



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ÇEVRE VE STRATEJİK BAKIŞ AÇISIYLA TÜRKİYE'DE
NÜKLEER SANTRAL ÇALIŞMALARI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Osman SEVER

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Hakan ÇELEBİ

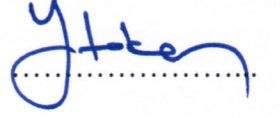
AKSARAY, 2019

Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 172301401 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi, Osman SEVER tarafından hazırlanan "ÇEVRE VE STRATEJİK BAKIŞ AÇISIYLA TÜRKİYE'DE NÜKLEER SANTRAL ÇALIŞMALARI" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hakan ÇELEBİ

Aksaray Üniversitesi

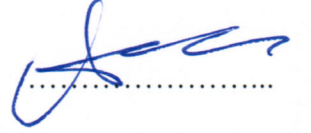
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Üye: Doç. Dr. Murat DİLMEÇ

Necmettin Erbakan Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Üye: Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan GÖK

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Tez Savunma Tarihi: 26/04/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

17/05/2019

Doç. Dr. Mehmet Ali HİNİS

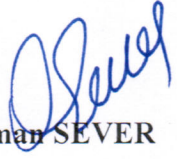
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, çalışmamda kullandığım verilerin orijinallliğini ve her türlü intihalden uzak olduğunu beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.


Osman SEVER

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimi hazırlarken her zaman yanımda olan, beni cesaretlendiren ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Hakan ÇELEBİ'ye teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca, tebessümleriyle beni hayata bağlayan sevgili çocuklarım Mehmet Akif, Ahmet Asaf ve Ravzagül ile birlikte büyük fedakârlıklar göstererek bana rahat bir çalışma ortamı sağlayan değerli eşim Nurcan SEVER'e şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmamı, yaşarken ellerindeki tüm imkânları esirgemedi bana veren, yokluklarına hala alışamadığım, anneme ve babama ithaf ediyorum.

Osman SEVER
AKSARAY, 2019

İÇİNDEKİLER

DOĞRULUK BEYANI	i
TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	7
3. ÇEVRE, ENERJİ, ENERJİ KAYNAKLARI VE ÇEVRESEL ETKİLERİ ..	12
3.1 Çevre ve Enerji	12
3.1.1 Çevre tanımı.....	12
3.1.2 Enerji tanımı ve Türkiye’de enerji durumu	12
3.1.3 Çevre ve enerji ilişkisi	14
3.2 Enerji Kaynakları ve Çevresel Etkileri.....	15
3.2.1 Enerji kaynakları.....	15
3.2.2 Yenilenemez enerji kaynakları	16
3.2.2.1 Kömür ve çevresel etkileri	17
3.2.2.2 Petrol ve çevresel etkileri	20
3.2.2.3 Doğal gaz ve çevresel etkileri	25
3.2.2.4 Uranyum ve toryum	29
3.2.3 Yenilenebilir enerji kaynakları	38
3.2.3.1 Hidrolik enerji	39
3.2.3.2 Güneş enerjisi.....	41
3.2.3.3 Biyokütle enerjisi	43
3.2.3.4 Rüzgâr enerjisi	45
3.2.3.5 Jeotermal enerji	48
3.2.3.6 Dalga ve gel-git enerjisi	51
3.2.3.7 Hidrojen enerjisi.....	54
4. NÜKLEER ENERJİ, NÜKLEER GÜÇ SANTRALLERİ VE STRATEJİK ÖNEMİ	58
4.1 Nükleer Enerji ve Nükleer Güç Santralleri	58
4.1.1 Nükleer enerji	58
4.1.2 Nükleer enerjinin tarihçesi	60
4.1.3 Nükleer yakıt çevrimi	62
4.1.4 Nükleer güç santralleri.....	64
4.1.5 Radyasyon.....	69
4.1.6 Nükleer santrallerin çevresel etkileri	71
4.1.7 Nükleer santrallerde alınan güvenlik önlemleri.....	75
4.1.8 NGS kazaları.....	78
4.1.9 NGS maliyeti	85
4.1.10 Nükleer santral karşıtlarının savundukları fikirler.....	88
4.2 Dünyada Nükleer Güç Santralleri	89
4.3 Türkiye’de Nükleer Teknolojinin Geçmişi ve NGS Kurma Planları	91
4.3.1 Türkiye’de nükleer teknolojinin geçmişi.....	91
4.3.2 Türkiye’de kalkınma planlarında NGS kurma ve planları	94
4.3.3 Türkiye’ye komşu ve yakın ülkelerde nükleer teknoloji durumu.....	97

4.4 Nükleer Enerji ve Strateji	101
4.4.1 Strateji tanımı.....	101
4.4.2 Türkiye’de nükleer enerji ve strateji.....	101
4.4.3 Nükleer enerjinin silah yapımında kullanılması	105
4.4.4 Nükleer enerjinin kullanıldığı diğer alanlar.....	108
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	112
KAYNAKLAR	118
ÖZGEÇMİŞ.....	127



YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇEVRE VE STRATEJİK BAKIŞ AÇISIYLA TÜRKİYE’DE NÜKLEER SANTRAL ÇALIŞMALARI

Osman SEVER

**Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hakan ÇELEBİ

ÖZET

Dünya’da nüfusun ve sanayi üretiminin hızla artması, teknolojik ürünlerin giderek daha fazla kullanılır olması sebebiyle enerji açığı meydana gelmekte ve daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Dünya’da ispatlanmış fosil yakıt rezerv ömürlerinin en fazla bir asır olması ülkeleri enerji kaynaklarını artırmaya yönlendirmektedir. Ülkelerin, coğrafi, ekonomik, teknolojik imkânların farklı ve yeraltı kaynakları sınırlı olması, nükleer santral ile enerji üretme alternatifini gündeme getirmektedir.

Gelişmekte olan bir ülke olarak Türkiye ve 81 milyon nüfusuyla enerji ihtiyacının karşılanmasında yaklaşık olarak %70 oranında dışa bağımlıdır. Türkiye G20 ülkeleri içerisinde nükleer santral olmayan 5 ülkeden biridir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı verilerine göre 2017 yılında elektrik enerjisi tüketimi yaklaşık 300 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir.

2018 yılı Ekim ayı itibari ile 30 ülkede 454 nükleer santral çalışmaktadır ve birçoğu gelişmiş ülkelerdedir. Nükleer enerji kullanımı tartışmalarında en önemli soru, nükleer santral bulunan ülkelerin çoğunluğunun neden gelişmiş ülkeler olduğudur. Türkiye’de 1950’lerden beri devam eden nükleer enerji santrali kurma fikri, 2018 yılında Mersin Akkuyu’da temeli atılarak uygulamaya geçirilebilmiştir. Nükleer santrallerde geçmişte bazı kazaların olması ve nükleer atıkların bertarafı veya nihai depolanması hakkında kamuoyunda kaygılar olsa da nükleer santraller dünyada kullanılmaya devam etmekte, yenileri inşa edilmekte ve planlanmaktadır.

Bu tez çalışmasında, nükleer santrallerin dünyada bulunduğu ülkeler ve enerji karşılama oranları irdelenerek, Türkiye’de kurulmasının çevresel ve stratejik açıdan etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. Enerji ve doğal kaynak yönünden kısıtlı imkânlarla sahip olan Türkiye’nin sürdürülebilir kalkınma ilkeleri doğrultusunda enerji ihtiyacının karşılanması ve bir alternatif seçenek olması için ulaşılan son teknolojiyle nükleer santraller yapılmasının gerekliliği ile enerji güvenliği ve stratejik açıdan nükleer santral yapılmasının önemi üzerinde durulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Türkiye, Çevre, Enerji, Nükleer Santral, Strateji.

Nisan, 2019; 127 sayfa

M.Sc. THESIS

STUDIES OF NUCLEAR POWER PLANT IN TURKEY WITH ENVIRONMENT AND STRATEGIC PERSPECTIVE

Osman SEVER

**Aksaray University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering
Supervisor : Asst.Prof. Hakan ÇELEBİ**

ABSTRACT

As population and industrial production increase rapidly in the world and technological products are increasingly used, energy deficit is emerging and more energy is needed. The fact that fossil fuel reserves have been proven in the world for a century is leading countries to increase their energy resources. The fact that countries have different geographical, economic, technological opportunities and limited underground resources puts the alternative to producing energy with nuclear power plants on the agenda.

In developing countries in meeting the energy needs of Turkey and with a population of 81 million it is about 70% dependent on foreign supplies. Turkey is one of five countries with no nuclear power plants in the G20 countries. According to the data of the Ministry of Energy and Natural Resources, electricity consumption in 2017 was about 300 billion kWh.

As of October 2018, 454 nuclear power plants are operating in 30 countries and many are in developed countries. The most important question in the nuclear energy use debate is why the majority of countries with nuclear power plants are developed countries. continued since the 1950s that the idea of setting up a nuclear power plant in Turkey, laid foundation of Mersin Akkuyu in 2018 could be implemented. Nuclear power plants have some accidents in the past and there are public concerns about the disposal or final storage of nuclear wastes, but nuclear power plants continue to be used in the world, new ones are being built and planned.

In this study, no country in the world where nuclear power plants and energy ratio are studied, aimed to investigate the effects of environmental and strategic establishment in Turkey. In terms of energy and natural resources which have limited opportunities to meet the energy needs in line with the principles of sustainable development in Turkey and focused on energy security and the necessity of nuclear power plants be done, reached by the latest technology to make alternative choices and the importance of the strategic aspects of nuclear power plants do.

Keywords: Turkey, Environment, Energy, Nuclear Power Plant, Strategy.

April, 2019; 127 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Türkiye’de elektrik kurulu gücü % dağılımı.	13
Şekil 3.2. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması.	15
Şekil 3.3. Fosil yakıt rezervlerinin tahmini kalan ömürleri.	17
Şekil 3.4. 2008-2017 yılları arası dünya ham petrol üretimi.	22
Şekil 3.5. 2008-2017 yılları arası Türkiye ham petrol üretimi.	23
Şekil 3.6. 2008-2017 yılları arası dünya doğal gaz üretimi.	26
Şekil 3.7. Türkiye doğal gaz boru hattı projeleri.	27
Şekil 3.8. 2016 yılı tespitlerine göre dünya uranyum üretimi ve % dağılımı.	31
Şekil 3.9. Sarı pasta.....	32
Şekil 3.10. 2016 yılı tespitlerine göre dünya toryum rezervi ve % dağılımı.	36
Şekil 3.11. Dünyadaki önemli jeotermal kuşaklar ve levha (plaka) sınırları.....	49
Şekil 3.12. Türkiye’de nanotektoniği-volkanik etkinliği ve jeotermal alanlar.	50
Şekil 3.13. Türkiye’de asgari dalga enerji seviyeleri.....	52
Şekil 3.14. Türkiye’de azami dalga enerji seviyeleri.....	52
Şekil 3.15. Hidrojen enerjisi sistemi.	55
Şekil 4.1. Filyon (çekirdek parçalanması).	58
Şekil 4.2. Füzyon (çekirdek birleşmesi).	59
Şekil 4.3. Tipik bir nükleer yakıt çevrimi.	63
Şekil 4.4. Tipik bir basınçlı nükleer güç santrali.	65
Şekil 4.5. Dünyadaki NGS (Reaktör tiplerine göre).	66
Şekil 4.6. NGS tasarım teknolojileri gelişimi.	68
Şekil 4.7. Sapma, olay ve kaza tanımları.	79
Şekil 4.8. Nükleer santralin ömrü boyunca maliyetleri ve gelirleri.....	85
Şekil 4.9. Dünya nükleer santral haritası.	90
Şekil 4.10. Türkiye’nin etrafındaki nükleer santral haritası.	97
Şekil 4.11. Türkiye RESA ölçüm istasyonları haritası.....	99
Şekil 4.12. Slovakia, Bohunice NGS yanındaki tarım alanları.....	110

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Bazı ülkelerdeki kanıtlanmış kömür rezervleri.....	18
Çizelge 3.2. 2016 yılı tespitlerine göre dünya uranyum rezervi ve % dağılımı.....	30
Çizelge 3.3. 2016 yılı tespitlerine göre dünya toryum rezervi ve % dağılımı	35
Çizelge 3.4. Dünya hidroelektrik enerji potansiyeli.	39
Çizelge 3.5. Türkiye hidroelektrik santrali potansiyel durumu.	40
Çizelge 3.6. Biyokütle kaynakları ve süreçleri.	44
Çizelge 3.7. Türkiye’de bölgesel ortalama dalga yoğunlukları.	53
Çizelge 4.1. Radyasyon dozları ve etkileri.	69
Çizelge 4.2. Aynı güçteki termik ve nükleer santralin karşılaştırması.	72
Çizelge 4.3. Leopold Matrisi karşılaştırılması.	72
Çizelge 4.4. OECD’nin 2015 yılı için hazırladığı elektrik üretimi maliyetleri.	86



SİMGELER VE KISALTMALAR

AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ARGE	Araştırma Geliştirme
BM	Birleşmiş Milletler
CO₂	Karbondioksit
ÇED	Çevresel Etki Değerlendirmesi
ÇOB	Çevre ve Orman Bakanlığı
ÇŞB	Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
D₂O	Ağır su
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
EGM	Emniyet Genel Müdürlüğü
EURATOM	Avrupa Atom Enerjisi Topluluğu
G8	Sekizler Grubu (ABD, Rusya, İngiltere, Almanya, Fransa, İtalya, Japonya ve Kanada'nın üye olduğu en gelişmiş 8 ülke topluluğu)
G20	Yirmiler Grubu (En gelişmiş 20 ülke topluluğu)
GW	Gigavat
H₂	Hidrojen
HES	Hidroelektrik santral
IAEA	Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı
ICHET	Uluslararası Hidrojen Enerjisi Teknolojileri Merkezi
IRENA	Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı
ITER	Uluslararası Termonükleer Deneysel Reaktör
İÜ	İstanbul Üniversitesi
İTÜ	İstanbul Teknik Üniversitesi
kW	Kilovat
mSv	milisivert
MW	Megavat
LNG	Sıvılaştırılmış doğalgaz
MTA	Maden Tetkik Ve Arama Genel Müdürlüğü
NATO	Kuzey Atlantik Antlaşması Örgütü
NGS	Nükleer Güç Santrali
NIMBY	Not-In-My-Back-Yard (Arka bahçemde olmasın)
NO_x	Azot oksitler
NPT	Nükleer Silahların Yayılmasının Önlenmesine İlişkin Antlaşma (Nuclear Non-Proliferation Treaty)
NTE	Nadir toprak elementleri
NEI	Nükleer Enerji Enstitüsü (ABD)
OECD	Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
PRIS	Güç Reaktörü Bilgi Sistemi (IAEA NGS veri sistemi)
PV	Fotovoltaik pil
Sm³	Standard metreküp (Sıcaklık: 15 °C, Basınç: 1.01325 barA)
SO₂	Kükürtdioksit
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
TASAM	Türk Asya Stratejik Araştırmalar Merkezi
TBMM	Türkiye Büyük Millet Meclisi
TÇV	Türkiye Çevre Vakfı
TDK	Türk Dil Kurumu

TEHAD	Türkiye Elektrikli ve Hibrid Araçlar Platformu
TEK	Türkiye Elektrik Kurumu
TEP	Ton Eşdeğer Petrol
ThO₂	Toryum Dioksit
TMI	Three Mile Island
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu Başkanlığı
TW	Teravat
UF₆	uranyum heksaflorid
UO₂	uranyum oksit
UNIDO	BM Sınai Kalkınma Örgütü
UNSCEAR	Atom Radyasyonunun Etkilerine İlişkin BM Bilim Komitesi
v/g	varil/gün
WNA	Dünya Nükleer Derneği



1. GİRİŞ

Günümüzde temel gıda ve yaşam güvenliğinin hemen ardından ihtiyaç hissettiğimiz şey enerjidir. Yokluğu veya noksanlığında hayatımız zora girmekte ve yaptığımız tüm üretimler durma noktasına gelmektedir. Hayatımızın ayrılmaz bir parçası olan enerji, çağımızda toplumların varlıklarını devam ettirmelerinde çok önemli bir yer tutmaktadır.

Dünya’da nüfusla birlikte sanayi üretiminin hızla artması, kişi başına düşen otomobil kullanımındaki yükseliş ve teknolojik ürünlerin giderek her alanda çeşitlenerek daha fazla kullanılır ve birçok gelir grupları tarafından alınabilir hale gelmesiyle artan enerji tüketimi sebebiyle daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır.

Yunanca “*energon*” kelimesinden türeyen enerjideki, “*en*” iç, “*ergon*” da iş anlamına gelir ve bir sistemin iş yapma kabiliyeti manasına gelmektedir (Bahar, 2005). Enerjinin farklı şekillerde tanımı ve birçok çeşitleri vardır.

Günümüzde enerji dendiğinde ilk ve daha çok akla gelen, bir sonuç veya çıktı olarak elektrik enerjisidir.

Dünya enerji tüketiminin yaklaşık üçte birini elektrik enerjisi oluşturmaktadır. Geri kalan alanlar taşımacılık, ısıtma ve endüstriyel süreç ısısı üretimidir. Gelecekte kaynakların tükenmesi ve çevresel kaygılar gibi sebeplerle fosil yakıt kullanımı azaldığında nükleer enerji bu kaynakların yerini dolduracak en iyi alternatiflerden biri olarak öne çıkmaktadır (URL-1).

Bu çalışmada daha çok, zenginleştirilmiş formda uranyum kullanılarak elektrik enerjisi elde edilmesinde Türkiye’de kurulması planlanan nükleer santrallere çevresel ve stratejik açıdan bakıp nükleer santrallerin Türkiye’de neden kurulması gerektiği üzerinde durulmuştur.

Ülkelerin ekonomik kalkınmalarını sürdürebilmeleri için gerekli olan temel girdi enerjidir. Her geçen gün önemini artıran enerji, sürdürebilir ve çok boyutlu politika ile stratejilerin uygulanması gereken bir sektördür (URL-2).

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) verilerine göre, dünyada ispatlanmış

fosil enerji kaynaklarının 2016 yılı sonu itibariyle rezerv ömrü petrolde 51 yıl, kömürde 114 yıl ve doğalgazda 53 yıl (ETKB, 2017a) olması ülkeleri ellerindeki enerji kaynaklarını çeşitlendirmeye ve farklı alternatifler bulmaya yönlendirmektedir. Ancak her ülkenin coğrafi, ekonomik, teknolojik imkânları ile yeraltı ve yerüstü kaynakları sınırlı olduğundan enerji üretimi çok fazla çeşitlendirilememektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının gerek coğrafi ve meteorolojik şartlara bağlı olması gerekse üretilen enerji miktarının az ve verimin düşük olması sürekli artan enerji miktarını karşılama açısından yeterli olmamaktadır. Ülkelerin coğrafya şartlarından bağımsız bir şekilde, teknolojik altyapı, ekonomik güç ve işlenmiş uranyum/toryum yakıtı ile kurabilecekleri nükleer santral ile enerji üretme alternatifi burada gündeme gelmektedir.

Dünya’da 2018 yılı Ekim ayı itibari ile 30 ülkede 454 nükleer santral çalışmakta (URL-3), 17 ülkede 54 tanesinin inşaatı devam etmekte (URL-4) ve 2023 yılına kadar 164 tanesinin de yapılması planlanmaktadır. Bu santrallerin %71’ i olan 320 adedi G8 (Rusya’nın üyeliği askıdadır) ülkelerinde kuruludur. Sadece ABD’de 98 adet nükleer santral bulunmaktadır (URL-3). Türkiye’ enerji ihtiyacının karşılanmasında yaklaşık olarak %70 oranında dışa bağımlıdır (Külebi, 2007). Türkiye G20 (Yirmiler Grubu) ülkeleri içerisinde nükleer santral olmayan 5 ülkeden biridir.

Günümüzde sorgulanması gereken en önemli konulardan birisi nükleer santral bulunan ülkelerin büyük çoğunluğunun neden gelişmiş ülkeler olduğu gerçeğidir. Türkiye’ de nükleer enerji santralının kurulmasına karşı çıkan kuruluş veya kişilerin bu soruya bilimsel ve objektif bakış açısıyla kabul edilebilir cevaplar vermesi gerekmektedir.

Bir diğer önemli soru ise neden sadece iki Müslüman ülkede nükleer santral bulunduğu. Bu ülkelerden Pakistan 1963 yılında nükleer santrali Kanada’ya yaptırmıştır, İran ise 1974 yılında Alman Siemens firması ile başladığı nükleer santral projesini Rusya’nın desteğiyle 2011 yılında bitirebilmiştir. Özellikle İran günümüzde bu yüzden askeri amaçlı kullanma suçlamasıyla ABD tarafından ambargolara maruz kalmaktadır. Rusya’nın yeniden işlenip silah üretiminde kullanılabilecek plütonyum içeren tüketilmiş çubukları teslim alacak olmasını dahi ABD dikkate almamaktadır. Oysa ABD nükleer silah üretmektedir ve bu hakkı neden sadece kendisinde görmektedir? Nükleer silaha sahip olan veya olacak olan ülke Müslüman olunca mı bu silahlar tehlikeli olmaktadır? Bu sorular cevapsız kaldıkça Batı ülkelerinin tarafsızlığı

ve ikiyüzlülüğü her zaman sorgulanacaktır. 1963 yılında Pakistan'ın Kanada'ya yaptırdığı nükleer güç santrali (NGS) sonrası Batılı Devletler olayı hemen inceleyip dünya barışını tehdit edeceği gerekçesiyle nükleer teknolojinin Doğu ve İslam ülkelerinde yasaklanması içi görüş birliğine vardı (Külebi, 2007).

Nükleer santraller dünyada en çok gelişmiş ülkelerde kullanılıyor olsa da bu santralleri ülkelere kazandırmak için çabalarda bulunan bazı ülkelere çeşitli yollarla engeller çıkarılmaktadır. Çünkü nükleer enerjiye sahip olan ülkeler hem sürdürülebilir bir kalkınma gerçekleştirirken hem de maliyet avantajına sahip olabilmektedir (Çiçek, 2012).

Bu tez çalışmasında gelişmiş ülkelerin hemen hepsinde bulunan nükleer güç santrallerinin gelişen bir ülke olarak Türkiye'de de son teknolojik imkânlarla, güvenlik konusunda gerekli tüm önlemleri alarak, çevresel etkilerinin detaylıca araştırılması ve gerekli önlemlerin alınmasının ardından kurulması gerektiği savunulmuştur.

Nükleer santrallerinin asıl amacı öncelikle elbette elektrik enerjisi üretmektir. Ancak nükleer teknolojiye sağlık, çevre, su, gıda, tarım ve sanayi gibi birçok alanda faydalanılmaktadır (URL-5).

Türkiye' de 20. Yüzyılın ortalarına dayanan nükleer enerji santrali kurma planları 12 Mayıs 2010'da Rusya ile yapılan anlaşma sonucu ancak 03 Nisan 2018 tarihinde Mersin Akkuyu'da temeli atılarak uygulamaya geçirilebilmiştir (URL-6).

Sanayileşme ve teknolojik gelişmelerle birlikte artan enerji ihtiyacı, Türkiye'nin dışa bağımlılığının da giderek artmasına sebep olmuştur. Türkiye'nin enerji politikalarını belirleyerek, alternatif enerji kaynaklarına yönelmesi ve dünyanın ikinci en büyük toryum rezervine sahip bir ülke olarak nükleer enerjiye geçmesi zorunlu hale gelmiştir (Yavuzaslan, 2009).

Türkiye 81 milyon nüfusuyla enerji ihtiyacının büyük bir kısmını ithal etmektedir. Kullanılan ham petrolün yaklaşık %89'u ve doğal gazın ise %99'u ithal edilmektedir (URL-7). ETKB verilerine göre; Türkiye'de 2018 yılı ilk yarısında kurulu elektrik gücün, yaklaşık olarak yüzde 32'si hidrolik enerji, yüzde 27'si doğal gaz, yüzde 21'i kömür, yüzde 8'i rüzgâr, yüzde 5'i güneş, yüzde 1'i jeotermal ve yüzde 6'sı ise diğer

kaynaklar şeklindedir. 2017 yılı elektrik enerjisi tüketimi ise yaklaşık %5,6 artarak 300 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir (URL-8).

Nükleer enerjinin tarihine bakıldığında; geçmişte nükleer enerjinin ticari anlamda elektrik enerjisini üretmek amacıyla kullanımı ilk kez 1955 yılında olmuştur. Dünyanın petrol sonrası döneme geçişinin ardından nükleer enerji, “ucuz, temiz ve emin” yoldan sağlanacak en büyük enerji kaynağı olarak kabul ediliyordu. 20. Yüzyıl sonuna doğru bunun o kadar kolay olmayacağı anlaşılsa da gelişmiş veya gelişen pek çok ülkede nükleer santrallerin gittikçe yayıldığı bir gerçektir. Bu ülkeler arasında elektrik enerjinin bir kısmını nükleer kaynaklardan sağlamayı planlayan Türkiye’ de yer almaktadır. Enerji açısından kısıtlı kaynakları olan Türkiye’nin sürekli artan enerji talebinin karşılamasında nükleer enerji alternatifinin iyi değerlendirilmesi gerekmektedir (Yavuzaslan, 2009).

Yenilenemez veya yenilenebilir kaynaklardan elektrik enerjisi üretim metotlarının hepsinin çevresel etkileri bulunmaktadır.

Günümüzde genellikle yenilenemeyen enerji kaynakları kullanılmaktadır. Bunun sonucu olarak çevre problemlerinde büyük ölçüde artışlar meydana gelmiştir. Sera gazlarının atmosferdeki değişimlerinin son 150 yıl içerisinde artmasıyla meydana gelen ısınma küresel olarak iklimsel değişikliklere sebep olmaktadır. Antropojenik kaynaklar nedeniyle oluşan hava kirliliğinin göstergesi kabul edilen CO₂ konsantrasyonu, 18. ve 19. asırlarda ortalama 285 ppm civarındayken, fosil yakıtların ağırlıklı kullanılmasıyla 2005 sonu itibarıyla 382 ppm olmuştur (Hüseyinoğlu, 2006). Elektrik enerjisi üretiminde en önemli çevre problemlerinin özellikle linyitin yakıldığı termik santraller meydana getirmektedir (Ertürk vd., 2006).

Türkiye bugüne kadar özellikle hidroelektrik santralleri ile enerji ihtiyacının büyük bir kısmını karşılamıştır. Ancak küresel olarak iklimde yaşanan köklü değişiklikler nedeniyle bu enerjinin de sıkıntılara çare olmadığı açıktır (Yavuzaslan, 2009).

Uranyum gibi ağır radyoaktif atomlara bir nötronun çarpması ile uranyumun daha küçük atomlara bölünmesi (filyon) veya hafif radyoaktif atomların bir araya gelerek daha ağır atomları meydana getirmesi (füzyon) ile oluşan enerjiye nükleer enerji denir

(URL-9). Nükleer enerji, fosil yakıtla elde edilen enerji çeşitlerinden çok daha çevreye duyarlı ve karbon salınımı çok daha azdır.

Nükleer enerji santralleri için, Çernobil (1986) ve Fukuşima (2011) örneklerinde olduğu gibi bir kaza tehlikesi bulunması, kullanılan yakıtın atık haline geldikten sonra radyoaktivitesinin uzun süre devam etmesi ve depolanması, deprem gibi doğal afetlerde reaktörlerde meydana gelmesi muhtemel bir arıza ve reaktörlerin ömrünü tamamlamasının ardından söküm ve bertaraf işlemleri gibi çevresel etkilerinin fazla olduğu eleştirileri yapılmaktadır. Çalışan her sistemin güvenlik riskleri ve dezavantajları elbette vardır. Oysa bahsedilen kazalar yüzlerce nükleer santral içerisinde parmakla sayılacak kadar azdır, atıkların geri değerlendirilmesi ve yüzlerce metre yerin altına betonlanarak depolanması gibi çözüm yolları mevcuttur. Çernobil kazası bir deney sırasında operatör hatası yüzünden meydana gelmiştir ve nükleer santral üzerinde beton dış güvenlik kabuğu olmayan eski bir teknolojidir. Yeni teknolojilerle çok daha güvenli ve oto kontrol sistemlerinin bulunduğu nükleer santraller yapılabilmektedir. Fukuşima kazasının asıl sebebi deprem afeti kaynaklı tsunamidir ve ülkemizde nükleer santral kurulması planlanan yerlerde böyle bir ihtimal bulunmamaktadır.

Günümüzde nükleer radyasyon ile baz istasyonları ve cep telefonlarından yayılan radyo dalgaları birbirine karıştırılmaktadır.

Radyasyon parçacıklar ya da elektromanyetik dalgalar biçiminde enerji aktarımı veya yayımıdır. Cisim üzerindeki etkisine göre iyonlaştırıcı olan ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak ikiye ayrılır. İyonlaştırıcı radyasyon, çarptığı cisimde yüklü parçacıklar oluşturabilen radyasyondur ve önlem alınmadığı takdirde tüm canlılar için zararlı olabilir. Alfa, beta, nötronlar, X-ışınları ve gama ışınları iyonlaştırıcı radyasyon yayarlar. İyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar ise kızılötesi dalgalar, radyo dalgaları, mikrodalga ve görünür ışıktır. Canlılar için zararlı olabilecek radyasyon tipi iyonlaştırıcı radyasyondur (Erdöşemeci, 2014). Sonuç olarak nükleer radyasyon iyonlaştırıcı, baz istasyonu ve cep telefonlarından yayılan radyo dalgaları iyonlaştırıcı olmayan radyasyondur. Ancak, nükleer santralin etkilediği alanda yaşayan bir insanın bir yılda alacağı radyasyon, tek bir göğüs röntgeni çektiğinde alınan radyasyonun ellide biridir (Külebi, 2007).

Nükleer enerji, artan elektrik enerjisi talebini karşılamak için baz yük santrallerinin başında gelmektedir. 2011 yılında Japonya’da Fukuşima yakınlarında yaşanan deprem sonucu oluşan tsunaminin sebep olduğu nükleer kaza dünyada nükleer enerjiye duyulan güvenin sarsılmasına, nükleer karşıtı gösteriler düzenlenmesine ve nükleer enerji programlarının gözden geçirmelerine sebep olmuştur. Ayrıca birçok ülke, enerji arz güvenliği için güvenlik sistemlerini daha da geliştirerek yeni nükleer yatırımlara başlamıştır (ETKB, 2017b).

Sürdürülebilir kalkınmayı sağlayan bileşenlerden en önemlisi enerjidir. Küreselleşen dünya üzerinde stratejik önemi artan enerji, ülkelerin gelişmişlik düzeylerinde ve gelişmelerini sürdürmelerinde çok etkilidir ve bu etki giderek artmaktadır (Hüseyinoğlu, 2006).

Türkiye nükleer enerjiye geçtiğinde yetişmiş personeli artacak ve zamanla kendi sistemlerini tasarlayıp, kurarak işletir hale gelecektir. Evet, Türkiye nükleer güç konusunda geç kalmış veya bırakılmıştır ancak bir yerden başlamak gerekmektedir.

Türkiye’ye komşu ve yakın ülkelerin birçoğu nükleer enerji alanında, stratejik, politik, ekonomik, bilimsel ve teknik açıdan ileri durumdadırlar. Nükleer enerji konusu günümüzde ülkeler açısından stratejik bir öneme sahiptir. Türkiye ise komşu ülkelerden her açıdan geri kalmıştır. Türkiye komşularının sahip olduğu ve ulaşabilecekleri gelişmişlik düzeyinin gerisinde kalmaması gerekir (Yıldırım ve Örnek, 2007).

Bu tez çalışmasında, enerji kaynakları hakkında bilgi verildikten sonra, nükleer santrallerin dünyada bulunduğu ülkeler ve enerji karşılama oranları irdelenerek, birçoğu gelişmiş ülkelerde kurulu olan nükleer santrallerin gelişmekte olan bir ülke olarak Türkiye’de kurulmasının çevresel ve stratejik açıdan etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. Enerji ve doğal kaynak yönünden kısıtlı imkânlarla sahip olan Türkiye’de enerji ihtiyacının karşılanması ve kaynakların çeşitlendirilmesi için sürdürülebilir kalkınma ilkeleri doğrultusunda, ulaşılan son teknolojiyle, güvenli bir yapıda ve çevreye duyarlı nükleer santraller yapılmasının gerekliliği ile enerji arz güvenliği ve stratejik açıdan nükleer santral yapılmasının önemi üzerinde durulmuştur.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Bahar (2005), tarafından yayınlanan “Türkiye’de Enerji Sektörü Üzerine Bir Değerlendirme” isimli Muğla Üniversitesi, SBE Dergisi, 14. sayısındaki yazıda; yapılan literatür taramasına göre, dünyada ve Türkiye’de enerji sektörü ile ilgili tespitlerden hareketle Türkiye’de giderek artan enerji tüketiminin yerli üretimle karşılanamayacağını, ithalatın artacağını ve sanayi sektöründeki fiyat politikasının uygun olmadığını göstermiştir. Ayrıca Türkiye’nin mevcut durumundan hareketle ekonomik büyümeyi sürdürebilmesi için enerji sektörüne gereken önemi vermesi ve stratejik planlamaları en kısa zamanda yapması gerektiğini vurgulamıştır.

Bakır (2013), tarafından yapılan “Türkiye’nin Nükleer Enerji Politikaları ve Mersin Akkuyu Nükleer Güç Santrali” konusundaki yüksek lisans tez çalışmasında, enerji kaynakları ve bu kaynakların dünya üzerindeki dağılımı incelenip dünyayı nükleer enerjiden elektrik teminine iten aşamalar ortaya konmuştur. Nükleer enerji santralleri, bu santrallerin özellikleri, yaşanan nükleer santral kazaları ve dünyada nükleer enerji santrallerinin durumu incelenmiş, Türkiye’nin enerji kaynakları göz önüne alınarak elektrik enerjisi talep ve arz projeksiyonları çıkartılmıştır. Türkiye’nin nükleer enerji politikaları, kalkınma ve hükümet programlarında incelenerek ulusal ve uluslararası alanda yapılan Türkiye’nin taraf olduğu hukuksal düzenlemeler ele alınmış Mersin Akkuyu Nükleer Güç Santrali Projesi’nin özellikleri ve bu proje çerçevesinde imzalanan anlaşma kapsamında Türkiye’nin elektrik enerjisi talebinde Mersin Akkuyu nükleer güç santralinin gerekliliği sorgulanmıştır.

Comby (2006), tarafından hazırlanan “Nükleer Enerji İçin Çevreciler” isimli kitapta, nükleer enerjinin, yerkürenin 21. yüzyıldaki enerji ihtiyacını karşılayabilecek, fakir ülkelerin kalkınmasını sağlayacak, çevreye duyarlı ve küresel ısınma meselesinin çözümüne yardım edecek tek enerji üretim metodu olduğu savunulmaktadır.

Çiçek (2012), tarafından yapılan “Sürdürülebilir Kalkınma Çerçevesinde Türkiye’nin Enerji Politikaları ve Nükleer Gereklilik” konusundaki yüksek lisans tez çalışmasında, Türkiye’de sürdürülebilir kalkınma açısından en verimli enerji kaynağının hangisi olduğunu tespit etmek ve bu çerçevede Türkiye’nin enerji politikalarının nasıl şekillenmesi gerektiğini araştırmıştır. Nükleer enerji karşıtı yürütülen faaliyetlerin

yersiz olduğunu savunarak bu karşı çıkmaların arka planında başka nedenler olabileceğini vurgulamayı amaçlamıştır.

Erdöşemeci (2014), tarafından yapılan “Nükleer Güç Santrallerinin Çevre Etiği Açısından İrdelenmesi” konulu yüksek lisans tez çalışmasında, tezin yapıldığı tarihe kadar yapılan çalışmalarda nükleer enerjinin teknik, politik ve çevresel boyutunun tartışıldığı ancak ‘etik’ boyutun hiç tartışılmadığı fikrinden hareketle nükleer enerji sistemleri öncelikle çevre etiği anlamında irdelenmiş ve etik kodların gerekliliği üzerinde durulmuştur. Nükleer enerjinin çevresel etik çerçevesinde ekosistem, günümüz ve gelecek kuşaklara olan etkileri üzerinde durularak IAEA tarafından sadece nükleer atıklarla ilgili olarak belirlenen etik prensipler ve bu prensiplerin değerlendirmesi yapılmıştır.

Ertürk vd., (2006), tarafından hazırlanan “Enerji Üretimi ve Çevresel Etkileri” konulu ve TASAM tarafından yayınlanan 14 numaralı stratejik raporda, sürekli artan enerji ihtiyacının kısıtlı kaynaklarla sağlanması için etkin ve doğru bir enerji politikasının geliştirilmesi ve uygulamasının gerekliliği üzerinde durulmuştur. Bunun için de öncelikle ülkenin enerjiye olan ihtiyacının belirlenmesi ve enerji temininde kullanılacak kaynakların potansiyelinin bilinmesi gerektiği tespiti yapılmıştır. Yaşanabilir bir dünyanın devamlılığının sağlanması için yapılan uluslararası ve ulusal hukuki düzenlemeler, enerjinin üretimi, iletimi ve tüketiminden kaynaklı çevresel etkilere de dikkat edilmesi gerektiğini vurgulamıştır.

ETKB (2017a), tarafından yayınlanan “Dünya ve Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü” konulu 15. sayısındaki raporda, dünya ve ülkemiz enerji ve tabii kaynakların durumu 2016 yılı sonu itibarıyla en güncel bir şekilde gösterilmiştir. Dünya ve Avrupa ile ilgili bilgiler, konu ile ilgili uluslararası kurum ve kuruluşların verilerinden, Türkiye ile ilgili bölüm bilgileri ise ETKB bünyesinde toplanan bilgi ve belgelerle Strateji Geliştirme Başkanlığında oluşturulan veri tabanından faydalanılarak kamuoyunun bilgisine sunulmuştur.

ETKB (2017b), tarafından yayınlanan 2015–2019 Stratejik Planı’nda, enerji ve tabii kaynaklar alanında Dünya’da özellikle Ortadoğu’daki gelişmeler dikkate alınarak Türkiye’nin sahip olduğu enerji kaynakları, ihtiyaçlarının belirlenmesi ve karşılanması

için konulan hedefleri belirleyen, yaşanan olaylar doğrultusunda ve Milli Enerji ve Maden Politikası Stratejisinin ne olması hakkında hazırlanan bir rapordur.

Gedik (2015), tarafından yapılan ‘‘Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve evresel Etkileri’’ konulu yüksek lisans tez çalışmasında, Türkiye’nin sıkıntılarında biri olan enerjinin yenilenebilir enerji kaynakları yardımıyla aşılabileceği, Türkiye’deki enerji potansiyelleri üzerinde durulmuştur. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynakları çevresel etkileri açısından karşılaştırılarak bu kaynakların önemi, ülke ekonomisine katkısı ve Türkiye’nin enerji politikaları hakkında bilgi verilmiştir.

Hüseyinoğlu (2006), tarafından hazırlanan ‘‘Sürdürülebilir Kalkınma İçin Nükleer Enerjinin nemi’’ isimli kitapta, TASAM tarafından 2006 yılında düzenlenen Devletin bakan düzeyinde katıldığı toplantıda yapılan sunum ve konuşmaların olduğu kitaptır. Kitapta, enerji ihtiyacı, nükleer enerji seçeneği, nükleer enerji üretimi ve yeni tasarım kriterleri, nükleer enerjinin uluslararası ilişkilere ve çevreye etkileri başlıkları altında sürdürülebilir kalkınma için nükleer enerjinin önemi üzerinde durulmuştur. Türkiye’nin enerji talebinin karşılanabilmesi için kaynak çeşitliliğine önem verilmesi gerektiği ve nükleer enerjinin bu alternatif kaynaklar arasında yer alması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Kaya (2013), tarafından yapılan ‘‘Sürdürülebilir Kalkınma erevesinde Türkiye’nin Nükleer Enerjiye İlişkin Politikalarının Değerlendirilmesi’’ konusundaki yüksek lisans tez çalışmasında, Türkiye’nin nükleer enerjiye ilişkin politikalarını sürdürülebilir kalkınma çerçevesinde değerlendirilmiştir. Türkiye’de nükleer enerji politikalarının tarihi, hükümet planları ve ulusal kalkınma planlarını doğrultusunda nükleer politikanın oluşmasında etkili olan hukuksal mevzuat ve kurumsal yapılar incelenerek değerlendirilmiştir.

Koivumki (2011), tarafından yapılan ‘‘Nükleer Enerji Santralleri ve Sürdürülebilirlik’’ konulu yüksek lisans tez çalışmasında, nükleer santrallerin fosil yakıtlı santrallerden daha az küresel problemle ucuz elektrik sağlayabileceği savunulmuştur. Ayrıca, gelecekte nükleer santral teknolojisinde daha ileri gelişmelerin olacağı belirtilmektedir. Ancak nükleer enerjinin uzun vadede elektrik talebini karşılamanın zm olmadığı, çok pahalı teknoloji olduğu belirtilmekte birlikte, sonuç olarak,

sürdürülebilir bir dünya için nükleer enerjiyi kullanımının günümüz şartlarında en sürdürülebilir yol olduğu savunulmaktadır.

Külebi (2007), tarafından hazırlanan “Türkiye’nin Enerji Sorunları ve Nükleer Gerekliklik” isimli kitapta, Türkiye’nin enerjide ülke güvenliğini tehlikeye atacak kadar dışa bağımlı olduğunu, petrol ve doğalgaz kartellerinin Türkiye’nin alternatif enerji kullanmasına nasıl engel oldukları örneklerle gözler önüne serilmektedir. Kitapta nükleer santrallerin çoğunluğunun Batılı ülkelerde bulunduğunun ve İslam ülkelerine kurulmasının neden ve nasıl engellendiğine dikkat çekildiğinden bu tez çalışmasıyla paralel görüşler paylaşılmaktadır. Sonuç olarak kitapta nükleer santrallerin birçok sebepten dolayı Türkiye’de kurulması gerektiği savunulmaktadır.

Palabıyık vd., (2010), tarafından hazırlanan “Nükleer Enerji ve Sosyal Kabul” isimli kitapta, NIMBY (Not-In-My-Back-Yard Arka bahçemde olmasın) sendromu olarak adlandırılan, nükleer enerjiye karşı olan insanların tutum ve davranışlarının, neden ve içeriğinin bilimsel olarak yapılan araştırma ile ortaya koyulduğu, sonuç olarak nükleer teknolojinin özellikle kurulacağı yörede riskleriyle birlikte tüm teknolojinin açıklıkla anlatılması gerektiğinin tespiti yapılmıştır.

Özemre vd., (2000), tarafından hazırlanan “50 Soruda Türkiye’nin Nükleer Enerji Sorunu” isimli kitapta, 2000’li yıllara kadar Türkiye’de birçok defa NGS yapımı için girişimlerin yapıldığı ancak çeşitli sebeplerden dolayı yapılamadığının tespiti yapıldıktan sonra, halkı nükleer enerji ve Türkiye için önemi üzerinde tarafsız olarak bilgilendirmek amaçlanmıştır. .

Uyar (2009), tarafından yapılan “Sürdürülebilir Kalkınma Bağlamında Kurulacak Olan Nükleer Reaktörlerin Türkiye’nin Enerji Güvenliğine Etkileri” konulu yüksek lisans tez çalışmasında, sürdürülebilir kalkınma ve enerji güvenliği bağlamında dünyada ve Türkiye’de enerji üretim ve tüketim miktarlarının ve Türkiye’nin enerji politikalarının incelenmesi, nükleer enerjinin fayda ve mahzurlarının değerlendirilmesi, diğer elektrik santralleriyle karşılaştırma yapılarak, Türkiye’nin sürdürülebilir kalkınma ve enerji güvenliği için nükleer teknolojinin uygun bir alternatif olup olmadığının ortaya konulması amaçlanmıştır.

Yavuzaslan (2009), tarafından yapılan “Türkiye’nin Enerji Politikaları ve Nükleer Enerji İhtiyacı” konusundaki yüksek lisans tez çalışmasında, enerjinin toplumların hayatındaki önemi üzerinde durarak artan nüfusla enerji ihtiyacının da arttığını belirtmiştir. Dünya’da enerji ihtiyacının önceleri daha çok kömürden karşılandığını ardından petrol ve doğalgazın da kullanıldığını 20. Yüzyılda daha az yakıt harcayan nükleer enerjinin de ortaya çıktığını, Türkiye’nin enerji açısından kısıtlı kaynaklarının olduğu ve gün geçtikçe artan enerji talebinin karşılamasında nükleer enerji seçeneğinin de iyi değerlendirilmesi gerektiğini savunmuştur.



3. ÇEVRE, ENERJİ, ENERJİ KAYNAKLARI VE ÇEVRESEL ETKİLERİ

3.1 Çevre ve Enerji

3.1.1 Çevre tanımı

Çevre bazen geniş bazen dar anlamda farklı disiplinlerde çok değişik şekillerde tanımlanmıştır. Çevreyi, yaşadığımız şartlar ve bu şartlarda bulunan canlı-cansız her şeyin, tabiat olayları ve canlıların yaptığı faaliyetlerle birbirlerini etkiledikleri ortam olarak tanımlayabiliriz.

Başka bir tanımla çevre, canlı varlıklar ve insan faaliyetleri üzerinde hemen ya da ileriki zamanlarda dolaylı ya da doğrudan doğruya bir etkiye bulunabilecek kimyasal, fiziksel, biyolojik ve toplumsal etkilerinin değerlendirilen andaki toplamıdır. Bu bakış açısıyla çevrenin kapsama alanına girmeyen hiçbir alan ve süreç yoktur (Çiçek, 2012). 2872 sayılı Çevre Kanunundaki tanıma göre çevre, canlıların hayatları boyunca ilişkilerini devam ettirdikleri ve karşılıklı olarak etkileşim içinde oldukları fiziksel, biyolojik, ekonomik, sosyal ve kültürel ortamdır. Bu tez çalışmasında, Türkiye’de NGS yapımına stratejik yönden de bakılacağı göz önüne alınarak tanımda yer alan ekonomik kelimesi stratejinin de konusu olduğundan daha çok bu çevre tanımı tercih edilecektir.

3.1.2 Enerji tanımı ve Türkiye’de enerji durumu

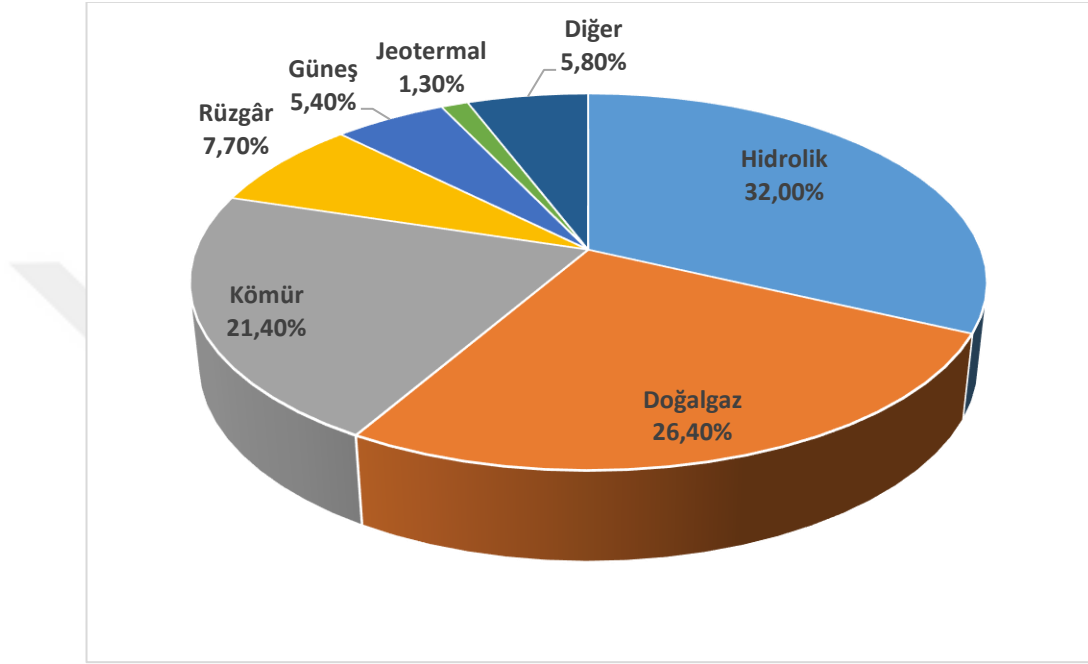
Bir işin gerçekleşmesini, hareketini sağlayan ısı ve ışık şeklinde ortaya çıkan güce enerji denir (Kaya, 2013). Enerji kelimesinin kökeni Yunanca “*energon*” sözcüğünden gelmektedir. Burada “*en*” iç, “*ergon*” ise iş anlamına gelir ve bir cisim ya da sistemin iş yapma yeteneği olarak tanımlanmaktadır (Bahar, 2005).

Enerjinin teknik ve sosyal olarak birçok tanımı ve farklı metotlarla elde edilme yöntemleri vardır. Günlük yaşamda “enerji” terimi ile enerjinin geçebilen şekilleri olan iş ve ısı kastedilmektedir (Biçici, 2008). Günümüzde enerji dendiğinde daha çok akla gelen, bir sonuç veya çıktı olarak elektrik enerjisidir.

Türkiye’de 2018 yılı ilk yarısında kurulu elektrik gücün, yaklaşık olarak yüzde 32’si hidrolik enerji, yüzde 27’si doğal gaz, yüzde 21’i kömür, yüzde 8’i rüzgâr, yüzde 5’i

güneş, yüzde 1'i jeotermal ve yüzde 6'sı ise diğer kaynaklar şeklindedir (URL-8). Enerji ihtiyacının karşılanmasında yaklaşık olarak %70 oranında dışa bağımlıdır (Külebi, 2007). G20 ülkeleri içerisinde nükleer santral olmayan 5 ülkeden biri Türkiye'dir.

Türkiye'de elektrik kurulu gücü % dağılımı Şekil 3.1'de görülmektedir (URL-8).



Şekil 3.1. Türkiye'de elektrik kurulu gücü % dağılımı.

Kurulu gücün yukarıdaki değerlerde olmasına rağmen, Türkiye'de 2017 yılında elektrik üretiminin gerçekleşme oranları, %37 'si doğal gazdan, %33'ü kömürden, %20'si hidrolik enerjiden, %6'sı rüzgârdan, %2'si jeotermal enerjiden ve %2'si diğer kaynaklar şeklindedir (URL-8).

Türkiye'de, 2007 yılında 106 milyon TEP (Ton Eşdeğer Petrol) enerji tüketimi olmuştur. Bu rakamın 2020 yılında 222 milyon TEP olacağı tahmin edilmektedir (Palabıyık vd., 2010). Yaşantımızda temel gıda ve yaşam güvenliğinin hemen ardından ihtiyaç hissettiğimiz şey enerjidir. Enerjinin yokluğu veya noksanlığında insanoğlu günlük hayatını devam ettirmekte zorlanır ve ekonomik olarak yaptığı tüm üretimler durma noktasına gelir. Çünkü modern hayatta günlük aktivitelerde enerjinin içinde olmadığı bir seçenek neredeyse yoktur. Enerji hayatımızın ayrılmaz bir parçası olmuş aynı zamanda sahip olmanın ve nicelik olarak fazla kullanmanın gelişmişlik göstergesi

olduğu bir kavramdır. Bu nedenle günümüzde gelişmiş devletler enerji kaynaklarına sahip olabilmek için stratejiler ve yeni teknolojiler geliştirmekte, bir bahane bularak enerji kaynağının bol olduğu coğrafyalarda savaşlar çıkararak bu kaynaklardan uzaklaşmamaktadırlar.

Dünya’da nüfusla birlikte sanayi üretiminin artması, otomobil kullanımı ve teknolojik ürünlerin giderek daha fazla kullanılır ve birçok gelir grupları tarafından alınabilir hale gelmesiyle artan enerji tüketiminden dolayı daha fazla enerji üretimine ihtiyaç duyulmaktadır.

Enerji ülkelerin ekonomik gelişmelerini devam ettirmeleri için temel girdi durumundadır. Her geçen gün önemini artıran enerji, sürdürülebilir ve çok boyutlu politika ile stratejilerin uygulanması gereken bir sektördür (URL-2). Enerji, uluslararası politikaları yönlendirebilen güçlü bir araçtır (Yavuzaslan, 2009).

3.1.3 Çevre ve enerji ilişkisi

Enerji, üretiminden tüketimine kadar geçen aşamalarda genellikle çevreye zarar vermektedir. Enerji kaynağı, temiz enerji olarak nitelendirilse de çevreye az da olsa zarar verecektir. Bilinen en yaygın kirlenme, fosil yakıtların kullanımı ile gerçekleşmektedir. Yaygın şekilde kullanılan kömür, doğalgaz ve petrol gibi fosil yakıtlar daha kaynaktan çıkarılırken çevreyi kirletmekte ve sürekli bir risk oluşturmaktadır (Çiçek, 2012).

Üretiminden tüketimine kadar her aşaması çevre problemlerine sebep olabilen enerjinin çevreci, güvenli, ekonomik kaynaklardan sağlanması, artarak devam eden enerji ihtiyacını en güvenli bir biçimde karşılayacak bir anlayışla, enerji-çevre ilişkisinde doğru bir denge kurulması hayati öneme sahip bir gerekliliktir (Gedik, 2015).

Çevre, yaşadığımız ortam, soluduğumuz hava ve görüp hissettiğimiz her şeydir. Günümüzde, yaşadığımız çevrede kullandığımız cihazlara bağımlı olmamızdan kaynaklı, artık enerjisiz varlığımızı sürdürmek hemen hemen imkânsız hale gelmiştir. 24 saatliğine elektrikler kesilse ve petrol ürünlerine ulaşma imkânı kalmasa üretim yapamaz hale gelecek, gökdelenlerimize çıkamayacak ve kişisel teknolojik ürünlerimizi kullanamaz duruma geliriz. İnsan yaşamında bu kadar önemli iki kavram

arasında sürdürülebilir kalkınma ve yaşanabilir bir çevre ilkeleri doğrultusunda bir bağ oluşturulmalı ve birisi için diğeri feda edilmemelidir.

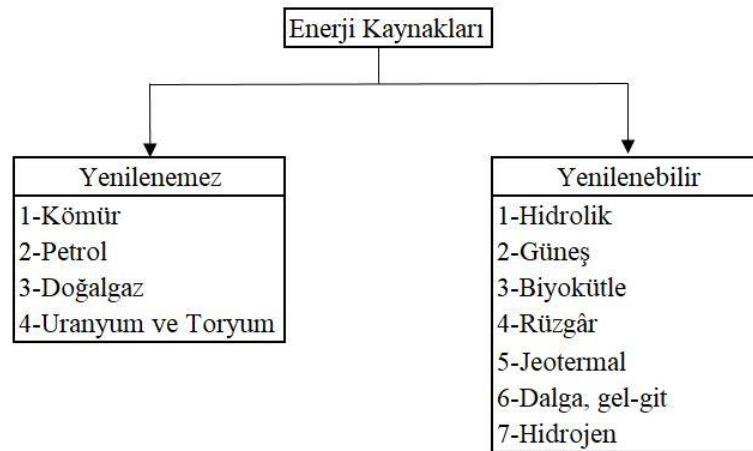
3.2 Enerji Kaynakları ve Çevresel Etkileri

3.2.1 Enerji kaynakları

Enerji kaynakları sürekli elde edilebilirlik esasına göre yenilenemez ve yenilenebilir olarak ikiye ayrılır. Burada temel esas, kaynağın kullanıldığında yerinin tekrar doldurulup doldurulamaması ve gelecekte sahip olma endişesinin bulunup bulunmamasıdır.

Kimyasal, mekanik, nükleer, termal, jeotermal, güneş, hidrolik, rüzgâr, elektrik enerjisi gibi değişik formlarda bulunabilen, günlük hayatın her aşamasında kullanılan enerji, farklı metotlarla birbirine dönüştürülebilmektedir. Farklı yöntemler kullanılarak enerji elde edilen kaynaklar, enerji kaynakları olarak isimlendirilmekte ve farklı şekillerde sınıflandırılmaktadır. Kullanışlarına göre enerji kaynakları yenilenemez ve yenilenebilir olarak ikiye ayrılırken; dönüştürülebilirliklerine göre ise birincil ve ikincil enerji kaynakları şeklinde incelenmektedir (URL-10).

Bu tez çalışmasında kullanışlarına göre enerji kaynakları hakkında genel bilgiler verilecek daha sonra 4. Bölümde tezin konusu olan nükleer enerji üzerinde detaylıca durulacaktır. Şekil 3.2’de enerji kaynaklarının sınıflandırılması görülmektedir (URL-10).



Şekil 3.2. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması.

Yenilenebilir enerji kaynaklarıyla yakın gelecekte dünyaya yeteri kadar enerji sağlamak mümkün görünmemektedir. Fosil kaynakların ise CO₂ gibi emisyon sorunları bulunmaktadır. Gerekli elektrik enerjisini üretmek için ise çözüm olarak nükleer santraller seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır. Nükleer enerji santrallerinde CO₂ salınımı etkisizdir ve maliyet hesaplamaları göstermektedir ki elektrik fiyatında rekabet edebilecek seviyededir (Koivumäki, 2011)

3.2.2 Yenilenemez enerji kaynakları

Tüketildiğinde yerine tekrar yenisi gelmeyen, yerkürede belli bir rezervi olan, oluşması milyonlarca yıl alan ve yandığında canlılara zarar veren gazlar çıkararak atmosferin hava kalitesini bozan kaynaklar yenilenemez enerji kaynaklarıdır. Fosil kökenli bu enerji kaynakları, petrol, kömür ve doğalgazdır. Çekirdek kaynaklı olanlar ise uranyum ve toryumdur. Bu çalışmada daha çok toryuma göre zenginleştirilmesi daha kolay olan ve NGS yakıt sisteminde günümüzde kullanılan uranyum üzerinde durulacaktır.

Yeryüzünde bulunan katı, sıvı ve gaz halindeki fosil kaynaklar, meydana gelen çeşitli reaksiyonlar sonucunda bünyelerindeki enerjiyi dışarıya verirler. Bu tür enerjiler, bitkisel ve hayvansal kalıntıların milyonlarca yıl toprakta bulunan basınç ve yer küreden gelen yüksek sıcaklıklara maruz kalarak fosilleşmesinden meydana gelmektedir. Fosil yakıtlar sonuç olarak hareket gücü, ısıtma ve elektrik üretimi sağlamak amacıyla kullanılırlar (Gedik, 2015).

ETKB verilerine göre, dünyada ispatlanmış fosil enerji kaynaklarının 2016 yılı sonu itibarıyla rezerv ömrü petrolde 51 yıl, kömürde 114 yıl ve doğalgazda 53 yıldır (ETKB, 2017a). Binlerce yıldır devam eden insanlık hayatında bu süreler çok kısa ve kaynaklar tükenecek olduğundan enerji arz güvenliğini sağlamak için yeni enerji üretim kaynakları geliştirilmiştir. Fosil yakıt rezervlerinin türlerine göre tahmini kalan ömürleri şekil 3.3'te gösterilmektedir (ETKB, 2017a).



Şekil 3.3. Fosil yakıt rezervlerinin tahmini kalan ömürleri.

Fosil yakıt kullanıldığı enerji üretimi modellerinin çevreye zarar verdiği bilinen bir gerçektir. Kullanılması düşünülen bir enerji kaynağı çevresel etkileriyle beraber değerlendirilmektedir. Yüksek oranda kükürt ve diğer zararlı maddeleri içeren fosil yakıtların kullanılmasıyla küresel çapta çevre problemleri meydana gelmektedir. Son yüzyılda dünyada 17 kat artan enerji tüketimi aynı oranda fosil yakıt kaynaklı SO₂, CO₂ ve NO_x gibi zararlı gazları da artırmıştır (URL-11).

3.2.2.1 Kömür ve çevresel etkileri

Kömür, bataklıklarda yeterli sıcaklık ve nemin oluşması, ortamda asitliğin artması, gereken organik maddelerin bulunmasıyla çürümüş bitkilerin su altına inmesi ve zamanla bataklığın üzerini örtmesi olayları sonucu oluşur (Gedik, 2015). Yanabilen sedimanter organik bir kaya olan kömür, başlıca, karbon, hidrojen ve oksijen gibi elementlerin bileşiminden oluşur. Kömür diğer kaya tabakalarının arasında milyonlarca yıl basınç, ısı ve mikrobiyolojik etkilerle meydana gelmiştir (URL-12).

Kömür tabiatta diğer fosil kaynaklara göre daha kolay bulunup çıkarılabilen, insanlığın yüzyıllardır kullandığı ve sanayileşmenin temelindeki en önemli enerji kaynağıdır. Kömür de fosil bir kaynak olduğundan tabiatta sınırlıdır.

Dünya'daki kömür rezervinin yaklaşık olarak 134 yıl ömrünün kaldığı hesaplanmaktadır. Dünya Enerji Konseyi'nin yaptığı araştırmalar, kanıtlanmış işletilebilir kömür rezervinin 892 milyar ton büyüklüğünde olduğunu göstermektedir (URL-13).

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) verilerine göre dünya elektrik enerji üretimindeki payı 1990 yılında %37,4 olan kömür, 2012’de %40,3’e yükselerek diğer kaynaklar arasında birinci sıradaki yerini korumuş ve 2035 yılına kadar da koruyacağı öngörüsü yapılmaktadır (ETKB, 2017b).

Linyitte rezerv ve üretim miktarı itibariyle dünyada orta düzeyde yer alan Türkiye, taşkömüründe ise alt düzey kategorisinde değerlendirilebilir. Dünya linyit/alt bitümlü kömür rezervinin yaklaşık %3,2’si Türkiye’de bulunmaktadır. Bu linyit rezervinin büyük kısmı ısı değeri düşük olduğu için daha çok termik santrallerde elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Linyit rezervi yaklaşık 17 milyar ton olan Türkiye’de rezervin yaklaşık olarak %46’sı Kahramanmaraş İli Afşin-Elbistan havzasında bulunmaktadır. Zonguldak civarı en önemli taşkömürü rezervlerinin bulunduğu yerdir. Bu havzadaki toplam görünür rezerv 506 milyon ton toplam taşkömürü rezervi ise 1,30 milyar ton düzeyindedir (URL-13).

En çok kullanılan enerji kaynağı olan kömür, önümüzdeki yıllarda da stratejik önemini korumayı sürdürecektir. Dünya’da yaklaşık 892 milyar ton kesinleşmiş kömür rezervi vardır. Bu rezervin yaklaşık %57’si olan 509 milyar ton kömür Rusya, ABD ve Çin’dedir (ETKB, 2017a).

Çizelge 3.1’de bazı ülkelerin kanıtlanmış kömür rezervleri gösterilmektedir (ETKB, 2017a).

Çizelge 3.1. Bazı ülkelerdeki kanıtlanmış kömür rezervleri.

ÜLKE	MİKTAR (MİLYAR TON)	DÜNYA TOPLAMINDAKİ PAYI (%)
ABD	237,3	26,6 %
Rusya	157,0	17,6 %
Çin	114,5	12,8 %
Avustralya	76,4	8,6 %
Hindistan	60,6	6,8 %
Almanya	40,5	4,5 %
Ukrayna	33,9	3,8 %
Kazakistan	33,6	3,8 %
Güney Afrika Cumhuriyeti	30,2	3,4 %
Endonezya	28,0	3,1 %

Termik santraller, kömür, fueloil, doğalgaz gibi fosil yakıtların yakılarak elde edilen ısıyla suyun ısıtılarak yüksek basınçlı buhar haline getirilmesi, ardından buhar aracılığıyla jeneratörlerin hızla döndürülerek jeneratörlerdeki magnetlerden meydana gelen elektrik impulslarının yoğunlaştırılması sonucunda elektrik enerjisi üretimi esasına dayanmaktadır (Ertürk vd., 2006).

Kömür, elektrik üretiminde, demir-çelik ve çimento imalat sanayinde, endüstriyel tesislerde buhar üretmek ve ısınma amacı ile kullanılmaktadır. Elektrik enerjisinin büyük bir bölümü birçok ülkede kömürden elde edilmektedir. Bu oranlar, Polonya’da %95, Güney Afrika’da %93, Avustralya’da %83, Danimarka’da %77, Çin’de %75, Yunanistan’da %69, ABD’de ve Almanya’da %53’ tür. Kömürün enerjiye dönüşüm aşamaları üretim, zenginleştirme, nakliye ve kullanım safhalarıdır (URL-14). ETKB verilerine göre Türkiye’nin 2018 yılı ilk yarısı itibariyle elektrik üretimi kurulu gücünün yaklaşık yüzde 21’inde kömür kullanılmaktadır (URL-8).

Ucuz ve rekabetçi bir yakıt olan kömür elektrik enerjisi üretiminin yaklaşık %40’ında kullanılmaktadır (URL-12).

Termik santrallerin çevresel etkileri, öncelikle termik santral ve kömür işleme sahalarında çalışan insanlarda görülmektedir. Termik santraline olan mesafe arttıkça insanlar üzerindeki etkisi giderek azalmaktadır. Yıllık ortalama SO₂ konsantrasyonu 100 µg/m³ ‘ü aşarsa solunum yolu hastalıklarında artış görülür, günlük SO₂ konsantrasyonu 250- 500 µg/m³ aralığında olursa akciğer hastalıkları artar. Günlük SO₂ konsantrasyonun 500 µg/m³’e ulaşması halinde solunum yolu hastalıklarında artış ve ölümler görülür (ÇOB, 2004).

Kömür ve termik santrallerin, teknolojik makine ve ekipman dışında yerli olması, dışa bağımlı olmaması, kullanılmayan kömürün tekrar ekonomiye kazandırılması gibi avantajları vardır. Dezavantajları ise kömürün yakılması sonucu insan sağlığını etkilemesi, küresel ısınmaya ve asit yağmurlarına sebep olan CO₂, SO₂ ve NO₂ gazlarının açığa çıkmasıdır (Ertürk vd., 2006).

Termik santrallerde kullanılan linyit kömürü, çıkarılmasından yakılmasına, külün depolanmasına kadar büyük kirliliklere sebebiyet vermekte ve bu kirlilikten insan, bitki ve hayvanlar azami derecede etkilenmektedir. Santrallerin meydana getirdiği

hava kirliliği ormanları ve beraberinde geniş tarım alanlarını da farklı şekillerde etkilemektedir. Termik santral bacalarından çıkan zehirli gaz ve partikül maddelerin etkisiyle bir çok tarla bitkisi, meyve ve zeytin ağacında verim yüksek oranda düşebilmektedir. Soğutma suyu kullanımı da termik santrallerin en önemli çevresel etkilerinden biridir. Santralin soğutulmasında kullanılan suyun doğaya verilmesi sonrasında deşarj edilen su ortamındaki normal sıcaklık derecesi zamanla yükselir ve önceki normal halinden farklı bir sıcaklık dengesi meydana gelir. Bu sıcaklık sulardaki canlılar ve canlı metabolizması üzerinde kısıtlayıcı, katalizleyici, hızlandırıcı, ve öldürücü şeklindeki çeşitli etkilerinin yanında sudaki çözünmüş oksijen derişiminin azalmasına da sebep olabilmektedir (Çiçek, 2012).

Ayrıca termik santrallerin, baca gaz ve külleri, kül stok sahasında bulunan küller, kül barajları, kül siloları, hidrolik kül atma sistemi, kül nakil bant hattı, santral sahası ve dekapaj sahaları, stok sahasında bulunan kömürler, kömür nakil bant hattı, kömür nakil yolları, kömür nakil hava hattı ve kirli atık sulardan oluşan çevresel etkileri vardır (ÇOB, 2004).

Kömür tüm çevresel etkilerine rağmen, dünyada en çok ve binlerce yıldan beri kullanılan bir enerji kaynağı olarak bir asrı aşacak sürede insanoğlunun kullanımında olacak ve stratejik önemini devam ettirecektir. Türkiye’de çıkarılan özellikle linyit cinsi kömürün büyük kısmının kalori değeri düşük olsa da milli enerji kaynağı olduğu için enerji arz çeşitliliği açısından NGS gibi alternatif enerji üretim modelleri kurup geliştirene kadar önemini koruyacaktır.

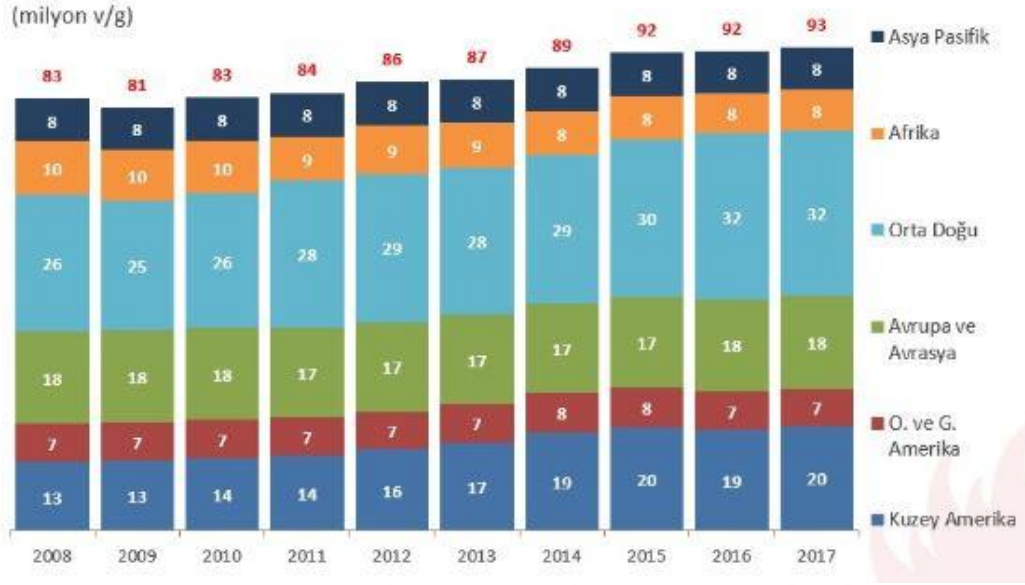
3.2.2.2 Petrol ve çevresel etkileri

Petrol tortul kayalardaki yer altı rezervuarlarında doğal olarak meydana gelen, hidrojen ve karbon içeren kimyasal bileşiklerden ve sıvı hidrokarbonlardan oluşan karmaşık bir karışımdır. Latince kaya anlamına gelen “*petra*” ve yağ anlamındaki “*oleum*” kelimelerinden oluşan “*petroleum*” genellikle “*oil*” kelimesiyle değişimli olarak kullanılmaktadır. Petrol, hem birincil (ham) hem de ikincil (rafine edilmiş) ürünleri içermektedir (URL-15). İkisinin de ana bileşenleri hidrojen ve karbon olduğundan ham petrol ve doğal gazın “Hidrokarbon” olarak da adlandırılır (URL-16).

Petrol ürünlerinin tamamına yakını petrol rafinerilerinde damıtılmış petrolden oluşur. Rafinerilerde petrol ürünleri üretimi ham petrolün kalitesine ve ihtiyaca göre yapılır. Ham petrolden petrol rafinerilerinde üretilen; mazot, benzin, sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG), fuel-oil, asfalt, gaz yağı, kayganlaştırıcı maddeler, katran, parafin ve petrokimyasal ürünler petrol ürünleri olarak adlandırılır (Çiçek, 2012).

Petrol ürünleri günümüzde özellikle ulaştırma sektöründe kara, hava ve deniz araçlarında vazgeçilmez bir enerji kaynağıdır. Türkiye İstatistik Kurumu Başkanlığı (TÜİK) verilerine göre Türkiye’de trafikteki kayıtlı araç sayısı Eylül 2018 sonu itibarıyla 22.798.221 olmuştur (URL-17). Son yıllarda üretimde özellikle otomobillerde hibrit ve elektrikli (şarjlı) modellere doğru bir yönelme olsa da yakıt olarak petrol ürünleri stratejik önemini korumakta ve uluslararası enerji piyasasında belirleyici rol oynamaya devam etmektedir. Türkiye Elektrikli ve Hibrid Araçlar Platformu (TEHAD) verilerine göre, 2017 yılında Türkiye elektrikli otomotiv pazarında toplam 4528 adet satış gerçekleşmiş bunun 77 adedi %100 elektrikli modeller olurken, 4451 adedi hibrit motorlu modeller olmuştur (URL-18). Oysa EGM (Emniyet Genel Müdürlüğü) verilerinde toplam motorlu araç satışı 741.902 adettir (URL-19). Elektrikli ve hibrit motorlu araç satış rakamlarından hareketle, 23 milyona yanaşan motorlu taşıt sayısı ile Türkiye’nin daha uzun yıllar petrol ürünlerine yüksek meblağlar ödeyerek sahip olmak zorunda kalacağını söyleyebiliriz. Ancak gelecek yıllarda elektrik motorlu araçların yaygınlaşmasıyla petrolün önemi azalacak, elektrik enerjisi üretimi daha önemli hale gelecek ve ülkeler enerji stratejilerini buna göre güncellemek zorunda kalacaklardır. Bunun sonucunda çevre ile uyumlu, uzun yıllar hammaddesi depolanabilen, enerji üretiminde süreklilik sağlayan ve istenildiği kadar elektrik üretimine imkân vererek enerji arz güvenliği sağlayan nükleer enerji santralleri daha da önemli hale gelecektir.

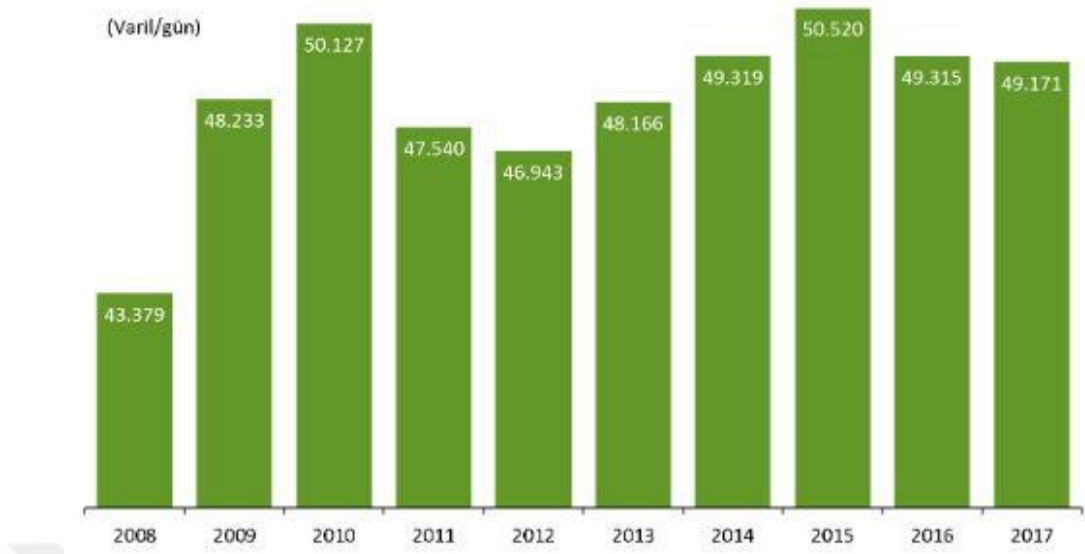
Dünya ispatlanmış petrol rezervi 2017 yılı itibarıyla yaklaşık 1.697 milyar varildir. Bu rezervin yaklaşık %48’i Orta Doğu ülkelerinde, %20’si Güney ve Orta Amerika ülkelerinde, %13’ü Kuzey Amerika ülkelerinde bulunmaktadır. Birincil enerji kaynakları arasında stratejik bir konuma sahip olan ham petrol 2017 yılı itibarıyla dünya enerji talebinin %33,7’sini karşılamıştır (URL-16). Şekil 3.4’te 2008-2017 yılları arasındaki dünya ham petrol üretimi görülmektedir (URL-20).



Şekil 3.4. 2008-2017 yılları arası dünya ham petrol üretimi.

2017 yılsonu itibariyle Türkiye ham petrol rezervleri 7,26 milyar varil, üretilebilir petrol miktarı 1,44 milyar varil olarak tespit edilmiştir (URL-21). Dünya üretilebilir petrol ve doğal gaz rezervlerinin yaklaşık %70'i, Türkiye'nin yakınındaki coğrafyada yer almaktadır (URL-16). Buna rağmen Türkiye'de tespit edilen petrol rezervi ihtiyacı karşılamaktan çok uzaktır. Tespit edilen rezervlerin büyük miktarının çıkarılması da ekonomik olarak fayda sağlayacak düzeyde değildir.

Türkiye' de 2017 yılında ortalama günlük 49 bin v/g ham petrol üretimi yapılmış, bununla birlikte 550 bin v/g ham petrol tüketilmiştir. Ham petrol ithalatı 517 bin v/g düzeyinde olurken işlenmiş ürün ithalatı 339 bin v/g olarak gerçekleşmiştir. Türkiye'de yerli ham petrol üretiminin toplam tüketime oranı 2017 yılında %5,4 olarak gerçekleşmiştir. Şekil 3.5'te 2008-2017 yılları arası Türkiye'deki ham petrol üretimi görülmektedir (URL-22).



Şekil 3.5. 2008-2017 yılları arası Türkiye ham petrol üretimi.

Petrol yönünden zengin kaynaklara sahip olmayan ancak stratejik bir konuma sahip olan Türkiye yakın ve komşu ülkelerden boru hatları vasıtasıyla rafinerilerine ham petrol aktarmaktadır.

Irak-Türkiye Ham Petrol Boru Hattı üzerinde 1976 ve 1987 yıllarında olmak üzere iki hat çekilmiştir. Bakü-Tiflis-Ceyhan Ham Petrol Boru Hattı (BTC) ile başta Azerbaycan petrolü olmak üzere, Hazar Bölgesi'nde petrolün ekonomik, emniyetli ve çevresel açıdan uygun bir boru hattı sistemiyle Azerbaycan-Gürcistan üzerinden Ceyhan'a nakledilmesi ve buradan da deniz yoluyla tankerler vasıtasıyla dünya pazarlarına ulaştırılması amaçlanmıştır. 4 Haziran 2006 tarihinde işletmeye alınan BTC Boru Hattı ile Azeri petrolünün yanı sıra yapılan üretime göre Türkmen ve Kazak petrolleri de nakledilmektedir (URL-23).

Günümüzde insan hayatının vazgeçilmez enerji kaynağı olan, uğruna savaşlar yapılan petrol yeraltından çıkarılırken, nakledilirken, ayrıştırılırken ve kullanımının ardından çevre ve insan sağlığına birçok zarar vermektedir.

Ham petrolün çıkarıldığı sahadan rafineri tesisine taşınması sırasında da petrol boru hatları çevreye zarar verir. İletim hatları, kent dışında ağaç kesimine, tarım topraklarının kaybına neden olabileceği gibi, hat yanında teknik bakım amacıyla

yapılan yollar da doğanın tahrip edilmesine sebep olabilmektedir. Petrokimya tesisleri ve petrol rafinerileri de çok değişik nitelikteki katı, sıvı ve gaz halindeki kimyasal atık ve artıklarıyla çevreyi kirleten en önemli endüstri kollarındandır. Kara, hava ve denizlerde kirlilik miktar ve çeşidini özellikle petrokimya sanayindeki çalışmalar artırmıştır. Bunun sonucunda bazen doğal kaynaklardan faydalanma imkânı azalmış ya da yok olmuştur. Petrokimyasal ürünlerin sebep olduğu hava kirliliği çevre sağlığını tehdit etmekte, bazı tesislerden çıkan gazların insan sağlığı üzerinde önemli etkileri olmakta ve bitkilerin rengi dahi değişmektedir. Petrokimya sanayinin üretim sürecindeki çıkan bazı gazlar; kızarıklıklara sebep olmakta, bayıltıcı etki göstermekte, gözlerde çok şiddetli kaşıntı, göz bozuklukları, bulantı, kusma, iştah azalması, deride kızarıklık, halsizlik ve baygınlık oluşturmaktadır. Ayrıca insan beyni ve karaciğeri üzerinde kanserojen etki yapmakta, ortaya çıkan bazı zararlı atıkların deriye temasıyla aşınma nedeniyle yaralar ve orta derecede kimyasal yanıklar oluşmaktadır (ÇOB, 2004).

En büyük petrol kazalarından birisi, BP'nin 2010 yılında Meksika Körfezi'ndeki i Deepwater Horizon adlı petrol platformunda petrol sızıntısı meydana gelmesidir. Sızıntıya sebep olan sondaj kulesinde meydana gelen patlamada 11 işçi ölmüş ve 87 gün süren sızıntıda toplamda 500 milyon litre ham petrol okyanusa akmıştır. Olay sonrası İngiliz Petrol Şirketi British Petroleum (BP) 20 milyar dolarlık tazminatı ödemeye mecbur kalmıştır. Okyanusun temizlenmesi de eklenince toplam 53 milyar dolarlık bir maliyet çıkmaktadır (URL-24, URL-25). Sızıntı, ABD'nin Alabama, Florida, Louisiana ve Texas eyaleti kıyıları felaketten en çok etkilenen yerler olmuştur. Kaza sonrası büyük miktarda okyanus canlısı ölmüş ve bölgenin balıkçılık endüstrisi büyük zarar görmüştür (Çiçek, 2012).

Petrolün gemilerle taşınmasında da birçok kaza meydana gelmiş ve çevresel etkileri çok büyük olmuştur. 1979 yılındaki Liberya ve Yunanistan bandıralı gemilerin çarpışması, 1989 yılında ABD bandıralı bir gemi Alaska açıklarında karaya oturması ve 2002 yılında Bahama bandıralı bir geminin İspanya kıyılarına yakın bir yerde batması örnek olarak gösterilebilir (Bakır, 2013).

Tüm çevresel etkilerine, dünyada 51 yıllık rezervi kalmasına ve yerine geçecek birçok alternatif enerji kaynakları üzerinde çalışılmasına rağmen petrolün 21. Yüzyılda stratejik önemini koruyacağını söyleyebiliriz. Çünkü yeryüzünde muazzam

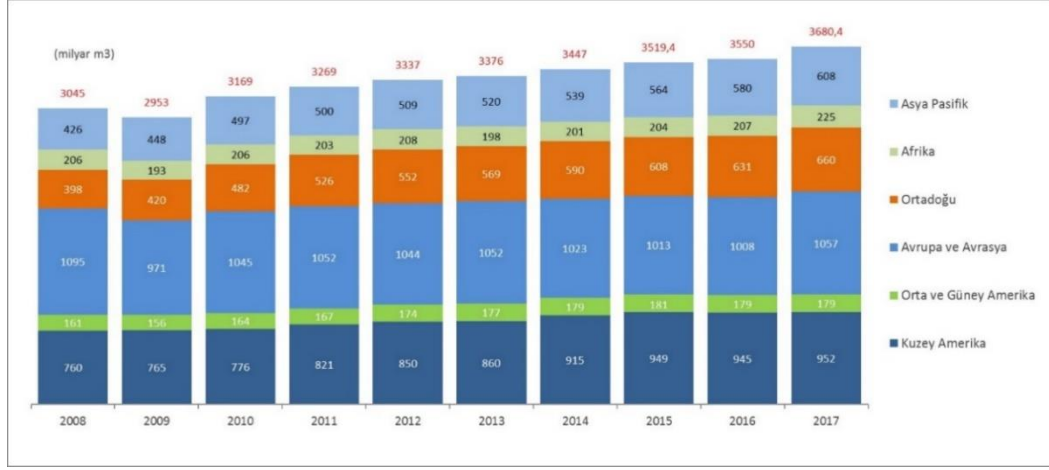
büyükölükte petrol ürünleri ile çalışan motorlu taşıt vardır ve bunların piyasadan çekilmesi hemen mümkün olmayacaktır. Petrol özellikle ulaşım sektöründe yoğun olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte elektrik motorlu araçlar günümüzde gelişen ve yaygınlaşan bir eğilim izlemektedir. Türkiye elektrik üretimini kesintisiz olarak sürdüren ve çevre dostu NGS yaparak petrol sonrası döneme hazırlanmalıdır.

3.2.2.3 Doğal gaz ve çevresel etkileri

Petrolün bir türevi olan doğal gaz, yanıcı, havadan hafif, renksiz ve kokusuz bir gazdır. Başta metan (CH_4) ve etan (C_2H_6) olmak üzere çeşitli hidrokarbonlardan oluşmaktadır. Yer altında, genellikle petrol ile birlikte veya gaz rezervuarlarında bulunur. Kaynağından çıkarıldığı gibi herhangi bir işlemde geçirilmeden kullanılabilen doğal gaz, boru hatları ile veya sıvılaştırılarak tankerlerle taşınmaktadır (URL-26).

Doğal gaz, tam yandığında mavi renkte bir alev çıkaran doğal gaz temiz olduğundan kullanımı sonrasında çıkan atık gazlar çevreyi kirletmez. Doğal gaz rezervleri yeraltında petrol yataklarının yakınında ya da onlarla birlikte bulunabilir. Doğal gaz çok düşük sıcaklıklarda (atmosferik basınç altında -160 derecede) sıvılaştırılır. Bundan dolayı yaşanabilir ortamların tamamında gaz halinde bulunmaktadır (Çiçek, 2012).

Dünya’da doğal gaz rezervlerinin 79,1 trilyon metreküpü (%40,9) Orta Doğu ülkelerinde, 62,2 trilyon metreküpü (%32,1) Avrupa ve Avrasya ülkelerinde, 33,1 trilyon metreküpü (%17,1) Afrika/Asya Pasifik ülkelerinde bulunmaktadır (URL-26). 2008-2017 yılları arası dünyadaki doğal gaz üretimi şekil 3.6’da gösterilmektedir (URL-27).



Şekil 3.6. 2008-2017 yılları arası dünya doğal gaz üretimi.

Türkiye doğal gaz yönünden yok denecek kadar az kaynaklara sahiptir. 2015 yılı Türkiye'nin görünür doğalgaz rezervi 23,2 milyar m³ ve 2014 yılı üretimi 502 milyon m³ tür (URL-28). 2017 yılı doğal gaz tüketimi 53,5 milyar m³ olarak gerçekleşmiştir (URL-26). Kırklareli ve Mardin'de çıkarılan doğalgazın ihtiyacı karşılaması söz konusu değildir. Türkiye bu sebeple doğalgaz kaynağı bol olan yakın ülkelerden boru hatları ile ithalat yaparak ve jeostratejik konumu sebebiyle Avrupa ülkelerine geçiş sağlayarak küresel enerji piyasasında önemli bir yer edinmiştir. Yapımı tamamlanan ve devam eden doğalgaz boru hatları şunlardır:

Rus doğalgazının aktarıldığı, Rusya – Türkiye Doğal Gaz Boru Hattı (Batı Hattı), Türk Akım Gaz Boru Hattı Projesi, Mavi Akım Gaz Boru Hattı, İran doğal gazının aktarıldığı, Doğu Anadolu Doğal Gaz Ana İletim Hattı (Doğu Hattı), Azerbaycan doğal gazının aktarıldığı, Bakü-Tiflis-Erzurum Doğal Gaz Boru Hattı ve Trans-Anadolu Doğal Gaz Boru Hattı ve Avrupa'ya gaz akışını sağlayacak olan Türkiye-Yunanistan Doğal Gaz Enterkonneksiyonu projeleridir. Diğer taraftan yüzer LNG depolama ve nakil gemileri ile Katar, Nijerya ve Cezayir gibi ülkelere de doğal gaz ithal etmektedir. Şekil 3.7'de Türkiye'deki doğal gaz boru hattı projeleri görülmektedir (URL-29).



Şekil 3.7. Türkiye doğal gaz boru hattı projeleri.

Türkiye kış ayları gibi talebin yoğun olduğu dönemlerde kaynak ya da güzergâh üzerindeki ülkelerde meydana gelecek muhtemel aksamaların neden olabileceği dönemsel arz-talep dengesizliklerini önlemek amacıyla çalışmalar sürdürmektedir. Bu amaçla, kapasitesi 2,84 milyar Sm^3 olan, Kuzey Marmara, Silivri ve Değirmenköy depolama tesisinin toplam kapasitesinin 4,6 milyar Sm^3 'e, geri üretim kapasitesinin ise 75 milyon $\text{Sm}^3/\text{gün}$ 'e çıkarılması hedeflenmiştir. Diğer taraftan yapımı süren Aksaray İli sınırlarındaki Tuz Gölü Doğal Gaz Yer Altı Depolama Projesinde ilk faz tamamlanmış ve doğal gaz depolanmaya başlanmıştır. 2023 yılına kadar bu yer altı deposunun toplam çalışma gazı kapasitesinin 5,4 milyar Sm^3 'e ve geri üretim kapasitesinin 80 milyon $\text{Sm}^3/\text{gün}$ 'e çıkarılması hedeflenmektedir. Ayrıca, yurt içinde petrol ve doğal gaz arama ve üretim çalışmaları için gerek satın alma gerekse yerli imalat yoluyla iki adet sismik arama ile bir adet sondaj gemisi temin edilmiştir. (URL-26).

Türkiye yıllardır kullandığı elektriğin bir kısmını elde edebilmek için, tamamına yakını ithal ettiği doğal gazı çevrim santrallerinde kullanarak elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamıştır. Türkiye her yıl milyarlarca lirasını Rusya başta olmak üzere ithalat yaptığı diğer ülkelere aktarmaktadır (Çiçek, 2012).

Türkiye’de doğal gazın varlığı 1970 yılında Kırklareli Kurumlar bölgesinde tespit edilerek, 1976 yılında Pınarhisar Çimento Fabrikası’nda kullanılmaya başlanmış, 1975 yılında Mardin Çamurlu sahasında bulunan doğal gaz, 1982 yılında Mardin Çimento Fabrikası’na verilmiştir. Kaynaklardaki rezervlerin sınırlı olması tüketimin genişlemesini önlemiştir. Türkiye’de doğal gaz evsel ve ticari olarak ilk kez 1988’de Ankara’da kullanılmıştır (URL-30). Türkiye’de 81 ilin 78’inde doğal gaz evlerde ve sanayide kullanılmakta olup dağıtım ağı her geçen gün artmaktadır.

Bu temiz enerji kaynağının da bazı çevresel etkileri bulunmaktadır.

Enerji sektöründe ve ekonomide yüksek oranlarda kullanılan doğal gaz dolayısıyla kentlerimizde gittikçe artan hava kirliliğine çözüm olması amacıyla alternatif temiz enerji kaynağı olarak tercih edilmiştir. Hava kirliliğinin yoğun olarak görüldüğü kentlerimizde, doğal gaz temiz bir enerji kaynağı olarak kabul edilmesine rağmen, gerek iletim gerekse dağıtım hatları çevreye göz ardı edilemeyecek kadar zarar verirler. Boru hatları, kent dışında ağaçların kesilmesi, tarım toprak alanlarının kaybı, teknik bakım amacıyla hat boyunca yapılan yollar da, doğanın zarar görmesine sebep olabilmektedir. Ayrıca boru hattı boyunca olması muhtemel sızıntılar, hatların bakım-onarım ve temizlenmesi sırasında kullanılan kimyasal maddelerin oluşturduğu atıklar da önemli çevre sorunları meydana getirmektedir (Çiçek, 2012).

Doğal gaz yandığında kömür ve petrolle karşılaştırıldığında yarı yarıya daha az CO₂ üretse de yanmamış doğal gazın doğrudan havaya karışması kömür ve petrole göre 25 kat daha fazla CO₂ emisyonu meydana gelmektedir. Küçük bir sızıntı dahi doğal gazın bazı çevresel avantajlarının görmezden gelinmesine neden olabilmektedir (Çiçek, 2012).

Yeryüzünde 53 yıl rezervi kalan doğal gaz fosil yakıtlar içerisinde en temiz olanıdır. Bu özelliği dolayısıyla insanların yoğun olarak yaşadığı şehirlerde hava kalitesinin korunmasına katkı sağlamaktadır. Milyarlarca dolar maliyete katlanılarak ülkeler arasında yapılan boru hatları ve geçtiği güzergâhlar stratejik açıdan ülkeleri önemli hale getirmektedir. Türkiye birçok doğal gaz boru hattının geçtiği bir ülke olarak coğrafi konumunun vermiş olduğu jeostratejik imkânları değerlendirmiş ve uluslararası enerji piyasasında önemli bir yere sahip olmuştur. Ancak doğal gazın fosil kaynaklı oluşu sebebiyle yakın gelecekte tükenecek olması ve tamamına yakınının

ithal edilmesi sebebiyle Türkiye orta ve uzun vadede enerji arz güvenliği için alternatif kaynaklara yönelmeli NGS kurarak enerji çeşitliliğini artırmalıdır.

3.2.2.4 Uranyum ve toryum

Madenleri, metal olanlar, metal olmayanlar ve yataklarının durumuna göre madenler gibi çeşitli şekillerde sınıflandırmak mümkündür. Ulusal güvenlik açısından yapılan sınıflandırmaya göre ise madenler, temel, stratejik ve kritik olarak üç gruba ayrılırlar. Toryum ve uranyum stratejik madenler grubundadır. Stratejik madenler her ülkede, sanayi için gerekli olduğu halde yeterince çıkarılmazlar. Bu sebeple uranyum ve toryumun coğrafi dağılışı ve üretimleri, kömür ve petrol yatakları gibi net bir şekilde bilinemez (Temurçin ve Aliagaoglu, 2003).

Uranyum

1789 yılında Martin Heinrich Klaproth tarafından keşfedilen uranyum (U) radyoaktif bir elementtir. 18. Yüzyılda radyoaktivite ile ilgili fazla bir bilgi olmadığından uranyum diğer elementler gibi düşünölmüş ancak 1896 yılında bilim tarihinin önemli isimlerinden Dimitri Mendeleev'in çalışmalarıyla radyoaktif bir element olarak tanımlanmıştır. Doğada serbest olarak bulunmayan uranyum, çeşitli elementlerle birleşerek uranyum minerallerini meydana getirmektedir. Hemen her tip kayaçta ve eser miktarda sulara bulunur. Başlıca uranyum mineralleri uraninit, autinit, pitchblend, tobernit ve koffinittir (URL-31).

Uranyum, nükleer enerji santral yakıtı olarak, uranil asetat analitik uygulamalarında, zırh kaplama, gemi ve uçak yapımında, seramiğe renk vermek amacıyla, üretim reaktörlerinde, plütonyum hidrojen bombası yapımında ve nükleer patlayıcı yapımında kullanılır (URL-31). Bu tez çalışmasında daha çok doğal ya da zenginleştirilmiş şekliyle nükleer enerji santral yakıtı olarak kullanılan uranyum üzerinde durulacaktır.

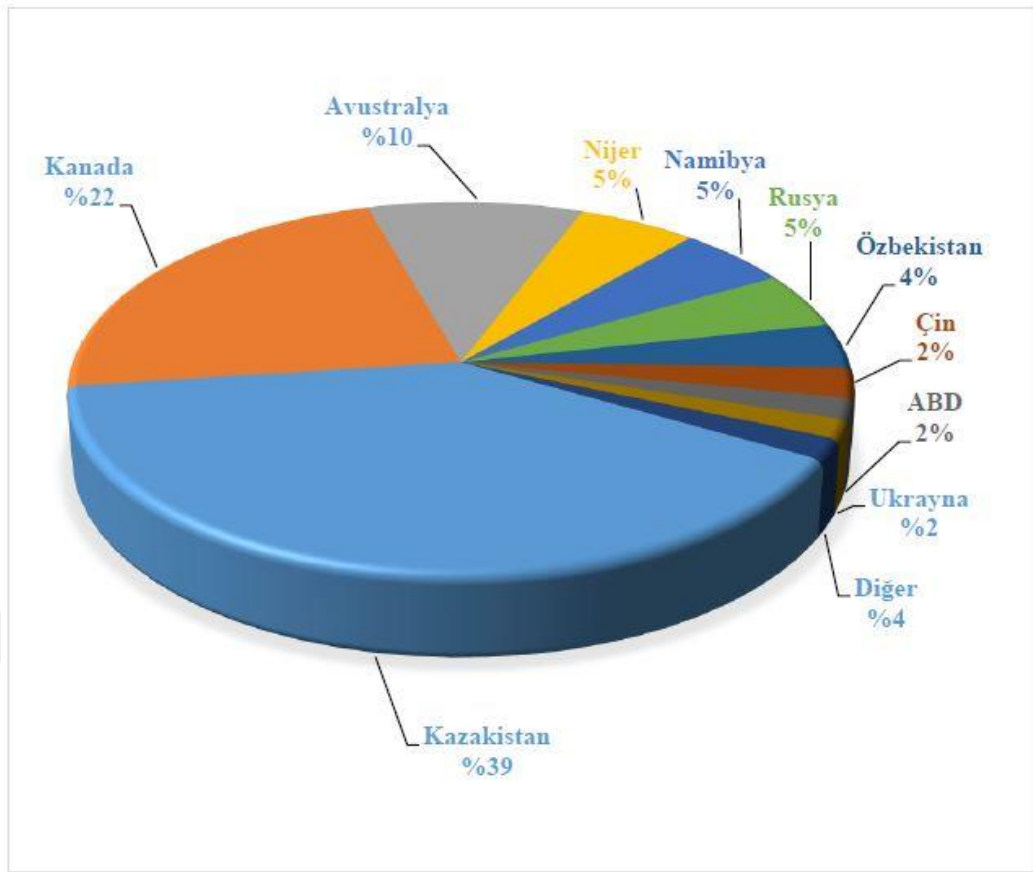
Dünya'da uranyum

NGS yakıtı olan uranyumun dünyadaki % dağılımı Çizelge 3.2'de gösterilmektedir (URL-31).

Çizelge 3.2. 2016 yılı tespitlerine göre dünya uranyum rezervi ve % dağılımı.

Ülke	Rezerv (Ton)	Dünyadaki Payı (%)
Avustralya	1.664.100	29
Kazakistan	745.300	13
Kanada	509.000	9
Rusya	507.800	9
Güney Afrika	322.400	6
Çin	272.500	5
Brezilya	276.800	5
Nijer	291.500	5
Namibya	267.000	5
Özbekistan	130.100	2
Ukrayna	115.800	2
Moğolistan	141.500	2
ABD	62.900	1
Tanzanya	58.100	1
Botsvana	73.500	1
Diğer Ülkeler	280.100	5
Toplam	5.718.400	100

2016 yılı verilerine göre, Kazakistan, dünya uranyum üretiminin üçte birinden fazlasını tek başına gerçekleştirmiştir. Toplam uranyum üretiminin %39'unu karşılayan Kazakistan'ı, %22'lik üretimle Kanada ve %10'luk üretimle Avustralya takip etmektedir. Uranyum üretim miktarı Kazakistan'da 24.575 ton, Kanada'da 14.039 ton ve Avustralya'da 6.315 ton 'dur. Nijer'de 3.477 ton, Namibya'da 3.315 ton, Rusya'da 3.004 ton ve dünyada 99 adetle en fazla nükleer santrale sahip olan ABD'de 1.125 ton olarak gerçekleşmiştir (URL-31). Uranyum madeni, petrol gibi birkaç ayrıcalıklı alanda değil yeryüzünde daha düzgün olarak dağılmıştır. Bu nedenle hammaddenin fiyat kararlılığı uzun süre garanti edilmektedir (Comby, 2006). Şekil 3.8'de dünya 2016 yılı uranyum üretimi ve % dağılımı görülmektedir (URL-31).



Şekil 3.8. 2016 yılı tespitlerine göre dünya uranyum üretimi ve % dağılımı.

Uranyum kaynakları çeşitli üretim maliyetlerine göre, görünür ve muhtemel olarak sınıflandırılırlar. Günümüzde genellikle maliyeti 80 dolar/kg olan görünür rezervlerden uranyum üretilmektedir. Dünyada bu şekilde hesaplanan 2,60 milyon ton görünür uranyum rezervi bulunmaktadır (URL-32).

Türkiye’de uranyum

Türkiye’de geçmiş dönemlerde yapılmış olan uranyum aramaları neticesinde pilot laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalarda uranyum cevherinden sarı pasta üretimi de gerçekleştirilmiştir. 1974 yılında Manisa Köprübaşı cevherlerinde MTA tarafından kurulan pilot tesisler 1974-1982 yılları arasında faaliyette bulunmuş yaklaşık 1200 kg sarı pasta elde edilmiş ve 1996 yılında TAEK’e (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu) teslim edilmiştir. 2017 yılı verilerine göre Türkiye’deki toplam uranyum rezervinin 12.614 ton olduğu tespit edilmiştir. Nevşehir-Avanos-Yeşilöz sahalarında MTA tarafından uranyum arama çalışmaları devam etmektedir (URL-31).

Ekonomik durumu bugün için sorgulansa dahi uranyum ve toryum açısından yerli kaynaklarımızın olması gelecekte nükleer enerji kullanımı için Türkiye açısından bir güvencedir. Nükleer enerjide toplam üretim maliyeti içindeki yakıt maliyeti yaklaşık olarak %11 civarındadır. Bu yakıt maliyet avantajı ve Dünyadaki uranyum rezerv ve stoklarının fazlalığı, yakın gelecekte yakıt maliyetinde ciddi bir artış beklenilmemesi de ithal uranyum ile dahi Türkiye'nin nükleer enerjiye geçebilmesi için yeterli derecede özendirici bir özelliktir (Külebi, 2007).

Türkiye'deki mevcut uranyum yataklarının ortalama tenör ve rezervleri, bulundukları yıllarda, dünyaca kabul edilen ekonomik sınırlarda olmasına rağmen, günümüzde bu değerler söz konusu sınırların altındadır. Bunun nedeni, son yıllarda nükleer santral tasarımlarında önemli değişiklikler olmasıyla özellikle Avustralya ve Kanada'da yüksek tenörlü ve üretim maliyeti daha düşük olan uranyum yataklarının tespit edilmesidir (URL-31).

Uranyum zenginleştirme

Günümüzde çalışan nükleer santraller, reaktör tipine göre, zenginleştirmiş veya doğal uranyumu tablet haline getirerek yakıt olarak kullanmaktadır.

Açık ya da yer altı işletmesi metotlarıyla çıkarılan cevher, kırma-öğütme işlemlerinin ardından, ön zenginleştirme işlemlerinden geçirildikten sonra saflaştırılır. Rengi ve biçimi nedeniyle "Sarı Pasta" olarak adlandırılan katı forma çevrilir. Sarı pasta örneği şekil 3.9'da görülmektedir (URL-31).



Şekil 3.9. Sarı pasta.

Diğer bir yöntem olan yerinde özütlemeye kuyular vasıtasıyla yatağa enjekte edilen kimyasallar ile uranyum çözeltisi elde edilir, bu çözeltiden sarı pasta (UO_2) yapımı gerçekleştirilir. Elde edilen katı haldeki sarı pasta, zenginleştirme işlemleri için gaz formuna (UF_6 -uranyum heksaflorid) çevrilerek varillerde depolanır ve ardından zenginleştirme tesislerine nakledilir. Uranyum zenginleştirmede en yaygın olarak, gaz difüzyonu, gaz santrifüj ve lazer ayrıştırma metotları kullanılır. Zenginleştirmenin amacı, uranyumun içindeki U-235 atomlarının miktarını artırmaktır. Çünkü nükleer reaktörde kullanılacak uranyumun, %2-5 oranında U-235 atomu içermesi gerekir. Silahlarda kullanılan uranyum ise en az %90 oranda U-235 içermelidir. Zenginleştirme işlemleri oldukça zordur ve büyük miktarda enerji harcanmasına neden olmaktadır. Bu nedenle zenginleştirme tesisi kurmak isteyen bir ülkenin büyük bir enerji programına ve enerji santrallerine sahip olması gerekir. Fransa, Almanya, Hollanda, Japonya, ABD, İngiltere, Rusya ve Çin'de büyük ölçekli uranyum zenginleştirme tesisleri bulunmaktadır (URL-31).

NGS reaktör tipine göre zenginleştirilen veya doğal uranyum kullanılan reaktörler için tablet haline getirilerek yakıt çubuklarına doldurulur ve nükleer santrallere yakıt olarak kullanılmak üzere gönderilir (URL-33).

Uranyumun stratejik önemi

Çekirdek kaynaklı olan uranyum NGS yakıtı olması sebebiyle stratejik öneme sahip bir elementtir. Günümüzde insanın yaşantısında olmazsa olmaz bir yere sahip olan enerjinin üretilmesi ve çeşitlendirilmesinde mevsim ve hava şartlarından etkilenmeyen, sürekli enerji üretebilen ve çevreye duyarlı bir emisyonu sahip olan nükleer santrallerin yakıtı olan uranyumun kuşkusuz önemi artarak devam edecektir. Türkiye bir an önce tüm kurum, kuruluş ve yetişmiş personeliyle sahip olduğu nükleer teknoloji bilgi ve tecrübesini pratiğe dönüştürerek var olan uranyum rezervini yeraltından çıkarmalı, zenginleştirme tesisleri kurmalı ve inşa edeceği NGS projelerinde yakıt olarak kullanmalıdır. Böylece Türkiye'nin sürdürülebilir kalkınma ilkeleri doğrultusunda hem enerji arz güvenliği açısından kaynakların çeşitlendirilmesi sağlanacak hem de enerji ithalinde bağımlılığı azaltacaktır.

Nükleer Enerji Ajansı (NEA) tarafından dünyada belirlenmiş uranyum rezervlerinin günümüz tüketim koşullarıyla yaklaşık olarak 200 yıl yeterli olacağı ve gelecekte

yapılacak araştırmalarla yeni kaynakların devreye alınmasıyla bu sürenin 230-250 yıla kadar çıkacağı tahmin edilmektedir. Yukarıda sayılan tahminler ışığında ve yeni cevher bulma ihtimalinin azalması nedeniyle uranyum fiyatının gelecek yıllarda artacağı öngörülmektedir. Bu nedenle Türkiye’de ve dünyadaki gelişmelere yönelik tahminlere göre, uranyum aramalarına ve üretimine yönelik çalışmalara bir an evvel başlamak gerekmektedir. Ayrıca okyanuslarda dünyanın bütün büyük şehirlerine binlerce yıl enerji sağlayabilecek miktarda uranyum bulunmaktadır. Uranyumun sudan ayrılması işlemi en büyük sorundur. Uranyumun deniz suyundan elde edilmesi bugün itibariyle pahalı ve verimsiz olsa da gelecekte uranyum cevheri madenciliğine bir alternatif olmaktadır. Karasal kaynaklardan elde edilen uranyumun 100 - 200 yıl daha yetebileceği düşünülürse; yeni yöntemlerle uranyum madenciliği yapmak, gelecek için oldukça önem kazanmaktadır (URL-31). Bu zaman dilimi enerji üretim metotları üzerinde birçok araştırmaların yapıldığı çağımızda çok uzun bir süredir ve yeni teknolojiler geliştirilip yaygınlaştırılana kadar uranyum rezervleri kullanılmalıdır.

Uranyumun çevresel etkileri

Uranyumun NGS yakıtı olarak kullanılması sonucu meydana gelen çevresel etkileri 4.1.6 Nükleer Santrallerinin Çevresel Etkileri başlığı altında incelenmiştir.

Toryum

Periyodik tabloda aktinit serisi üyesi olan ve yer kabuğunun %0,0007’lik kısmını meydana getiren toryum 1828 yılında Jöns Jacob Berzelius tarafından keşfedilmiştir. Uranyumda olduğu gibi doğada serbest halde bulunmayan toryum, 60 civarında mineralin içinde yer alır. Bu minerallerden sadece monazit ve torit toryum üretiminde kullanılmaktadır ve genellikle nadir toprak elementleri (NTE) ile birlikte bulunmaktadır (URL-34).

Toryum, yüksek sıcaklıklarda magnezyumun direncini artırmak için alaşımlarda, yüksek ısıya dayanıklı potaların imalatında, elektronik cihaz yapımında, aydınlatmada tungsten filamanların kaplanması, yüksek kaliteli kamera merceklerinde ve nükleer teknolojide kullanılmaktadır (URL-34). Ayrıca U-Th yaş tayini metodunda ^{230}Th izotopu kullanılmaktadır (URL-31).

Günümüzde toryum, tek başına nükleer santrallerde yakıt olarak kullanılamaz (URL-31). Ancak, toryuma dayalı nükleer santrallerin henüz devreye girmemeleri nedeniyle, toryum, kullanılacağı zamanı bekleyen bir nükleer yakıt hammaddesi konumundadır (URL-32).

Dünyada toryum

Toryum, yeryüzünde diğer bir radyoaktif element olan uranyuma göre yüzlerce kat daha fazla bulunmaktadır. Toryumun doğada bulunma oranı molibden, arsenik ve kalaydan da yaklaşık olarak 2 kat daha fazladır. Bununla beraber kayaçlar içeriğindeki konsantrasyonları çok düşüktür (URL-31).

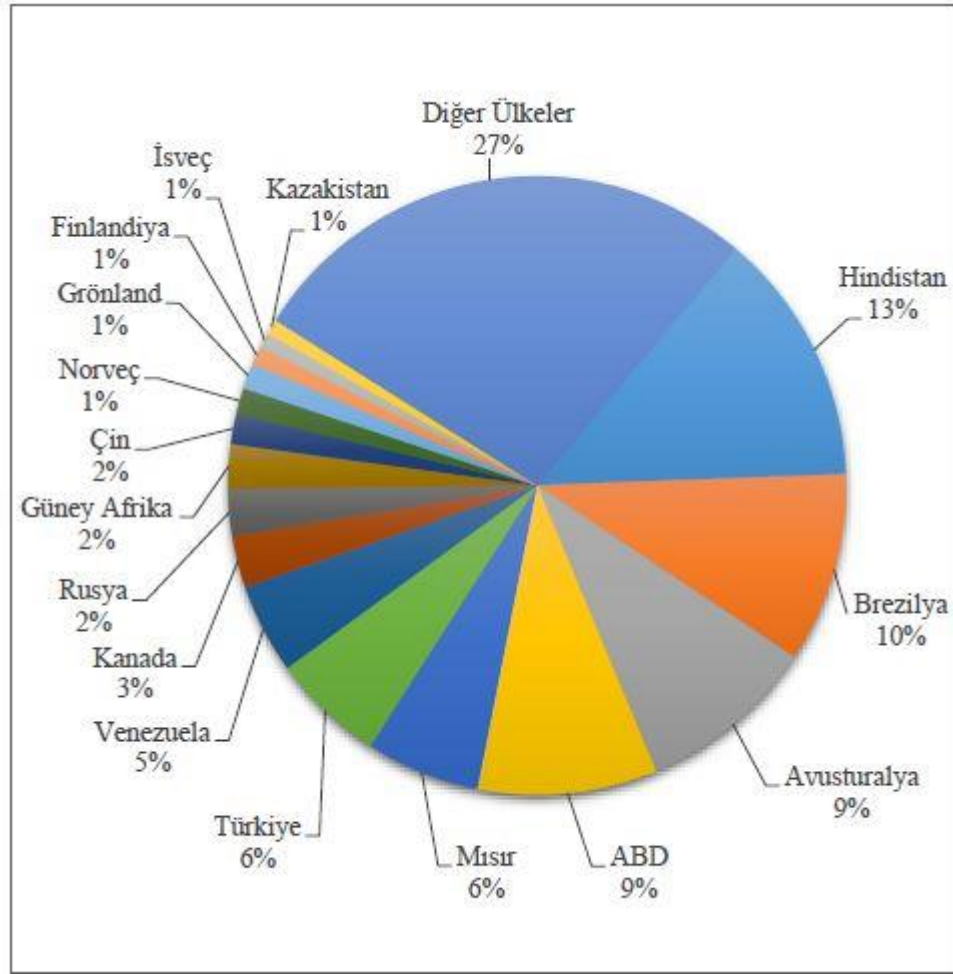
Çizelge 3.3'te dünya toryum rezervi ve % dağılımı gösterilmektedir (URL-31).

Çizelge 3.3. 2016 yılı tespitlerine göre dünya toryum rezervi ve % dağılımı

Ülke	Rezerv (Ton)	Oran (%)
Hindistan	846.000	13
Brezilya	632.000	10
Avustralya	595.000	9
ABD	595.000	9
Mısır	380.000	6
Türkiye	374.000	6
Venezuela	300.000	5
Kanada	172.000	3
Rusya	155.000	2
Güney Afrika	148.000	2
Çin	100.000	2
Norveç	87.000	1
Grönland	86.000	1
Finlandiya	60.000	1
İsveç	50.000	1
Kazakistan	50.000	1
Diğer Ülkeler	1.725.000	27
Toplam	6.355.000	100

2016 verilerine göre dünyadaki toplam toryum rezervinin yaklaşık 6,35 milyon ton olduğu ve bu rezervin ortalama %6-7 civarında toryum içerdiği tahmin edilmektedir. Rezervler çoğunlukla Hindistan, Brezilya, Avustralya, ABD, Mısır ve Türkiye'de

bulunmaktadır. Şekil 3.10’da dünya toryum rezervi ve % dağılımı gösterilmektedir (URL-31).



Şekil 3.10. 2016 yılı tespitlerine göre dünya toryum rezervi ve % dağılımı.

Türkiye’de toryum

MTA’nın yaptığı araştırmalarda, Eskişehir’e bağlı Sivrihisar ilçesinin kuzey batısında, Kızılcaören, Karkın ve Okçu Köyleri arasında yer alan 15 km²’lik bir alanda, toryumun yanı sıra NTE, barit ve flüorit içeren karmaşık yapıli yataklara rastlanmıştır. 1977’de hazırlanan raporda bu cevherin ortalama tenörü %0,21 ThO₂, toplam rezerv yaklaşık 374.000 ton ThO₂ olarak belirlenmiştir (URL-31). Ancak, toryumun zenginleştirilmesi için gerekli teknolojik problemler tam olarak çözülememiştir (URL-32).

Toryumun stratejik önemi

Toryumun gelecekte NGS yakıtı olarak kullanılması için araştırmalar devam etmektedir, bu açıdan bakıldığında ülkelerin enerji politikalarında çok stratejik bir öneme sahip olduğu tespiti yapılabilir. Türkiye toryum rezervi bakımından 3. sırada olan bir ülke olarak mevcut rezerv avantajını kullanabileceği bir teknolojiye sahip olmak için bilimsel araştırmalar yapmalı ve bu konuda yatırımdan kaçınmamalıdır.

Toryum madeninin nükleer santrallerde kullanılması halinde ülkelerin enerji ihtiyacının sağlanmasında önemli bir alternatif kaynak olabileceği düşünülmektedir. 21. yüzyılın en önemli stratejik maddesi olması muhtemel bir element olan toryumun gelecekte yeni tip nükleer santrallerde uranyumun yerine kullanılması hedeflenmektedir. Toryum, uranyuma göre daha çevreci bir radyoaktif elementtir. Türkiye'nin sahip olduğu uranyum ve toryum yatakları gelecekte nükleer enerji kullanımında bir güvence oluşturmaktadır (Biçici, 2008).

Toryumun yakıt olarak kullanıldığında uranyumdan daha az plütonyum ve diğer trans-uranyum elementleri üretildiğinden dolayı en temiz yakıt olarak kabul edilir. Çevreye daha az zarar vermesi sebebiyle de gelecekte nükleer reaktörlerde uranyum yerine kullanılması düşünülmektedir. Toryumun nükleer yakıt olarak kullanılması için çalışmalar devam etmekte olup ancak günümüzde toryumla çalışan ticari ölçekli bir nükleer reaktör henüz kurulamamıştır. Toryumun uranyumdan daha az nükleer tehlike içermesi sebebiyle ABD, Çin, Norveç, Kanada ve Hindistan gibi ülkeler toryumla çalışan NGS yapımı için proje çalışmalarını hızlandırmıştır. Hindistan, toryumun nükleer santraller kullanılması konusunda dünyada en çok ilerlemeyi sağlayan ülkedir. Hindistan'ın çok zengin toryum kaynaklarına sahip olması ve toryumla elektrik üretmeyi başarması halinde hammadde sıkıntısını tamamen aşacak olması, bu ilerlemedeki en büyük etkidir. Çin'de de ülkenin tüm elektrik ihtiyacını 20 bin yıl karşılayacak kadar toryum rezervi olduğu iddia edilmektedir (URL-31).

Nötronla tepkimeye girdiği zaman bölünme ihtimali neredeyse yok denecek kadar düşük olan toryum günümüzde halen ticari olarak kullanılmamakta olup ve dünyada toryumu yakıt olarak kullanan NGS henüz bulunmamaktadır. Bununla birlikte yakıt çevrimiyle ilgili uranyum-toryum karışımlarının birlikte kullanılması konusunda, Rusya Federasyonu, ABD, Kanada, Almanya, Kore ve Japonya'da yürütülen

araştırmalarla çalışmalar sürdürülmektedir. Japonya’da hiç toryum olmamasına rağmen toryumu yakıt olarak kullanacak nükleer enerji santralleri ile ilgili çalışma yapılmaktadır (Külebi, 2007).

Toryum bileşiklerinin içeriğine göre kilosu 35-75 dolar aralığında alıcı bulmaktadır. Bugünkü piyasa şartlarında binde 21 tenörlü toryumu işlemek ekonomik olmadığından dolayı bu cevherin çıkarılması ve saflaştırılması için büyük maliyet harcamaları yapmak gerekecektir. Ancak, toryum kıymetli NTE ile birlikte bulunursa günümüzde işletilmesi ekonomik olabilir. Toryumdan nükleer enerji elde edebilmek için toryumun Uranyum-233’e dönüştürülmesi gerekmektedir. U-233’ün taşınması, saflaştırılması ve güvenli bir şekilde atıklarının depolanması kolay yapılamamaktadır. Riskleri azaltacak teknolojiler geliştirildiği zaman toryum gelecekte güvenle kullanılabilen bir kaynak olabilecektir. Türkiye açısından yakın bir gelecekte kalıcı bir stratejik değer oluşturabilmesi için toryumla ilgili ulusal politika ve planlamaların yapılması, gerekli personelin yetiştirilmesi ve laboratuvarların kurulması gerekmektedir (URL-31).

Toryumun çevresel etkileri

Nükleer enerji üretiminde toryumun, uranyuma göre avantajı patlama riski olmaması, çevreci ve temiz enerji kaynakları olarak anılmasıdır. Ayrıca toryumun atıkları radyoaktif olmayan elementlere dönüştürülebilir (Yavuzaslan, 2009).

Günümüzde toryumla çalışan NGS bulunmamaktadır. Yapılan çalışmalar yakın bir gelecekte toryumun tek başına ya da uranyumla karıştırılarak NGS yakıtı olarak kullanılacağını göstermektedir. Çalışmalar sonucu ticari olarak NGS yakıtı olarak kullanıldığında çevresel etkileri şüphesiz daha detaylı olarak incelenebilecektir. Yapılan araştırmalar sonucunda toryumun çevresel etkisinin uranyumdan daha az olduğu belirtilmektedir.

3.2.3 Yenilenebilir enerji kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynakları, yeryüzünde genellikle herhangi bir üretim süreci olmaksızın elde edilebilen, fosil kaynaklı olmayan, çevreye etkisi ve zararı diğer enerji kaynaklarına göre çok daha az olan, devamlı bir döngüyle yenilenen ve kullanılmaya hazır vaziyette doğada var olan enerji kaynaklarıdır (Gedik, 2015).

İEA tanımına göre, yenilenebilir enerji düzenli olarak yenilenen doğal işlemlerden türetilen enerjidir (URL-35).

Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA) verilerine göre küresel yenilenebilir enerjisi kurulu gücü 2.179 GW olmuştur (URL-42).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının çevre ve ekoloji açısından avantajları, uzun vadede kullanılabilirlikleri ve doğayı fosil yakıtlara göre daha az etkilemeleridir (Kaya, 2013).

3.2.3.1 Hidrolik enerji

Hidroelektrik santrallerde (HES) hızla akan suyun gücü elektriğe dönüşür. Akan sudaki enerji miktarını suyun düşüş hızı belirler. Büyük bir nehirde akan su veya baraj gibi bir haznede biriktirilip çok yüksek bir noktadan düşürülen su yüksek miktarda enerji taşımaktadır. Bu sular boru ve kanallardan geçirilerek türbinlere akar, pervaneye benzer kolların dönmesini sağlar. Meydana gelen mekanik enerji, jeneratörlere bağlı olan türbinler tarafından elektrik enerjisine dönüştürülür (URL-36). Hidroelektrik, dünyadaki en büyük yenilenebilir elektrik kaynağı olup, dünya elektrik enerjisinin yaklaşık %16'sını 1.200 GW kurulu kapasiteden üretmektedir (URL-37).

Çizelge 3.4'te dünya hidroelektrik enerji potansiyeli gösterilmektedir (URL-38).

Çizelge 3.4. Dünya hidroelektrik enerji potansiyeli.

Bölge	Brüt Hidroelektrik Enerji Potansiyeli (GWh/yıl)	Teknik Hidroelektrik Enerji Potansiyeli (GWh/yıl)	Teknik ve Ekonomik Hidroelektrik Enerji Potansiyeli (GWh/yıl)
Afrika	4.000.000	1.665.000	1.000.000
Asya	19.000.000	6.800.000	3.600.000
Avustralya ve Okyanusya	600.000	270.000	105.000
Avrupa	3.150.000	1.225.000	800.000
Kuzey ve Orta Amerika	6.000.000	1.500.000	1.100.000
Güney Amerika	7.400.000	2.600.000	2.300.000
Dünya	40.150.000	14.060.000	8.905.000
Türkiye	433.000	216.000	127.820
Türkiye/Dünya (%)	1,08	1,54	1,44

Teknik HES potansiyelinin ABD %86'sını, Japonya %78'ini, Norveç %72'sini, Kanada %56'sını, Türkiye ise %37,3'ünü geliştirmiştir. IAE, 2020 yılında hidroelektrik ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının dünya enerji tüketimi içerisindeki payının günümüze göre %53 oranında artacağını öngörmektedir (URL-39).

Türkiye’de tespit edilen brüt teorik hidroelektrik potansiyel 433 milyar kWh iken teknik açıdan değerlendirilebilir potansiyel 216 milyar kWh ve ekonomik bakımdan geliştirilen potansiyel ise 158 milyar kWh/yıl’dır. Üzerinde çalışılan projelerle bu potansiyelin gelecek yıllarda yaklaşık olarak 180 milyar kWh/yıl olacağı öngörülmektedir. Türkiye, dünya teorik hidrolik potansiyelinin %1,5’ine, Avrupa potansiyelinin ise %17,6’sına sahiptir. Bu potansiyelle Avrupa’da Rusya’dan sonra ikinci ülke konumunda olan Türkiye’nin gelişimi beklenen seviyede değildir (URL-39). Türkiye’de 2017 yılında hidroelektrik kaynaklardan 58,2 milyar kWh elektrik enerjisi üretilmiştir (URL-40).

Türkiye hidroelektrik santrali potansiyeli çizelge 3.5’te gösterilmektedir (URL-39).

Çizelge 3.5. Türkiye hidroelektrik santrali potansiyel durumu.

HES POTANSİYEL DURUMU				
Potansiyel	HES (Adet)	Toplam Kurulu Kapasite (MW)	Ortalama Yıllık Üretim (GWh/yıl)	Oran (%)
İletmede	620	27.311	95.251	60
İnşaat Halinde	62	5.290	15.582	10
İnşaatına Başlamamış	559	15.155	47.012	30
Avustralya	1.241	47.756	157.845	100

Hidroelektrik santraller, sudan enerji elde etmeleri, inşaatının yerli imkânlarla yapılabilir olması, sera gazı emisyonu oluşturmaması, teknik ömrünün uzun olması, yakıt maliyetinin olmaması, işletme-bakım masraflarının düşük olması, iş alanı yaratmaları, kırsal kesimlerde ekonomik ve sosyal yapının canlanmasına katkıda bulundukları için en önemli yenilenebilir enerji kaynağıdır. (URL-36). Hidroelektrik santraller avantajı olan bir enerji üretim modeli olduğu gibi birçok çevresel etkileri de vardır.

Hidroelektrik santrallerin hidrolojik etkisinin yanında ekolojik, iklimsel, sosyo-ekonomik ve kültürel etkileri de vardır. Üretimde olan bir hidroelektrik baraj kısmının yüzey alanının geniş olması ve buharlaşmanın artmasından dolayı iklimsel etkiler meydana getirmektedir. Bu etki kendini havadaki nem oranının artmasıyla, rüzgâr ve yağmur gibi hava hareketlerindeki değişimle göstermektedir. Bu değişikliğe uyum sağlayabilen yöredeki bitki örtüsü, tarım bitkileri, sucul ve karasal hayvanlar yaşamlarını devam ettirebilmektedir. Akarsuyun akış rejimi ve fiziko-kimyasal parametrelerin değişmesi hidrolojik etkiler ile ortaya çıkmaktadır. Nehirlere set çekilerek kurulan baraj gölündeki suyun bir miktarının buharlaşması su içindeki tuz ve diğer minerallerin miktarının artmasına sebep olmaktadır. Akarsudan göle geçiş olduğunda su hızı ve oksijen alma kapasitesinin düşmesiyle beraber suyun doğal temizleme kapasitesi düşmekte ve gölde ötrofikasyon süreci başlamaktadır. Su kalitesindeki değişiklikler sudaki canlı yaşamı da değiştirmektedir (URL-41).

Santrallerin kurulacağı bölgedeki doğal çevrenin ve ağaçların zarar görmesi kaçınılmazdır. Barajında büyük miktarlarda su depolayan santraller, bölgedeki mikroklimatik sistemde bozulmalara sebep olarak ekolojik dengeyi ve canlı hayatını olumsuz yönde etkilemektedir. Ekolojik dengenin bozulması ise, doğadaki su çevrimini tahrip edilmesine, enerji üretim verimliliğinin düşmesine ve uzun vadede hidrolik gücün yenilenebilirlik özelliğini kaybetmesine yol açabilir (Gedik, 2015).

Bir barajın yapımı ve öncesinde; uzun süreli birçok etüt çalışmaları yapılması, su altında kalan araziler için ödenen kamulaştırma bedelleri ve baraj yapım harcamalarının yüksek olması ilk yatırım maliyetinin büyük miktarlarda olması bir dezavantajdır. Bununla birlikte tabii hayata ve doğal kaynaklara verdiği zararlar, tarihi yerler ve bölgesel kültürlerin yok edilmesi ve su kalitesine zarar vermesi diğer dezavantajlarıdır (Çiçek, 2012).

3.2.3.2 Güneş enerjisi

Dünyadan yaklaşık 150 milyon km uzaklıkta olan güneş 1,39 milyon km çapında ve sıcak gazlardan oluşan büyük bir küttedir. Güneş enerjisi, kendi çekirdeğinde bulunan ve hidrojen gazını helyuma dönüştüren füzyon reaksiyonu ile ortaya çıkan çok güçlü bir enerji kaynağıdır. Güneş enerjisi, hem bilinen en eski birincil enerji kaynağıdır hem

de konvansiyonel enerji kaynaklarının tümü, doğrudan ya da dolaylı olarak güneş enerjisi kaynaklıdır (Çiçek, 2012).

Güneş daha milyonlarca yıl ışımasını sürdürerek dünya için sonsuz bir enerji kaynağı olmaya devam edecektir. Dünyaya Güneş ışınları ile 170 milyar MW güçte enerji gelmektedir. Bu rakam, dünyada bugün kullanılan toplam enerjinin 15.000-16.000 katı kadardır. Günümüzde dünyaya ulaşan güneş enerjisi iki yolla değerlendirilir. Bu metotlar, ısıya dönüştürme ve elektrik enerjisine çevirmedir. Toplaçlar, Güneş enerjisini ısı enerjisine dönüştürmede kullanılırken güneş pilleri de doğrudan elektriğe dönüştürmede kullanılır (Gedik, 2015).

IRENA verilerine göre küresel güneş enerjisi kurulu gücü 2016 yılı sonunda 296 GW iken 2017 yılında 390 GW olmuştur (URL-42).

ETKB Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) verileri, Türkiye’de yıllık toplam güneşlenme süresinin 2.741 saat ve yılda toplam gelen güneş enerjisinin 1.527 kWh/m².yıl olduğunu göstermektedir. 2017 yılı sonu rakamlarında göre toplam kurulu güneş kolektör alanının yaklaşık 20.000.000 m²’ye ulaştığı ve 823.000 TEP ısı enerjisi ürettiği tespit edilmiştir. 2017 yılında Türkiye’de güneş enerjisinden yaklaşık 3 milyar kWh elektrik enerjisi üretilmiştir. 2018 Haziran ayı sonu itibarıyla lisanssız ve lisanslı toplam PV güneş enerjisi santrali kurulu gücü 4.726 MW’tır. 2018 yılı ilk yarısı itibarıyla kurulu gücün yüzde 5,4’ü güneş enerjisidir (URL-8). IRENA 2017 yılı verilerine göre Türkiye güneş enerjisi kurulu gücünde 2016 yılında 15. sırada iken 2017’de 13. sıraya yükselmiştir (URL-42).

Güneşin temiz bir kaynak oluşu, olumsuz çevresel etkilerinin olmaması anlamına gelmemektedir. İnsanlar çevrelerini değiştirmek amacıyla bazı teknikler uygularlar, bu tekniklerin tümü teknoloji olarak tanımlanabilir. Güneş enerjisi teknolojileri de uygulandığı çevrede değişikliklere sebep olmakta ve bu değişikliklerde olumsuz etkilerde bulunabilmektedir. Güneş enerjisi santrallerine ait odaklı kolektör tarlaları ya da heliostat (güneş enerji kuleleri) tarlalarında ışık kirliliği ve aşırı radyasyon yoğunlaşması bu sistemlerin önemli çevre problemlerindendir. Bununla birlikte güneş fotovoltaik sistemleri ile elektrik enerjisi üretilirken kW saat başına karbondioksit (CO₂) emisyonu miktarı 100-200 gram olarak gerçekleşmektedir (Çiçek, 2012)

Güneş panelleri açık alandaki tarihi eserler ve tabii güzellikler yanına inşa edildiklerinde görüntü kirliliğine sebep olmaktadır. Ayrıca mevcut teknoloji ile düşük verimde çalıştıklarından yüksek enerji elde edebilmek için geniş alanlar üzerine kurulmaları gerekir ki bunun sonucunda birçok tarım alanı kaybı yaşanır. Bu nedenle yer seçimi yapılırken dikkat edilmelidir.

Güneş pilleri imal edilirken çevreyi kirletmektedir ve yirmi yıllık periyotlarla değiştirilmesi gereken panellerin taşıyıcı metal aksamaları için büyük miktarlarda çelik ve sentetik malzeme sarf edilmesi gerekir (Çiçek, 2012).

Güneş santrallerinin yaygınlaşmasına bakılarak sanıldığı gibi çevre dostu enerji üretim santralleri olmadıkları anlaşılabacaktır. Çünkü güneş varken elektrik üreten güneş santralleri hava kapalı iken ya da geceleri elektrik üretemezler. Bu yüzden bu tip santraller, üretilen elektrik enerjisinin böyle durumlarda da kullanılabilmesi için, elektriğin depolanmasını mecburi hale getirmektedir. Günümüzde elektriğin depolamak ancak aküler sayesinde mümkündür. Oysa aküde kurşun ve sülfürik asit bulunur ve bunların üretimi esnasında çevreyi kirleten teknolojiler kullanılmaktadır. Bununla birlikte fotovoltaiik paneller üretilirken çevreye zararlı toksik bir metal olan antimuvana ihtiyaç duyduğundan güneş santrallerinin sanılanın aksine pek de çevre dostu olmayan bir teknoloji olduğunu göstermektedir (Çiçek, 2012).

3.2.3.3 Biyokütle enerjisi

Biyokütle (biomas) enerjisi, odun kömürü, odun, metan ve alkol mayalanması, tarım ve orman ürünleri organik atıkları, hayvan dışkısı, su bitkileri gibi canlı kaynaklar yolu ile üretilen enerjidir. Biyokütle enerjisi kısaca organik maddelerden farklı yollarla elde edilen enerjidir (Gedik, 2015).

Biyokütle, kullanımının ardından yenilenme özelliği olan bir enerji kaynağı olmakla birlikte, tükenme hızı, yenilenme hızından daha yüksek olması halinde kullandıkça azalan bir kaynak haline dönüşebilir (Biçici, 2008).

Aynı zamanda organik bir karbon olarak da kabul edilen biyokütlenin başlıca kaynakları şunlardır (URL-43).

1. Bitkisel kaynaklar: Yağlı tohumlu bitkiler, elyaf bitkileri, şeker ve nişasta, protein bitkileri ile bitkisel ve tarımsal artıklar.

2. Orman ve ürünlerinden elde edilen kaynaklar: Orman atıkları ve odun.
3. Hayvansal kaynaklar: Büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanlarının dışkıları, mezbahane atıkları ve hayvansal ürün işlenmesi esnasında oluşan atıklar.
4. Organik çöpler, şehir ve endüstriyel atıklardan meydana gelen kaynaklar: Kâğıt ve gıda sanayi atıkları, kanalizasyon ve dip çamurları, evsel ve endüstriyel atık sular, belediye ve büyük sanayi tesisleri atıkları.

Biyokütle kaynakları ve süreçleri çizelge 3.6’da gösterilmektedir. (URL-44).

Çizelge 3.6. Biyokütle kaynakları ve süreçleri.

Biyokütle	Çevrim Yöntemi	Yakıtlar	Uygulama Alanları
Orman atıkları	Havasız çürütme	Biyogaz	Elektrik üretimi, ısınma
Tarım atıkları	Piroliz	Etanol	Isınma, ulaşım araçları
Enerji bitkileri	Doğrudan yakma	Hidrojen	Isınma
Hayvansal atıklar	Fermantasyon, havasız çürütme	Metan	Ulaşım araçları, ısınma
Çöpler (Organik)	Gazlaştırma	Metanol	Uçaklar
Algler	Hidroliz	Metanol	Sentetik yağlar, roketler
Enerji ormanları	Biyofotoliz	Motorin	Ürün kurutma
Bitkisel ve hayvansal yağlar	Esterleşme reaksiyonu	Motorin	Ulaşım araçları, ısınma, seracılık

IRENA verilerine göre küresel biyokütle enerjisi kurulu gücü 2017 yılında 109.213 MW olmuştur (URL-42).

Yapılan tahminler Türkiye’nin biyokütle atık potansiyelinin yaklaşık olarak 9 milyon ton eşdeğer petrol (TEP) ve üretilmesi mümkün biyogaz miktarının 1,5-2 milyon TEP olduğunu göstermektedir. Türkiye’de faaliyetteki biyokütle kaynaklı elektrik santrallerinin toplam kurulu gücü 695 MW’tır. Bu santrallerden 2018 yılı Temmuz ayı itibarıyla 1.610 GWh elektrik enerjisi üretimi gerçekleştirilmiştir (URL-43).

2005 yılında Türkiye’de ilk ticari motor biyoyakıtı üretilmiş, üretilen biyoetanol kurşunsuz benzine %2 oranında karıştırılarak piyasaya arz edilmiştir (Gedik, 2015).

Biyokütle enerjisi, herhangi bir yerde elde edilebilmesi, tükenmeyen bir kaynak olması, kırsal alanlarda ekonomik ve sosyal gelişmelere katkıda bulunması sebebiyle önemli bir enerji kaynağıdır (URL-45). Bununla birlikte organik karbon olarak da kabul edilen biyokütle enerjisinin de ekolojik dengeyi bozabilen çevresel etkileri bulunmaktadır.

Enerji ormancılığı, ormanın kendisini kısa vadede yenileyemeyerek önemli ölçüde tahrip olmasına sebep olabilir. Birçok ağacın kesilmesi ve yerine enerji üretimine yönelik ağaçların dikilmesi, ekosistemdeki çeşitliliğinin azalmasına ve tabiattaki doğal dengenin bozulmasına yol açabilir. Sıvı biyoyakıtların büyük miktarlarda üretilmesiyle ortaya çıkan alkol, sıvı atık ve bazı gaz emisyonlarından oluşan reaksiyon ürünleri su kaynaklarını ve havayı kirleterek çevreyi ve insan sağlığını olumsuz yönde etkileyebilir. Sıvı atıklarda bulunan yüksek orandaki alkali, asit, fenol ürünleri ve çeşitli enzimler tabii su rezervlerinin kalitesini düşürür. Biyoenerji kaynakları, bir taraftan soluduğumuz kent havasındaki formaldehitlerin artmasına sebep olur. Ayrıca kirli sisin oluşumuna sebep olan nitrojenoksiti etrafa yayarak insanlarda solunum hastalıklarına neden olur, bu durum en fazla küçük çocuklar üzerinde etkili olmaktadır. Biyoenerjiye talebin artmasıyla birlikte üretim için yeni alanların açılması gerekeceğinden enerji üretimi amacıyla ayrılan tarımsal alanların artmasına, gıda maddeleri yetiştirmek amacıyla ayrılan tarımsal alanların azalmasına neden olabilmektedir. Geniş bir alana yayılan üretim, hayvanların vahşi yaşam alanlarının ve mikroorganizmaların doğal ortamlarının bozulmasıyla sonuçlanır (Gedik, 2015).

Biyokütle enerjisi özellikle atıkları değerlendirmede etkin bir rol oynaması, kırsalda hammadde sıkıntısı çekilmeden üretime devam eden bir model olması ve hammadde üretimi için istihdam meydana getirerek şehirlere göçü önlemeye yardım etmesi gibi faydaları bulunan bir kaynaktır. Verim düşüklüğü ve yukarıda sayılan bazı çevresel etkileri olumsuz yanlarıdır.

3.2.3.4 Rüzgâr enerjisi

Rüzgâr, güneşten kaynaklanan radyasyonun dünya yüzeyini farklı derecelerde ısıtmasından kaynaklanır. Yeryüzünün farklı ısınması, hava sıcaklığının, neminin ve basıncının farklı olmasına, basınçtaki bu fark ise havanın hareketlenmesine sebep olur.

Güneş enerjisinin dünyaya ulaşan kısmının yaklaşık %2'si rüzgâr enerjisine çevrilir. Rüzgârın özellikleri, coğrafi farklılıklar ve yeryüzünün homojen olmayan ısınması dolayısıyla zamansal ve yöresel farklılık gösterir. Hız ve yön olarak iki parametre ile ifade edilen rüzgârın hızı yükseklikle artar ve teorik gücü de hızının küpü ile orantılı olarak değişir (URL-46).

Rüzgârın gücü, hız, yön ve esme sıklığı olmak üzere üç değişkene bağlıdır. Rüzgâr enerjisinden faydalanmak için bu üç özellik belirli seviyelerde olmalıdır. Rüzgâr enerjisinden, mekanik ve elektrik enerjisi üreterek faydalanılabilir. Mekanik enerji, rüzgâr değirmenleri yoluyla gerçekleştirmekte olup su pompalama, tahıl öğütme ve un elde etme ve yağ çıkarma gibi işlemlerde kullanılmaktadır. Elektrik sistemlerinde rüzgâr enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren türbindir. Bu enerji jeneratöre aktarılarak elektrik enerjisi haline getirilir ve depolanır. Mevcut teknoloji ile kurulan rüzgâr enerji sistemlerinin maliyeti yüksek ve küçük çaplı olup yerel tüketim için yeterli enerjiyi karşılayabilmektedir (Biçici, 2008).

IRENA verilerine göre dünya rüzgâr enerjisi kurulu gücü 2017 yılında 513.939 MW olmuştur. Rüzgâr enerji ile en fazla elektrik üreten ülkeler, Çin, ABD, Almanya, İngiltere ve İspanya'dır (URL-42). 2020'de dünya elektrik enerji ihtiyacının %12'sinin rüzgâr enerjisinden karşılanması amacıyla çalışmalar yapılmaktadır (Çiçek, 2012).

Türkiye'de yerden 50 metre yukarda ve 7,5 m/s üzerinde rüzgâr hızına sahip yerlerde km² başına 5 MW gücünde rüzgâr enerjisi santrali kurulabilmektedir. Buna göre, orta-ölçekli sayısal hava tahmin modeli ve mikro-ölçekli rüzgâr akış modeli yardımıyla üretilen rüzgâr kaynak bilgilerinin yer aldığı Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA) hazırlanmıştır. Bu çalışmada Türkiye'nin sahip olduğu rüzgâr enerjisi potansiyelinin 48.000 MW olduğu belirlenmiştir. Bu potansiyelin kurulabileceği toplam alan Türkiye yüzölçümünün %1,30'u kadardır. 2017 yılında Türkiye'de rüzgâr enerjisinden 17,9 milyar kWh elektrik üretilmiştir (URL-46).

ETKB verilerine göre; Türkiye'de 2018 yılı ilk yarısı itibarıyla kurulu rüzgâr enerjisi 6.671 MW olup elektrik üretimi kurulu gücün yüzde 7,7'si rüzgâr enerji santralleridir (URL-8, URL-46). Türkiye, üç tarafı denizlerle çevrili topraklarıyla Avrupa'da rüzgâr

enerjisi potansiyeli açısından en yüksek ülkelerden biridir. Özellikle Marmara ve Ege kıyı şeridi devamlı ve düzenli olarak rüzgâr almaktadır (Gedik, 2015).

Rüzgâr türbinleri fazla alan kaplamayan, kuruldukları alanda yaşayan insanlar için iş alanı açan ve kuruldukları arazinin yapısına zarar vermeyen özelliklere sahiptir. Ayrıca denize de kurulmaları mümkündür. Rüzgâr santralleri gerektiğinde kolayca sökülebildiği gibi kuruldukları yer az bir çalışmayla önceki haline getirilebilmektedir (Gedik, 2015).

Rüzgâr türbinleri ile elektrik üretimi zararlı herhangi bir emisyonu olmayan ve çevreye duyarlı bir enerji üretim modeli olmakla birlikte bazı çevresel etkileri bulunmaktadır.

Rüzgâr türbinlerinin sebep olduğu görsel ve estetik kaygıların yanı sıra gürültü, yayılan elektromanyetik dalgalar ve kuş ölümlerine sebep olması rüzgâr enerjisinin çevreye olumsuz etkileri arasında sayılabilir. Rüzgâr türbinlerinin dönen kanatları, radyo, televizyon, uydu ve radarlar gibi elektromanyetik iletişim cihazlarının çalışmasında kesintilere yol açabilir. Ayrıca türbinler, çevresindeki kuş dinlenme ve beslenme alanlarının bozulması sebep olabilmektedir (Çiçek, 2012).

Rüzgâr türbinlerinden yaydığı gürültüler yakınlarda yaşayan insanları az da olsa etkiler. Bu gürültülerden bir tanesi geniş bant gürültüsü olup, bu gürültü, havanın makinenin kanatları üzerinden geçerken oluşur. Diğer gürültü tek frekans gürültüsüdür ki dişli kutusu ve jeneratör gibi mekanik ve elektriksel parçaların dönmesi bu sesi meydana getirir. Ayrıca kırsal alanlara kurulan rüzgâr santralleri yörenin kültürel zenginliği olan arkeolojik varlık ve alanlara zarar verebilir. Bu sebeple, santralin yapılması planlanan arazide detaylı bir şekilde arkeolojik araştırmalar gerektiğinden inşa süreci ya uzamakta ya da projenin iptal edilmesine sebep olmaktadır (Gedik, 2015).

Rüzgâr açısından kurulması uygun olan yerler eğer korunması gereken alan yakınında ve endemik bitkilerin bulunduğu alanlarda ise ÇED olumsuz kararı verilebilmektedir. Ayrıca rüzgâr enerjisinin, verim açısından mevsimsel ve meteorolojik şartlara bağlı olması, süreklilik arz etmemesi ve pahalı ilk kurulum maliyetleri gibi olumsuz özellikleri de vardır.

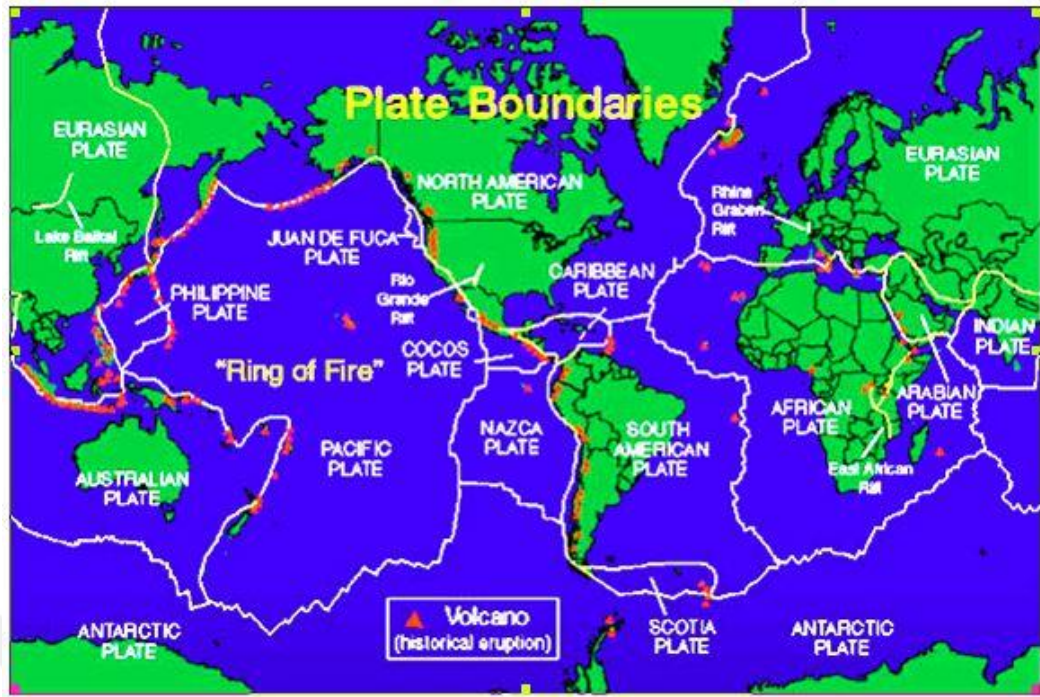
3.2.3.5 Jeotermal enerji

Jeotermal enerji yerkürenin iç ısıdır (URL-47). Jeotermal kaynak, yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde biriken ısıdan meydana gelen, sıcaklığı sürekli olarak ortalama sıcaklıktan yüksek olan, çevresindeki sulara göre daha fazla erimiş mineral, çeşitli tuzlar ve gazlar ihtiva eden sıcak su ve buhar olarak tanımlanabilir. Ayrıca, hiç bir akışkana sahip olmayan, çeşitli metotlarla ısısından faydalanan sıcak ve kuru kayalar da jeotermal enerji kaynağı olarak değerlendirilmektedir. (Çiçek, 2012).

Sağlık ve yiyecekleri pişirme amacıyla 20. yüzyıl başlarına kadar kullanılan jeotermal kaynakların kullanım sahaları gelişen teknolojiyle beraber yaygınlaşmış ve çeşitlenmiştir. Bunların başında elektrik üretimi, ısıtma (sera, konut vb.) ve endüstride farklı alanlar gelmektedir (Gedik, 2015). Jeotermal enerjiden turizm alanında da geniş bir şekilde faydalanılmaktadır. Termal oteller her mevsim kullanılabilme özelliği, özellikle birçok eklem, kas, kemik ve cilt hastalıklarını iyileştirmesi ile sağlığa katkıları turizmin gelişmesine ve her mevsim bulunduğu yerlerde istihdama katkı sağlamaktadır.

Jeotermal enerji ısı derecesine göre, düşük (20-70°) ve orta (70-150°) dereceli ise ısınma amaçlı, yüksek (150° den yüksek) ise elektrik enerjisi üretiminde yararlanılmaktadır. Jeotermal kaynaklardan su, bina, havuzların ısıtılması, tarım ve endüstride kullanılmak istenmesi halinde bu yapıların kaynağa yakın olması gerekir (Biçici, 2008).

ETKB internet sitesindeki bilgilere göre, jeotermal enerjisi kurulu gücü dünyada 2017 yılı sonu itibari ile yaklaşık 14 GWe düzeyindedir. Jeotermal kaynaklardan elektrik enerjisi üreten ilk beş ülke, sırasıyla ABD, Filipinler, Endonezya, Türkiye ve Yeni Zelanda olmuştur. Elektrik enerji üretimi harici kullanım ise 70.329 MWt olup, doğrudan kullanımda ilk 5 ülke ABD, Çin, İsveç, Belarus ve Norveç'tir. Dünyadaki önemli jeotermal kuşaklar ve levha sınırları Şekil 3.11'de verilmiştir (URL-48).



Şekil 3.11. Dünyadaki önemli jeotermal kuşaklar ve levha (plaka) sınırları.

ETKB verilerine göre; Türkiye’de 2018 yılı ilk yarısı itibariyle kurulu jeotermal enerjisi 1.144 MW ve elektrik üretimi kurulu güçteki oranı yüzde 1,3’tür. 2017 yılında Türkiye’de jeotermal enerjiden yaklaşık 6 milyar kWh elektrik üretilmiştir. (URL-8, URL-49).

Dünyanın yaklaşık %5’inde jeotermal kaynak vardır. Bu kuşak “Ateş Halkası” olarak adlandırılır. Bu ateş halkasında yer alan ülkelerden biriside Türkiye’dir. Jeotermal potansiyeli açısından Türkiye, dünyada yedinci, Avrupa’da ise birinci ülkedir (Çiçek, 2012).

Türkiye’nin jeotermal potansiyel alanlarının oransal dağılımı, Batı Anadolu’da %78, İç Anadolu’da %9, Marmara Bölgesinde %7, Doğu Anadolu’da %5 ve diğer bölgelerde %1 şeklindedir. Türkiye’de Jeotermal kaynaklı ilk elektrik enerjisi üretimi MTA Genel Müdürlüğü tarafından 1975 yılında kurulan ve 0,5 MWe gücünde Kızıldere Santralinde gerçekleşmiştir. (URL-49). Türkiye’de nanotektoniği-volkanik etkinliği ve jeotermal alanlar Şekil 3.12’de verilmektedir (URL-50).



Şekil 3.12. Türkiye’de nanotektoniği-volkanik etkinliği ve jeotermal alanlar.

Jeotermal enerji, çevre açısından bakıldığında genelde temiz bir enerjidir. Bazı çevresel etkileri ise şunlardır.

Çevre dostu bir kaynak olarak tanınan jeotermal enerji, akışkanın mekanik sistemlerde paslanmaya, kireçlenmeye, çürümeye sebep olması, bünyesindeki bor nedeniyle deşarj edileceği yüzey sularını kirletmesi, içerdiği CO₂, H₂S ve bor gibi maddeler uygulamada bazı teknolojik tedbirlerin alınmasını gerektirir (Gedik, 2015).

Jeotermal akışkanın bor minerali içermesi atık akışkanın tarım sulama kullanılan sulara karışmasıyla tarım açısından ciddi bir tehlike oluşturmaktadır (URL-41).

Buhar bünyesinde kalan, taşınan, yoğunlaşmayan ve atmosfere salınan gazlar, kuyu sondajları esnasında jeotermal sıvının suyu ve toprağı kirletme riski, tesis işletilirken CO₂ ve H₂S emisyonları, arazinin çökme riski, sondaj esnasında geniş alan kaplamaları, ekosistemin bozulması ve gürültü kirliliği diğer çevresel etkiler olarak sayılabilir (Çiçek, 2012).

Jeotermal enerji çevresel etkileri bakımından tabiata telafisi zor zararlar vermez. Bununla birlikte doğrudan faydalanabilmek için kaynak yakınında olma zorunluluğu ve büyük miktarlarda elektrik enerjisi üretememesi olumsuz yanlarıdır. Jeotermal kaynaklar gerek doğrudan gerekse elektrik enerjisi kullanmak amacıyla elbette

kullanılmalıdır. Ancak yeterli ve sürekli enerji ihtiyacının karşılanması için NGS yapımına önem verilmeli ve nükleer teknoloji ile enerji arz çeşitliliği sağlanmalıdır.

3.2.3.6 Dalga ve gel-git enerjisi

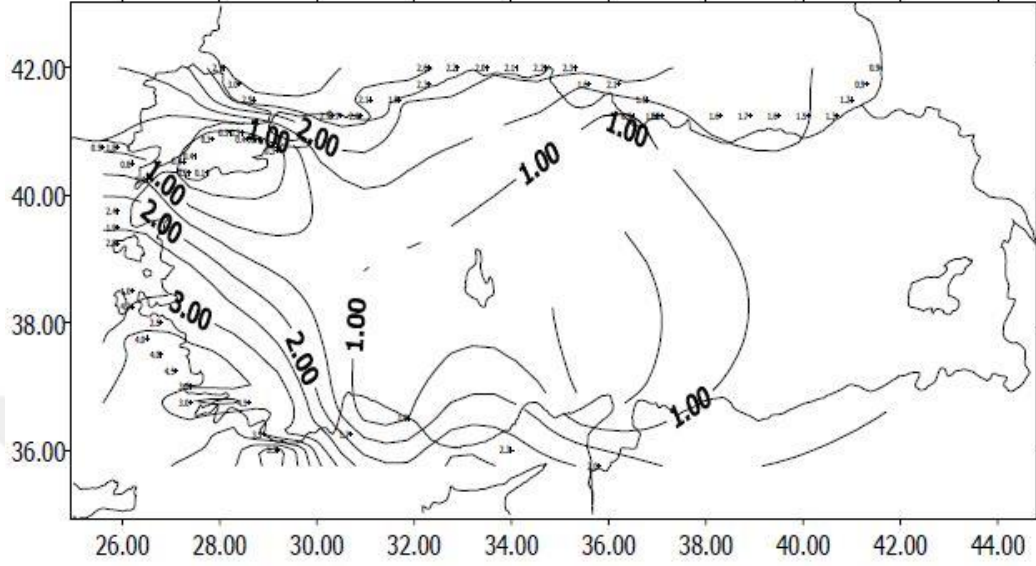
Dalga, atmosferin yeryüzüne yakın yerlerindeki ani sıcaklık değişiklikleriyle oluşan rüzgârın deniz ve okyanus yüzeyindeki suyu hareketlendirmesi sonucu oluşur. Gel-git ise güneş ve ayın dünya ile arasındaki çekim kuvvetinden kaynaklanan suların çekilip tekrar geri gelmesi olayıdır. Dalga ve gel-git enerjisi de suyun hareketiyle meydana gelen kinetik enerjiden çeşitli tekniklerle enerji elde edilmesi işlemidir.

Dalga enerji sistemleri kıyıda, kıyıya yakın yerlerde ve açık denizde olmak üzere üç şekilde kurulabilir. Denizden biraz uzakta bir yere kurulacak sistemler suyun 40 metreden daha aşağısına yerleştirilir. Dalga enerjisinin ana unsurları, dalga yüksekliği ve dalga frekansıdır. Dalga enerjisinin önemli avantajlarından birisi ise her dalga yüksekliğinin enerji elde edilmesinde kullanılmasıdır (URL-51). Su üzerinde ve içinde kurulan, çeşitli tasarımları ve sistemleri olan birçok dalga enerjisi dönüştürme teknolojileri mevcuttur.

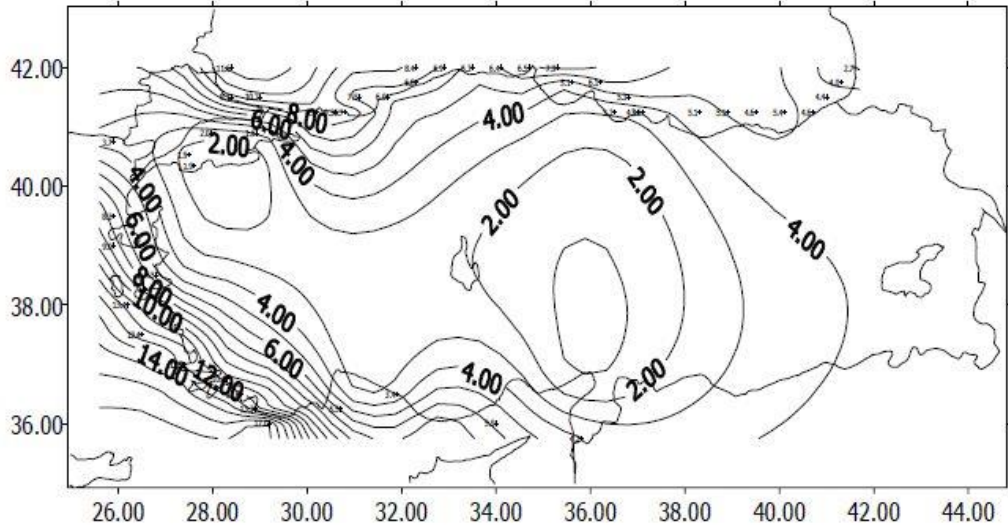
Dalga hareketlerinden enerji üretme düşüncesi iki asır öncesine dayanmaktadır. 1799 yılından itibaren birçok mekanik üreteç için patent alınmış ve elektrik enerjisi üretme çalışmaları XX. yüzyılda ABD’de San Francisco ve California eyaletlerinde sürdürülmüştür. Yeryüzü alanının %75’inden daha fazla bir alanı kaplayan okyanuslar, enerji ihtiyacını karşılamak için insanoğlu açısından alternatif bir kaynaktır. Yapılan araştırmalara göre dünyadaki tüm sahillerdeki dalga enerjisinden, 2 ila 3 TW enerji elde edilebilir. 0,1 MW-100 MW arası ihtiyaç duyulan farklı güçlerde santral kurulabilir. Dalga enerjisi, rüzgârların güçlü estiği yerlerde daha çok bulunur. dünyada Avustralya, Güney Afrika ve Amerika’nın kuzeydoğu ve güneydoğu kıyıları, İngiltere kıyıları oldukça yüksek dalga enerjisi potansiyeli taşımaktadır. Ayrıca gel-git enerjisinin toplam enerji büyüklüğü 2,5 TW olarak hesaplanmıştır (Gedik, 2015).

IRENA verilerine göre küresel genel deniz enerjisi kurulu gücü 2017 yılında 529 MW kapasiteye sahiptir. (URL-42).

NATO desteğinde hazırlanan “Türk Kıyı Rüzgârları ve Derin Dalga Atlası” bilgilerine göre Türkiye’de asgari dalga enerji seviyeleri Şekil 3.13’te ve azami dalga enerji seviyeleri ise Şekil 3.14’te verilmektedir (URL-52).



Şekil 3.13. Türkiye’de asgari dalga enerji seviyeleri.



Şekil 3.14. Türkiye’de azami dalga enerji seviyeleri.

Çizelge 3.7’de Türkiye’de bölgesel ortalama dalga yoğunlukları görülmektedir (URL-52).

Çizelge 3.7. Türkiye’de bölgesel ortalama dalga yoğunlukları.

Bölge	Güç
Karadeniz	1.96-4.22 kWh/m
Marmara Denizi	0.31-0.69 kWh/m
Ege Denizi	2.86-8.75 kWh/m
Akdeniz	2.59-8.26 kWh/m
İzmir-Antalya	3.91-12.05 kWh/m

Türkiye’de Ege, Akdeniz ve Karadeniz kıyılarında yapılan ölçüm ve değerlendirmeler neticesinde, dalga enerjisi teknik potansiyeli 50 TWh/yıl olarak hesaplanmıştır (Gedik, 2015). Yapılan çalışmalar göstermektedir ki Türkiye’de dalga enerjisi için en verimli yerler İzmir-Antalya arası daha da netleştirilirse Dalaman-Finike arasındaki kıyılardır. Türkiye’de toplam kıyı uzunluğunun beşte biri kadarında denizden dalga ile enerjisi üretilebileceği öngörülmektedir. (URL-52).

Türkiye’de ilk dalga enerjisi üretimi denemesi 2004 yılında başlamıştır. İlk parça 2005 yılında denize indirilmiş ancak verilen desteğin az olması ve prototipin ebadının bir dalga boyunu geçmemesi sebebiyle üretimi ölçülememiş, çalışmadan bir veri alınamamıştır (Gedik, 2015). İkinci ARGE çalışması 2017 yılında Zonguldak’ta çeşitli kurum ve kuruluşlarca desteklenen 25 haneye yetecek enerji üretmesi planlanan 50 kW gücünde dalga enerjisi pilot tesisi Avusturya merkezli bir firma ile anlaşma imzalanmıştır. Ancak proje ortaklarından Batı Karadeniz Kalkınma Ajansı (BAKKA) yetkililerinden mail yoluyla aldığım bilgiye göre ETKB Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destek Mekanizması (YEKDEM) kapsamına alınmadığını, Bakanlığın 2023 Strateji Belgesinde ve destek mekanizmaları belgelerinde de dalga enerjisinin ticari potansiyeli olmadığı gerekçesiyle desteklenmediği için Avusturya menşeli firmanın destekleme sorununun çözülmeden yatırım yapmalarının mümkün olmadığını belirterek işbirliği protokolündeki pilot tesisin kurulum yükümlülüklerinden çekildiğini sonuç olarak projenin gerçekleşmediği bilgisini aldım (URL-53).

Dalga ve gel-git enerji kaynakları temiz, ucuz ve sınırsız enerji üretir. İlk yatırım haricinde başka maliyetinin olmaması, nüfusu kıyılarda yoğun olan Türkiye’de üretilen enerji yerinde tüketileceğinden fazla iletim hatlarına gerek duyulmaması,

deniz üzerinde kurulduğu için tarım arazilerini etkilememesi, kesintisiz enerji üretmesi ve herhangi bir emisyonu bulunmaması olumlu yönleridir (URL-51). Kesintili enerji üretmesi, şiddetli fırtınalarda türbinler zarar görmesi, askeri tatbikat alanları, gemi rotaları ve balık avlanma alanları sebebiyle her yerde kurulamayacak olmaları olumsuz yönleridir.

Çevresel etkileri ise, deniz ekosistemini olumsuz etkilemesi, kıyıya yakın yerlerde kurulan santrallerde estetik açıdan görüntü kirliliği ve gürültü kirliliği oluşturabilmesi ve su yüzey alanının önemli bir kısmının dalga enerji sistemleri ile tarafından kaplanması halinde deniz yaşamına zarar verebilmesidir (Gedik, 2015).

Dalga ve gel-git enerji kaynaklarının çevreye etkilerinin ihmal edilebilir ve kaynağın sınırsız olmasına rağmen günümüz teknolojisi ile enerji ihtiyacını karşılayacak kadar üretim sağlanamamaktadır. Türkiye’de henüz kurulu bir türbin bulunmamaktadır oysa enerji ihtiyacımız sürekli artmaktadır. Sürdürülebilir kalkınma ilkeleri çerçevesinde ertelenemeyecek olan enerji ihtiyacımız NGS ile de karşılanarak enerji arz güvenliği ve çeşitliliği sağlanmalıdır.

3.2.3.7 Hidrojen enerjisi

1500’lü yıllarda keşfedilen hidrojen, 1700’lü yıllarda yanabilir özelliğe sahip olduğunun farkına varılmış olup evrende en fazla ve en basit şekilde bulunan bir elementtir. Kokusuz renksiz ve havadan 14,4 kez daha hafif olan hidrojen tamamıyla zehirsiz bir gazdır. Hidrojen (H_2) gazı yaklaşık $-253^{\circ}C$ ’de sıvılaştırılıp depolanmaktadır. 1 kg hidrojen 2,8 kg petrol ya da 2,1 kg doğal gazın sahip olduğu enerjiye denktir. Doğada serbest halde bulunmayan hidrojen, bileşikler halinde bulunur. En çok bulunduğu bileşik te sudur. Herhangi bir şekilde kullanıldığında atmosfere sadece su ve/veya su buharı atılır. Petrole göre yaklaşık 1,33 kat daha verimli olan hidrojen gazı farklı metotlarla elde edildiği gibi su, güneş enerjisi, rüzgâr, dalga ve biyokütle ile de üretilebilmektedir (URL-54).

Üretiminde başlıca iki metot kullanılan hidrojen, elektroliz yönteminde, su moleküllerinin hidrojene ve oksijene ayrılmasında elektrik enerjisi kullanılmaktadır. Başka bir yöntem olan buhar ıslahıyla sentez gazı üretiminde ise hammadde olarak biyokütle veya gazlaştırılmış kömür kullanılabilir (Biçici, 2008).

Hidrojen enerjisi sistemi Şekil 3.15'te verilmektedir (Gedik, 2015).



Şekil 3.15. Hidrojen enerjisi sistemi.

Yapılan araştırmalar, günümüz şartlarında hidrojenin diğer yakıt çeşitlerinden yaklaşık olarak üç kat daha pahalı olduğunu ve yaygın bir enerji kaynağı olarak kullanılması için hidrojenin üretim maliyetinin düşürülmesi gerektiğini göstermektedir. Ayrıca, ihtiyaç haricindeki fazla elektrik enerjisinin hidrojen olarak depolanması mevcut şartlarda da geçerli bir alternatif olarak değerlendirilebilir. Elektriği 20. yüzyılın, hidrojeni de 21. yüzyılın enerji taşıyıcısı olarak niteleyen çevreler vardır. Yerelde üretimi mümkün, kolay ve güvenli bir şekilde taşınabilen hidrojen, taşınması sırasında da fazla enerji kaybı olmayan, birçok sektörde yararlanılacak bir enerjidir. İçten yanmalı motorlarda doğrudan kullanılabilen hidrojen katalitik yüzeylerde alevsiz de yanabilen bir yakıttır. Günümüzdeki gelişmeler hidrojeninin daha çok yakıt pili olarak kullanılması doğrultusundadır. NASA tarafından 1950'lerin sonlarında uzay projelerinde kullanılan yakıt pilleri, günümüzde ulaştırma, sanayi ve hizmet sektörlerinde başarıyla kullanılmaktadır (URL-54).

1970 yılından önce pek bilinmeyen hidrojen enerjisi ve hidrojen ekonomisine ilişkin ilk uluslararası konferans 1974 yılında yapılmış ve aynı yıl Uluslararası Hidrojen Enerjisi Derneği (IAHE) kurulmuştur. IAHE tarafından 2006 yılında Fransa Lyon'da, Dünya Hidrojen Enerjisi Konferansları düzenleyerek hidrojen enerjisi hakkında çalışmalar yapmıştır (URL-55).

Günümüzde hidrojen enerjisi ile üretilen yakıt pilleri ABD tarafından uzay mekiklerinde, Japonya'da Rokko adasında kurulan elektrik santrali elektrik ve ısı ihtiyacını karşılamak için kullanılmaktadır. Ayrıca birçok şirket tarafından çok çeşitli alanlarda araştırmalar devam etmektedir (URL-56).

Türkiye'de Karadeniz'in tabanında kimyasal olarak depolanmış hidrojen olduğu bilinmektedir. Karadeniz'de suyun %90'ı oksijensizdir ve H_2S içerir. H_2S 'den hidrojen üretimi hakkında araştırmalar yapılmaktadır. Rüzgâr ve güneş enerjisinden yararlanılarak, Karadeniz'in bünyesinde H_2S barındıran suyundan hidrojen üretimi amacıyla çalışmalar yapılmaktadır. 21 Ekim 2003 tarihinde Birleşmiş Milletler (BM) Uluslararası Hidrojen Enerjisi Teknolojileri Merkezi'nin (ICHET) kurulmasına ilişkin anlaşma, Türkiye ile BM Sınai Kalkınma Örgütü (UNIDO) arasında Viyana'da imzalanmıştır. Merkez tarafından hidrojenin, Karadeniz'de H_2S 'den, Çanakkale ve İzmir'in bulunduğu Batı Anadolu'da rüzgâr enerjisinden, Doğu Anadolu'da hidroelektrik potansiyelden, Güneydoğu Anadolu'da güneş enerjisinden ve Afşin Elbistan ile Yatağan bölgelerinde kömürden üretilmesi planlanmıştır. Planlamalar sonucu üretilecek hidrojen mevcut doğalgaz hattı ile Türkiye içine ve Avrupa'ya dağıtılması öngörülmüştür. Türkiye'de hidrojen enerjisi ile ilgili araştırma ve geliştirme çalışmaları devam etmektedir (Gedik, 2015).

Hidrojen enerjisinin, atık olarak sadece su ve/veya su buharı üreterek çevreye zarar vermemesi ve 21. Yüzyılın enerjisi olarak görülmesi onu cazip hale getirse de mevcut teknolojiler ile üretilmesinin maliyeti yüksek olduğu için yaygın halde kullanılması zaman alacaktır.

Petrolle kıyaslandığında 4 kat daha fazla hacim kaplayan hidrojenin hacmini küçültmek sıvı halde depolamakla mümkündür. Bu da ancak yüksek basınç ve soğutma işlemi sonucunda çelik tüpler içinde depolanır. Orta veya küçük ölçekte depolama için uygun olan bu metot büyük miktarlar için oldukça pahalıdır. Çünkü hidrojen enerjisinin yaklaşık %25'i sıvılaştırma işleminde kullanılır. Sıvı hidrojeni sıcaklığı düşük olan tanklarda saklamak bir diğer çözümdür. Uzay çalışmalarında, roketlerde yakıt olarak kullanılan sıvı hidrojen bu yöntemle depolanır. Dünyadaki mevcut en büyük sıvı hidrojen tankı, 3400 m³ hacimle ABD'de Kennedy Uzay Merkezi'ndedir. Yakıt olarak değeri ise 8 milyon kWh enerjiye karşılık gelmektedir

(URL-57). Günümüzde yaygın olarak çok düşük derecelerde sıvıla tırılıp depolanması yüksek maliyetli olup büyük bir dezavantajdır.

Yapılan çalışmalardan anlaşılmaktadır ki hidrojen enerjisinin üretim maliyetinin kullanılabilir düzeye gelmesi zaman alacaktır oysa NGS onlarca yıldır yapılan ve 30 ülkede güvenle çalıştırılarak yüksek miktarlarda enerji üretilebilen bir sistemlerdir.



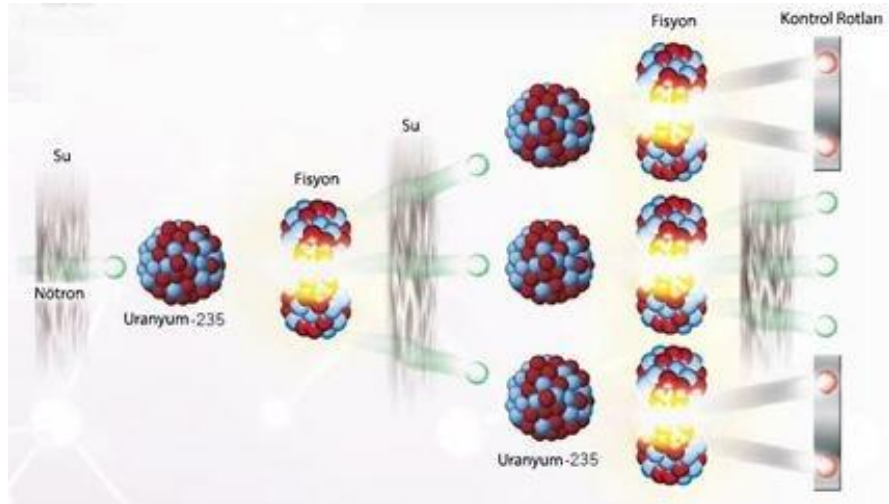
4. NÜKLEER ENERJİ, NÜKLEER GÜÇ SANTRALLERİ VE STRATEJİK ÖNEMİ

4.1 Nükleer Enerji ve Nükleer Güç Santralleri

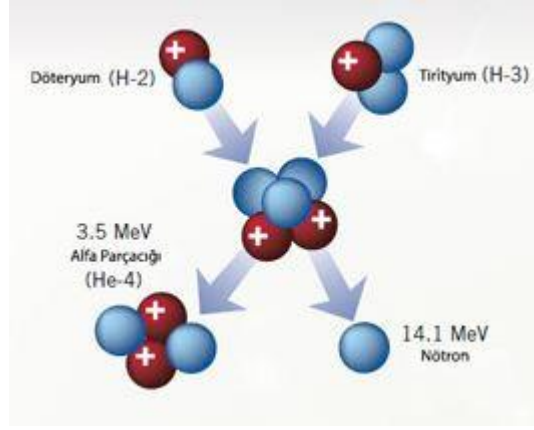
4.1.1 Nükleer enerji

Uranyuma benzer ağır radyoaktif atomlara bir nötronun çarpmasının ardından uranyumun daha küçük atomlara ayrılması (fisyon) ya da hafif radyoaktif atomların bir araya gelerek daha ağır atomları meydana getirmesi (füzyon) ile açığa çıkan enerjiye nükleer enerji denir (URL-9). Nükleer füzyon, suda bulunan her 600 hidrojen (H) atomundan biri olan döteryum ile 12 yıl yarılanma ömrü olan trityum elementlerinin reaksiyonu sonucu meydana gelmektedir (Bakır, 2013).

Günümüzde NGS yakıtı olarak zenginleştirilmiş uranyum kullanılmaktadır. Bölüm 3.2.2.4’ te cevher olarak yeraltından çıkarılan uranyumun U-235 çekirdeğine dönüştürülmesi, dünya ve Türkiye’deki rezervi ve stratejik önemi konusu üzerinde durulmuştur. Şekil 4.1 ve 4.2’ de sırasıyla fisyon ve füzyon tepkimelerine ait temsili görseller verilmektedir.



Şekil 4.1. Fisyon (çekirdek parçalanması).



Şekil 4.2. Füzyon (çekirdek birleşmesi).

Tüm maddeler atomlardan, atomlar da elektronlarla çevrili çekirdekten oluşmaktadır. Bu çekirdekte (+) yüklü protonlar ve elektrik yükü bulunmayan nötronlar vardır. Nükleer reaktörün yakıtını oluşturan uranyum-235 (U-235) atomlarının çekirdeğinde 143 nötron ve 92 proton vardır. Çekirdekteki 235 taneciği bir arada tutan bağ enerjisinin bir kısmının açığa çıkmasıyla birlikte nükleer enerji oluşmaktadır. U-235 çekirdeğine çarpan yavaşlatılmış nötron, çekirdeği birkaç parçaya böler (filyon) ardından 2 ya da 3 nötron açığa çıkmaktadır. Bu nötronlar da etraflarındaki diğer U-235 çekirdeklerini parçalayarak ve bu işleyiş zincirleme reaksiyon oluşturarak büyük miktarda enerji açığa çıkmaktadır. Açığa çıkan enerji ile sıcaklığı artan akışkandan elde edilen buharın türbinleri döndürmesiyle elektrik üretilmektedir (Özemre vd., 2000).

Günümüzde nükleer güç santrallerinde, reaktör tipine göre, zenginleştirmiş veya doğal uranyum tablet haline getirilerek yakıt olarak kullanılmaktadır. NGS reaktörlerinde filyon tepkimesi gerçekleştirilerek elektrik üretilmektedir. Temel olarak termik santrallerdeki sistemle benzerdir. Termik santralde yakıt olarak kömür kullanılırken NGS yakıt olarak zenginleştirilip pelet haline getirilmiş uranyum kullanır.

Füzyon ile NGS yapımı ile ilgili çalışmalar devam etmektedir.

Füzyon tepkimesiyle meydana gelen sıcaklık çok daha büyüktür. Güneşteki tepkimelerde bu şekilde gerçekleşmektedir (URL-59). Füzyon, güneş ve yıldızların enerji kaynağıdır. Uluslararası Termonükleer Deneysel Reaktör (ITER) tarafından, eski Sovyetler Birliği Genel Sekreteri Gorbaçov tarafından ABD Başkanı Reagan'a,

barışçıl amaçlı füzyon enerjisi geliştirmek için ortak bir uluslararası proje fikrinin önerildiği Kasım 1985'te başlayan, günümüzde Avrupa Birliği, Çin, Hindistan, Japonya, Kore, Rusya ve ABD' nin ortağı olduğu tokamak (manyetik bobinli toroidal hazne) kompleksi füzyon reaktörü inşası Fransa' da devam etmektedir. 2025 yılında ilk denemenin yapılması ve 2050' den önce sistemin elektrik üretir hale getirilmesi planlanmaktadır (URL-60).

Nükleer füzyon gelecekte, büyük ölçekteki madencilik ihtiyacını asgari seviyeye indiren, çok az atık üreten ve küresel ölçekte çok az tehdit oluşturan reaktörler ve hareketli dalga reaktörleriyle mutlak sürdürülebilirliğe çok yaklaştırılabilir. Küresel ölçekte fisyon santraline göre daha az tehdit oluşturan nükleer füzyon, hiç bir şekilde atık üretmemektedir. Çözülmesi gereken birçok sorunu olsa da bu konuda çalışmalar devam etmektedir. Nükleer füzyondaki temel zorluklar teknolojinin gelişiminde yatmaktadır (Koivumäki, 2011).

Füzyon tepkimesi ile elektrik enerjisi üretimi çalışmaları devam etmekte olduğundan bu tez çalışmasında fisyon tepkimesi üzerinde durulacaktır.

Bir diğer NGS yakıtı olan toryuma dayalı dünyada kurulmuş nükleer enerji santrali henüz yoktur. Ancak ABD, Rusya, Kanada, Almanya, Kore ve Japonya'da yürütülen araştırmalar ile toryum-uranyum karışımlarının beraber kullanılması konusundaki çalışmaları devam etmektedir. Japonya toryuma sahip olmamasına rağmen toryumla çalışacak nükleer enerji santralleri için çalışma yapan ülkelerden biridir (Külebi, 2007). Toryumun NGS yakıtı olarak kullanılması amacıyla da araştırmalar devam ettiğinden bu tez çalışmasında NGS yakıtı olarak uranyum üzerinde durulmuştur.

4.1.2 Nükleer enerjinin tarihçesi

Nükleer enerjinin tarihi 18. yüzyıla kadar indirilebilir. O çağdan günümüze kadar hiç şüphesiz birçok bilim adamının sayısız araştırma ve deneyler yaparak katkı sunmalarıyla bugünlere gelinmiştir. Bu tez çalışması için yeterli olacak kadar tarihçe, dönüm noktaları itibarıyla belirtilen kaynaklardan faydalanılarak aşağıda verilmiştir.

Nükleer enerjinin başlangıcı, uranyumunun Martin Heinrich Klaproth tarafından 1789 yılında keşfedilmesine dayanır. 19. yüzyılın sonlarında Henri Becquél 1896'da radyoaktiviteyi keşfetmiştir (Kaya, 2013). Uzun süre diğer elementler gibi

değerlendirilen uranyumun radyoaktivitenin keşfiyle radyoaktif bir element olduğu 1896 yılında Dimitri Mendeleev tarafından bulunmuştur (URL-31).

20. yüzyıla gelindiğinde radyoaktivitenin de keşfedilmiş olmasıyla araştırmalar artmış ve Ruhterford radyoaktivite özelliğinin yarıya inmesini tanımlayan “yarı ömür” kavramını bulduğunda yıl 1903 olmuştur. İki yıl sonra Einstein izafiyet teorisi ve kütle enerji eşitliği ($E=mc^2$) formülünü yayınlamıştır. Frederick Soddy 1911 yılında radyoaktif elementlerin farklı sayıda izotopları olduğunu keşfetmiş aynı yıl İngiliz bilim adamı Ernest Rutherford atomların çekirdeğe sahip olduğunu bulmuştur. 1913 yılına gelindiğinde atomların gezegen sistemine benzeyen temsili şekli Niels Bohr tarafından çizilmiştir. Ruhterford’un 1919’da yapay nükleer dönüşümü bulmasını, 1932’de James Chadwick tarafından nötron keşfedilmesi takip etmiştir. Almanya’da Otto Hahn ve Frittz Strassman’ın radyum ve berilyum ihtiva eden bir kaynaktan uranyumu nötronlarla bombalayarak Baryum-56 gibi daha hafif elementler bulduklarında yıl 1938 idi. Daha sonra 1939 yılında Almanya’da yayınladıkları bir makale ile radyoaktivite ve nükleer dönüşümden sonra üçüncü nükleer olay olan nükleer fisyonu tüm dünyaya duyurmuşlardır. İkinci Dünya Savaşı’nda üstünlük sağlamak isteyen ülkeler özellikle Almanya ve ABD nükleer çalışmalara hız vermelerinin hemen ardından 1942 yılında ABD’de ilk zincir reaksiyon başlatılmış ve 1951 yılında deney amaçlı ilk reaktör EBR-I (Experimental Breeder Reactor) kurularak dört ampulü yakmaya yetecek kadar enerji üretilmiştir. ABD ilk atom bombası denemesini 1945 yılında New Mexico’da yapmış, aynı yıl 2. Dünya Savaşı’nı bitiren iki atom bombasını Japonya’da Hiroşima ve Nagazaki şehirlerine atmıştır. Nükleer güçle çalışan ilk denizaltı 1952 yılında ABD’de denize indirilmiştir (Bakır, 2013; Kaya, 2013; Uyar, 2009).

Nükleer enerjinin atom bombası olarak barışçıl olmayan şekilde kullanımı bu tez çalışmasının konusu dışında kalmaktadır. Japonya’ya atılan bombalar dünyada infiale neden olmuş, enerji üretimi dışında kullanılmaması yönünde çağrılar yapılmış ve bu yönde çalışmalar başlamıştır.

Trajikomik bir şekilde nükleer enerjinin barışçıl amaçlarla kullanılması çağrısı BM Genel Kurulu’nda 1953 yılında ABD Başkanı Eisenhower tarafından yapılmıştır. Bu çağrının ardından 1954 yılında Rusya 5 MW gücündeki ilk nükleer reaktörü Obinks Moskova’da aktif hale getirmiştir. 1956’da ABD, İngiltere ve Fransa’da ardından

1961’de Almanya’da nükleer santrallerden elektrik enerjisi üretilmeye başlanmıştır. 1957 yılında Avrupa Atom Enerjisi Topluluğu (EURATOM) Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu (IAEA) kurulmuştur. Nükleer enerjinin yaygınlaşması 1970’lerde yaşanan petrol kriziyle olmuştur. Bu kriz özellikle gelişmiş ülkeleri alternatif enerji kaynakları aramaya itmiş ve en uygun metodun nükleer enerji olduğu kanaatine varılmıştır. Ancak 1979’da ABD’de bulunan Three Mile Island (TMI) ve 1986 yılında o zamanki adıyla Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği’nde (SSCB) (bugün Ukrayna sınırları içerisinde) Çernobil başta olmak üzere meydana gelen nükleer kazalar kamuoyunda tepkilere neden olmuştur. 1980’lerde OECD (Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü) ülkelerinde faal NGS enerji kapasitesinin en üst seviyeye çıkmasından sonra kapanan reaktörlerin yerine yenilerinin açılmaması sebebiyle reaktör sayısı düşmüştür (Bakır, 2013; Kaya, 2013; Uyar, 2009).

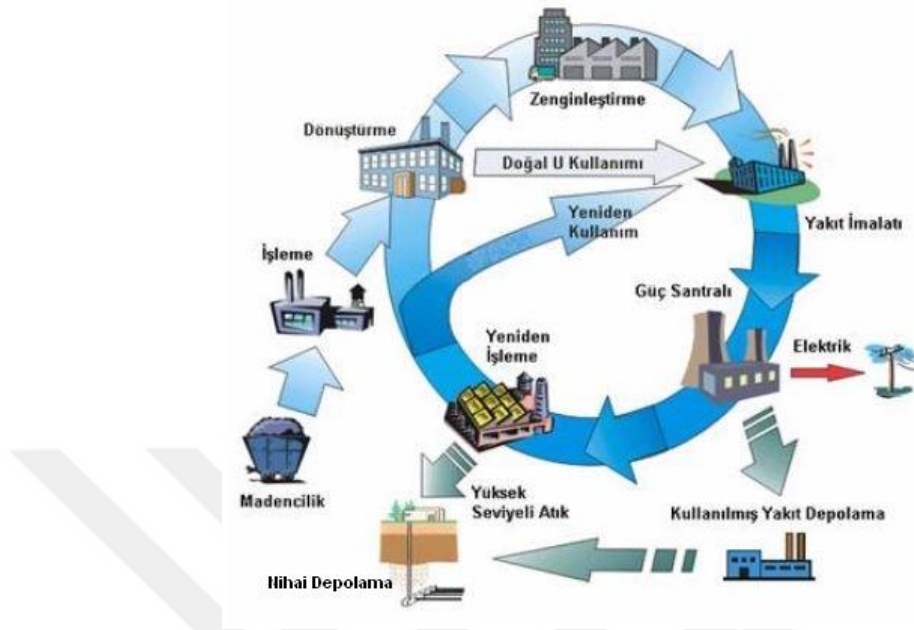
Yıllar sonra 2011 yılında depremin ardından meydana gelen, öngörülenden büyük dalgalara sebep olan tsunaminin neden olduğu Japonya Fukushima’daki NGS kazası meydana gelmiş birçok ülke benzer bir tepki göstererek NGS yapımını durduracağını ve çalışan santralleri yakın zamanda kapatacağını bildirmiştir. Bu gelişmelere rağmen, 2018 yılı Ekim ayı itibariyle yaklaşık %71’ i G8 ülkelerinde olmak üzere, 30 ülkede toplam 454 nükleer santral aktif olarak çalışmakta ve dünya elektriğinin yaklaşık %11’ini üretmektedir (URL-3; URL-61).

4.1.3 Nükleer yakıt çevrimi

Nükleer yakıt çevrimi; uranyumun çıkarılmasından, kullanılan yakıtın depolanması, atık olarak işlenmesi ya da kullanılan yakıtın yeniden işlendikten sonra tekrar yakıt olarak kullanılması ve ardından ortaya çıkan atıkların işleme tabi tutularak yeraltında nihai depolanmasına kadar olan aşamaları kapsamaktadır (URL-62).

Nükleer yakıt çevrimi açık ve kapalı olmak üzere iki tiptir. Aralarındaki fark, kullanılmış yakıtın değerlendirme şeklidir. Açık yakıt çevrimi sistemiyle çalışan santrallerde reaktörden çıkan yakıt tesis içindeki havuzlarda 7-8 yıl soğutulmasının ardından geçici depolama tesisine gönderilir. Kapalı yakıt çevriminde ise kullanılan yakıt yeniden işlenip uranyum ve plütonyum geri kazanılarak yeni yakıt olarak enerji üretimi sürecinde tekrar kullanılır (URL-62).

Tipik bir nükleer yakıt çevriminin şematik gösterimi Şekil 4.3’ te yer almaktadır (URL-62).



Şekil 4.3. Tipik bir nükleer yakıt çevrimi.

NGS yakıtı olarak kullanılan uranyum tabiatta serbest olarak bulunmaz, çeşitli elementler birleşip uranyum minerallerini meydana getirmektedir. Günümüzde çalışan nükleer santraller, reaktör tipine göre, zenginleştirmiş veya doğal uranyumu yakıt olarak kullanmaktadır.

Tipik bir nükleer yakıt çevriminde, öncelikle cevher olarak çıkarılan uranyum işleme tesislerinde sarı pasta diye bilinen toz hale getirilmektedir. Sarı pastayı uranyum hexaflouride (UF_6) haline getiren kimyasal yöntemse dönüştürmedir. Zenginleştirme de ise uranyumun U-235 ve U-238 iki temel izotopunun kısmi ayrırımı yapılır. Gaz difüzyonu ve santrifüjleme metodu olarak üzere iki zenginleştirme yöntemi vardır. Zenginleştirme tesisinde %0.711 olan U-235 oranı %5’e kadar çıkarılır. Daha sonra oluşturulan silindirik peletler içi boş yakıt zarflarına yerleştirilerek yakıt çubukları demetler şeklinde paketlenir. Yakıt demeti reaktör kalbine yerleştirilir ve reaksiyon başlatılarak enerji üretilmektedir. Kullanılan yakıtlar açık veya kapalı yakıt çevrimi seçimine göre, açık yakıt çevrimi ise reaktörden çıkarılan yakıt tesisteki havuzlarda yaklaşık 7-8 yıl soğutulduktan sonra geçici depolama tesisine gönderilmektedir, kapalı yakıt çevrimi tercih edilmişse kullanılmış yakıt yeniden işlenip geri kazanılarak tekrar

yakıt olarak enerji üretiminde kullanılmaktadır. Ekonomiye ve zenginleştirme kapasitesinin uygun olmasına göre Rusya gibi bazı ülkeler kalan U-235'i yeniden kullanmak üzere zenginleştirirler. Artık kullanılmayacak hale gelen reaktör yakıtları atık olarak değerlendirilir ve genelde 5-10 yıl kadar havuzlarda geçici depolanmaktadır (URL-62). Daha sonra bu atıklar yüksek sıcaklıkta cam eriyiği ile karıştırıldıktan sonra metal silindirlere boşaltılmaktadır ve soğuduğunda camsı bir yapı oluşturması sağlanmaktadır. Atıkların nihai bertarafı yerin 500 ile 1200 m altında yapılan özel depolara gömülerek yapılmaktadır (URL-63).

Uranyum madeni, reaktör, zenginleştirme veya yakıt çevrim tesisleri kalıcı olarak devre dışı bırakılacağı zaman çalışanlara, halka ve çevreye zarar vermeyecek biçimde bir kaç aşamayı içeren “işletmeden çıkarma” şeklinde adlandırılan uygulamaya tabi tutulmaktadır. Kapatma, temizleme-sökme, yıkım ve sahanın temizlenmesi aşamaları ile sonlandırılmaktadır. Atıklar, tesisler ve tüm malzeme radyoaktif özelliklerine göre geri kazanılır, geçici olarak depolanır veya bertaraf edilmektedir. Bu alanlara uzun yıllar serbest giriş yasaklanır ve koruma altına alınır, daha sonra kısıtlı ya da kısıtsız olarak kullanıma açılabilir. Örnek olarak Almanya Niederaichbach’ deki reaktör 1974 yılında kapatılmış ve 1995’te kısıtsız olarak zirai kullanım için girişler serbest bırakılmıştır (URL-62).

4.1.4 Nükleer güç santralleri

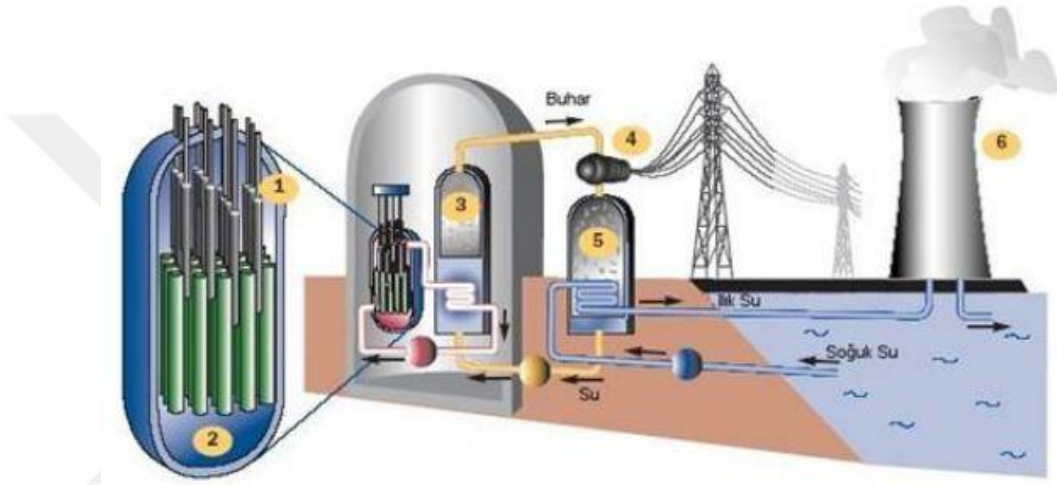
1789 yılında Martin Heinrich Klaproth tarafından uranyumunun keşfedilmesinden, 1954 yılında Rusya’da 5 MW gücündeki ilk nükleer reaktörün çalıştırılmasına kadar yaşanan süreç ve günümüze gelindiğinde 454 adet faal NGS olduğu literatürde belirtilmiştir (Bkz. Bölüm 4.1.2).

Nükleer reaktörlerde zenginleştirilmiş uranyum yakıtı ve nötron gibi diğer bileşenlerin reaksiyonuyla meydana gelen fisyon olayı sonucu açığa çıkan yüksek ısının içinde bulunduğu akışkanı yüksek derecelerde ısıtması ile oluşan buharın türbin sistemi içinde kinetik enerjiye ardından da jeneratör sisteminde elektrik enerjisine dönüştüren sistemlere nükleer güç santrali denir (URL-64).

Nükleer santrallerde, ısı üretmek için kullanılan nükleer reaksiyon sonucu çevreye salınmaması gereken radyoaktif maddeleri kontrol etmek amacıyla bazı ek sistemler

kullanılmaktadır. Nükleer santrallerin birçoğunda yakıtın içinde olduğu yakıt tüpleri arasından ısınıp geçen su, türbin için buhar üretilen ikinci bir çevrimi ısıtmak için kullanılmaktadır. Bu sistemlere Birincil Sistem denir. İkincil sistemde ise birincil soğutma sisteminden alınan ısı doğrudan türbine gönderilerek döndürülür ve bu hareketle de jeneratörde elektrik üretilmektedir. Her iki sistemde de kapalı bir döngü oluşturulmuştur (URL-65).

Tipik bir basınçlı nükleer santrale ait şema Şekil 4.4' te gösterilmektedir (URL-66).



Şekil 4.4. Tipik bir basınçlı nükleer güç santrali.

Bir NGS reaktöründe reaksiyonun başlamasından elektrik enerjisi üretimine kadar olan aşamalar aşağıdaki gibi gelişmektedir (URL-66).

- 1- Reaktör: Yakıt basınçlı suyu ısıtır, kontrol çubukları reaksiyonu kontrol altında tutmak ya da sonlandırmak için nötronları yutmaktadır.
- 2- Soğutucu ve yavaşlatıcı: Yakıt ve kontrol çubuklarının etrafı soğutucu ve yavaşlatıcı olarak görev yapmaları için su ile doldurulmuştur.
- 3- Buhar üretici: Reaktörde meydana gelen sıcak su yüksek basınçlı buhar üretmesi amacıyla buhar üreticine pompalanır.
- 4- Türbin jeneratörü: Buhar, elektrik üretmek için jeneratöre gönderilmektedir.
- 5- Kondansatör: Buharı suya dönüştürmek için ısıyı soğurmaktadır.
- 6- Soğutma kulesi: Soğutma suyundaki ısıyı düşürüp yakın çevredeki ısıya dönüştürmektedir.

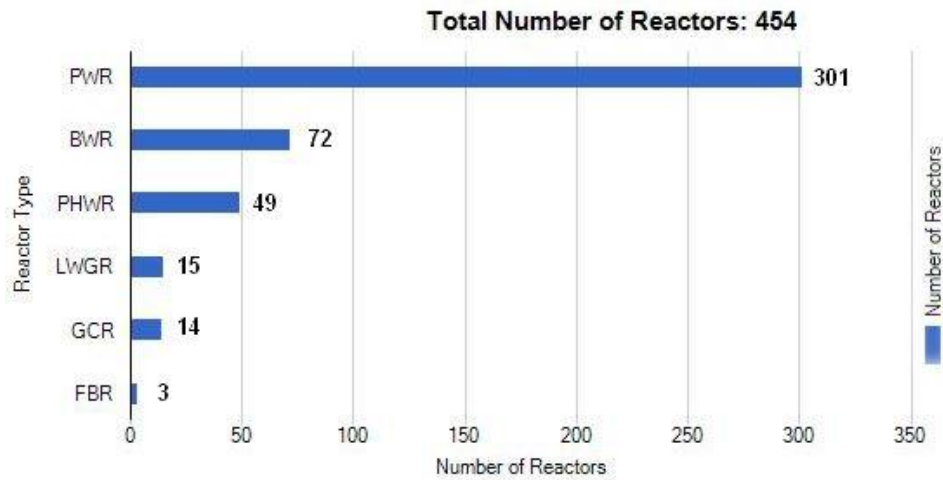
Günümüzde farklı tiplerde NGS çalıştırılmaktadır. En yaygın olarak kullanılan nükleer reaktör tipleri aşağıdaki gibidir (URL-67).

- 1-Basınçlı Su Reaktörleri (Pressurized Water Reactor - PWR),
- 2- Kaynar Sulu Reaktörler (Boiling Water Reactor – BWR),
- 3- Basınçlı Ağırsu Reaktörleri (Pressurized Heavy Water Reactor – PHWR).

Yukardakilerden reaktörlerden başka, gaz soğutmalı reaktörler (Gas Cooled Reactor - GCR), Grafit Yavaşlatıcılı Su Soğutmalı Reaktörler (Light Water Cooled Graphite Moderated Reactor - LWGR) ve Hızlı Üretken Reaktörler (Fast Breeder Reactor - FBR) de değişik ülkelerce kullanılmaktadır.

Dünyada 2018 yılı Ekim ayı itibari ile 30 ülkede 454 nükleer santral faaliyet göstermekte (URL-3) ve 17 ülkede 54 tanesinin inşaatı devam etmektedir (URL-4).

IAEA tarafından oluşturulan Güç Reaktörü Bilgi Sistemi (PRIS) verilerine göre Dünyada faal olan 454 adet nükleer güç santralının 301 adedi PWR, 72’si BWR, 49’u BWHR, 15’i LWGR ve 3 adedi de FBR tipi reaktörlerdir. Bu veriler Şekil 4.5’ te reaktör sayıları eklenerek verilmektedir (URL-68).



Şekil 4.5. Dünyadaki NGS (Reaktör tiplerine göre).

Şekil 4.5’den de anlaşılacağı üzere günümüzde en çok sırasıyla PWR, BWR ve PHWR tipi reaktörler kullanılmaktadır. Bu 3 tip reaktörün çalışma sistemleri aşağıda

açıklanmıştır. Bu reaktörlerin de kendi içlerinde farklı ülkelerde, farklı tiplerde üretilen modelleri mevcuttur.

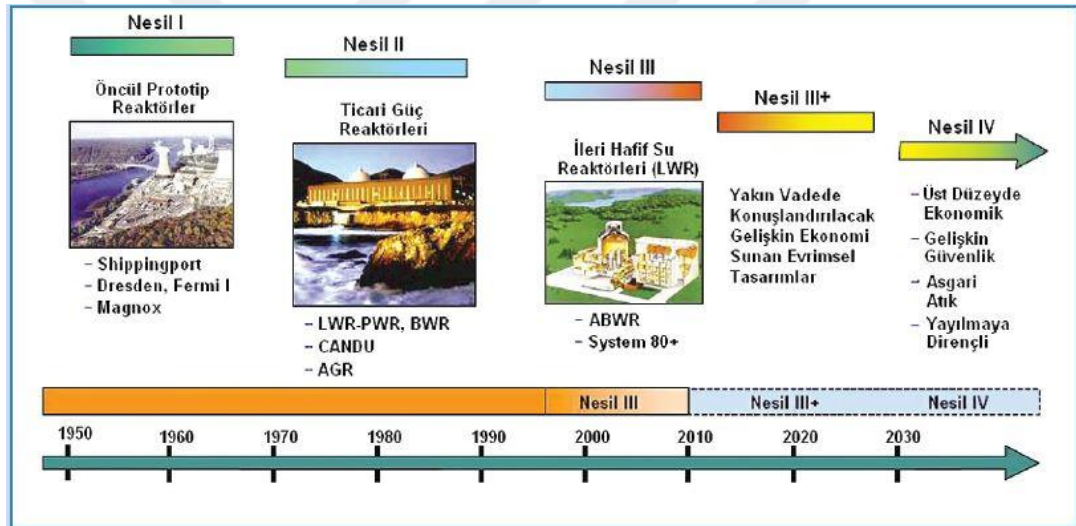
1-Basınçlı Su Reaktörleri (PWR): Ticari olarak elektrik üretmek amacıyla ABD'de kullanılan ilk reaktör tipidir. Reaktör kalbinde üretilen enerji birincil devre soğutucusu aracılığıyla kalpten çekilmektedir. Soğutucu suyun kaynamaması için birincil devre basıncı 15-16 MPa civarındadır. Kimyasal işlemler sonucu yumuşatılan soğutucu suyu demineralize edilmiş hafif sudur, sistemde yavaşlatıcı ve yansıtıcı olarak da kullanılır. Soğutucunun kalbe giriş anındaki sıcaklığı 290 °C çıkış anındaki sıcaklığı ise 320-330 °C civarındadır. Reaktör kalbinden çıkan soğutucu türbinlerde kullanılan buharı üretmek amacıyla buhar üreteçlerine gönderilip 7-8 MPa'da buhar üretilir. Reaktörlerin birincil soğutucu devreleri iki, üç ya da dört adet benzer döngüden meydana gelmektedir. Her döngüde bir buhar üretici, bir reaktör soğutucu pompasıyla bağlantı boruları bulunmaktadır. Ayrıca reaktör basıncını kontrol etmesi için bu döngülerden biri üzerinde bir basınç ayarlayıcı bulunmaktadır (URL-69). Yakıtı %2,5 - %3 oranında zenginleştirilmiş uranyumdur (Bakır, 2013). Dünyadaki mevcut nükleer santraller içerisinde 301 adetle en çok kullanılan reaktör tipidir (URL-68).

2- Kaynar Sulu Reaktörler (BWR): Birçok yönden PWR tipi reaktörlere benzeyen bu modelde temel fark reaktörde kaynama olayına izin verilmesidir. Uzun bir süre reaktörde kaynamaya izin verilmesinin buhar kabarcıkları oluşmasıyla tehlikeli olacağı düşünülmekteydi. 1950 yılında yapılan BORAX deneyi de bu düşüncenin düşük basınç altında meydana gelen kaynamada doğru olduğunu ancak basınç yükseldiği zaman kaynamanın kararsızlığa sebep olmadığı ve reaktörün kontrol edilebildiğini göstermiştir. Bu gelişmenin ardından BWR tipi geliştirilerek PWR tipine alternatif olmuştur. Dresden-1 nükleer santrali 1960 yılında ABD'de işletmeye alınan 180 MWe gücündeki ilk BWR tipi santraldir. Bu tip reaktörlerde reaktör koru içinde elde edilen buharın doğrudan türbinlere gönderilmesi diğer hafif sulu reaktörlere göre üstünlük sağlamaktadır. Bu sebeple BWR tipi reaktörler doğrudan çevrim ile çalışırlar (URL-70). Bu reaktörlerin koruma kabukları basınçlı su reaktörlerinden hacim olarak daha küçük olduğu için hidrojen patlamasının yaptığı basınca karşı daha dayanıksızdır (Bakır, 2013). Günümüzde 72 adetle ikinci en çok kullanılan reaktör tipidir (URL-68).

3- Basınçlı Ağırsu Reaktörleri (PHWR): PWR tipi ile benzer özellikler gösterirler. Ağır sulu reaktör olarak isimlendirilmelerinin sebebi, yavaşlatıcı ve soğutucu için,

ismini normal sudaki (H_2O) 1 atomdan fazla sahip olduğu 2 atom ağırlığından alan ağır su D_2O kullanılmasıdır. Bu tip reaktörü en yaygın olarak kullanan ülke Kanada'dır. CANDU tipi reaktör, içinde düşük basınçta yavaşlatıcı, ağır su bulunan yatay silindir şeklinde bir reaktör kabı, zırhlama kabı, zırhlama suyu, kor çukuru, yakıt kanalları ve reaktivite sisteminden oluşur. Reaktör kabı, içinden yatay şekilde geçen 380 adet yakıt kanalı ve reaktivite kontrol sistemlerini içerir. Doğal uranyum yakıt ve ağır su soğutucusundan oluşan yakıt kanalları reaktör çalışırken yakıt değişimini ve ideal yakıt işletimini sağlar (URL-69).

Şekil 4.6' da, ilk NGS yapımından bugüne kadar nükleer güç reaktör sistemi teknolojilerinde zaman içerisinde olan gelişmeler ve tasarlanan reaktör tipleri gösterilmektedir (URL-70).



Şekil 4.6. NGS tasarım teknolojileri gelişimi.

Nükleer enerjinin, yenilenebilir ve yenilenemez diğer enerji kaynakları ile birlikte yerküredeki enerji problemini çözecek tek pratik, güvenli ve çevreye dost bir teknoloji olduğu söylenebilir (Comby, 2006).

Nükleer enerjinin diğer enerji kaynakları içindeki oranı bunlarla rekabet edebilirliğine ve halkın sosyal kabulü esasına bağlıdır (Palabıyık vd., 2010)

4.1.5 Radyasyon

Parçacıklar ya da elektromanyetik dalgalar biçiminde enerji aktarımı veya yayımına radyasyon denir. Bir maddenin atom çekirdeğinde bulunan nötron sayısı proton sayısından çok fazlaysa bunun gibi maddeler kararsız bir yapı gösterirler ve çekirdeğinde bulunan nötronlar alfa, beta, gama gibi farklı ışınlar yayarak parçalanmaktadırlar. Etrafına bu şekilde ışın yayarak parçalanan maddelere radyoaktif madde denir. Radyasyon aslında doğa olaylarının bir parçasıdır. İnsanlar günlük yaşantılarında, kaynağı uzaydan gelen kozmik ışınlar, topraktaki radyoaktif elementler ve insan faaliyetleri olan doğal ya da yapay olan radyasyona sürekli maruz kalmaktadır (Erdösemeci, 2014).

Kararsız durumdaki ağır çekirdekler (83'den fazla protonu olan) sahip oldukları fazla enerjilerinden kurtulmak için radyasyon yayarak kararlı duruma geçmeye çalışırlar. Bu olaya radyoaktivite denir (URL-71).

1789 yılında Martin Heinrich Klaproth tarafından uranyumunun keşfedilmesinden bir asır sonra Henri Becquerel 1896'da radyoaktiviteyi keşfetmiştir (Kaya, 2013). Uranyumun radyoaktif bir element olduğu ise 1896 yılında Dimitri Mendeleyev tarafından bulunmuştur (URL-31).

Radyasyon ışınları uzayda 200.000 km/sn hızla hareket edebilirler. 1902 yılında Irenne Curie ve eşi tarafından ilk yapay radyasyon keşfedilmiş ve bu keşiften tıp, biyolojik araştırma, endüstri gibi birçok alanda yararlanılmıştır (Bakır, 2013).

Türkiye'de Radyasyon Güvenliği Yönetmeliğine (RGY) göre toplum üyeleri için alınan doz yılda 1 mSv'i geçemez. Bazı durumlarda ardışık 5 yılın ortalaması 1 mSv maksimum 5 mSv olabilir.

Çizelge 4.1'de radyasyon dozları ve etkilerine örnekler verilmiştir (Özemre vd., 2000).

Çizelge 4.1. Radyasyon dozları ve etkileri.

Doz (mSv/yıl)	Etki	Açıklama
0,001	Etkisiz	ABD'de nükleer endüstrinin bir kişiye yüklediği fazladan doz

Çizelge 4.1. Radyasyon dozları ve etkileri (devam)

Doz (mSv/yıl)	Etki	Açıklama
0,004	Etkisiz	1000 MWe’lik kömür santrali bacasından çıkan radyoaktif partiküllerin kişiye yüklediği doz
0,6	Etkisiz	Çernobil NGS kazasında Türkiye’de fert başına ilk yıl içerisinde alınan doz
0,8-1,2	Zararsız	Akciğer röntgeni çektirirken alınan doz
250	Zararsız	Nükleer kaza şartlarında alınmasına izin verilen sınır doz
1.000	Halsizlik	Çernobil merkezli 1 km’lik yarıçapta alınan doz
10.000	Ölüm	Ölümcül doz

Binalardaki toprak, granit ve camlar, beslenme kaynakları su ve yiyecekler, her alanda kullanılan kömür ve petrol, tıptaki röntgen cihazları birer radyasyon kaynağıdır. Ayrıca alınan radyasyon yaşanılan yerin yüksekliğine göre değişmektedir. Türkiye’de Erzurum’da yaşayan bir kişi İstanbul’da yaşayan bir insandan 2,5 kat daha fazla radyasyon alır (Külebi, 2007).

Günümüzde nükleer radyasyon ile baz istasyonları ve cep telefonlarından yayılan radyo dalgaları birbirine karıştırılmaktadır.

Radyasyon madde üzerindeki etkisine göre iyonlaştırıcı olan ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak ikiye ayrılır. İyonlaştırıcı radyasyon, çarptığı cisimde yüklü parçacıklar oluşturabilen radyasyondur ve önlem alınmadığı takdirde tüm canlılar için zararlı olabilir. Alfa, beta, nötronlar, X-ışınları ve gama ışınları iyonlaştırıcı radyasyon yayarlar. İyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar ise kızılötesi dalgalar, radyo dalgaları, mikrodalga ve görünür ışıktır (Erdöşemeci, 2014). Sonuç olarak nükleer radyasyon iyonlaştırıcı, baz istasyonu ve cep telefonlarından yayılan radyo dalgaları iyonlaştırıcı olmayan radyasyondur. Ancak, nükleer santralin etkilediği alanda yaşayan bir insanın bir yılda alacağı radyasyon, tek bir göğüs röntgeni çektirildiğinde alınan radyasyonun ellide biridir (Külebi, 2007).

Türkiye’de Radyasyon Güvenliği Yönetmeliğine (RGY) göre, radyasyon görevinde çalışanların maruz kalacağı etkin dozun ardışık 5 yılın ortalaması 20 mSv’i, herhangi bir yılda ise 50 mSv’i geçemez.

4.1.6 Nükleer santrallerin çevresel etkileri

Her faaliyetin olduğu gibi nükleer santrallerin de inşaatından başlayarak işletmesine, sökme işleminden atık yönetimine kadar her aşamasında çevresel etkileri vardır. Ancak dünya ve Türkiye kamuoyunun bildiği veya sandığının aksine NGS normal çalışma esnasında çevreye zararlı gaz salınımı yapmaz. Üretilen enerjiye göre diğer enerji üretim modelleri ile karşılaştırıldığında en çevreci metodun nükleer teknoloji ile enerji üretimi olduğu söylenebilir.

Daha önce nükleere enerjiye sıcak bakmayan dünyaca tanınmış kişiler bugün nükleer teknolojiyi destekler hale gelmişlerdir. Bunlardan biri olan ileri gelen çevrecilerden biri olan Greenpeace'in kurucularından Patrick Moore, "Küresel ihtiyacı karşılayacak ve fosil yakıtların yerini alacak sera gazı salınımı yapmayan tek güç nükleer enerjidir" demiştir (Hüseyinoğlu, 2006).

NGS yakıtı olan uranyum yeraltından cevher olarak çıkarıldıktan sonra bu tezin 4.1.3'üncü bölümünde anlatıldığı şekilde belli aşamalardan geçerek yakıt haline gelmektedir. Her maden işletmesinde olduğu gibi uranyum madenlerinde de maden atıkları meydana gelmekte ve çevreye olumsuz etkileri olmaktadır. Ancak bu tür etkiler atık yönetimi ile çözülerek zarar en aza indirilebilmektedir. Asıl önemli çevresel etkileri işlendikten sonra reaktörde kullanılan uranyumun yüksek radyoaktif özelliğe sahip atıklarıdır.

Nükleer enerji fosil yakıtlı santrallerle kıyaslanırsa temiz bir enerjidir. Fosil yakıtlı termik santraller yılda on binlerce ton NO_x ve SO_2 (asit yağmuruna ve solunum yolu hastalıklarına neden olur), milyonlarca ton CO_2 (sera etkisi sebebiyle iklim değişikliklerine neden olmaktadır) ve yüzbinlerce ton toz ve kül parçacıkları etrafa yayılır. Doğal gaz santrallerinde en önemli atık karbondioksittir. Nükleer enerji üretimi sonucu, en çok NGS bulunan ABD'de 780 milyon ton/yıl, dünyada toplam 2 milyar 600 milyon ton/yıl CO_2 salınımı engellenmiştir. Nükleer reaktörlerin kalbinde fisyon olayı meydana geldiğinden burada dikkat edilecek konu radyoaktif ürünler ve radyasyondur (Hüseyinoğlu, 2006).

Nükleer santral etki alanında yaşayan bir insanın bir yılda alacağı toplam radyasyon miktarı, tek bir göğüs röntgeni çektiğinde alınan radyasyonun ellide biridir (Külebi, 2007).

Aynı miktarda güç üreten kömürle çalışan termik ile nükleer güç santralinin çevreye etkileri belli kriterler temel alınarak Çizelge 4.2’de karşılaştırılmıştır (Yavuzaslan, 2009).

Çizelge 4.2. Aynı güçteki termik ve nükleer santralin karşılaştırması.

Karşılaştırma Kriterleri	Nükleer	Kömür
Tüketilen yakıt miktarı	27 ton	2,6 milyon ton
Kullanılmış yakıt (Yüksek radyoaktifiteli atık)	27 ton	-
Yüksek radyoaktifiteli atık	3-5 m3	-
Orta ve düşük radyoaktifiteli atık	800 ton	-
CO ₂	-	6,5 milyon ton
Kül	-	300.000 ton
SO ₂	-	20.000 ton
NO _x	-	4.000 ton
Ağır Metal	-	400 ton

Fosil yakıt ve nükleer enerji ile çalışan santraller Leopold Matrisi ile hava kirliliği, su kirliliği, katı atıklar, arazi kullanımı, flora ve fauna gibi kriterlerle çevresel etkileri değerlendirilmiş sonuçta nükleer santrallerin fosil yakıtlı santrallerden daha az çevresel etkilerinin olduğu görülmüştür. Çizelge 4.3’te bu sonuçlar gösterilmektedir (Hüseyinoğlu, 2006).

Çizelge 4.3. Leopold Matrisi karşılaştırılması.

Santral Tipi	Çevresel Etkilerin Toplam Şiddeti	Çevresel Etkilerin Toplam Önemi
Kömür	192	185
Petrol (fuel-oil)	188	181
Doğal gaz	121	116
Nükleer	108	105

NGS atıkları, düşük, orta ve yüksek seviyeli atık olmak üzere üçe ayrılır.

Düşük seviyeli radyoaktif atıklar; kısa yarı ömürlü yüksek konsantrasyonlu radyoizotoplar ve uzun yarı ömürlü düşük konsantrasyona sahip radyoizotoplardır. Düşük ve orta seviyeli atıklar; uranyum işleme, soğutma sistemi ve depolama havuzlarının temizlenmesi, alet ve cihazlara radyoaktif bulaşması ve NGS sökümü ile ortaya çıkan atıklardır. Bu atıkların bertarafı, bekleme, sıkıştırmak suretiyle hacim küçültme, çimentolama, sıvı atıkların kimyasal olarak ayrıştırılması gibi metotlarla sağlanmaktadır (Bakır, 2013).

Yüksek seviyeli radyoaktif atıklarsa fisyon olayı sonucu ortaya çıkan, çok yüksek yarılanma süresi ve ışıma sahip plütonyum, amerisyum ve teknetyum gibi elementlerdir. Radyoaktif özelliği düşük olan uranyum fisyon olayından sonra çoğu oldukça radyoaktif ürünlere dönüşür (Bakır, 2013). Nükleer endüstrinin temel sorunlarından birisi, nükleer tesis kaynaklı kullanılan yakıtların geri kazanılması sonucunda oluşan yüksek düzeyli radyoaktif atıkların çevreye zarar verilmeden uzaklaştırılmasıdır (Hüseyinoğlu, 2006). Yeniden işleme atık miktarı azaltılabilir, ancak atık miktarını azaltmak için konulan politik engeller kaldırılmalıdır. FBR (hızlı üreten reaktör) gibi teknolojilerin politik baskılar sebebiyle kullanılmaması şaşırtıcıdır. Bu sektörü finanse etmek, sürdürülebilir nükleer enerji sektörünü daha da geliştirecektir (Koivumäki, 2011).

Reaktörden çıkarılan yakıt reaktördeki havuzlarda (ısı ve ışın yayılımına karşı) 7-8 yıl soğutulduktan sonra geçici depolama tesisine gönderilir (URL-62). Bu atıklar ya yeniden işlenip içindeki yanabilecek plütonyum ve uranyum alınır ve geriye kalan kısmı camlaştırılarak depolanır veya herhangi bir işlem yapılmadan depolanır (URL-72). Nihai olarak depolanacak atıklar önce damıtma ve santrifüj işlemleriyle sıvı ve katı faz birbirinden ayrılır (Bakır, 2013). Çözünmez hale gelen kullanılmış yakıtlar aşınmaya karşı dayanıklı, sızdırmaz ve özel çelik kaplar içinde geçici yeraltı ve yerüstü depolarında bir süre bekletildikten sonra nihai depolama için yeraltı sularının olmadığı, deprem riski bulunmayan, yerin yaklaşık 600-1000 m altına ve kayalık bölgelere gömülür (URL-72).

Camlaştırılarak özel çelik kaplara konulan nükleer atıkların bertarafının okyanus ve denizlere yapılması halinde ise, Deniz Kirlenmesinin Önlenmesi Anlaşmasıyla ilgili Londra Antlaşması gereğince 4.000 metreden daha derin bölgelere ve deniz trafiğinin olmadığı okyanus ve büyük denizlere yapılması gerekmektedir. Transmutasyonla atık

sorununun çözülmesinde, atığın radyoaktivitesi düşürülmektedir. Örnek olarak bir NGS atığı olan teknetyum-99 elementinin yarılanma süresi bu yöntem ile 200.000 yıldan 15,8 saniyeye indirilmiştir (Bakır, 2013).

50 yıldır Fransa’da işletilen 58 adet nükleer santralde oluşan yüksek seviyeli radyoaktif camlaştırılmış atığın toplam hacmi yaklaşık 3.000 m³ civarındadır (olimpik bir yüzme havuzu kadar). Bu miktarda bir hacmin depolanması, üretilen büyük miktardaki elektrik enerjisi ile karşılaştırıldığında önemsiz bir problem olarak görünmektedir (Comby, 2006).

Çok uzun süre radyoaktif olarak kalan, uranyum, plütonyum gibi elementlerden daha ağır manasına gelen ve binlerce yıllık yarı ömre sahip transuranyum ve diğer radyoizotopları çok kısa yarı ömürlü hatta kararlı izotoplara dönüştüren transmutasyonla ilgili araştırmalar dünya çapında devam etmektedir. Bu şekildeki bir fizik olayıyla nükleer enerji kaynaklı radyoaktif maddeler önemli ölçüde azaltılabilmekte veya yok edilebilmektedir (URL-73).

Dünyada hayatını sürdüren her insan, uzaydan, topraktan, kullandığımız elektronik cihazlardan kaynaklı radyasyon etkisi altındadır. Bu miktar, yaşadığımız bölge ve şartlara bağlı olmakla birlikte yaklaşık 2-3 mSv/yıl civarındadır. İnsanın NGS kaynaklı ek olarak aldığı radyasyon ise dünyada en çok nükleer santralin bulunduğu ABD’de yılda 0.05 mSv’in altındadır (URL-74).

Nükleer güç santrallerinden kaynaklanabilecek en büyük çevresel etki, meydana gelecek bir kaza sonucu çok fazla miktarda radyoaktif maddenin çevreye yayılmasıdır (URL-75). Bunu önlemek için nükleer santrallerde bir kaza anında dışarıya radyasyon sızıntısı olmaması için yakıt zarfı, biyolojik zırh, dış güvenlik kabuğu ve tüm santrali çevreleyen yasak bölge ile yapısal olarak korunmaktadır (Özemre vd., 2000). Hatta NGS üzerine uçak gibi herhangi bir hava taşıtının düşmesinde bile dış etkilere karşı dayanıklıdır (URL-76). Ayrıca bir kaza sırasında devreye giren soğutma sistemi ve kimyasal kontrol sistemini içeren aktif ve pasif koruma sistemleri mevcuttur (Özemre vd., 2000).

Nükleer enerji santralleri reaktörlerin soğutulması için yüksek miktarlarda soğutma suyu kullanırlar. 1.000 MW’lık soğutma kuleli basınçlı su reaktörü, soğutma amaçlı

dakikada 76.000.000 litre göl, nehir ya da deniz suyu kullanmaktadır. Suyun, dakikada 20.000.000 litresi ortama deşarj edilir kalan 56.000.000 litresi de buharlaşarak atmosfere atılır (Kaya, 2013).

Diğer bir çevresel etki ise soğutma suyunun sıcak bir hale geldiğinde deşarj edildiği alıcı ortamdaki termal etkidir. Bu konu Türkiye’de Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğinde (SKKY) düzenlenmiştir. Derin deniz deşarjı için minimum deşarj derinliği 20 metre ve denize bertaraf edilecek suların sıcaklığı maksimum 35°C olmalıdır. Sıcak suların deşarjı difüzör tarafından fiziksel olarak sağlanan birinci seyrelme sonucunda karıştığı deniz suyunun sıcaklığını havanın sıcaklığının yüksek olduğu yaz dönemini kapsayan Haziran-Eylül aylarında 1 °C’den, diğer aylarda ise 2°C’den fazla yükseltmez. Bununla birlikte deniz suyu sıcaklığı 28°C’nin üstünde olduğu zaman soğutmada kullanılan deniz suyunun deşarj sıcaklığına herhangi bir sınırlama getirmeden, alıcı ortam sıcaklığını 3°C’den daha fazla artırmayacak biçimde deşarjına izin verilmektedir.

Nükleer santrale radyasyonu öne sürerek karşı çıkan yabancılara, kendilerinin neden NGS yaptığını ve niçin engellemedikleri sorulmalıdır (Külebi, 2007).

4.1.7 Nükleer santrallerde alınan güvenlik önlemleri

Kurulan her sistemin, yapılan her faaliyetin ve çalıştırılan her işletmenin maddenin kuralı olarak her zaman bir kaza riski vardır. Her tasarımcı kurduğu sistemin konusuna, çalışma mantığına, kapasitesine ve teknolojisine göre birçok güvenlik tedbirleri alır. Muazzam bir enerji üreten nükleer güç santralleri de otomatik ve operatör eliyle devreye giren birçok güvenlik önlemlerine sahiptir.

Nükleer güç santralleri öncelikle uluslararası çerçeve ve yasal mevzuat açısından çok sıkı kurallar ve denetimlerle kurulup işletmeye açılabilmektedir.

Teknolojinin gelişmesi ile devamlı üzerinde çalışılan yeni uygulamalar ve 12.000 reaktör/yıl teknik tecrübeyle ciddi güvenlik parametreleri uygulamaya konulmuştur (Külebi, 2007).

Nükleer enerjinin hemen hemen tüm kullanım biçimleri, uluslararası anlaşmalarla ve uluslararası alanda kabul edilmiş kurallara dayalı olan ulusal yasalar çerçevesinde

düzenlenmektedir. Nükleer enerjiden kaynaklanabilecek muhtemel kazaların sonuçlarının ulusal hudutlarla sınırlandırılmaması sebebiyle güvenlik konusu uluslararası bir nitelik taşımaktadır (URL-77).

Enerji üretimi maksadıyla kurulan nükleer santrallerinin nükleer silah yapımıyla bir ilişkisi bulunmaz ve Türkiye'nin de taraf olduğu Nükleer Silahların Yayılmasının Önlenmesi Antlaşması'nı imzalayan ülkelerde denetimler her zaman yapılmaktadır. Nükleer silahların yayılmasını önlemek üzere IAEA sürekli denetim faaliyetlerinde bulunmaktadır (URL-78). Ayrıca nükleer silahlarda kullanılan uranyumun en az %90 oranında U-235 yönünden zenginleştirilmesi gerekmekte iken nükleer reaktörlerde kullanılan uranyum %2-5 oranında zenginleştirilmiştir (URL-31).

Kamuoyunda en çok dile getirilen bir konu ise nükleer santralin atom bombasına benzetilmesi hatta aynı tutulması yaklaşımıdır. Nükleer reaktör ile atom bombası arasındaki en büyük fark, atom bombasında saniyenin milyonda biri gibi bir sürede gerçekleşen kontrolsüz şekilde bir reaksiyon varken, nükleer santraldeki reaksiyon ise kontrollüdür. Nükleer santralde kontrol nötronları yutan kadmiyum ya da bor gibi maddeler içeren kontrol çubukları ile sağlanır (Özemre vd., 2000).

Diğer üretim teknolojilerinden farklı olarak nükleer güç santralleri, bağımsız bir nükleer lisanslama kurumundan lisans almak zorundadır. Türkiye'de 2690 sayılı TAEK Kanunu'na göre yasal altyapısıyla bu kurum TAEK'tir. Lisans verilebilmesi için yapılması gereken güvenlik değerlendirmeleri Güvenlik Analizi Raporuna (GAR) dayanılarak yapılmaktadır. Bu rapor lisansı verecek kurum tarafından onaylanmasının ardından santralin inşasına (inşaat lisansı) ve işletilmesine (işletme lisansı) geçilebilir (URL-79).

Nükleer tesislerde alınan güvenlik önlemleri "Derinliğine Savunma Stratejisi" çerçevesinde yapılır. Bu stratejinin amacı, tesise dair güvenlik hedeflerinin zarar görmemesini ve tesisteki radyoaktif maddelerin dışarıya çıkmamasını sağlayacak derinliğe ve iç içe bulunan bir dizi tedbirlerin alınması üzerine tesis edilmiştir.(URL-80).

Güvenlik önlemleri, muhtemel kazaları olmadan önlemek ve olması halinde sonuçlarını minimum seviyede tutmak amacıyla tasarlanmıştır. Nükleer güç

santrallerinde var olan güvenlik sistemlerinin nihai amacı, etkin ve sürdürülebilir koruma tedbirleri olarak birey, toplum ve çevreyi muhtemel radyoaktif zararlardan korumaktır (Çiçek, 2012).

Nükleer santral tasarımında deprem, dikkate alınması gereken önemli bir faktördür. Deprem tehlikesini belirleme çalışmalarında, önceki yıllara ait aletsel deprem kayıtları başta olmak üzere yörenin deprem aktifliği, tektonik yapı ile birlikte etütleri yapılarak sismotektonik haritalar elde edilmektedir. Tüm veri ve etütler uluslararası kabul görmüş standartlara ve güvenlik kıstaslarına göre değerlendirilerek santralin kurulacağı yeri merkez olarak en az 150 km yarıçaplı bir sahada incelemeler yapılmaktadır. Nükleer güç santralleri, aktif fay hatlarının tam üzerinde olmamak koşuluyla farklı seviyelerde deprem riskinin bulunduğu yerlerde kurulabilir. Dünyada ABD ve Japonya gibi birçok ülkede böyle yerlerde kurulan santraller mevcuttur ve birçok depreme karşı ayakta kalarak faaliyetlerini devam ettirmişlerdir. Elde edilen verilere göre tasarlanan ve işletilen santrallarda temel amaç, muhtemel en büyük depremde bile tesisin çalışmasının güvenli bir şekilde durdurulmasını ve tesisin olumsuz açıdan hiçbir şekilde etkilenmemesini sağlamaktır. Türkiye’de Mersin Akkuyu’da kurulacak santral 5. derece deprem bölgesinde yer almaktadır (URL-81).

Nükleer santrallerde, radyoaktif maddelerin tesis dışına salınmaması amacıyla aşamalı koruma önlemleri, meydana gelen ısıнын alınması içinse kademeli ve yedekli sistemler vardır. Nükleer yakıt, seramik katılığında, yaklaşık 1 cm çap ve yüksekliğe sahip silindirik modüllerin üst üste konulmasıyla yine silindirik biçimdeki kapalı sızdırmaz tüplerin içindedir. Reaktör kalbini bu tüplerin binlercesi oluşturur ve soğutma suyunun aralarından geçmesini sağlayacak şekilde tasarlanırlar. Reaktör kalbi paslanmaz çelikten imal edilen bir basınç kabının içinde yer alır. Basınç kabı ile buna bağlı çalışan sistemlerse betondan inşa edilmiş kubbemsi bir yapının içinde bulunurlar. Bu nedenle yakıt içindeki radyoaktif maddelerin dışarıya çıkması sırasıyla seramik yakıt, yakıt tüpü, basınç kabı, çelik gömlek ve beton korunak binası tarafından aşamalı bir şekilde engellenmiş olur (URL-79). Basınç kabı 20-25 cm et kalınlığında çelikten imal edilmiş olup çelik yapılı özel betondan imal edilen koruma kabı ise yaklaşık 1 metre kalınlığında beton bir kabuk şeklinde reaktörü korumaktadır. Yeni tip reaktörlerde iki tane dış koruma kabı vardır ikinci koruma kabı 1-1,5 metre kalınlığı ile 400 tonluk

uçak çarpması gibi bir kaza durumunda bile reaktör koruma kabına büyük dayanıklılık sağlamaktadır (URL-82).

Güvenlik sistemleri tasarlanırken, hedeflenen fonksiyonu tam olarak yapabilmesi için; 1-“Tek arıza kriteri” ile tek bir arızanın güvenlik sistemlerinin fonksiyonlarının engellenmesinin önüne geçilir.

2- “Yedeklilik ilkesi” ile hedeflenen güvenlik işlevini yerine getirebilecek farklı ya da aynı nitelikte soğutma sistemindeki su pompası gibi cihaz veya sistemlerin birden fazla olması sağlanır.

3-“Farklılık ilkesi” ile yedek donanım veya sistemlerin birbirlerinden farklı özelliklerde olması amaçlanır (farklı çalışma prensipleri ya da veya farklı üreticilerden alınmış olmaları gibi).

4-“Fiziksel ayrılık ilkesi” ile ortak sebepli arızaların önüne geçmek amacıyla, yedek sistemler fiziksel bakımdan birbirinden farklı yerlerde kurulurlar. Bununla aynı dış etkenlerden kaynaklı tüm yedeklerin fonksiyonlarını kaybetmeleri engellenmiş olur.

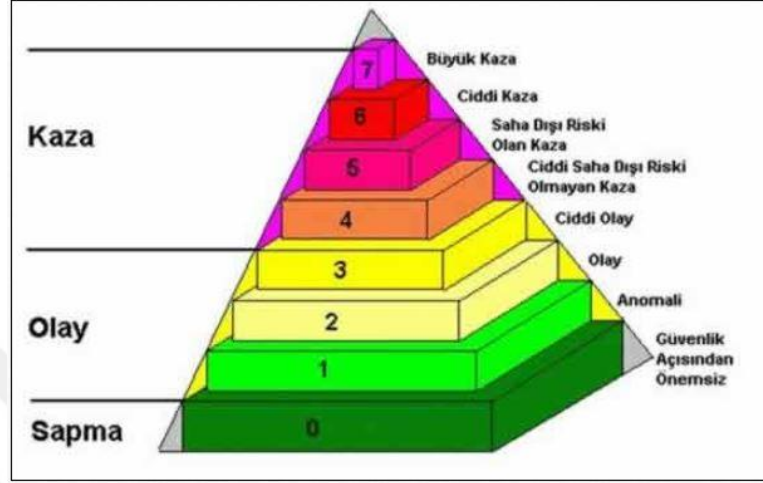
Ayrıca yeni tip reaktörlerde muhtemel bir kazada eriyen yakıtı tutmak için reaktör kalbinin altında kor kabı (core catcher) denilen başka bir bileşen bulunmaktadır (URL-82).

Nükleer reaktörlerde kontrol altında enerji üretimi sağlanabilmektedir. Reaksiyondaki nötronları yutan kadmiyum ve bor gibi maddeleri bünyesinde bulunduran kontrol çubukları yardımıyla reaksiyonlar kontrol altına alınır. Kontrol çubuklarını hareket ettiren sistem arızalansa bile bir bomba gibi patlamaz reaktör kalbinin erimesine ve dolayısı ile reaksiyonun azalıp zamanla sönmesine yol açar (Özemre vd., 2000). Bu durumda da basınç ve koruma kabı devreye girerek radyasyonun dışarıya sızması sağlanır.

4.1.8 NGS kazaları

Tüm elektrik üretimi santrallerinde olduğu gibi nükleer santrallerde de bazı işletme arızaları olabilmektedir. Bir nükleer santralda işletme esnasında meydana gelen anormal bir olayın kaza olarak sınıflandırılabilmesi için ya reaktör kalbinde hasar meydana gelmesi ve/veya radyoaktif maddenin atmosfere salınması gerekmektedir.

IAEA tarafından 1990’da oluşturulan INES (Uluslararası Nükleer ve Radyolojik Olay Ölçeği) nükleer santrallerde meydana gelen anormal işletme hallerinde hangi durumda sapma, olay ve kaza olarak tanımlanması gerektiğini açıklamaktadır (URL-83). Şekil 4.7’de IAEA’nın belirlediği sapma, olay ve kaza tanımları yer almaktadır (URL-79).



Şekil 4.7. Sapma, olay ve kaza tanımları.

Yarım asırdan fazla faaliyette olan nükleer santrallerde çevresel etkileri ve güvenlik açısından detaylı olarak incelenmesi gereken 3 kaza vardır. Bunlar ABD’de 1979 yılında meydana gelen Three Mile Island (TMI), 1986 yılındaki Sovyet Rusya’da Çernobil ve 2011 yılında Japonya’da ki Fukuşima nükleer santral kazasıdır.

NGS kazalarının basın kuruluşlarınca abartılarak sunulmasından ve halkın konu hakkında fazla bilgisi olmamasından dolayı kamuoyunda nükleer enerjiye karşı bir tepki bulunmaktadır. Yapılan araştırmalara göre nükleer santrallerin yapılmasına halkın eğitim seviyesi arttıkça destek çoğalmaktadır (Palabıyık vd., 2010). Bu sebeple televizyon kanalları, internet, broşür, toplantı gibi tüm imkânlar kullanılarak özellikle NGS kurulması planlanan yöredeki halk bilgilendirilmeli, riskler açık bir şekilde anlatılmalı ve temsilciler seçilerek yurt dışına seyahatlerle çalışan santraller ve çevresindeki yaşam yerinde gösterilerek halk ikna edilmelidir.

Three Mile Island (TMI) kazası:

TMI Nükleer Santrali, ABD bulunan, iki adet basınçlı su reaktörünün yer aldığı bir nükleer santraldir. 28 Mart 1979 tarihinde Kaza 2. ünitedeki reaktör %97 güç ile

çalışırken meydana gelen kazada, ikincil çevrimdeki basit bir arıza ilk çevrimdeki soğutucunun sıcaklığının yükselmesine sebep olmuş ardından reaktör kendini otomatik olarak kapatmıştır. Bu esnada basınç düşürme vanası kapanmamış ve ilk çevrimdeki soğutucu kaybedilmiş ardından bozunma ısısı reaktörde kalmıştır. Çekirdek ciddi derecede zarar görmüştür. Reaktörün planlanmamış olan bu şekilde kapanmasını operatörler iyi analiz edememiş ve doğru bir karar verememiştir. Kazanın temel sebepleri noksan kontrol odası araçları, yeterli olmayan acil durum müdahale eğitiminden kaynaklı operatör hatası olarak görülmektedir (URL-84).

Nükleer santrale yaklaşık 20 km mesafede yaşayan insanların maruz kaldığı doz ortalama 0.08 mSv olarak gerçekleşmiştir (URL-84). Alınan bu doz doğal radyasyon düzeyinin çok altındadır (Külebi, 2007). TMI kazasında çevreye yayılan radyoaktivite 1986 yılında meydana gelen Çernobil kazasından 1 milyon kat daha azdır. Ancak dünyada bu kaza sonrası nükleer karşıtı hareketler güçlenmiştir (Comby, 2006). 1963 ile 1979 yılları arasında nükleer santral yapımı sürekli artış gösterirken bu kaza sonrasında yalnızca ABD’de 51 adet nükleer reaktörün yapımından vazgeçilmiştir (Bakır, 2013).

TMI nükleer santral kazasında, normal bir arıza, ekipman kaybedilmesi ve operatör hatasıyla kazaya dönüşmüş, kısmen reaktörde kor erimesi olmuş ancak reaktörün içinde yer aldığı koruyucu beton kabuk çevreye fazla miktarda radyasyon sızıntısını önlemiştir. Bu kaza INES sistemine göre değerlendirilmiş ve seviyesi 5 olarak belirlenmiştir (URL-83).

Kazadan sonra nükleer santrallerin daha güvenli olarak çalışması amacıyla tasarım ve işletmede ciddi değişiklikler yapılmıştır. Ayrıca bu kaza ile nükleer santrallerin ne kadar güvenli olduğunun test edilip kanıtlanmıştır. Ancak bu olay pahalı bir deney olarak değerlendirilebilir (Külebi, 2007).

Çernobil kazası:

Ukrayna’nın Kiev şehrine (o yıllarda SSCB) 130 km mesafede yer alan Çernobil NGS 4. reaktöründe 26 Nisan 1986 tarihinde meydana gelen, tarihte yaşanmış en büyük ve sonuçları itibariyle etkisi fazla olan bir NGS kazasıdır.

Çernobil'deki NGS, Sovyet tasarımı, RBMK-1000 tipinde, moderatörü (yavaşlatıcı) grafit, yakıtı hafif zenginleştirilmiş uranyum olan, basınç tüpü sistemi ile kaynamalı hafif su reaktörüdür. Meydana gelen kaza aslında santralde, temel güç kaynağının kaybedilmesi halinde türbinlerin ana pompalara ne kadar daha süre güç sağlayacağını belirlenmesi için yapılan bir deneyde bazı sistemlerin kapatılmasıyla kontrol edilemeyen süreç ve hatalarla dolu müdahaleler sonucunda oldu. Operatörler reaktörü kapatmak istediğinde, reaktör kararsız bir durumda idi ve değişik tasarıma sahip kontrol çubukları reaktöre girdiğinde güç artışı meydana gelmiştir. Soğutucu suyla ile sıcak yakıt çubukları temas edince yakıt çubuklarının parçalanmasına ve çok fazla buhar üretilmesi sonucunda basıncın artmasına neden olmuştur. Basınç çok fazla artınca reaktörün ağırlığı 1.000 ton olan üst kapağı basınca dayanamayarak ayrılmış ve yakıt kanalları zarar görmüştür. Çekirdeği tamamını aşırı buhar kaplamış ve radyoaktif ürünlerin atmosfere saçılmalarına neden olan, sebebi oluşan hidrojen gazının olduğu tahmin edilen buhar patlaması meydana gelmiştir. 2-3 saniye sonra meydana gelen ikinci patlamada ise sıcak grafitle yakıt kanalları etrafa dağılmış ve çevreye ciddi radyasyon salınmasına sebep olmuştur (URL-85).

INES sistemine göre 7. seviye olarak belirlenen kaza, devlet yetkilileri tarafından halka ve dünyaya haber verilmemiş, 2 gün sonra İsveç'te bulunan nükleer santrallerde atmosferik radyasyonun anormal derecede yüksek ölçüldüğünün bildirilmesi üzerine Sovyet yetkilileri kazanın olduğunu kabul etmek zorunda kalmışlardır (Comby, 2006).

Kazanın hemen ardından reaktöre ortalama 250 ton/saat su verilmiş ancak 1. ve 2. numaralı üniteleri su basmaması için 12 saat sonra bu işlem durdurulmuştur. İlk on gün içerisinde reaktördeki yangını söndürmek ve radyoaktif maddelerin salınımını engel olmak için 5.000 ton kum, dolomit, bor, kil ve kurşun helikopterler vasıtasıyla yanan çekirdeğin üstüne atılmıştır. Kazaya müdahaleye gelen çalışanların ilk günde maruz kaldıkları radyasyon tahminen 20.000 mSv dozudur. 1986 yılı haziran sonu itibarıyla 28 kişi ölmüştür. Sahada temizlik yapan 200.000 kişi ortalama 100 mSv doz radyasyon almıştır. 250 mSv üzeri radyasyon alan kişi yaklaşık 20.000 ve birkaç kişi de 500 mSv'dir. En yüksek dozu 1000 acil durum çalışanı almıştır. Alınan doz genelde sezyum-137 ve kısa yarı ömre sahip iyot-131 tarafından salınan radyasyondur. Pripyat kentinde yaşayan insanlar 27 Nisan günü boşaltılmış, 30 km çapındaki bölge ise 14

Mayıs'ta boşaltılmaya başlamıştır. Boşaltılan bölgelerde hayatını sürdüren insanların büyük çoğunluğunun aldığı doz 50 mSv'nin altındadır (URL-85).

Kazadan başta SSCB, Almanya, ABD, Avusturya, İsveç, Danimarka, Polonya İtalya, Yunanistan ve Türkiye gibi birçok ülke etkilenmiştir (Bakır, 2013).

Kazanın ardından nükleer güç santrallerinin kapatılması düşünülse de hiçbir yerde kapatılmamıştır (Biçici, 2008). Çernobil kazası, nükleer enerjinin dönüm noktalarından biri belki de en önemlisidir. Çünkü birçok ulusal ve uluslararası açıklamalar yapılmış olsa da olayın sebep olduğu ölüm sayısı ve kontaminasyonların sonuçları hala tartışılmaktadır. Bir tarafta olayı atom bombasına benzetenler diğer tarafta ilk müdahale ekibi haricindeki insanlara etkilerinin fazla olmadığını savunanlar bulunmaktadır.

1996 yılında 71 ülkeden yüzlerce uzmanın katılımıyla 1996 yılında yapılan konferansta, bölgede yaşayan çocuklar üzerinde önemli oranda tiroid problemleri olduğu tespit edilmiştir. 2008 yılında BM tarafından yayımlanan rapora göre Çernobil kazasında açığa çıkan radyasyon sebebiyle 64 kişi ölmüştür (Bakır, 2013). Atom Radyasyonunun Etkilerine İlişkin Birleşmiş Milletler Bilim Komitesi (UNSCEAR) tarafından 2011 yılında açıklanan rapora göre, kazadan sonraki ilk yirmi yılda radyasyonlu alanlarda kalmaya devam edenlerin 9 mSv doz aldığı bunun da tek bir bilgisayarlı tomografi taramasından alınan doz kadar olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, radyasyon hastalığından 106 hasta kurtularak sağlığına tamamen kavuştuğu, bu hastaların birçoğunda kazadan sonraki ilk birkaç yıl içerisinde radyasyona bağlı katarakt geliştiği, 1987-2006 yılları arasında 19 kişinin çeşitli nedenlerle öldüğü, ancak bu ölümlerin bazılarının radyasyona maruz kalmayla ilişkisinin olmadığı açıklanmıştır (URL-86).

Bu kazanın meydana gelmesinin başlıca sebepleri; reaktörün koruyucu dış kabuğunun olmaması, acil durum kapatma çubuklarının reaktör kalbine 30 saniye gibi geç sürede alınması (batı tipi reaktörlerde bu süre 1 saniye), birçok güvenlik sisteminin kaza anında çalışmaması ve işletme hataları sayılabilir. Çevresel ve insan sağlığı üzerindeki etkilerinin fazla olmasının başlıca sebepleri ise, Sovyet yetkililerinin kazayı geç haber vermesiyle olayın ciddiyetini halktan ve dünyadan saklaması, bölgede yaşayan insanların tahliyelerinin zamanında yapılmaması, özellikle kazaya ilk müdahale eden

insanlara gerekli eğitim ve korumalı elbiselerin verilmemesi ve iyot tabletlerinin dağıtılmamasıdır (Comby, 2006).

Kazadan etkilenen bir ülke olarak Türkiye’de de hala tartışmalar devam etmektedir. Özellikle Karadeniz Bölgesinde kanser vakalarının arttığı, çay ve fındığın kontamine olduğu ve tüketicilere bu haliyle satıldığı iddiaları dillendirilmektedir. Oysa 2010 yılında, TBMM Kanser Araştırma Komisyonunda, TAEK Fizik Yüksek Mühendisi Ayşe Gönül tarafından yapılan sunumda, bilimsel verilere göre Çernobil’in kanser konusunda aklandığı belirtilmiştir (URL-87).

Çernobil kazasının en önemli etkisinin, olayın basın aracılığıyla şişirilmesi üzerine, kendisini risk altında olduğunu hisseden insanların akıl sağlığı üzerinde yaptığı etkidir. Kazadan yıllar sonra reaktör beton bir lahitle kapatılıp radyasyon sızıntısı kesilmiştir. Olay yerinde 15 yıl sonra yapılan radyasyon ölçümlerinde mevcut radyasyonun normal arka plan radyasyonunun 20 katı olduğu, bunun da insanların sağlıklı bir şekilde yaşadığı dünyanın en radyoaktif yerlerinden biri olan Brezilya Guarapari’deki seviyeden 20 kat az olduğu tespit edilmiştir.

Fukuşima kazası:

11 Mart 2011 tarihinde Japonya’da 8,9 şiddetinde bir deprem ve ardından 10-15 metre yüksekliğe ulaşan tsunami, Fukuşima nükleer güç santralının elektrikle çalışan sistemlerine zarar vermiş ve soğutma sistemlerinin devre dışı kalmasına sebep olmuştur. Bu olayların ardından hidrojen gazı birikmesiyle patlamalar meydana gelmiş ve radyasyon sızıntıları olmuştur. Aslında deprem olunca tüm reaktörlerde kapanma işlemi gerçekleşmiş, güvenlik sistemleri başarıyla çalışmış, reaktörlerdeki bozunma ısısını sistemden almak için soğutma sistemleri de enerjiyi sağlayan dizel jeneratörler normal bir şekilde çalışmıştır. Ancak tasarımda öngörülenden daha şiddetli bir tsunaminin gerçekleşmesi ile dizel jeneratörler devre dışı kalmıştır. Hemen ardından yedek bataryalar devreye girmiş bunlarında tükenmesi sistemin soğutulamamasına sebep olmuştur. Kaza INES sistemine göre 5. seviye olarak belirlenmiştir. İlk anda 3 kişi ölmüştür. Kazadan itibaren kademeli olarak 20 km yarıçapında alan tahliye bölgesi ilan edilmiş yaklaşık 80.000 kişi tahliye edilmiştir (Tombakoğlu vd., 2011; URL-88).

Kazada 167 kişi 100 mSv üzeri, 6 çalışan ise 250 mSv üzeri radyasyona maruz kalmış ancak bu değerler akut radyasyon hastalığına sebep olmamıştır (URL-89).

Kazadan sonra atmosfere karışan radyoaktif maddelerin Japonya'dan başka Amerika ve Kanada'nın batı kıyıları gibi uzak mesafelere kadar ulaştığı tespit edilmiştir (Kaya, 2013).

Kazanın temel sebebi, Tsunami dalgalarının yüksekliğinin hatalı bir öngörüyle yanlış hesaplanması ve öngörülenden daha yüksek olan dalgaların su nleme yapılarını aşarak yedek enerji sağlayan dizel jeneratörlerin suyun altında kalmasıyla soğutma sisteminin devre dışı kalmasıdır. Sonuç itibariyle problem, nükleer enerjiden değil, tasarımın yanlış yapılması sebebiyle insan kaynaklıdır.

Fukuşima NGS kazası sonrasındaki gelişmeler ilk başta dünyada nükleer enerji kullanımını yavaşlatacakmış gibi görünse de kısa süreli bir duraksamanın ardından enerji güvenliğinin sağlanması amacıyla nükleer santral çalışmaları devam etmiştir. Japon Meclis Araştırma Komisyonu kamuoyuna açıkladığı raporda, insan hatası sebebiyle meydana gelen kazanın önlenebilir bir felaket olduğu belirtilmiştir (iek, 2012).

Ayrıca kaza sonrasında nükleer enerji karşıtı lobilerin güçlü olduğu Almanya, 10 nükleer reaktörü kapatmış ve kalan 7 reaktörü ise 2021 yılında kapatacağını duyurmuştur. Japonya, kazanın ardından tüm nükleer güç santrallerinde yenilenen güvenlik standartlarını dikkate alarak denetlemek amacıyla geçici olarak durdurmuş, 2018 yılı itibariyle 5 nükleer reaktörü tekrar çalıştırmaya başlamış ve diğer nükleer santralleri de devreye almak için çalışmalarına devam etmektedir (URL-90).

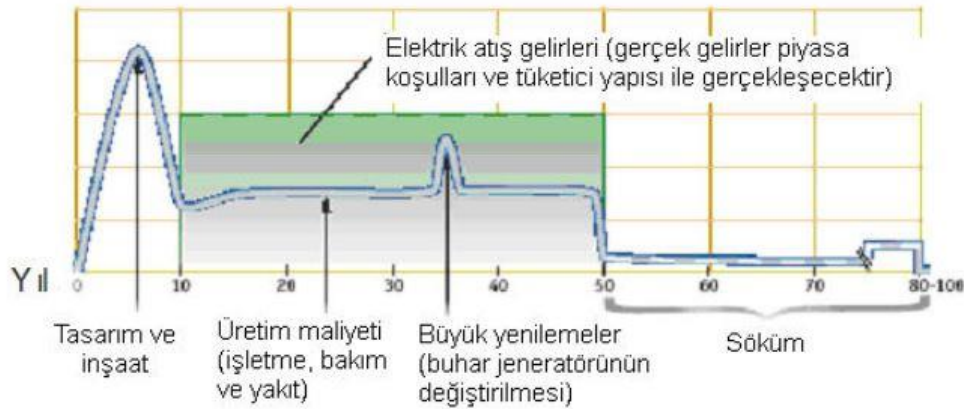
Nükleer santrallerini hemen kapatmaya başlayan Almanya gibi bazı ülkelerin yanı sıra İsviçre'de sahip olduğu 5 nükleer santrali 2034'e kadar kapatacağını açıklamıştır. Aslında belirtilen tarih söz konusu nükleer santrallerin kullanım ömrünün dolduğu yıllardır (URL-91). İsviçre'de kapatılacağı belirtilen nükleer santrallerin dolayısıyla nükleer santral teknolojisinin aslında tehlikeli olmadığını, kamuoyu baskısıyla böyle bir kararın alındığını, nükleer santralin ekonomik ömrünü tamamlamasının ardından ve kazadan 23 yıl sonra kapatılacağı gibi manidar bir tarih verilmesi ispatlamaktadır.

4.1.9 NGS maliyeti

NGS konusunda en çok tartışılan konulardan biri de hiç şüphesiz maliyettir. Bu tez çalışmasında, maliyetler, enerji ekonomisi yaklaşımıyla detaylandırılmayacak, kaynaklardan edinen genel bilgilerle yetinilecektir.

Nükleer enerjinin, yüksek yatırım ve düşük üretim maliyeti, yakıt fiyatları değişikliğinden etkilenmemesi, uzun süren işletme ömrü ve maliyet düzenleyici özellikleri vardır. Nükleer güç santralleri, ilk yatırım maliyetini amorti ettiğinde serbest piyasada rekabet edebilecek hale gelmektedirler (URL-92). Proje maliyeti, reaktörün yeri, tipi, gücü, kredi şartları, kanuni ve kurumsal koşullar olmak üzere pek çok etkene bağlıdır (URL-93).

Şekil 4.8’de nükleer santralin ömrü boyunca maliyetleri ve gelirleri gösterilmektedir (URL-92).



Şekil 4.8. Nükleer santralin ömrü boyunca maliyetleri ve gelirleri

dünyada NGS yapım süresi ortalama 6-7 yıldır (URL-93). Elektrik üretim maliyeti genelde, yatırım, işletme-bakım ve yakıt maliyetleri olmak üzere üçe ayrılır. Yatırım maliyetlerini tasarım, inşaat, büyük yenileme ve söküm maliyetleri; işletme ve bakım maliyetlerini, yatırım ve yakıt dışındaki tüm maliyetler; yakıt maliyeti ise yakıt çevrimi ile ilgili uranyum zenginleştirmeden nihai depolamaya kadar olan faaliyetler kapsar (URL-92).

Nükleer santral elektrik üretim maliyeti oranları yaklaşık olarak, % 60 yatırım (sökme dâhil), %20 işletme-bakım ve %20 yakıt oluşturmaktadır (URL-92). Bu oranlar nükleer santralin tipine, yapım şartlarına, yerine ve yakıtın elde ediliş şekline göre değişiklik gösterebilmektedir.

NGS ilk yatırım maliyeti seçilen teknolojiye ve ülkeye göre değişmekle birlikte 1.500-3.500 \$/kW, kömürde 1.300-1.500 \$/kW, doğalgazda ise 500-700 \$/kW arasında değişmektedir. İlk yatırım maliyetini en çok inşaat süresinin uzunluğu etkilemektedir (Külebi, 2007).

2004 yılında, Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (MIT) tarafından yapılan bir hesaplama göre tipik bir LWR NGS modelinin lisanslama, yapım ve üretim olarak toplam maliyet analizinde atık yönetimi, bertarafı ile sökme işlemlerini de dikkate alarak bir nükleer santralde üretilen elektriğin ortalama maliyetinin yaklaşık 6,7 cent/KWh olduğu belirlenmiştir (Yavuzaslan, 2009).

Dünya Nükleer Derneği (WNA) verilerine göre, OECD tarafından hazırlanan, değişik ülkelerdeki, 2015 yılı için %10 iskontolu, farklı enerji kaynaklarına göre elektrik üretim maliyetleri çizelge 4.4'te gösterilmektedir (URL-94).

Çizelge 4.4. OECD'nin 2015 yılı için hazırladığı elektrik üretimi maliyetleri.

Ülke	Nükleer cent / kWh	Kömür cent / kWh	Gaz cent / kWh
Belçika	11.6	9.4	10.6
Çek Cumhuriyeti	-	-	-
Fransa	11.5	-	10.1
Almanya	-	8.5	10.6
Macaristan	12.5	-	10.5
Japonya	11.3	11.9	14.3
Kore	4,2-4,8	7,1-7,4	-
Hollanda	10.5	10.0	-
Slovakya	11.6	-	-
İsviçre	-	-	-
ABD	10.2	10.4	7.1
Çin*	5.7	8.2	9.5
Rusya*	-	-	-

Nükleer santrallerde 1 kg uranyumdan elde edilen enerji için 3.000 kömür ya da 2.700 m³ petrol gerekmektedir (URL-95). Enerji ihtiyacının büyük bir kısmını ithal eden Türkiye için küçük miktarda uranyumun ithali, büyük miktardaki ve yüksek maliyetli kömür, petrol ve doğalgazın ithalinden daha caziptir. Nükleer enerji teknolojisi kurulup altyapısının gelişmesiyle teknoloji transferi de mümkün olmaktadır. Bir diğer önemli husus ise “Doğrudan Maliyet Tasarrufudur”. Düşük maliyette elektriğin sağlanması yeteneğini ifade eden bu husus sürdürülebilir kalkınma açısından önemlidir (Külebi, 2007).

Yalnızca dışsal maliyetler (radyoaktif etki-kaza riski) dikkate alındığında nükleer enerjiyle sadece hidroelektrik ve rüzgâr enerjisi rekabet edebilmektedir. Yakıt maliyeti düşük olan nükleer enerjide santrallerin verimlilik düzeyi arttıkça dışsal maliyet azalır, fosil yakıt maliyetleri ise sürekli artmaktadır (Yavuzaslan, 2009).

Türkiye özelinde bakılacak olursa, yılda yaklaşık 35 milyar kWh elektrik enerjisi üretecek olan Akkuyu nükleer santralindeki bu miktarda bir enerji doğal gazdan elde edecek olsa 8 milyar metreküp doğal gaz ithal edilmesi ve bunun için de yılda 3.6 milyar dolar ödenmesi gerekecektir. Dolayısıyla, doğal gaz ithal etmek için 6 yılda ödenecek para ile Akkuyu’da 4 üniteli nükleer enerji santrali kurulabilmektedir. Akkuyu’da üretilen elektrik ortalama %50’si 12,35 ABD cent/kWh’den satın alınacaktır ve bu fiyat 2037 yılına kadar geçerli olacaktır. Günümüze indirildiğinde bu fiyat 6,35 ABD cent/kWh’e denk gelmektedir. Bu fiyatta eskalasyon ve hazine garantisi bulunmamaktadır (URL-96). Akkuyu’da kurulması planlanan 4 adet nükleer reaktör, VVER-1200 tipi, 3. Nesil NGS Projesi, yaklaşık 20 milyar ABD \$ maliyetle yapılacaktır. Bu bedel Rus sermayesi olmakla birlikte tüm riskler Rus tarafında olmak şartıyla Türkiye’ye aktarılmaktadır (URL-95). Bu verilerin dünya enerji piyasası örnekleriyle karşılaştırılmasıyla Türkiye’nin yaptığı anlaşmanın aslında pahalı olmadığı söylenebilir. Çok stratejik bir öneme sahip bu santralin, özellikle ilk defa kurulacak olması ve nükleer enerjiye sahip olarak bir üst lige Türkiye’yi çıkarması yeterli sebep olarak karşımıza çıkmaktadır.

Diğer bir nükleer hammadde de toryumdur. Türkiye dünyanın en zengin toryum yataklarına sahip ülkelerden biridir. Nükleer hammaddenin stoklanabilir olması, onun petrol gibi ekonomik silah olarak kullanılmasını imkânsız hale getirir (ÇOB, 2004).

Nükleer enerji santrallerinin, diğer enerji santralleri ile karşılaştırıldığında sermayede olmasa da işletme maliyetlerinde gün geçtikçe avantajlar sağlayacağı beklenmektedir (Yavuzaslan, 2009).

Yıllık yakıt miktarının az ve toplam işletme maliyeti içerisindeki yakıt maliyet payının düşük olması ve uranyum kaynaklarının dünyanın farklı bölgelerine dağılmış olarak bulunması, nükleer enerjide güvenilirliği elde ederken, ani artış potansiyeli olan petrol ve doğalgaz fiyatlarına karşı da bir teminat olmaktadır (Çiçek, 2012).

Nükleer enerji maliyeti, dünyada 1973 ve 1987 yıllarında meydana gelen ekonomik krizlerden günümüze kadar değişken petrol ve doğalgaz fiyatlarıyla karşılaştırıldığında kararlı bir seyir izlemiştir (Comby, 2006). Bu da enerji gibi vazgeçilmez bir ihtiyacın karşılanmasında ciddi avantajlar sağlamış ve enerji maliyetlerinin bütçeleri sarsacak kadar etkilemesini engellemiştir.

1.000 MW gücündeki bir NGS enerji üretimi için bir yılda 30 ton zenginleştirilmiş uranyum veya 160 ton doğal uranyuma ihtiyaç duyar (Çiçek, 2012). Bu avantaj NGS yıllık yakıt ihtiyacının depolanabilmesini dolayısıyla fiyatlarda artışlar olsa da anlık maliyet artışları yaşanmamasını sağlar.

4.1.10 Nükleer santral karşıtlarının savundukları fikirler

Bu tez çalışmasında, Türkiye’de sürekli artan enerji ihtiyacının karşılanmasında, nükleer santral kurulmasının gereklilik hatta zorunluluk olduğu, nükleer teknolojiyi kullanan ülkelerin kimler olduğundan hareketle, nükleer santrallerin çevresel etkileri ve diğer enerji kaynakları her açıdan değerlendirilerek savunulmaktadır. Ancak nükleer teknolojiye karşı olanların savundukları fikirlere de bu tez çalışmasında yer verilecektir.

Yapılan eleştiriler özetle şunlardır (Kaya, 2013);

1. Türkiye’deki jeotermal, hidroelektrik ve güneş enerjisi potansiyellerinin yeterince değerlendirilmediği,
2. NGS teknolojisinin eskimiş olduğu,
3. NGS yakıtı olarak kullanılan uranyumun da petrol gibi dışarıdan ithal edileceği, uranyum zenginleştirme işleminin pahalı oluşu ve zenginleştirme işlemi yöntemlerinin kirlletici olduğu,

4. Kaza riskinin az olduğu söylenen NGS sigorta şirketleri tarafından neden sigortalanmadığı ve buna cevap verilemediğı,
5. NGS koruma kabuklarının tam güvenilir olmadığı,
6. Nükleer santrallerin sağlığa zararlı olduğı,
7. Nükleer enerji santrallerinden çıkan radyoaktif atıkların nihai bertaraf sorunun olması,
8. Akkuyu'da kurulacak nükleer santralin yerinin enerjiyi yoğun tüketim merkezlerine (özellikle Marmara Bölgesi ve Ege Bölgesi) uzak oluşu sebebiyle, enerji nakil hattı maliyetinin fazla olacağı, nakil esnasında enerjinin önemli ölçüde kayba uğrayacağı, şeklindedir.

Ayrıca, Çernobil gibi büyük bir kaza olması halinde felaket yaşanacağı, NGS yakıtı uranyumun Türkiye'de zenginleştirme işleminin yapılamayacağından dışarıya yine bağımlı olacağımız eleştirisi de yapılmaktadır. Bu eleştirilere bu tez çalışmasının farklı yerlerinde verilerle yeterli ve gereken cevap verilmeye çalışılmıştır.

4.2 Dünyada Nükleer Güç Santralleri

1950'lerde çalışmaya başlayan ticari nükleer santrallerin sayısı, 2018 yılı Ekim ayı itibari ile dünyada 30 ülkede toplam 454 adet olmuştur (URL-3). Toplam 54 tane NGS inşaatı ise 17 ülkede devam etmektedir (URL-4). Günümüzde 454 nükleer santral aktif olarak çalışmakta ve dünya elektriğinin yaklaşık %11'ini üretmektedir (URL-61). 2017 yılı itibariyle elektrik ihtiyacının yaklaşık %72'sini nükleer enerjiden karşılayan Fransa oransal olarak dünyada en çok bu enerjiyi kullanan ülkedir. Onu sırasıyla %55'le Ukrayna ve %54'le Slovakya takip etmektedir. Elektrik enerjisinin üçte birinden fazlasını nükleerden karşılayan ülkeler ise Macaristan, Belçika, Slovenya, İsveç, İsviçre, Bulgaristan, Finlandiya ve Çek Cumhuriyeti'dir (URL-97). Şekil 4.9'da enerji üretimi güçlerine göre dünya nükleer santral haritası verilmektedir (URL-98).

Avrupa ülkelerinin birçoğunun yeni nükleer santral inşasından vazgeçtiği tam olarak doğru değildir. Bu ülkeler uyguladıkları enerji stratejileri göz önüne alındığında enerji açıklarının birçoğunu Fransa'dan ithal ettikleri görülür. Fransa, toplam enerji üretiminin yaklaşık dörtte üçünü nükleerden sağlamakta, aynı zamanda nükleer enerji ihracatçısı bir devlet konumunda bulunmaktadır (Yıldırım & Örnek, 2007).

3. nesil reaktörler, Rusya, Güney Kore, Çin, ABD, Finlandiya, BAE ve Fransa'da inşa edilmeye devam etmektedir. 1979 yılından sonra ilk kez ABD'de 5 nükleer santral ünitesi inşaatına başlanmıştır. Dünyanın en çok kömür tüketen ülkeleri olan Rusya, Çin, Hindistan ve Güney Kore'nin nükleer enerji kapasitelerini 2040 yılına kadar büyük oranda arttırmayı planlamaları, Türkiye, Polonya, Bangladeş, Kazakistan ve Ürdün gibi 45 ülkenin yeni NGS yapma isteklerini devam ettirmeleri, Beyaz Rusya ve Birleşik Arap Emirlikleri'nde ilk nükleer enerji santrali inşaatlarının devam ediyor olması nükleer enerjiye olan talep ve ilginin devam ettiğini göstermektedir (URL-100).

Kişi başına düşen milli geliri 20 bin dolar civarında olan Güney Kore, sahip olduğu nükleer santrallerin sayesinde, fosil yakıt ihtiyacının azalması sebebiyle yılda 14 milyar dolar tasarruf etmektedir. Finansal problemlerin çözümü ve sanayileşmesi nükleer güç sayesinde olan ülke, Türkiye için iyi bir örnektir. Türkiye yapmaya başladığı nükleer güç santralini, nükleer teknoloji transferine çevirmeyi başarabilirse belli bir sürede Güney Kore seviyesine yükselebilir ve dünyada sözü geçen bir ülke haline gelebilir (URL-61).

4.3 Türkiye'de Nükleer Teknolojinin Geçmişi ve NGS Kurma Planları

4.3.1 Türkiye'de nükleer teknolojinin geçmişi

Türkiye'nin giderek artan ve bir başka zenginlik ifadesi olan nüfusunun, çağdaş standartları yakalaması açısından günümüzde nükleer teknolojiye ihtiyacının olduğu ortadadır. Bu amaçla birçok üniversitede çalışmalar yapılmış, yüzlerce mühendis yetiştirilmiş, kendi sektörlerinde iş bulamadıkları için yurt dışında çalışmak zorunda kalmışlardır (Külebi, 2007).

ABD başkanı Eisenhower'ın 1953'teki "Barış İçin Atom" sözü üzerine, Türkiye nükleer enerjiye ilgi gösteren ilk ülkelerden biri olmuş ve 5 Mayıs 1955'te ABD ile "Barış İçin Atom" ikili anlaşması imzalamıştır. Ardından 1956 yılında Çekmece Atom

Araştırma Merkezi'ni (ÇNAEM) oluşturmak ve araştırma reaktörü kurmak için İÜ-İTÜ Reaktör Komitesi faaliyetine başlamış aynı yıl TAEK (o zamanki kısa adı AEK) kurulmuştur. 1957 yılında IAEA üyesi olunarak devam eden süreçte 1959 yılında 1 MW güce sahip TR-1 reaktörünün inşasının ABD'li bir firmaya ihalesiyle çalışmalar hızlanmıştır. 1962 yılında, Türkiye'nin TR-1 adındaki havuz tipi deney reaktörü hizmete girmiştir. Aynı yıl ÇNAEM faaliyetlerine başlamıştır (Uyar, 2009). 1970 yılında, TEK (Türkiye Elektrik Kurumu) kurulmuş, 1971'de ise TEK Nükleer Santraller Dairesi faaliyetlerine başlamıştır (Bakır, 2013). Ayrıca İTÜ'de 1979 yılına kadar TRIGA-Mark-II araştırma reaktörü 17 yıl çalıştırılmıştır. 1981 yılında ise radyoizotop üretmek için 5 MW gücündeki TR-2 adlı reaktör hizmete başlamıştır. 1984 yılına gelindiğinde Türkiye OECD'nin bağlı kuruluşu NEA'ya üye olmuştur (Uyar, 2009).

Türkiye'de ticari olarak NGS kurulması için birçok ihale ve çalışmalar yapılmış ancak 2018 yılında Akkuyu'da Rusya ile varılan anlaşma gereğince temel atılana kadar değişik sebeplerle sonuca ulaşılamamıştır.

1968-1969 yıllarında ABD ve İspanya firmalarına yaptırılan fizibilite sonucu 400 MW Candu tipi NGS önerilmiş ancak finans problemleri nedeniyle gerçekleştirilememiştir (Külebi, 2007). 1973 yılında 80 MWe gücünde prototip santral projesi daha büyük bir santral kurulmasına karar verilmesi sebebiyle iptal edilmiştir. 1977'de yapılan NGS ihalesini İsveç'li ASEA-ATOM isimli firma kazanmış ancak 1980'deki askeri darbe sebebiyle İsveç hükümeti tarafından kredi verilmeyince projeye başlanılamadı. 2 yıl sonra 1982 yılında yapılan ihalede ise, hükümet Yap-İşlet-Devret modelinde ısrar etmiş ve üretilecek elektriğe hazine alım garantisi vermemiş bu nedenle bu girişim de başarısızlıkla sonuçlanmıştır. 1997'de yapılan ihaleye 2000 yılında meydana gelen ekonomik kriz sebebiyle iptal edilmiştir (URL-101).

Türkiye'nin yarım asra varan NGS kurma hayali, Rusya ile 12 Mayıs 2010 tarihinde imzalanan anlaşmayla gerçekleşmeye başlamış, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB) tarafından 1 Aralık 2014 ÇED olumlu kararı verilmiştir. Diğer prosedürlerin yerine getirilmesi ile 03 Nisan 2018 tarihinde Mersin Akkuyu'da 4.800 MW güçlü VVER-1200 tipinde dört üniteden oluşan bir nükleer santralin ilk ünitesinin temeli Rusya Devlet Başkanı Vladimir PUTİN ve Türkiye Cumhurbaşkanı Recep Tayyip ERDOĞAN tarafından törenle atılmıştır. Türkiye'de ikinci NGS projesinin Sinop'ta

kurulması amacıyla 3 Mayıs 2013'te Japonya ile anlaşma imzalanmıştır. Bu santralle ilgili çalışmalar sürdürülmektedir (URL-90; URL-95).

Türkiye nükleer teknoloji konusunda üyesi olduğu ve üye olmak için müracaat ettiği birçok uluslararası kurum ve kuruluşla çalışmalarını sürdürmektedir. Bunlardan birisi de CERN (Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi) projesidir.

CERN, 2. Dünya Savaşı sonrası Avrupa'nın ABD'ye fizik alanında yetişmesi için ilk başta 12 Avrupa ülkesinin bir araya gelmesiyle 1954 yılında kurulmuştur. Günümüzde üye sayısı 22'ye ulaşmıştır. CERN projesinde Türkiye'ye 1961 yılında ilk defa gözlemci statüsü verilmiştir. Uzun yıllar sonra 06.05.2015 tarihinde Türkiye CERN'e ortak üye olmuştur (URL-102).

Türkiye'nin CERN'e tam üyeliği henüz gerçekleşmemiştir. Bunun sebepleri Türkiye basınında sürekli tartışılmaktadır. Yeni Şafak Gazetesi'nin 27 Aralık 2018 tarihli sayısında yapılan röportajda Prof. Dr. Süleyman Sultansoy, "Türkiye'nin toryum rezervi açısından dünyada 2. olduğunu, CERN'e üyelik sürecinde Bizans oyunları oynandığını, Türkiye ile müracaat eden ülkelerin tam üye olduğunu, Güney Kıbrıs'ın da gelecek yıl (2019) tam üye olmasıyla Türkiye'nin tam üyeliğinin zorlaşacağını" belirtmektedir (Sultansoy, 2018).

Türkiye'nin nükleer enerjiye geçme çabaları bazen içerden kaynaklı sebeplerle, bazen diğer ülke ve kurum/kuruluşların engellemeleriyle sürekli ertelenmiş, 21. yüzyılın ilk çeyreği biterken hala nükleer teknolojinin imkânlarından faydalanılamamıştır. 2018 yılında temelleri atılan Akkuyu NGS planlandığı şekilde 2023'te çalışmaya başladığında sadece elektrik üretilmeyecek, nükleer teknolojinin diğer dallarda da kullanılması yaygınlaşacak ve yetişmiş personelin artmasıyla nükleer bilgiye tecrübe de eklenerek sürdürülebilir kalkınma ortamı daha kolay sağlanacaktır.

Bir NGS yapımında kullanılan parça sayısı yaklaşık olarak 550 bin civarındadır. Türkiye'de faaliyete başlayacak olan bir NGS, kullanılacak malzemelerin tedarik edileceği diğer sektörlerle de sağlayacağı istihdam imkânı ve dinamizmle ülke sanayisine ciddi derecede katkı sağlayacaktır. Nükleer santral yapım aşamasının başlamasıyla, insan kaynağının geliştirilmesi noktasında da ilerleme kaydedilmiş, Rusya'ya mühendis eğitimi almaya gönderilen 248 öğrenciden 35'i mezun olmuş

durumdadır. Akkuyu NGS faaliyete başladığında Projesi kapsamında farklı kademelerde çalışmaya başlayacaklardır (URL-90).

4.3.2 Türkiye’de kalkınma planlarında NGS kurma ve planları

Planlama, sahip olmak istenen hedeflere ulaşmak amacıyla gelecekteki bir zaman dilimini ele alıp önceden belirlenen eylemler ve kararlardır. Türkiye’de 1960 yılından itibaren ekonomik, kültürel ve sosyal kalkınmanın hızlandırılması, tatbik edilen politikaların uyumu, toplumsal ve kültürel dönüşümün yönlendirilmesi ve ekonomiye kamu müdahalesinin sağlanması amacıyla Kalkınma Planlarının hazırlanması ve uygulanması düşüncesi benimsenerek yürürlüğe konmuştur (Kaya, 2013).

Toplumsal ve ekonomik kalkınmanın temel taşlarından olan enerji, 1970’li yıllardan bugüne sürekli dünya gündemini meşgul etmekte ve uğruna savaşlar yapılmaktadır. Bu kapsamda, enerji, ekonomik büyümedeki önemli rolü ile kalkınma programlarında vazgeçilmez bir etkidir. Enerji planlaması, enerji kaynaklarının tükenmeye başladığı, enerji fiyatlarının sürekli artış eğiliminde olduğu, enerji kullanımından kaynaklı çevre sorunlarının çoğaldığı bir dönemde, özellikle enerji ithal kaynaklara bağımlı, kaynakları kıt, yetersiz döviz kaynaklarına sahip ülkeler için yararlı ve zorunlu bir araç olarak görülmektedir (Bahar, 2005).

Türkiye’de, bugün itibariyle 1963 ile 2018 yıllarını kapsayan toplam 10 adet Kalkınma Planı hazırlanmıştır. Bu bölümde, kalkınma planlarında nükleer enerjiye ne kadar yer verilip verilmediği ele alınacaktır.

Birinci beş yıllık kalkınma planında (1963-1967), nükleer enerjiden bahsedilmemiş, temel olarak, Türkiye’nin enerji kaynaklarını en uygun şekilde kullanarak enerji ve üretim maliyetlerini en aza indirmek amaçlanmıştır (Kaya, 2013). Ayrıca dağınık halde farklı Bakanlıklarda bulunan, elektrik enerjisi üretim, iletim ve dağıtım faaliyetlerinin aynı kurum altında toplanması için Türkiye Elektrik Kurumu (TEK)’nin bir an önce kurulması önerilmiştir (Biçici, 2008).

İkinci beş yıllık kalkınma planında (1968-1972), ilk kez nükleer enerjiye değinilen bu planda, nükleer enerji kaynaklarından faydalanma imkânlarının araştırması ve NGS kurulmasına çalışılacağı belirtilmiştir (Kaya, 2013).

Üçüncü beş yıllık kalkınma planında (1973-1977), verilen yatırım kararlarıyla, nükleer enerji sektörünün geliştirilmesi amaçlanmıştır. 1977 yılında faaliyette olacak şekilde 300-400 MWe gücünde doğal uranyum yakıtı kullanacak olan NGS kurulması hedeflenmiştir (Yavuzaslan, 2009). Ayrıca, 80 MW gücünde eğitim amaçlı bir prototip santral yapılması hükmü bulunmaktadır (Uyar, 2009).

Dördüncü beş yıllık kalkınma planında (1979-1983), nükleer enerji teknolojisindeki gelişme potansiyeli de dikkate alınarak Türkiye'deki radyoaktif mineral kaynakların, tespit edilmesi için araştırma, arama ve teknolojik çalışmaların hızlandırılması, fosfat yataklarında uranyumun varlığının da araştırılacağı belirtilmiştir. Nükleer tesislerin ihtiyacı olan hammaddenin yerli kaynaklardan sağlanması amacıyla nükleer enerji rezervinin nitelikleriyle birlikte tespit edilmesi ve nükleer teknolojinin geliştirilmesi amacıyla ilgili tüm kuruluşların eşgüdümle çalışmalarına devam edecekleri belirtilmiştir. İlk NGS yapım çalışmalarına bu dönemde yapılacak yatırımlar ile devam ettirileceği, ikinci NGS için etüt ve yer seçim işlemlerinin sonuçlandırılması planlanmıştır (Kaya, 2013).

Beşinci beş yıllık kalkınma planında (1985-1989), çevre kirlenmesine yol açmayan, nükleer teknoloji için araştırma ve uygulamaya ait dünyadaki gelişmelerin sıkı bir şekilde takip edileceği vurgulanmıştır (Kaya, 2013). NGS yakıt hammaddesi için, arama faaliyetlerinin artırılacağı ve mevcut rezerv potansiyellerinin nitelikleriyle beraber tespitinin yapılacağı belirtilmiştir (Palabıyık vd., 2010). Enerji sektöründeki iki büyük projenin Atatürk Barajı ve NGS olduğu işaret edilmiş ancak hidroelektrik santrallere öncelik verilmesi ayrıca 1986'da meydana gelen Çernobil kazasından dolayı nükleer santral çalışmaları askıya alınmıştır (Uyar, 2009).

Altıncı beş yıllık kalkınma planında (1990-1994), nükleer enerji teknolojisine geçmek amacıyla çalışmalar yapılacağı hedeflenmiştir. Bu amaçla nükleer teknolojiyle ilgili her türlü araştırma- geliştirme faaliyetine destek verileceği açıklanmıştır. Ayrıca, nükleer ve iyonlaştırıcı radyasyonla çalışılan tesisler için mevzuatın geliştirileceği belirtilmiştir (Kaya, 2013).

Yedinci beş yıllık kalkınma planında (1996-2000), nükleer enerji gibi ileri teknolojilerde, üretim ve yatırım alanlarındaki faaliyetlerin istenilen seviyeye ulaşamadığı tespiti yapılmış, enerji kaynaklarının üretimi amacıyla madencilik

yatırımlarına ağırlık verileceği, nükleer teknolojinin kısa zamanda Türkiye'ye getirilmesi ve uyarlanması üzerinde önemle durulacağı belirtilmiştir (URL-103).

Sekizinci beş yıllık kalkınma planı (2001-2005), belirlenen amaç doğrultusunda elektrik sektörünün en uygun bir sistem düşüncesiyle geliştirilmesi gerektiği, bu sebeple, yeni projeler, tip (hidrolik, gaz, kömür, nükleer ve rüzgâr gibi), yer ve kapasite açısından teferruatlı çalışmalarla belirleneceği açıklanmıştır. Ayrıca nükleer enerjinin uzun dönemde göstereceği gelişim planları üzerinde durulacağı belirtilmektedir (Kaya, 2013).

Dokuzuncu kalkınma planında (2007-2013), elektrik üretim kaynaklarına nükleer enerjinin de katılacağı belirtilmiştir. NGS inşasına başlanmadan önce serbest piyasa ile azami uyum gözetilerek, atıkların depolanması, bertarafı ve kamuoyunun bilgilendirilmesi konuları hakkında detaylı plan ve programların yapılacağı açıklanmıştır. Geleceğe yönelik ileri teknolojilerin yanında yeni nesil nükleer teknolojilerin de öncelikli olarak destekleneceği de belirtilmiştir (Palabıyık vd., 2010).

Onuncu beş yıllık kalkınma planında (2014-2018), (Kaya, 2013), gelişmekte olan ülkelerde kömür tüketimi ve nükleer enerjinin kullanımının yaygınlaşacağı öngörülmektedir. Ayrıca bu planda, yerli ve yenilenebilir kaynaklarının enerji alanında azami düzeyde değerlendirilmesi hedeflenmiş, nükleer teknolojinin elektrik enerjisi üretiminde kullanılması öngörülmüştür. Enerjinin ekonomideki yoğunluğunun azaltmasını destekleyen, enerjiden kaynaklanan çevresel etkileri ve israfı en az seviyeye indiren, Türkiye'nin uluslararası enerji piyasasındaki stratejik konumuna güç veren rekabetçi bir enerji sistemine ulaşmak temel amaç olarak belirlenmiştir (URL-104). Planda, Akkuyu NGS ilk ünitesinin bu plan dönemi içerisinde yapımının büyük oranda bitirilmesi hedeflenmiş, ayrıca, Sinop'ta kurulması planlanan ikinci nükleer santralin ilk ünitesinin yapımına başlanacağı ve yine bu dönemde 5.000 MW gücünde 3. bir nükleer santralin yer seçimi, ön etüt ve yatırım hazırlıklarına başlanması öngörülmüştür (Kaya, 2013).

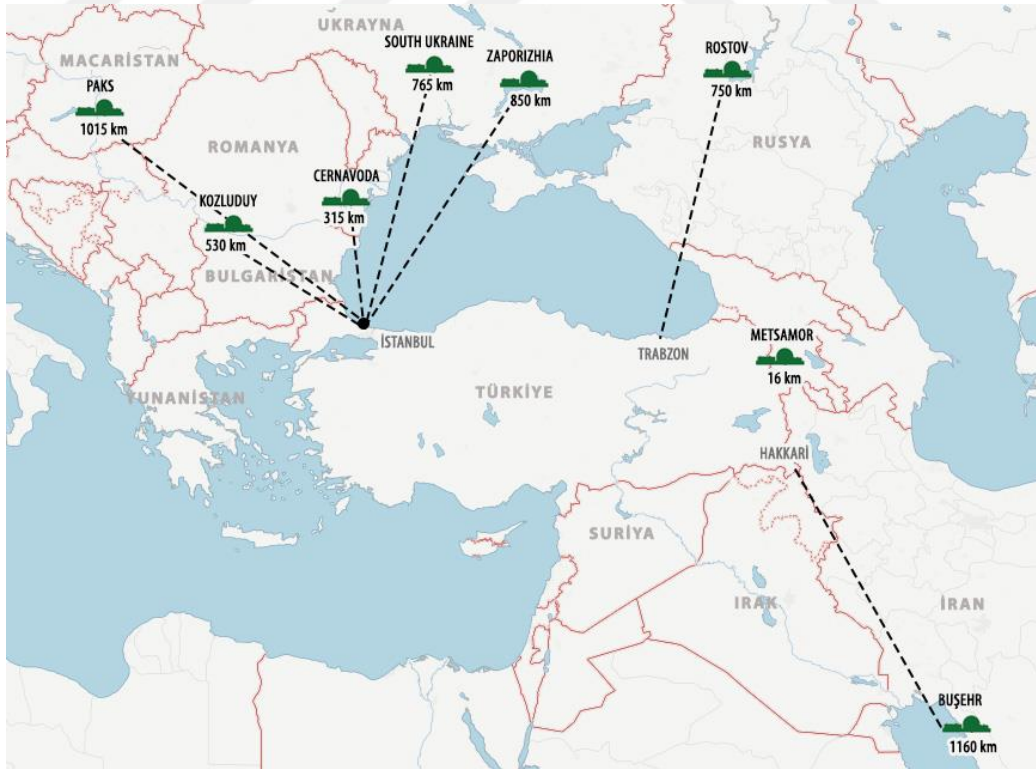
Türkiye'de enerji temininde, nükleer teknolojinin bir seçenek olması için bilinçli ve istikrarlı bir siyasi irade olmalıdır (Palabıyık vd., 2010). Bunun sağlanması ne yazık ki 2002 yılından sonra olmuş, uzun yıllar süren plan, program ve anlaşmanın ardından 2018 yılında Akkuyu'da Türkiye'nin ilk nükleer reaktörünün temeli atılabilmektedir.

4.3.3 Türkiye'ye komşu ve yakın ülkelerde nükleer teknoloji durumu

Türkiye yarım asrı geçen süre zarfında nükleer teknolojiye ülke içi veya dışı kaynaklı sebeplerle bir türlü geçememiş, jeopolitik ve coğrafi konum avantajına enerjiyi de ekleyip stratejik amaçlarına ulaşma doğrultusunda yol almasına izin verilmemiştir. Oysa kendisine komşu veya yakın ülkeler, kendileri nükleer teknolojiye sahip olmamalarına rağmen, Rusya, Fransa ve ABD gibi ülkelerin desteğiyle NGS ya da araştırma reaktörü şeklinde nükleer teknolojiyi kullanır hale gelmişlerdir. Bu da enerjide dışarıya bağımlı olan Türkiye'yi enerji temini için yüksek meblağlar ödemeye mecbur bırakmış, kendi coğrafyası ve dünyada dezavantajlı konuma düşürmüştür.

Türkiye'de NGS kurulmasına karşı olanlar, bu söylemlerini dillendirdikleri kadar Türkiye'nin etrafındaki nükleer santraller için göstermelik protestolardan başka bir şey yapmamışlardır.

Şekil 4.10'da Türkiye'nin etrafındaki nükleer santral haritası verilmektedir (URL-105).



Şekil 4.10. Türkiye'nin etrafındaki nükleer santral haritası.

Şekil 4.10'deki haritada da görüldüğü gibi komşu ülkelerde birçok NGS işletilmekte, yeni nükleer santraller yapılmakta veya yeni reaktörlerin yapılması planlanmaktadır. Türkiye'nin çevresinde bu kadar NGS yıllardır çalışırken, Türkiye'de kurulacak nükleer santral çevreyi, tarımı ve turizmi olumsuz olarak etkileyeceğini iddia etmek ne kadar doğru olacaktır (URL-105).

Türkiye'nin, etrafındaki ülkelerde çalışan nükleer santrallerde meydana gelecek bir kazadan etkilenmemesi mümkün değildir. Bulgaristan'daki Kozluday, Rusya, Romanya, Ukrayna ve Ermenistan'daki santraller Türkiye'ye çok yakın mesafededirler. Özellikle Ermenistan'da bulunan Metsamor nükleer santrali sınıra 10 km mesafede ve tehlike potansiyeli çok yüksek bir santraldir. Bu durumda Türkiye'de kurulacak bir nükleer güç santralının karşısında olmak anlamsız olur (Temurçin ve Aliağaoğlu, 2003).

Türkiye'ye yakın mesafede bulunan, koruma kabuğu olmayan Metsamor gibi birçok NGS normal çalışma ömrünü tamamlamasına, çok eski aynı zamanda güvensiz bir teknolojiye sahip olmalarına rağmen hala çalışmaktadır.

Söz konusu potansiyel nükleer kaza kaynaklı sızıntı tehlikelerine karşı TAEK tarafından 1986 yılında Radyasyon Erken Uyarı Sistemi (RESA) kurulmasına başlanmıştır. Türkiye'yi etkileyebilecek düzeyde radyoaktif sızıntı olması halinde uyarı verecek olan bu sistem, havadaki gama radyasyon düzeyindeki artışı algılaması esasına dayanır. Bu amaçla, meteorolojik şartlar da gözetilerek yurt içinde ve özellikle sınır çevrelerinde 211 ölçüm istasyonu kurulmuştur. Şekil 4.11'deki haritada RESA ölçüm istasyonları gösterilmektedir (URL-106).



Şekil 4.11. Türkiye RESA ölçüm istasyonları haritası

Türkiye, nükleer enerji karşıtı propagandaların etkisiyle, bazı riskler sebebiyle nükleer teknolojiden uzun zaman faydalanmaktan vazgeçmiştir (Çiçek, 2012).

Enerji açısından dışarıya bağımlı bir ülke olan Türkiye, enerji kaynakları arasında nükleer enerjinin de katılmasını sağlayarak enerji çeşitliliğini çoğaltmayı ve dışa bağımlılığı azaltmayı amaç edinmektedir. Türkiye, nükleer enerji seçeneğine yönelirken, bir yandan da fosil enerjisi kaynaklı maliyetlerin meydana getirdiği ekonomik baskıdan az da olsa kurtulmuştur (Babahanoğlu, 2018).

Türkiye'nin komşularında kurulmak istenen nükleer santraller, diğer ülkeler tarafından savaş uçakları ile bombalanarak tamamlanması önlenmiştir. Bugün itibariyle İran NGS sahibi olmuş diğer bazı ülkelerde kurmak için çalışmalar yürütmektedir.

İsrail, 2007 yılında, Suriye'nin Kuzey Kore desteğiyle kurduğunu söylediği, Deyr ez Zor kentinde bulunan ve inşaatı tamamlanma aşamasına gelmiş El Kubar nükleer tesisini savaş uçaklarıyla vurduğunu 2018 yılında açıklamıştır (URL-107). Ayrıca, İsrail, İran ile savaş halinde olan Irak'ın 1976 yılında Fransa ile anlaşarak yapmaya başladığı Osirak nükleer santral inşaatını 1981 yılında bombalayarak imha etmiştir (URL-108). Irak daha sonra tekrar NGS yapımına başlasa da bu defa Körfez Savaşı esnasında ABD uçakları tarafından bombalanmıştır.

İran 1980’de Irak’ın Osirak nükleer araştırma reaktörünü bombaladı. Irak ise İran’ın Buşehr nükleer santralini 1984, 1985 ve 1987 yıllarında 5 kez bombalayarak o yıllarda faaliyete başlamasına engel olmuştur (URL-108).

İran 1975 yılında ABD desteğiyle başladığı Buşehr’deki nükleer santralini yıllar sonra Rusya desteğiyle tamamlayıp ilk reaktörünü 2011 yılında çalıştırmaya başladı. Ayrıca, gizlice kurulan Natanz’daki uranyum zenginleştirme tesisiyle Arak’taki ağır su nükleer reaktör projeleri 2002 yılında açıklanınca, P5+1 ülkeleri (ABD, Rusya, Çin, İngiltere, Fransa ve Almanya) İran’ın nükleer silah ürettiğini iddia ederek BM’yi de olaya dâhil ederek yaptırımlar uyguladılar. Uzun yıllar yapılan müzakereler sonucunda 2015 yılında anlaşmaya varıldı. Asgari on yıl İran’ın nükleer silah elde etmesini engelleyen anlaşma, İran’ın elindeki uranyumun miktarının azaltılmasıyla, İran’ın plütonyum üretmeyecek şekilde reaktörleri revize edeceği kabul etmesiyle ve bunların karşılığında İran’a uygulanan ambargoların kaldırılması şeklinde sonuçlandı. Ancak ABD’nin Obama zamanında imzaladığı anlaşma, Trump tarafından diğer P5+1 ülkelerinin itirazlarına rağmen iptal edildi ve ambargolar tekrar uygulanmaya başladı (URL-109; URL-110). Libya ve Mısır gibi ülkelerin nükleer teknolojiye sahip olma girişimleri daha araştırma reaktörü aşamasında batılı ülkeler tarafından engellenmiştir (Külebi, 2007). Batılı gelişmiş ülkeler, bir bahane bularak, kendi kullandıkları nükleer teknolojiyi her nedense geliştirmekte olan özellikle Müslüman ülkeler için istememektedirler.

Türkiye sınırına yaklaşık 550 km mesafede, İsrail’in Fransa’dan alarak kurduğu Dimano nükleer araştırma reaktörü bu ülkenin 200 kadar nükleer başlıklı silah geliştirme kapasitesine ulaşmasını sağlamıştır (Külebi, 2007).

Petrol zengini olan Suudi Arabistan dahi nükleer santral kurmak için çalışmalar yapmaktadır. Enerji stratejisini, üretim kapasitesini çeşitlendirerek artırmak ve enerji kaynaklarına nükleer enerjiyi de eklemek için 2018 yılında ilk araştırma reaktörünün temelini atmıştır. (URL-111).

Bu tez çalışmasının konusu dışında olsa da nükleer teknoloji asla hiçbir ülke tarafından silahlanma için kullanılmamalı ve üretilmiş olan nükleer silahlar imha edilmelidir.

Nükleer teknolojinin stratejik önemini anlayan Türkiye'ye komşu ülkeler nükleer enerjiye ya sahip olmuş ya da inşa etmeye başlamıştır. Türkiye, güvenilirliği ve verimliliği ispatlanmış tasarımdaki nükleer santraller inşa ederek, bu temiz ve yüksek teknolojiye sahip enerji kaynağından bir an önce faydalanmalı ve enerji çeşitliliğini artırmalıdır. 2018 yılında temeli atılan Akkuyu NGS sonrasında hızla Sinop ve Trakya'da kurulması planlanan diğer projeleri de uygulamaya geçirmelidir.

4.4 Nükleer Enerji ve Strateji

4.4.1 Strateji tanımı

Strateji, Türk Dil Kurumu (TDK) sözlüğüne göre, bir milletin veya milletler topluluğunun, barış ve savaş zamanı benimsenen politikalara destek vermek için, ekonomik, politik, psikolojik ve askerî güçleri birlikte kullanma bilimi ve sanatıdır (URL-112).

Strateji, belirlenen hedefe ulaşmak veya olmak istenen yerde kalabilmek için, yapılan plan, gözetilen denge, durulan yer ve alınan pozisyon gibi birçok kavramı da bünyesinde barındırır. Bu tez çalışmasında strateji kelimesi, sürdürülebilir kalkınmanın olmazsa olmaz şartı olan enerjinin elde edilmesinde tüm kaynakların kullanılmasının yanında nükleer teknolojiden mutlaka faydalanılması, nükleer teknoloji tecrübesini her alanda avantaja dönüştürecek jeopolitik ve jeostratejik öneme sahip olan Türkiye'nin bir üst lige çıkması anlamına gelen politika, program ve planlar bütünü olarak kullanılacaktır.

4.4.2 Türkiye'de nükleer enerji ve strateji

Her geçen gün önemini artıran enerji, sürdürülebilir ve çok boyutlu politika ile stratejilerin uygulanması gereken bir sektördür (URL-2). Enerji güvenliği, güçlü bir ekonomiye sahip olmak isteyen ülkeler için stratejik bir öneme sahiptir (Çiçek, 2012). Enerji ihtiyacının yaklaşık %70'ini dışardan karşılayan Türkiye, Külebi, (2007), sürekli artan bu talebi karşılamak için enerji çeşitliliği stratejisi gütmeli, bu alanda mevcut enerji kaynaklarına nükleer enerjiyi de eklemek vazgeçilemez bir tercih olmalıdır.

Kalkınma planlarının hemen hepsinde yer verilmesine rağmen Türkiye’de NGS kurmak için inşaat başlama tarihi 2018 yılını bulmuştur.

TAEK tarafından 1983 yılında, nükleer enerjinin bir gereklilik olduğu, dışa bağımlılığı asgari seviyeye indirmek için uranyum kaynaklarını doğrudan kullanacak bir esnek ve kolay bir reaktör seçiminin yapılması gerektiği şeklinde özetlenebilecek bir “Ulusal Nükleer Enerji Politikası ve Stratejisi” vardır. Ancak, Hükümet, ETKB, TAEK ve TEAŞ gibi kurumlar arasında koordinasyonsuzluğun varlığı Özemre vd., (2000), hedeflerin gerçekleşmemesiyle sonuçlanmıştır.

Türkiye’nin nükleer enerjiyi kullanır hale gelmesinin ardından, enerji stratejisinin nasıl olması gerektiği, Aralık 1999’da toplanan 1. Enerji Şurası Nükleer Enerji Komisyonu’nda aşağıdaki şekilde kararlaştırılmıştır (Özemre vd., 2000).

1. Türkiye nükleer reaktörlerinin önemli bir bölümünü kendisi yapabilecek seviyeye ulaşmalıdır.
2. Nükleer teknolojinin seçimi ve stratejisi gibi hayatî bir konu hakkındaki kararlar, Bilim ve Teknoloji Yüksek Kurulu’nda alınmalı ve Hükümetler uygulamada sürekli ve kararlı bir siyasi irade sergilemelidir.
3. Devlet, daha ilk nükleer santral çalışmalarında, özel teşebbüsün nükleer teknolojiye katkısı olan bir yan sanayi oluşmasını teşvik etmeli, sermaye sağlamalı ve lisanslı işletme yetkisi vermelidir.
4. Türkiye zengin toryum rezerv avantajını, toryumla çalışan reaktör teknolojisine hâkim olarak değerlendirmelidir. Ayrıca, sadece uranyum ve toryum gibi nükleer teknolojide stratejik önemi olan cevherlerin yurt genelinde aranıp bulunması amacıyla Hükümetler gerekli tedbirleri almalıdır.
5. Teknoloji transferi ve geliştirilmesi, stratejik öneme sahip nükleer maddeleri bulup çıkartması, nükleer işletmelere lisans vermesi, üniversitelerle yurt içinde ve yurt dışındaki diğer araştırma kurumlarıyla gerekli iş birliğini gerçekleştirebilmesi amacıyla TAEK’e özel bir kurum statüsü verecek yasal düzenleme bir an önce yapılmalıdır.
6. TAEK gibi kurumlar üniversitelerin yanı sıra konuyla ilgili bağımsız uzman kişilerden de faydalanmalıdır.

1. Enerji Şurası'nda alınan bu kararlar kanaatimizce o zaman koalisyonlarla yönetildiği için Türkiye'de uygulanamamıştır. 2002'de bir partinin (AK Parti), nükleer teknolojinin stratejik önemini bilerek, enerji politika ve stratejisinde diğer yöntemlerin yanında nükleer enerjiyi kararlı bir şekilde savunması, ayrıca uzun süre iktidarda kalması nedeniyle en azından bir başlangıç olarak Rusya ile anlaşma yapılarak Akkuyu'da 2018 yılında bir NGS temeli atılabilmektedir. Çünkü NGS kurulması için gereken, anlaşma, proje, kredi, inşa etme ve işletmeye alma süreleri Türkiye'de bir Hükümetin 5 yıllık görev süresi içerisinde sonuçlandırılması bugünkü teknoloji ile mümkün olmamaktadır. Bu açıdan, NGS kurma projeleri Hükümetlere bağlı olmamalı Devlet politikası haline getirilmelidir.

Türk Dış İşleri Bakanlığı internet sitesindeki, “Türkiye'nin Enerji Profili ve Strateji” başlıklı yazıda, enerjide dışa bağımlılığın milli ve yerli enerji stratejisine göre atılan adımlarla azaltmanın hedeflendiği belirtilmektedir. Ayrıca, Türkiye'nin enerji stratejisinin temel faktörlerinden birisinin, yapılan girişimlerle enerji sepetine nükleer enerjinin de dâhil edilmesi olarak açıklanmıştır (URL-113).

Ancak, bu girişim, ülke menfaatine milli bir politika ve strateji tespiti yapılarak yalnızca nükleer enerjiyi üreten bir ülke değil, aynı zamanda nükleer teknolojiye hâkim ve bu alanda Ar-Ge faaliyetlerini destekleyen projelerle dışa bağımlılık meselesini azaltmaya yönelik olmalıdır (Erdöşemeci, 2014).

Nükleer teknolojiyi üreten bir ülke olamayan Türkiye, bu stratejik konuyu ne zaman gündeme getirip, ortak ve kredi bulmaya kalksa veya bir projeye dâhil olmak istese bir bahane ile engellenmiş ve bugünlere kadar bu teknolojiden yararlanmadan gelmiştir. Türkiye'nin CERN'e tam üyeliği bu şekilde henüz gerçekleşmemiştir (Sultansoy, 2018). Avrupa Parlamentosu tarafından 2017 yılında yayınlanan, Türkiye ile devam eden müzakerelerin askıya alınmasını teklif eden raporda, Akkuyu NGS projesinden santralin güvenlik problemlerinden dolayı vazgeçilmesi gibi ilginç bir talep vardır (URL-114).

Türkiye geçmişte iyi bir milli strateji oluşturamamıştır. Bunun sebebinin, Batı'nın, Türkiye'ye nükleer teknolojiyi (diğer ülkelere verebilme ihtimali olmasından dolayı) vermekten çekinmesi olduğu ileri sürülmektedir. Özellikle ABD nükleer teknoloji

tedarikçiliği yapan firmalara nükleer teknolojinin transfer edilmemesi amacıyla baskı yapmıştır (Kaya, 2013).

Günümüzde nükleer güç teknolojisinin, planlamalarını teknik ve bilimsel gerçeklerle ve ortak devlet aklına dayalı bir milli strateji çerçevesinde ele alan gelişmiş ülkelerde toplandığı bir gerçektir. Nükleer teknoloji transferini gerçekleştirmede başarılı olan Çin, Hindistan, Japonya ve Kore'nin, bu avantajıyla, diğer teknolojik sahalarda elde ettiği kazanımlar bu tespitleri doğrulamaktadır (URL-115).

Türkiye'nin Akkuyu'da atılan temelle başlayan nükleer santral kararlılığı, insan kaynağının da geliştirilmesi noktasında katkı sağlamış, Rusya'ya mühendis eğitimi için gönderilen 248 öğrenciden 35'i mezun olmuştur. Akkuyu NGS faaliyete başladığında Proje kapsamında çalışmaya başlayacaklardır (URL-90). Nükleer teknolojiyi yerinde öğrenen bu mühendisler kendi ülkesinde NGS projelerinde çalışarak tecrübe kazanacak, belki yakın zamanda Türkiye kendi reaktörünü tasarlayabilecektir.

Türkiye, ülkelerin geliştirdikleri stratejilerle, sahip olmak için uğruna çeşitli bahanelerle savaş yaptıkları ve enerji kaynaklarının zengin olduğu bir bölgede yer almaktadır. Bu coğrafyada ülke olarak ayakta durabilmek için her açıdan güçlü olmak gerekmektedir. Geliştireceği enerji stratejilerinin hepsi enerji güvenliğini sağlayacak şekilde kaynakları çeşitlendirmeli, herhangi bir problemde diğer kaynaklarla günlük yaşamına ve ekonomik üretimine devam edebilmelidir. Aksi takdirde, enerji problemi yaşayan ya da pahalı enerji kullanan bir ülkenin ekonomik dengesi bozulacak, ürettiği ürünler uluslararası piyasada pahalı olduğu için alıcı bulamayacak, zamanla ekonomik krize giren ülke uluslararası ilişkilerde önemini kaybedecek, yapılan plan, program ve stratejiler uygulanamayacaktır. Zamanla NGS teknolojisini kendisi geliştirdiğinde ise enerji çeşitliliği sağlamış bir ülke olarak alternatif enerji kaynağının olması sonucu, özgüveni yüksek, kendi coğrafyasında ve dünyada sözü geçen bir ülke olacaktır. Çünkü günümüzde enerjisiz bir hayat olmayacağı gibi sürdürülebilir bir kalkınma da zaten mümkün değildir.

Ayrıca, 1.000 MW gücündeki bir NGS enerji üretimi için, yakıt olarak yılda 30 ton zenginleştirilmiş veya 160 ton doğal uranyumun yeterli olması Çiçek, (2012), nükleer enerjiyi alternatiflerinden bir adım öne çıkarmaktadır. Çünkü uzun yıllar yetecek kadar

yakıt depolanabildiği için herhangi bir kriz veya fiyatlardaki artışlardan enerji üretimi etkilenmeyecek, maliyetler kontrol altında olacak ve ülke ekonomisi enerji darboğazına girmeyecektir.

Nükleer santralde yakıt miktarı az olduğu için askeri, ekonomik veya başkaca bir ablukaya karşı ülkenin uzun süre kendisine yetecek kadar uranyum yakıtını depolamayı mümkün kılmakta ve böylece elektrik enerjisi sürekli olarak sağlanmaktadır. Bu durum, petrol ve doğalgaz üreten ülkelerle tüketen ülkeler arasında yaşanan enerji şantajını imkânsız kılmaktadır (Comby, 2006).

Sanayileşmiş ülkelerin hemen hemen hepsinde elektrik enerjisi üretiminde ağırlıklı olarak kullanılan nükleer enerji bahsinde Türkiye'nin tarihsel bir gecikmesi söz konusu olduğu için uluslararası doğru ortaklık tercihleri yaparak güvenlikten taviz vermeden mümkün olan en uygun hızda gerçekleştirmesi gerekmektedir (URL-116).

Türkiye'nin enerji stratejisinin, 2015-2019 Stratejik Plan'ında, nükleer teknolojiyi elektrik üretiminde kullanma olduğu açıkça hedef olarak konulmuştur (ETKB, 2017b). Bu plan döneminde bu hedef gerçekleşmemiştir. Ancak birkaç yıl ertelense de 2018'de temeli atılan stratejik bir öneme sahip NGS ile Türkiye nükleer teknoloji yolunda çok büyük bir adım atmış ve bu teknoloji ile tanışmak için gün saymaktadır.

4.4.3 Nükleer enerjinin silah yapımında kullanılması

Bu tez çalışmasının konusu dışında olsa da uluslararası güvenlik stratejisini güç ve korku üzerine inşa eden nükleer teknolojiye sahip olan bazı ülkeler, hem savaşta kullanmak hem de caydırıcılık maksadıyla kullanmak istemeleri, ne yazık ki nükleer silahlara sahip olmalarıyla sonuçlanmıştır. Bunun sonucunda, ABD 1945 yılında 2. Dünya Savaşı'nı bitiren iki atom bombasını Japonya'da Hiroşima ve Nagazaki şehirlerine atmış ve insanlık bir felaket yaşamıştır.

Bu felaketi gören dünya ülkeleri, 1968 yılında Nükleer Silahların Yayılmasının Önlenmesine İlişkin Antlaşma'yı (NPT) imzalamak zorunda kalmışlardır. Anlaşmayı imzalayan ve nükleer silaha sahip olmayan 185 ülke nükleer silahları edinmekten kaçınacaklarına dair söz verirken, o yıllarda bu silahlara sahip olan 5 ülke ise (ABD, İngiltere, Çin, Fransa ve Rusya) diğer ülkelerin nükleer silah sahibi olmalarına yardımcı olmayacaklarına ve nükleer silahsızlanma için hareket edeceklerine söz

vermişlerdir. Bu anlaşma her ne kadar nükleer silahların yayılmasını kontrol altında tutmuş olsa da yeterli gelmemiş olmalı ki 2017 yılında, BM Genel Kurulu'nda 5 daimi üyenin karşı çıkmasına rağmen Nükleer Silahların Yasaklanması Antlaşması (TPNW) 122 ülkenin desteğiyle kabul edilmiştir (URL-117). Bu anlaşma, nükleer silah gücüne sahip sadece bu beş ülkeyi meşru olarak tanımış nükleer silahlanma yarışını bitirmeye çalışmıştır (URL-63).

Enerji üretimi amacıyla kurulan nükleer santrallerin, nükleer silah yapımıyla bir ilişkisi bulunmaz ve Türkiye'nin de taraf olduğu "Nükleer Silahların Yayılmasının Önlenmesi Antlaşması"nı imzalayan ülkelerde uluslararası denetimler her zaman yapılmaktadır. Nükleer silahların yayılmasını önlemek amacıyla IAEA devamlı denetim faaliyetlerinde bulunmaktadır (URL-78). Nükleer santrallerden atom bombası yapılması teknik olarak mümkün değildir. Çünkü nükleer reaktörde kullanılacak uranyum %2-5 oranlarında U-235 atomu içermesi gerekirken, silahlarda kullanılan uranyum ise asgari %90 oranda U-235 içermelidir (URL-31). Ancak, NGS kullanılan yakıt yeniden işlenip uranyum ve plütonyum geri kazanılarak yeni yakıt olarak enerji üretimi sürecinde tekrar kullanılır (URL-62). Bu noktada plütonyumun atom bombasında kullanılacağı endişesi vardır. Bu amaçla, İran 2015 yılında 5+1 ülkeleriyle yaptığı anlaşmada, Arak kentindeki ağır su reaktöründe plütonyum üretmeyecek şekilde reaktörleri revize edeceğini kabul etmiştir. Bundan sonra İran'a uygulanan ambargolar kaldırılmıştır (URL-109).

Nükleer reaktör ile atom bombası arasındaki en önemli fark, atom bombasında reaksiyon kontrolsüz bir şekilde saniyenin milyonda biri gibi bir sürede gerçekleşir, NGS reaksiyon ise kontrollüdür. Nükleer santralde kontrol nötronları yutan kadmiyum ya da bor gibi maddeler içeren kontrol çubukları ile sağlanır (Özemre vd., 2000).

Nükleer santral reaktörlerinden ve yakıtlarından yukarda bahsedildiği gibi teknik olarak normalde nükleer silah üretilemez. Ayrıca, nükleer silahları, NGS olan değil nükleer teknolojiye sahip olan ülkeler de üretmektedir.

Nükleer madde elinde bulunduğu sürece, her ülkenin, her zaman ve her koşulda, nükleer silah yapma kararı alması muhtemeldir. Bununla birlikte alınan karar, sadece nükleer teknolojiye sahip olmakla ilgili değil politik yanı da olan bir karardır. Nükleer teknoloji sahibi ülkelere biri olan Kanada'nın nükleer silahı bulunmazken, NGS

olmayan İsrail'in nükleer silaha sahip olduğu bilinmektedir (URL-63). Bu olay da nükleer silaha sahip olmanın politik bir karar olduğunu net bir şekilde ortaya koymaktadır.

Nükleer santrallerin değil ama nükleer teknolojinin (burada kastedilen nükleer silaha sahip olmak) uluslararası ilişkilerde caydırıcılık vazifesi gördüğünü bu yüzden de nükleer teknolojiye sahip olunması gerektiğini savunan ülkeler (ABD, Çin, Rusya ve Kuzey Kore gibi) var olduğu bir gerçektir. Özellikle ABD 11 Eylül saldırıları sonrasında terör saldırıları, Rusya ve Çin için nükleer silahlardan caydırıcı olması için vazgeçmemektedir (Külebi, 2007). Nükleer enerji hem ekonomik hem de stratejik özelliğe sahip olan bir enerjidir. Bu enerjiye sahip olan ülke, diğer ülkelere göre, politik ve ekonomik açıdan üstün durumda olabilir. Nükleer enerjiye sahip olmanın, ekonomik boyutundan başka stratejik önemi, kullanılmasından öte, caydırıcı olmasında gizlidir. Nükleer enerjiye (burada kastedilen nükleer silah) sahip olan ülke, kendisine yönelmesi muhtemel tehditleri engelleyebilme yeteneğini kazanmış olur (Babahanoğlu, 2018). Bu da ülkeler arasında nükleer silahlanma yarışına dönüşmektedir.

Bu tez çalışmasının konusu dışında olsa da nükleer teknoloji asla hiçbir ülke tarafından silahlanma için kullanılmamalı ve üretilmiş olan nükleer silahların tümü imha edilmelidir. Ancak şu da bir gerçektir ki kendisinin nükleer silaha sahip olmasına, uluslararası arenada kazandığı güç ve ekonomik durumdan dolayı ses çıkarılamayan ülkeler, neden bu hakkı sadece kendilerinde görmektedirler? Batılı ülkeler tarafından sahip olunan nükleer silahlar tehlikesiz midir ki diğer ülkelerin silahlanmasına karşı çıkılmaktadır. Ya da onları farklı kılan nedir? Güçlü olanın diğer ülkeler için zararlı olan şeye sahip olması dünyayı yaşanır bir yer olmaktan çıkarır. Sürdürülebilir bir hayat için ideal olan yukarda da belirtildiği gibi tüm nükleer silahların imha edilmesi ve tekrar üretilmemesidir. Ama görünen odur ki günümüzde bu pek mümkün görünmemektedir.

IAEA, NPT anlaşması kapsamında Türkiye'de her yıl denetimler yapmaktadır. Bu denetimler sonucunda 2012 yılında yayımlanan "Nükleer Güvence Uygulama Raporu" nda Türkiye'deki her türlü nükleer çalışmanın barışçıl amaçlarla yapıldığı belirtilerek nükleer madde sayım ve kontrolünde en üst seviye olan "Broader Conclusion" sınıfına sahip ülkeler arasına girmeyi başarmıştır (ETKB, 2017b). Bu da

Türkiye'nin hiçbir şekilde nükleer silah üretme amacının olmadığını uluslararası ispatıdır.

O halde Türkiye, nükleer teknolojiye enerji üretimi ve diğer alanlarda kullanmak amacıyla sahip olmalı, en azından uluslararası arena da silah üretme potansiyeline sahip olunması dolayısıyla caydırıcılık özelliğinden faydalanmalıdır. Çünkü günümüz dünyasında özellikle gelişmiş devletler mevcut haliyle ne yazık ki adalet ve barış kavramlarından uzak bir uluslararası politika izlemekte ve ilişkilerin temelini güç ve caydırıcılık üzerine kurmaktadırlar.

4.4.4 Nükleer enerjinin kullanıldığı diğer alanlar

Türkiye'de NGS yapılarak enerji üretimine başlanması halinde nükleer teknolojiden farklı alanlarda da kullanımı yaygınlaşacak ve birçok alanda üretimin genişlemesine katkıda bulunacaktır.

Nükleer teknolojiden en çok nükleer santraller aracılığıyla elektrik enerjisi üretmek için faydalanılır. Ancak bu teknolojiden sağlık, endüstri, araştırma, çevre, su, gıda, tarım, hayvancılık ve sanayi gibi birçok alanda da faydalanılmaktadır (URL-5; ÇOB, 2004)

Sağlık: Yüz yılı aşkın bir süredir iyonize radyasyon teşhis ve tedavi aşamalarında kullanılmaktadır. Nükleer tedavi metodlarından, insanların iç organlarını bir bilgisayar yardımıyla hekimlerin görmesinde, kanser, damar genişlemesi ve kansızlık gibi hastalıkların tedavisinde faydalanılmaktadır (URL-63). Örnek olarak, kanseri tedavi etmek amacıyla kullanılan Kobalt 60, tiroit problemlerinin teşhisinde kullanılan İyot 131, vücut içini gösteren tarama cihazlarında kullanılan tekseyum 99 verilebilir (Bakır, 2013).

Araştırmalar: Nükleer teknoloji, jeoloji, antropoloji ve arkeoloji gibi alanlarda da bilim adamlarına fayda sağlamaktadır. Hava kirliliğinin azaltılması ve kirliliğe neden olan temel bileşimlerin incelenmesi, izotop takibi metodu kullanılarak akarsu ve yer altı sularındaki değişimlerin iklimlerle olan ilişkisini çözmeye yönelik çalışmalar da araştırmalarda kullanılan nükleer teknolojiye örnek verilebilir (URL-63).

Endüstri: Tıbbi araç gerecin ve gıdaların sterilizasyonu, borulardaki çatlakların tespiti, yoğunluk, kalınlık ölçümünde, su ve malzemelerin yaş tayininde Palabıyık vd., (2010), nehirlerin akıntı hızının takibinde nükleer teknolojiiden faydalanılmaktadır (URL-63).

Çevre: Nükleer teknoloji, iklim değışikliğini hafifletmeye yardımcı olabilir. Nükleer teknikler ve kararlı izotoplar, tatlı su kaynaklarını, atmosferik süreçleri, biyolojik sistemleri, okyanus ekosistemlerini değerlendirmek, ayrıca tarımsal faaliyetleri geliştirmek amacıyla kullanılır. Bu araçlar çevre üzerindeki ekolojik etkilerin değerlendirilmesine yardımcı olmaktadır (URL-118).

Su: Nükleer enerjiden üretilen ısı ile deniz suyundan tuzun giderilmesi, konut ve sanayi tesislerinde ısınma amaçlı olarak ve hidrojen elde edilmesinde kullanılır (Palabıyık, Yavaş, & Aydın, 2010).

Tarım: Daha dayanıklı, daha besleyici ürün elde edilmesi ve ürün verimliliğinin artırmak için yapılan çalışmalarda radyoizotoplar kullanılmaktadır. Ayrıca, sinek ve böceklerin bitkilere zarar vermemesini sağlamak ve bitkilerin gübre emiliminin takip edilmesiyle ilgili çalışmalarda da radyoizotoplardan faydalanılmaktadır (URL-63). Depolanmış ürünlerin korunması ve ıslah çalışmalarında toprak-su-bitki-besin ilişkilerinin hassas bir şekilde incelenmesinde de nükleer teknolojiiden yararlanılmaktadır (Palabıyık vd., 2010). Ayrıca NGS bulunan yerlerin hemen yanıbaşında tarımsal faaliyetler devam etmektedir, çünkü termik santral bacasından salınan SO₂, NO_x ve partikül maddeler nükleer santrallerden salınmamaktadır, sadece su buharı atmosfere verilmektedir. Şekil 4.12'de Slovakya, Bohunice nükleer santrali yanındaki tarım alanları görölmektedir (URL-119).



Şekil 4.12. Slovakya, Bohunice NGS yanındaki tarım alanları

Hayvancılık: Hayvan üretiminin arttırılması, yemlerin daha verimli kullanılması, hayvanların beslenmelerinin takibi ve hayvan hastalıklarının teşhisinde nükleer bilimlerden faydalanılmak ve diğer metotlara göre daha hızlı, daha iyi ve daha kesin sonuçlar vermektedir (URL-63).

Nükleer teknoloji sahibi ülkeler, askeri ve sivil alanlarda araştırmalar yapmaktadırlar. Bu durum, yeni bilimsel ve endüstriyel sektörlerin ortaya çıkmasının yanında dolaylı olarak yeni yatırımlar için ekonomik kaynak sağlanmasına ve işgücü istihdamı ile ulusal ekonomiye katkı vermektedir (Gedik, 2015).

Nükleer teknoloji, farklı alanlarda kullanılmasının yanında, inşa ve işletmesi esnasında birçok sektöre de canlılık getirecektir. Türkiye’de temeli atılan Rus tasarımı reaktörlerin yapımı esnasında kullanılan her malzeme Rusya’dan getirilemeyeceğine göre Türk yapı malzemesi üreticilerine büyük ve yeni iş kapıları açılacaktır. Santralın, yapım aşamasında Türk yapı malzemesi üreticilerine 1 milyar dolarlık bir pazar açacağı ve yaklaşık 3 bin kişiye istihdam sağlayacağı öngörülmektedir (URL-63).

Bir NGS yaklaşık olarak 550 bin parçadan oluşmaktadır. Nükleer enerjinin Türkiye’de kullanılmaya başlaması, gereken malzemelerin tedarik edileceği diğer sektörlerle de sağlayacağı istihdam ve dinamizmle ülke sanayisine ciddi derecede katkı sağlayacaktır. Ayrıca, insan kaynağının geliştirilmesine de daha şimdiden katkı yapmış, Rusya’ya mühendis eğitimi almaya giden 248 öğrenciden 35’i mezun olmuş

durumda olup tamamlanmasının ardından Akkuyu nükleer santralinde çalışacaklardır (URL-90).

Nükleer enerjiden, sadece santrallerde enerji üretimi amacıyla değil kullanılan mevcut alanlarda ilerleme ve faydalanılabilecek muhtemel diğer bilim dallarında araştırmalar yapılarak azami derecede istifade edilmelidir. Bu teknolojiyi kullanmakta çok gecikmiş bir ülke olan Türkiye diğer ülkelerle aradaki farkı kısa sürede kapatarak gelecekte yaşanabilir evre ve sürdürülebilir kalkınma ilkelerini gerçekleştirme yolunda nükleer enerjiden asla vazgeçmemelidir.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde, nüfusla birlikte sanayi üretiminin hızla artması, gelişen teknolojiyle beraber elektronik ürünlerin daha çok kullanılır ve birçok gelir grupları tarafından ulaşılabilir hale gelmesiyle artan enerji tüketimi daha fazla enerji üretilmesini gerekli kılmaktadır. Enerji ister doğrudan ister dönüştürülerek kullanılsın çağımızda toplumların varlıklarını devam ettirmelerinde çok önemli bir yer tutmaktadır. İnsanın can güvenliği ve temel gıdadan sonra gelen ihtiyacı enerjidir. Yokluğu ya da noksanlığı insan hayatının devamını zora sokmakta, hemen her ürünün enerjisiz yapılamadığı çağımızda üretim yapılamamakta ve sürdürülebilir kalkınma sağlanamamaktadır. Enerji kaynakları, stratejik öneme sahip ve uğruna savaşlar verilen varlıklardır.

Yeryüzünde fosil enerji kaynaklarının ispatlanmış rezervleri bir asırdan biraz fazladır. Türkiye fosil kaynakları yeteri derecede olmayan, 81 milyon nüfusuyla enerji ihtiyacının yaklaşık %70'ini ithal eden bir ülkedir. Dış politika stratejisinin büyük kısmı enerji dengeleri kurma üzerinedir. Buna en çarpıcı örnek, uluslararası arenada birçok konuda anlaşmazlık olsa da enerji kaynakları zengini ve nükleer enerjiye sahip Rusya ile kurulan ilişkilerdir.

Artık trafikteki araçlarında şarj edilerek kullanılabildiği günümüzde fosil kaynak fakiri olan Türkiye'nin enerji stratejisi, farklı metotlarla elektrik üretme üzerine olmalı ve enerji arz çeşitliliğini çoğaltmalıdır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretmenin coğrafi ve meteorolojik şartlara bağlı olmasıyla özellikle rüzgâr ve güneşte veriminin düşük olması da yeterli enerji ihtiyacını karşılayamamaktadır. Ayrıca bu tesislerin ilk kurulum maliyetlerinin yüksekliği ve birçok noktaya kurulması gerekliliği bir dezavantajdır. Yıllık elektrik enerjisi tüketimi yaklaşık 300 milyar kWh olan ve her yıl ortalama %6 oranında artan bir ülke olan Türkiye için yenilenebilir enerji kaynaklarıyla yakın gelecekte yeteri kadar enerji sağlamak mümkün görünmemektedir. Nükleer enerji santralleri maliyet hesaplamaları göstermektedir ki elektrik fiyatında rekabet edebilecek seviyededir. Hidrolik güçte ise Türkiye'de büyük miktarda enerji üretebilecek kaynaklar üzerine tesislerin kurulumu tamamlanmak üzeredir. Hidrojen enerjisinin çok yüksek maliyetli oluşu ve çok düşük sıcaklıklarda depolanabilmesi gibi dezavantajları bugün için

uygulanabilir bir teknoloji seviyesine ulaşamamıştır. Dalga enerjisinde ise mevcut teknoloji ve kıyılarımızın verimliliği maliyetle birlikte değerlendirildiğinde yeterli verim seviyesine ulaşamamıştır.

Tam da bu noktada coğrafya ve meteorolojik şartlardan etkilenmeyen, 24 saat kesintisiz enerji üreten nükleer santral alternatifi devreye girmektedir. Diğer enerji kaynaklarının yanına eklenerek enerji arz ve güvenliğinin sağlanacağı bu seçenek Türkiye için vazgeçilmez hatta zorunlu hale gelmiştir. Kişi başına tüketilen elektrik miktarına göre gelişmişliğin tanımlandığı günümüzde, G20 ülkelerinde NGS bulunmayan 5 ülkeden biri olan Türkiye gelişen bir ülke olması sebebiyle enerji stratejisinden nükleer teknoloji hiç çıkmamalı ve bir an evvel uygulanmalıdır.

2018 yılı Ekim ayı itibari ile sayıları toplam 30 ülkede 454'ü bulan nükleer güç santralleri, yarım asrı geçen süredir birkaç büyük kaza haricinde insanlığın elektrik enerjisi ihtiyacını üretmeye devam eden, günümüzde dünya elektrik üretiminin %11'inin karşılandığı tesislerdir.

Nükleer enerji, fisyon reaksiyonu ile muazzam bir ısıyı meydana getirdiği, mevcut bilimsel bilgilere göre en verimli, en güvenli, fosil yakıtlara göre CO₂ salınımı yok denecek kadar çevreci ve temiz bir seçenektir. Bu açıdan küresel ısınmayı önleyecek en önemli çözümlerin başında gelmektedir. Nükleer santral etki alanında yaşayan bir insanın bir yılda alacağı toplam radyasyon miktarı, tek bir göğüs röntgeni çektiğinde alınan radyasyonun ellide biridir. Nükleer santrallerin hemen yanında plajlarda insanların denize girmesi ve tarımsal faaliyetlerin devam etmesi çevreye duyarlı bir teknoloji olduğunun kanıtı olsa gerektir.

Nükleer teknolojinin en büyük problemlerinden biri, nükleer tesis kaynaklı kullanılan yakıtların geri kazanılması sonucunda oluşan yüksek düzeyli radyoaktif atıkların çevreye zarar verilmeden uzaklaştırılmasıdır. Bu atıklar 8-10 yıl santral içinde havuzda bekletildikten sonra camlaştırılarak su kaynaklarına zarar vermeyecek ve jeolojik olarak hareketsiz bir bölgede yerin yüzlerce metre altına depolanır. Bu da maliyetli, süreci uzun bir zaman alan ve yıllarca takip edilmesi gereken bir işlemdir. Yeniden işleme ile bu atık miktarı azaltılabilmektedir. Atık miktarını azaltmak için özellikle FBR (hızlı üreten reaktör) gibi teknolojilerin politik baskılar sebebiyle kullanılmaması şaşırtıcıdır. Bu sektörü finansal destek sağlamak, sürdürülebilir nükleer enerji

sektörünü daha da ileriye taşıyacaktır.

Çernobil ve Fukuşima’da yaşanan kazalar örnek gösterilerek, bu tür kazaların tekrar olma ihtimali, eleştirileri nükleer santrallere yöneltmektedir. Bu örnekler aşırı olmakla birlikte, Çernobil’deki kazanın etkilerinin büyük olmasının en büyük sebebi koruma kabuğunun olmamasıdır. Fukuşima ise deprem kuşağı üzerindedir ve depremin tetiklediği tsunaminin sebep olduğu, soğutma sistemindeki dizel motorların sular altında kalmasıyla meydana gelmiştir. Türkiye’de Akkuyu’da inşaatına başlanılan nükleer santralin bulunduğu yer 5. derece deprem bölgesinde yer alan ve dev tsunami dalgalarının meydana gelme ihtimali olan bir yer değildir, ayrıca koruma kabuğuna sahip bir NGS olacaktır. ABD’de TMI kazası da kısmen reaktörde kor erimesi meydana gelen aslında büyük bir kazadır, koruma kabuğu olduğu için çevresel etkileri çok sınırlı kalmıştır.

Nükleer enerji maliyetinin, dünyada 1973 ve 1987 yıllarında yaşanan ekonomik krizlerden günümüze kadar artan petrol ve doğalgaz fiyatlarıyla karşılaştırıldığında kararlı bir seyir izlediği görülmektedir. İlk kurulum maliyeti yüksek olsa da işletme maliyeti çok düşük olan nükleer santrallerde, birkaç yıl yetecek yakıtın tesis içerisinde depolanabilir olması, üretimin fiyatlardaki artışlardan etkilenmemesi, ekonomideki en büyük maliyetlerden biri olan enerji fiyatlarında istikrarı sağlayarak sürdürülebilir kalkınmaya çok büyük katkılar sunması onun stratejik önemini bir kat artırmaktadır. Enerji fiyatlarının, ülkelerin kalkınmasında önemli bir paya sahip olduğu günümüzde, sağlanan fiyat istikrarı, ülkelerin strateji ve politikalarını uygulamalarında elini güçlendirmektedir. Enerji maliyetinde avantaj sağlanarak üretilen ürünlerin uluslararası piyasalarda rekabet edebilir bir fiyat seviyesinde olması sağlanmaktadır. Ayrıca üretimin meteorolojik şartlara bağlı olmaması, sürdürülebilir enerji üretimini temin etmekte ve enerji kesintisi gibi problemlerin olmamasını sağlamaktadır.

NGS bulunan ülkelerin hemen hepsinin gelişmiş ülkeler olduğu santrallerin olduğu harita incelendiğinde rahatlıkla görülecektir. Sadece bu haritaya bakılarak bile nükleer enerjinin neden gelişmemiş veya gelişmekte olan ülkelere bulunmadığı ya da az bulunduğu anlaşılabilir. Nükleer karşıtı olan veya bir politika gereği böyle görünen çevrelerin NGS hakkındaki olumsuz eleştirilerin yersiz ve bilimsellikten uzak olduğu bu haritadan yola çıkarak net bir şekilde görülmektedir. Çünkü bu eleştiriler doğru olarak kabul edilirse bilim ve teknolojide lider olan nükleer santral sahibi ülkelerin

kendilerine zararlı bir enerji üretim metodunu tercih ettikleri ortaya çıkar ki bunun böyle olmadığı basit akılla anlaşılmaktadır. Bu nedenle, nükleer santrale radyoaktivite sebebiyle karşı çıkan ülkelere, kendilerinin neden NGS yaptığı ve niçin engellemedikleri soruları yöneltilmelidir.

Nükleer santrallerin faal olduğu ülkelere bakıldığında Müslüman ülkelerde çok az olduğu da tespit edilen bir başka husustur. Bu bir tesadüf olmayıp uluslararası ilişkilerde stratejisini güç üzerine inşa eden gelişmiş ülkelerin kendilerinin haricinde kimsenin bu teknolojiye sahip olmasını istemedikleri açıkça görülmektedir.

Türkiye sınırına komşu birçok ülkede nükleer santraller bulunmaktadır. Özellikle Ermenistan'daki Metsamor nükleer santrali sınıra sadece 16 km mesafededir. Bu santral, koruma kabuğu olmadığından son derece güvenliksiz bir şekilde, kullanım ömrü tamamlamış eski bir tesis olmasına rağmen enerji sıkıntısı çeken ülke tarafından hala çalıştırılmaktadır. Türkiye'nin etrafında buna benzer nükleer santraller var iken son teknolojiye sahip ve güvenli bir tesisi bir an önce kurmalı, ayrıca Metsamor nükleer santralının faaliyetinin bir an önce durdurulması için uluslararası düzeyde çaba harcamaya devam etmelidir. Çünkü muhtemel bir kazada en çok zarar görecektir. Nükleer karşıtı çevrelerin, Türkiye'de her şeyiyle yeni olan, son teknoloji ile kurulacak nükleer santrale karşı çıktıkları kadar Metsamor'daki nükleer santrale de yeterli ve samimi bir şekilde karşı durmaları gerekmektedir.

Türkiye, stratejik öneme sahip olan nükleer teknolojiye ne zaman geçmeye çalışsa ve uluslararası projelere ortak olmak istese bir bahane ile engellenmiştir. Türkiye'nin CERN'e tam üyeliği bu şekilde engellenmektedir. Avrupa Parlamentosu tarafından 2017 yılında yayınlanan raporda, Türkiye ile AB arasında devam eden müzakerelerin askıya alınması teklif edilmekte ve Akkuyu NGS projesinden güvenlik problemlerinden dolayı vazgeçilmesi istenilmektedir. Türkiye bu engelleme girişimleri karşısında kararlı olmalı Akkuyu ile başlayan nükleer enerji çalışmalarına devam etmelidir.

Güney Kore, 20 bin dolar civarında kişi başına düşen milli geliri ile Türkiye için iyi bir örnektir. Çünkü uzun yıllardır kullandığı nükleer santrallerin sayesinde, fosil yakıta fazla ihtiyaç duymaması sebebiyle yılda 14 milyar dolar ülke bütçesinde kalmaktadır.

Türkiye Akkuyu’da başlattığı nükleer güç santralini, nükleer teknoloji transferine çevirmeyi başarabilmeli, kısa sürede Güney Kore seviyesine çıkabilmeli ve dünyada sözü dinlenen bir ülke haline gelebilmelidir.

Ayrıca nükleer enerji, sadece enerji üretim amacıyla değil, tarım, sağlık, endüstri, çevre, araştırma, su, gıda, hayvancılık ve sanayi gibi diğer birçok alanda kullanılan bir teknoloji olması sebebiyle sürdürülebilir kalkınmanın, yüksek verimli ürün almanın ve sağlıklı yaşamının sağlayıcısı bir alternatif durumundadır.

Bu tez çalışmasının konusu olmamakla birlikte, nükleer enerji hiçbir zaman silah üretme amacıyla kullanılmamalı, nükleer silah sahibi ülkeler bu hakkı sadece kendilerinde görmemeli ve uluslararası anlaşmalar gereği var olan silahlarını imha etmelidirler. Türkiye, nükleer teknolojiye enerji üretimi ve farklı alanlarda kullanmak amacıyla sahip olmalı, uluslararası arena da en azından silah üretme potansiyeline sahip olunması dolayısıyla caydırıcılık özelliğinden faydalanmalıdır.

Nükleer teknolojinin enerji arzında sahip olduğu oran halkın sosyal olarak kabulüne bağlıdır. NGS kazalarının medya tarafından abartılarak sunulması ve halkın nükleer hakkında fazla bilgisinin bulunmaması kamuoyunda nükleer enerjiye karşı ne yazık ki olumsuz bir tavır bulunmaktadır. Yapılan araştırmalarda nükleer santrallerin yapılmasına halkın eğitim seviyesi arttıkça desteğin çoğaldığı görülmektedir. Bu sebeple tüm medya imkânları kullanarak, toplantılar yapılarak özellikle NGS kurulması planlanan yöredeki halk bilgilendirilmeli, riskler doğru bir şekilde anlatılmalı ve yurt dışına yöre halkının temsilcileriyle sürekli seyahatle düzenlenerek çalışan nükleer santraller ve çevresindeki yaşam, yerinde gösterilmeli, halk ikna edilerek desteği alınmalıdır.

Nükleer enerjinin, diğer enerji kaynaklarıyla beraber yerküredeki enerji problemini çözecek pratik, çevre dostu ve güvenli bir teknoloji olduğu söyleyebiliriz.

İnsanoğlu, sürekli artan enerji ihtiyacı açığını, yenilenebilir enerji kaynak kullanımını artırarak, mevcut enerjileri tasarruflu ve verimli kullanarak azaltılabilir. Ancak, elektrik ihtiyacı yıllık %6 oranında artan ve gelişmekte olan bir ülke olarak Türkiye, artan genç nüfusu, gelişen sanayisi ile bunlarla yetinmemeli, gelişmiş ülkelerin yaptığı

gibi daha ucuz, daha az tehlikeli, daha çevreci teknikler kullanıma girene kadar nükleer enerjiye bir an önce geçmelidir.

Sonuç olarak, Türkiye'nin enerji stratejisi, elindeki enerji kaynaklarına ek olarak enerji arz güvenliği ve çeşitliliği açısından ilkinde Mersin Akkuyu'da 2018 yılında temelinin atılması ile başladığı kendisine uluslararası arenada lig atlatacak NGS yapım çalışmalarına devam etmeli ve yeni nükleer çalışmaların planlamasını yapmalıdır.



KAYNAKLAR

- Babahanoğlu, V., 2018. Türkiye'nin enerji politikalarının incelenmesi: Kamu Politikası Analizi, Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi, 525-538.
- Bahar, O., 2005. Türkiye’de enerji sektörü üzerine bir değerlendirme, Muğla Üniversitesi SBE Dergisi, 35-36.
- Bakır, G., 2013. Türkiye’nin nükleer enerji politikaları ve Mersin Akkuyu nükleer güç santrali, Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Biçici, R., 2008. Türkiye’de enerji ekonomisi, Yüksek lisans tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Zonguldak.
- Comby, B., 2006. Environmentalists for nuclear energy, Günalp, B., TNR Edition, Pelikan Tıp Teknik Yayınları, Houilles, Fransa.
- Çiçek, M.E., 2012. Sürdürülebilir kalkınma çerçevesinde Türkiye’nin enerji politikaları ve nükleer gereklilik, Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- ÇOB, Çevre ve Orman Bakanlığı, 2004. Türkiye çevre atlası, Ankara.
- Erdöşemeci, F., 2014. Nükleer Güç santrallerinin çevre etiği açısından irdelenmesi, Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Ertürk, F., Akkoyunlu, A. ve Varınca, K.B., 2006. Enerji üretimi ve çevresel etkileri, Tasam, İstanbul.
- ETKB, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2017(a), Dünya ve Türkiye enerji ve tabii kaynaklar görünümü, Ankara.
- ETKB, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2017(b), 2015–2019 stratejik planı, Ankara.
- Gedik, Ö.T., 2015. Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynakları ve çevresel etkileri. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Hüseyinoğlu, A., 2006. Sürdürülebilir kalkınma için nükleer enerjinin önemi, Tasam, İstanbul.
- Kaya, E., 2013. Sürdürülebilir kalkınma çerçevesinde türkiye’nin nükleer enerjiye ilişkin politikalarının değerlendirilmesi, Yüksek lisans tezi, Karabük Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Karabük.
- Koivumäki, T.M., 2011. Nuclear power plants and sustainability. Reykjavík: Reykjavik University, School of Science and Engineering, Reykjavik, Iceland.

- Külebi, A., 2007. Türkiye'nin enerji sorunları ve nükleer gereklilik, Bilgi Yayınevi, Ankara.
- Özemre, A.Y., Bayülken, A. ve Gençay, Ş., 2000. 50 soruda Türkiye'nin nükleer enerji sorunu, Kaknüs Yayınları, İstanbul.
- Palabıyık, H., Yavaş, H. ve Aydın, M., 2010. Nükleer enerji ve sosyal kabul, Usak Yayınları, Ankara.
- Sultansoy, P.D., 2018. CERN'de Bizans oyunları, 27.12.2018, Yeni Şafak, 16.
- T.C. Resmi Gazete, 2872 sayılı çevre kanunu. (18132), 11.8.1983, 1.
- T.C. Resmi Gazete, Radyasyon güvenliği yönetmeliği. (23999), 24.3.2000, 3.
- T.C. Resmi Gazete, Su kirliliği kontrol yönetmeliği. (25687), 31.12.2004, 33.
- Temurçin, K. ve Aliağaoğlu, A., 2003. Nükleer enerji ve tartışmalar ışığında Türkiye'de nükleer enerji gerçeği. Coğrafi Bilimler Dergisi, 25-39.
- Tombakoğlu, M., Ergün, Ş., Atak, H., Çelikten, O.Ş., Duman, V., Kayrın, K., Tiftikçi, A., Türkmen, M., Ayhan, H., Aksoy, B., Ayanoğlu, M., Güler, A., Pınarbaşı, B., Taş, F.B. ve Bayraktar, B.N., 2011. Nükleer enerji raporu, Fizik Mühendisleri Odası, Ankara.
- Uyar, E.Ö., 2009. Sürdürülebilir kalkınma bağlamında kurulacak olan nükleer reaktörlerin Türkiye'nin enerji güvenliğine etkileri, Yüksek lisans tezi, Genelkurmay Başkanlığı, Stratejik Araştırmalar Enstitüsü, İstanbul.
- Yavuzaslan, K., 2009. Türkiye'nin enerji politikaları ve nükleer enerji ihtiyacı, Yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Yıldırım, M. ve Örnek, İ., 2007. Enerjide son seçim: Nükleer enerji, Gaziantep Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 32-44.
- URL-1 <<http://kurumsalarsiv.taek.gov.tr/bitstream/1/103/2/30010.pdf>>, Erişim Tarihi: 29.10.2018.
- URL-2 <<https://nepud.enerji.gov.tr/tr-TR/Bilgi-Bankasi/Turkiyenin-Temel-Enerji-Politikasi-Nedir>>, Erişim Tarihi: 29.10.2018.
- URL-3 <<https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalReactorsByCountry-.aspx>>, Erişim Tarihi: 03.11.2018.
- URL-4 <<https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/UnderConstructionReactorsByCountry.aspx>>, Erişim Tarihi: 03.11.2018.
- URL-5 <<https://www.iaea.org/topics/nuclear-technology-and-applications>>, Erişim Tarihi: 28.10.2018.

- URL-23 <<http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Petrol-Boru-Hatlari>>, Erişim Tarihi: 21.11.2018.
- URL-24 <<https://www.yenisafak.com/ekonomi/petrol-devinin-cezasi-belli-oldu-2445508>>, Erişim Tarihi: 20.11.2018.
- URL-25 <https://www.bbc.com/turkce/haberler/2011/12/111215_oil_auctions.sh-t---ml>, Erişim Tarihi: 20.11.2018.
- URL-26 <<http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Dogal-Gaz>>, Erişim Tarihi: 20.11.2018.
- URL-27 <<http://www.tpao.gov.tr/?mod=sektore-dair&contID=31>>, Erişim Tarihi: 13.12.2018.
- URL-28 <[http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2f1%2fDocuments %2fMavi %20-Kitap%2fMavi_kitap_2016.pdf](http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2f1%2fDocuments%2fMavi%20-Kitap%2fMavi_kitap_2016.pdf)>, Erişim Tarihi: 13.12.2018.
- URL-29 <<https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Dogal-Gaz-Boru-Hatlari-ve-Projeleri>>, Erişim Tarihi: 13.12.2018.
- URL-30 <<https://www.hattusaenerji.com.tr/page.aspx?SayfaIcerik=109>>, Erişim Tarihi: 13.12.2018.
- URL-31 <<https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/maden-serisi/Uranyum-Toryum.pdf>>, Erişim Tarihi: 17.12.2018.
- URL-32 <<http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Uranyum-ve-Toryum>>, Erişim Tarihi: 17.12.2018.
- URL-33 <<http://www.taek.gov.tr/tr/2016-06-09-00-43-55/162-nukleer-yakit-cevrimi.html>>, Erişim Tarihi: 19.12.2018.
- URL-34 <<http://www.taek.gov.tr/tr/2016-06-09-00-43-55/162-nukleer-yakit-cevrimi/1071-toryum.html>>, Erişim Tarihi: 19.12.2018.
- URL-35 <http://www.iea.org/stats/docs/statistics_manual_turkish.pdf>, Erişim Tarihi: 23.12.2018.
- URL-36 <http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/h_hidrolik_nedir.aspx>, Erişim Tarihi: 23.12.2018.
- URL-37 <<https://www.iea.org/topics/renewables/hydropower/>>, Erişim Tarihi: 23.12.2018.
- URL-38 <http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/17665_46_27.pdf>, Erişim Tarihi: 23.12.2018.
- URL-39 <<http://www.dsi.gov.tr/docs/stratejik-plan/dsi-2017-faaliyet-raporu.pdf?sfvr sn=2>>, Erişim Tarihi: 23.12.2018.

- URL-40 <<http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Hidrolik>>, Erişim Tarihi: 23.12.2018.
- URL-41 <http://www.emo.org.tr/ekler/63ea51eeb9eb4b9_ek.pdf>, Erişim Tarihi: 23.12.2018.
- URL-42 <https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Mar/-IRENA_RE_Capacity_Statistics_2018.pdf>, Erişim Tarihi: 24.12.2018.
- URL-43 <<http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Biyokutle>>, Erişim Tarihi: 25.12.2018.
- URL-44 <http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/biyokutle_cevrim_tekno.aspx>, Erişim Tarihi: 25.12.2018.
- URL-45 <http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/biyokutle_enerjisi.aspx>, Erişim Tarihi: 25.12.2018.
- URL-46 <<http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Ruzgar>>, Erişim Tarihi: 25.12.2018.
- URL-47 <http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/jeo_enerji_nedir.aspx>, Erişim Tarihi: 26.12.2018.
- URL-48 <http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/dunyada_jeo.aspx>, Erişim Tarihi: 26.12.2018.
- URL-49 <<http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Jeotermal>>, Erişim Tarihi: 26.12.2018.
- URL-50 <http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/turkiyede_jeo.aspx>, Erişim Tarihi: 26.12.2018.
- URL-51 <<http://www.yegm.gov.tr/teknoloji/dalga.aspx>>, Erişim Tarihi: 29.12.2018.
- URL-52 <http://www.emo.org.tr/ekler/20bb2d9a50d5ac1_ek.pdf>, Erişim Tarihi: 29.12.2018.
- URL-53 <<https://www.bakka.gov.tr/site/haber/983/pilot-dalga-enerji-santrali-protokolu-imzalandi>>, Erişim Tarihi: 30.12.2018.
- URL-54 <http://www.yegm.gov.tr/teknoloji/h_enerjisi.aspx>, Erişim Tarihi: 30.12.2018.
- URL-55 <<http://dergipark.gov.tr/download/article-file/186846>>, Erişim Tarihi: 31.12.2018.
- URL-56 <http://www.yegm.gov.tr/teknoloji/h_teknolojisi.aspx>, Erişim Tarihi: 31.12.2018.

- URL-57 <http://www.yegm.gov.tr/teknoloji/h_depolanmasi.aspx>, Erişim Tarihi: 31.12.2018.
- URL-58 <http://nukleerakademi.org/wp-content/uploads/2015/10/fisyon_fuzyon.jpg>, Erişim Tarihi: 05.01.2019
- URL-59 <http://www.taek.gov.tr/ogrenci/bolum1_02.html>, Erişim Tarihi: 05.01.2019
- URL-60 <<https://www.iter.org>>, Erişim Tarihi: 05.01.2019
- URL-61 <<http://www.world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/nuclear-power-in-the-world-today.aspx>>, Erişim Tarihi: 08.01.2019
- URL-62 <<http://www.taek.gov.tr/tr/2016-06-09-00-43-55/135-gunumuzde-nukleer-enerji-rapor/837-bolum-03-nukleer-yakit-cevrimi.html>>, Erişim Tarihi: 05.01.2019
- URL-63 <https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=http://www.fmo.org.tr/wp-content/uploads/2015/02/FMO_Nuk_Enr_Rap_2011_aralik_son.doc1_.pdf>, Erişim Tarihi: 05.01.2019
- URL-64 <https://www.fmo.org.tr/wp-content/uploads/2015/02/FMO_Nuk_Enr_Rap_2011_aralik_son.doc1_.pdf>, Erişim Tarihi: 13.01.2019
- URL-65 <http://www.taek.gov.tr/ogrenci/bolum2_01.html>, Erişim Tarihi: 13.01.2019
- URL-66 <<http://www.taek.gov.tr/tr/2016-06-09-00-43-55/135-gunumuzde-nukleer-enerji-rapor/838-bolum-02-nukleer-enerjinin-temel-prensipleri.html>>, Erişim Tarihi: 13.01.2019
- URL-67 <<http://kurumsalarsiv.taek.gov.tr/bitstream/1/97/2/30004.pdf>>, Erişim Tarihi: 13.01.2019
- URL-68 <<https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalReactorsByType.aspx>>, Erişim Tarihi: 13.01.2019
- URL-69 <http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/29/026/2-90267-86.pdf>, Erişim Tarihi: 13.01.2019
- URL-70 <http://www.bilimteknik.tubitak.gov.tr/system/files/4_nesil_nukleer.pdf>, Erişim Tarihi: 14.01.2019
- URL-71 <<http://www.taek.gov.tr/ogrenci/sf3.html>>, Erişim Tarihi: 19.01.2019
- URL-72 <http://www.taek.gov.tr/ogrenci/bolum5_06.html>, Erişim Tarihi: 20.01.2019

- URL-73 <http://www.fmo.org.tr/yayinlar/NUKLEER_ATIKLAR.pdf>,
Erişim Tarihi: 21.01.2019
- URL-74 <http://www.taek.gov.tr/ogrenci/bolum3_04.html>,
Erişim Tarihi: 21.01.2019
- URL-75 <<https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/editordosya/N%C3%83%C5%93KLEER%20SANTRALLER.pdf>> , Erişim Tarihi: 21.01.2019
- URL-76 <<http://www.akkunpp.com/infocenter>> , Erişim Tarihi: 21.01.2019
- URL-77 <<http://www.taek.gov.tr/tr/2016-06-09-00-43-55/135-gunumuzde-nukleer-enerji-rapor/832-bolum-08-uluslararası-nukleer-duzenlemeler-ve-nukleer-silahların-yayılmasının-onlenmesi.html>> , Erişim Tarihi: 22.01.2019
- URL-78 <<http://www.taek.gov.tr/tr/sik-sorulan-sorular/136-nukleer-enerji-ve-nukleer-reaktorler-sss/850-nukleer-enerji-santralinden-nukleer-silah-yapımı-soz-konusu-olabilir-mi.html>> , Erişim Tarihi: 22.01.2019
- URL-79 <http://www.taek.gov.tr/ogrenci/bolum3_02.html> ,
Erişim Tarihi: 22.01.2019
- URL-80 <<http://www.taek.gov.tr/tr/159-egitim-arastirma/bilgi-kosesi/nukleer-guvenlik/1060-nukleer-guvenlik.html>> , Erişim Tarihi: 22.01.2019
- URL-81 <<http://kurumsalarsiv.taek.gov.tr/bitstream/1/644/1/30024.pdf>> ,
Erişim Tarihi: 22.01.2019
- URL-82 <<http://kurumsalarsiv.taek.gov.tr/bitstream/1/647/1/30027.pdf>> ,
Erişim Tarihi: 22.01.2019
- URL-83 <<http://www.taek.gov.tr/tr/sik-sorulan-sorular/136-nukleer-enerji-ve-nukleer-reaktorler-sss/847-gecmiste-olan-nukleer-santral-kazaları-hakkında-bilgi-verir-misiniz.html>> , Erişim Tarihi: 24.01.2019
- URL-84 <<https://www.afad.gov.tr/tr/23739/Three-Mile-Island-Kazası>> ,
Erişim Tarihi: 26.01.2019
- URL-85 <<https://www.afad.gov.tr/tr/23736/Cernobil-Nukleer-Santral-Kazası>> ,
Erişim Tarihi: 27.01.2019
- URL-86 <<http://www.unscear.org/unscear/en/chernobyl.html#Health>> ,
Erişim Tarihi: 30.01.2019
- URL-87 <https://meclishaber.tbmm.gov.tr/develop/owa/haber_portal.aciklama?p1=---101567> , Erişim Tarihi: 30.01.2019
- URL-88 <<http://www.fmo.org.tr/wp-content/belgeler/fukushimaraporu.pdf>> ,
Erişim Tarihi: 30.01.2019

- URL-89 <<https://www.afad.gov.tr/tr/23737/Fukushima-Daiichi-Nukleer-Santral-K-a-zasi>>, Erişim Tarihi: 31.01.2019
- URL-90 <<https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Nukleer-Enerji>>, Erişim Tarihi: 12.03.2019
- URL-91 <<https://www.ntv.com.tr/dunya/isvicre-de-nukleeri-birakiyor,XjG2SNWxw0SK6Z-UUVQ1pQ>>, Erişim Tarihi: 12.03.2019
- URL-92 <<http://www.taek.gov.tr/tr/2016-06-09-00-43-55/135--gunumuzde-nukleer--enerji-rapor/833-bolum-07-nukleer-enerjinin-ekonomisi.html>>, Erişim Tarihi: 14.03.2019
- URL-93 <<http://www.taek.gov.tr/tr/sik-sorulan-sorular/136-nukleer-enerji--ve-nukleer-reaktorler-sss/854-nukleer-santrallerin-yatirim-suresi-ve-maliyeti-ne-kadar.html>>, Erişim Tarihi: 14.03.2019
- URL-94 <<http://www.world-nuclear.org/information-library/economic-aspects/economics-of-nuclear-power.aspx>>, Erişim Tarihi: 15.03.2019
- URL-95 <<https://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FSayfalar%2F2FN%C3%BCkleer+Santraller+ve+%C3%9Ckemizde+Kurulacak+N%C3%BCkleer+Santrale+-%C4%B0li%C5%9Fkin+Bilgiler.pdf>>, Erişim Tarihi: 15.03.2019
- URL-96 <http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1-%2FDocuments%2FSayfalar%2F2FT%C3%BCrkiyenin_N%C3%BCkleer_Santral_Projeleri_Soru-Cevap.pdf>, Erişim Tarihi: 15.03.2019
- URL-97 <<https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/NuclearShareofElectricityGeneration.aspx>>, Erişim Tarihi: 17.03.2019
- URL-98 <<http://cografyaharita.com/haritalarim/3cdunya-nukleer-santraller-haritasi2-017.png>>, Erişim Tarihi: 17.03.2019
- URL-99 <<http://nukleerakademi.org/referandum-sonucunda-isvicre--halki-nukleere-devam-dedi/>>, Erişim Tarihi: 17.03.2019
- URL-100 <https://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FS--ekt%C3-%B6r%20Raporu%2FEUAS-Sektor_Raporu2016.pdf>, Erişim Tarihi: 17.03.2019
- URL-101 <<http://www.taek.gov.tr/tr/sik-sorulan-sorular/136-nukleer-enerji-ve-nukleer-reaktorler-sss/852-su-ana-kadar-neden-turkiyede-nukleer-santral-kurulmadi.html>>, Erişim Tarihi: 18.03.2019
- URL-102 <<http://www.taek.gov.tr/tr/sesame/1037-avrupa-nukleer-arastirma-merkezi-cern.html>>, Erişim Tarihi: 19.03.2019

- URL-103 <<http://www3.kalkinma.gov.tr/DocObjects/Download/13-742/plan-7.pdf>>, Erişim Tarihi: 20.03.2019
- URL-104 <http://www3.kalkinma.gov.tr/DocObjects/view/15089/Onuncu_Kalk%C4%B1nma_Plan%C4%B1.pdf>, Erişim Tarihi: 21.03.2019
- URL-105 <<http://nukleerakademi.org/turkiyenin-etrafindaki-nukleer-santraller/>>, Erişim Tarihi: 21.03.2019
- URL-106 <<http://www.taek.gov.tr/tr/blog/radyasyon-erken-uyari-sistemi-agi-resa.html>>, Erişim Tarihi: 21.03.2019
- URL-107 <<https://www.bbc.com/turkce/haberler-dunya-43484585>>, Erişim Tarihi: 23.03.2019
- URL-108 <<http://www.nukleer.web.tr/tarihce/1980s.html>>, Erişim Tarihi: 23.03.2019
- URL-109 <<https://www.aa.com.tr/tr/dunya/dunden-bugune-iran-nukleer-anlasmasi/--1139503>>, Erişim Tarihi: 23.03.2019
- URL-110 <<http://www.aljazeera.com.tr/haber-analiz/iranin-nukleer-programi>>, Erişim Tarihi: 23.03.2019
- URL-111 <<http://www.world-nuclear-news.org/Articles/Saudi-Arabia-lays-research-reactor-foundation-stone>>, Erişim Tarihi: 23.03.2019
- URL-112 <http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com_gts&arama=gts&guid=TD-K.GTS-.5-c966ddba38bc9.50519987>, Erişim Tarihi: 23.03.2019
- URL-113 <http://www.mfa.gov.tr/turkiye_nin-enerji-stratejisi.tr.mfa>, Erişim Tarihi: 23.03.2019
- URL-114 <<https://www.yenisafak.com/yazarlar/erdaltanaskaragol/turkiyenin-nukleer-enerjisi-abyi-neden-rahatsiz-ediyor-2038892>>, Erişim Tarihi: 23.03.2019
- URL-115 <http://www.tasam.org/tr-TR/Icerik/4960/nukleer_teknoloji_transferi_ve_milli_nukleer_guc_programi> Erişim Tarihi: 23.03.2019
- URL-116 <<https://www.setav.org/kalkinmanin-can-suyu-enerji/>>, Erişim Tarihi: 24.03.2019
- URL-117 <<https://www.nato.int/docu/review/2018/Also-in-2018/the-nuclear-non-proliferation-treaty-at-fifty-a-midlife-crisis/TR/index.htm>>, Erişim Tarihi: 24.03.2019
- URL-118 <<https://www.iaea.org/topics/addressing-environmental-issues>>, Erişim Tarihi: 29.03.2019
- URL-119 <<http://nukleerakademi.org/nukleer-enerjinin-sosyoekonomik-etkileri/tarim/>>, Erişim Tarihi: 29.03.2019

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Osman SEVER
Doğum Tarihi ve Yeri : 1973 - Tokat
E-posta adresi : severosman@yahoo.com

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans : Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü (2012-2016)
Yüksek Lisans : Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü (2017-2019)

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLERİ

Yüksek Onur Belgesi, 2015-2016 Güz-Bahar dönemi; Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü.