 3**	**Sistem 4**
Nominal elektrik kapasitesi (kW)	30	70	100	350
Elektrik verimi	23 %	25 %	27 %	29 %
Nox ppmv	9	9	15	9
Nox lb/MWh	0,54	0,50	0,80	0,53
CO ppmv	40	9	15	25
CO lb/MWh	1,46	0,30	0,49	0,72
THC ppmv	<9	<9	<10	<10
THC lb/MWh	<0,19	<0,17	<0,19	<0,19
Karbondioksit lb/MWh	1,928	1,774	1,706	1,529
Karbon lb/MWh	526	484	465	417

Tablo A.3. Gaz türbini emisyonları [18]

Emisyon karakteristikleri	**Sistem 1**	**Sistem 2**	**Sistem 3**	**Sistem 4**	**Sistem 5**
Nominal elektrik kapasitesi (kW)	1.000	5.000	10.000	25.000	40.000
Elektrik verimi	22 %	27 %	29 %	34 %	37 %
Nox ppmv	42	25	25	25	25
Nox lb/MWh	2,43	1,16	1,08	0,92	0,31
CO ppmv	20	20	20	20	20
CO lb/MWh	0,71	0,56	0,53	0,45	0,85
Karbondioksit lb/MWh	1,887	1,510	1,411	1,193	1,106
Karbon lb/MWh	515	412	385	326	302

Tablo A.4. Yakıt pili emisyonları [22]

Emisyon karakteristikleri	Sistem 1	Sistem 2	Sistem 3	Sistem 4	Sistem 5	Sistem6
Nominal elektrik kapasitesi (kW)	200	00	200	250	2000	100
Elektrik verimi	36 %	30 %	35 %	43 %	46 %	45 %
Yakıt pil tipi	PAFC	PEM	PEM	MCFC	MCFC	SOFC
Nox ppmv @ 15 % oksijen	1,0	1,8	1,8	2,0	2,0	2,0
Nox lb/MWh	0,03	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05
CO ppmv @ 15 % oksijen	2,0	2,8	2,8	2,0	2,0	2,0
CO lb/MWh	0,05	0,07	0,07	0,04	0,04	0,04
VOC ppmv @ 15 % oksijen	0,7	0,4	0,4	0,5	1,0	1,0
VOC lb/MWh	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Karbondioksit lb/MWh	1.135	1.360	1.706	1.170	950	890
Karbon lb/MWh	310	370	315	260	240	245

Tablo A.5. Gaz motoru emisyonları [20]

Emisyon karakteristikleri	Sistem 1	Sistem 2	Sistem 3	Sistem 4	Sistem 5
Nominal elektrik kapasitesi (kW)	100	300	800	1000	5000
Elektrik verimi	30,06 %	31,10 %	33,30 %	36,00 %	39,00 %
Motor yanma tipi	zengin	zayıf	zayıf	zayıf	zayıf
Nox gm /bhph	15,0	2,0	1,0	0,5	0,5
Nox ppmv @ 15 % oksijen	1.100	150	80	44	46
Nox lb/MWh	44,3	5,91	2,95	1,48	1,48
CO gm /bhph	12,0	1,8	2,6	2,8	2,2
CO lb/MWh	35,4	5,31	7,68	8,27	6,50
VOC gm /bhph	0,7	0,2	1,0	1,4	0,4
VOC lb/MWh	2,07	0,59	2,95	4,13	1,18
Karbondioksit lb/MWh	1.338	1.316	1.166	1.139	1.051
Karbon lb/MWh	365	359	318	311	287

ÖZGEÇMİŞ

1979 yılı Temmuzunda Tekirdağ'da doğdum. Mevlana İlköğretim Okulu'nda ilkokul eğitimimi tamamladıktan sonra Dr. Refik Saydam İlköğretim Okulu'nda ortaokul eğitimimi birincilikle bitirerek Kabataş Erkek Lisesi'nin süper lise bölümüne girmeye hak kazandım. Bir yılı hazırlık olmak üzere dört yıllık lise hayatımdan sonra İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne girmeye hak kazandım. 2002 yılında üniversiteden mezun olarak aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans eğitimime başladım ve halen devam etmekteyim. İngilizce ve Almanca konuşmaktayım.