

**T.C.**  
**İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ**  
**SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**



**NÜKLEER ENERJİ OPTİMİZASYONU: TÜRKİYE İÇİN**  
**İTHAL İKAMECİ ENERJİ POLİTİKASININ**  
**GELİŞTİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

DANIŞMAN HAZIRLAYAN  
**PROF.DR.İRFAN KALAYCI ALİ DURAN UZUN**  
**MALATYA-2016**

T.C.  
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ  
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

**NÜKLEER ENERJİ OPTİMİZASYONU: TÜRKİYE  
İÇİN İTHAL İKAMECİ ENERJİ POLİTİKASININ  
GELİŞTİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

DANIŞMAN  
PROF.DR. İRFAN KALAYCI

HAZIRLAYAN  
ALİ DURAN UZUN

Jürimiz 27/6/2016 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda bu doktora tezini (oybirliği /oyçokluğu) ile başarılı bulunarak İktisat Anabilim, İktisat Bilim dalında doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyelerinin Unvan Ad Soyadı

1. Prof. Dr. Yusuf KARAKILÇIK (Bşk)
2. Prof. Dr. İrfan KALAYCI ( Danışman)
3. Doç. Dr. İlhan EROĞLU
4. Doç. Dr. Şule ERGÜN
5. Doç. Dr. Ahmet UĞUR

İmzası

İrfan Kalaycı

İlhan Eroğlu

Şule Ergün

Ahmet Uğur

İnönü Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulunun ..... tarih ve .....sayılı kararıyla bu tezin kabulü onaylanmıştır.

Prof.Dr.Mehmet KARAGÖZ

Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürü

## ONUR SÖZÜ

Doktora tezi olarak sunduğum “*Nükleer Enerji Optimizasyonu: Türkiye İçin İthal İkameci Enerji Politikasının Geliştirilmesi*” adlı çalışmamın, bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

30/05/ 2016

Ali Duran UZUN

## BİLDİRİM\*

Hazırladığım tezin/raporun tamamen kendi çalışmam olduğunu ve her alıntıya kaynak gösterdiğimi taahhüt eder, tezimin/raporumun kâğıt ve elektronik kopyalarının İnönü Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü arşivlerinde aşağıda belirttiğim koşullarda saklanmasına izin verdiğimi onaylarım:

☐ Tezimin/Raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir.

☐ Tezim/Raporum sadece İnönü Üniversitesi yerleşkelerinden erişime açılabilir.

☒ Tezimin/Raporumun 3 yıl süreyle erişime açılmasını istemiyorum. Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin/raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir.

\* Bireysel görüşü içeren bu çalışma TSK'nın görüşlerini yansıtmamaktadır.

30/05/ 2016 ve İmza

---

Ali Duran UZUN

## ÖNSÖZ

Türkiye Cumhuriyeti kurulduktan bir yüzyıl sonra 29 Ekim 2023’de, Türkiye’yi çağdaş uygarlık düzeyine çıkarmak amacıyla belirlenen ulusal stratejilerden bir tanesi de enerji bağımlılığından kurtulmak ve enerji arz güvenliğini sağlamaktır. Bu amaç doğrultusunda nükleer enerji tercihi yapılmıştır.

Bu husus irdelendiğinde ortaya çıkan en çarpıcı bulgu; özellikle gelişmiş ülkelerin ve hızlı büyüme oranını yakalayan ülkelerin nükleer enerji tercihli enerji politikaları izlemekte olduğudur. Diğer önemli bir bulgu ise; ülkelerin nüfus potansiyeli, gelişmişlik ve GSYH düzeyleri ile nükleer enerji tercihi arasında pozitif yönlü ilişki olduğu gerçeğidir.

Ayrıca, dünya fosil kaynaklarının tahmini tükeniş süreleri petrolde 48 yıl, doğal gazda 65 yıl ve kömürde 230 yıldır. Dünya enerji talebinin gelişen teknoloji ve artan nüfus izdüşümünde sürekli artması (elektrikli otomobil, bisiklet, el aletleri, makineler, vinçler, metro ve hızlı trenler, teknolojik gelişmeler, tıp, savunma ve uzay sistemleri, aydınlatma, ısınma, endüstri için girdi, vs.) enerji konusunun önemini gözler önüne sermektedir. Bu bağlamda gelecekte enerji talep tahminlerinin sağlıklı yapılması büyük önem arz etmektedir.

Atatürk’ün *“Yaşanan çağ, bir ekonomi çağıdır. Milli egemenlik ise ekonomik egemenlikle kuvvetlenmektir. Yeni devletimizin, yeni hükümetimizin bütün esasları, bütün programları ekonomi programından çıkmalıdır.”* sözleri ile ekonomik bağımsızlığın sağlanmasına ne kadar önem verdiği görülmektedir. Ekonomik bağımsızlığın temel taşlarından biri de enerjidir. Ocak 2006 doğal gaz krizi ve Rusya uçak krizi enerji arz güvenliği ve enerji çeşitliliğinin gerekliliğini kurumsal hafızaya perçinlemiştir.

Türkiye, jeopolitik ve jeostratejik açıdan son derece önemli bir coğrafya üzerinde yer almaktadır. Pek çok uygarlıgauygarlığa ev sahipliği yapmış olan bu toprakların tarihi incelendiğinde ortaya çıkan en önemli sonuç, zayıf devletlerin bu coğrafyada yaşama şansının olmadığıdır. Milli gücün en önemli unsurlarından olan ekonomik güç enerji bağımsızlığıyla da pekişmektedir. Türkiye, yenedünya düzeninde küresel enerji koridoru görevi yapmaktadır. Bu bağlamda uygulanacak etkin makroekonomik strateji ve politikalar %72 düzeyinde olan enerji bağımlılığının geleceğini şekillendirecektir.

Türkiye bu bağımlılığını mutlaka azaltmak zorundadır. Gelişmiş ülkelerde nükleer enerjinin askeri açıdan sağladığı üstünlüğün yanı sıra hem genel ekonomiye katkı sağlamada hem de politik etkinlik oluşturulmasında önemli bir rol oynadığı bilinen bir gerçektir. Bu alanda küresel ölçekte başarılı olmak ve söz sahibi durumuna gelmek, Türkiye’ye pek çok açıdan üstünlük sağlayacaktır. Türkiye nükleer enerjiye geçince şu tür yararları sağlayabilir;

*Askeri/siyasi/politik/teknolojik açıdan:*

- ✓ Enerjide kendi kendine yetebilme ve güvenin artması boyutunda caydırıcılığa katkı sağlaması,
- ✓ Uluslararası anlaşmazlıkların çözümünde güç ve söz sahibi olmak,
- ✓ Stratejik ve taktiksel kararların alınıp uygulamasında etkinliği sağlamak,
- ✓ Enerji sorunları karşısında farklı çözüm yolları üretebilme kabiliyetine sahip olmak,
- ✓ Türkiye’nin bilim ve teknoloji yeteneğinin yükseltilmesine katkı sağlamak, (Milli kaynaklarla %98 oranında nükleer santral tasarlayabilen G.Kore’de başlangıçta katkı oranı yerel olarak %2 düzeyinde gerçekleşmiştir.)
- ✓ Sektörel olarak kurum ve bilimsel kuruluşlarla işbirliğine katkıda bulunmak,
- ✓ Kendi bölgesinde lider bir devlet olmak,
- ✓ “Yurtta Sulh ve Cihanda Sulh”a katkı sağlamak, refahı artırmak şeklindedir.

*İktisadi açıdan:*

- ✓ Ulusal ekonomiye olası yükün azaltılması,
- ✓ Döviz girdisi artışı,
- ✓ Enerjide karşılaştırmalı üstünlük elde edilmesiyle rekabet gücüne katkı,
- ✓ Ödemeler dengesine katkı,
- ✓ İstihdam artışına katkı sağlanması,
- ✓ Yan sanayinin gelişmesi,
- ✓ Enflasyonun azaltılmasına katkı,
- ✓ Hayat standartlarının yükseltilmesine katkı,
- ✓ Toplumsal refaha katkı şeklindedir.

Bu tezde sosyal kaygılar boyutunda ise; Türkiye'nin iki nükleer santralinin Japonya ve Rusya tarafından yapılacak olmasında; nükleer felaketin ülkemizde yaşanmaması için bu ülkeler tarafından elde edilen tecrübeler vasıtasıyla kazalardan korunmak için ek tedbir alma boyutu irdelenmiştir. İlave olarak 2023 ulusal stratejik hedef doğrultusunda Türkiye için optimum nükleer enerji santral sayısının kaç olması gerektiği iktisadi çerçevede incelenmiştir. Ceteris paribus varsayımı altında Türkiye'nin 2023 enerji projeksiyonları iktisadi çözümlerler ışığında şekillendirilmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmada; Türkiye'nin enerji kaynakları ve dünya enerji potansiyeli içindeki nükleer enerjinin yeri belirlenip elde edilen analitik bulgular paralelinde enerji sorunsalını çözümlenecek nükleer enerji optimizasyonunda ithal ikameci strateji ve politikalar önerilmiştir.

## TEŞEKKÜR SAYFASI

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteğini esirgemeyen tez danışmanım değerli hocam Prof.Dr. İrfan Kalaycı'ya, Öğretim üyesi Yrd.Doç.Dr. Ozan Saray'a, Tez İzleme Komitesi üyeleri Prof.Dr. Yusuf Karakılçık ve Doç.Dr. Ahmet Uğur'a, Hacettepe Üniversitesi Nükleer Enerji Bölüm Başkan Yardımcısı Doç.Dr. Şule Ergün'e, teşekkürlerimi sunuyorum.





## ÖZET ve ANAHTAR KELİMELELER

[UZUN, Ali Duran]. [Nükleer Enerji Optimizasyonu: Türkiye İçin İthal İkameci Enerji Politikasının Geliştirilmesi], [Doktora Tezi], Malatya, [2016].

Atom enerjisinin ticari amaçlarla kullanılması için ilk nükleer santralin 1954 yılında Rusya tarafından kurulmasıyla Nükleer Enerji Piyasası doğmuş, nükleer santral teknolojisinin geliştirilmesi ile Nükleer Rönesans başlatılmıştır. Bu teknolojiyi daha da geliştiren G.Kore ve Japonya gibi ülkeler, nükleer santral tasarımlarına özgün olarak sahip olmuşlardır. Günümüzde 30'dan fazla ülkede 444 nükleer reaktör işletilmektedir. Fukushima kazası sonrasında dahi, öncesinde nükleer güç santrali bulunmayan ülkeler dahil toplam 65 santralin yapımı devam etmekte ve 2030 yılına kadar 173 yeni nükleer santralin yapılması planlanmaktadır. Nükleer enerjide seçilmiş ülkeler incelenerek Japonya modeli esas alınmıştır. Elektrik talep artışında Türkiye, 2010 yılı itibarıyla Avrupa'da birinci, dünyada ise Çin'den sonra ikinci sırada yer almaktadır. Türkiye'nin enerji tüketim değerlerinde, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerdeki eğilime paralel olarak elektrik enerjisinin payı artmaktadır. Hızla artan nüfus ve gelişen/değişen teknoloji, yükselen elektrik enerjisi ihtiyacını beraberinde getirmektedir. Türkiye kişi başına gelir bakımından dünyanın 17. büyük ekonomisi olmuştur. Ancak, elektrik tüketim talebi ekonomik büyümeden yaklaşık % 2'den fazla olmuştur. Toplam enerji ihtiyacının % 72'sini ithalatla karşılayan Türkiye, enerjide büyük oranda dışa bağımlıdır. Elektrik üretiminde kullanılan petrolün % 92'si, kömürün % 20'si ve doğalgazın % 98'i ithal edilmektedir. 2015 yılı sonu itibarıyla, yıllık yaklaşık 264 milyar kWh olan Türkiye'nin elektrik ihtiyacının 2023 yılında 414-440 milyar kWh'e çıkması öngörülmektedir. Fosil yakıtların bilinen rezervlerinin tahmini bitiş süreleri ve kapasite faktörleri de göz önüne alındığında, Türkiye mevcut enerji potansiyeli ile bu talebin ancak yarısını karşılayabilmektedir. Oluşan enerji açığını karşılamak amacıyla yapılan nükleer enerji tercihi "3E" yaklaşımıyla irdelenmiştir. GZFT çözümlemesi, nükleer enerji henüz kullanılmadığı için basit regresyon analizi, ekonomik büyüme ile enerji tüketimi arasındaki ilişkinin yönünün belirlenmesi, Japonya modeli ve gelişmiş ülkeler ekseninde de elde edilen bulgular ışığında optimum nükleer santral sayısı ve kapasitesi belirlenip ithal ikameci enerji politikası oluşturularak öneriler sunulmuştur. Risk kabul edilebilir seviyede kontrol altına alındığında, nükleer enerji santralleri iyi tasarlanmış, iyi inşa edilmiş, iyi yapılandırılmış, iyi işletilebilir ve iyi bakımı yapılır ise nükleer enerji sadece temiz değil aynı zamanda ucuz, emniyetli, güvenilir, dayanıklı ve rekabetçidir.

**Anahtar Kelimeler:** Nükleer Rönesans, Optimizasyon, İthal İkamesi, Enerji Arz Güvenliği, Kapasite Faktörü, Enerji Politikası, "3E" (Economy-Energy-Environment)

## **ABSTRACT and KEY WORDS**

Nuclear Energy Market was born by the foundation of the first nuclear plant in Russia in 1954 for the purpose of using atomic energy for commercial purposes, and by the development of nuclear plant technology Nuclear Renaissance was initiated. Countries like S.Korea and Japan developed this technology much further and owned their genuine nuclear plant design. Currently there are 444 nuclear reactors in business in more than 30 countries. Even after the Fukushima accident, the construction of 65 plants are being continued including the countries which don't have any nuclear power plant earlier, and 173 new nuclear plants are planned to be constructed till 2030. Selected countries were examined and model of Japan is based on in this study. As of 2010, Turkey is the first country in Europa and the second country in the world after China in terms of increase in demand of electricity. Similar to the tendency in developing and developed countries, in energy consumption values Turkey's share of electricity is increasing. Fast increasing population and development/change in technology comes with high electrical energy need. Turkey has become the 17th biggest economy in the World in terms of annual per capita income. However, the demand of electricity consumption has been approximately %2 bigger than economic growth. Turkey covers %72 of it's total energy need on import, and highly dependent on foreign countries for energy. %98 of natural gas, 92% of fuel oil and 20% of coal that are used to generate electricity are imported. As of end of 2015, Turkey's electricity need is approximately 264 billion kWh, and it is predicted to increase to 414-440 billion kWh in 2023. When the estimated depletion date of fossil fuels and the capacity factors are taken into consideration, Turkey compensates half of the demand with the current energy potential. Nuclear energy option, which is used to supply existing energy shortage, is examined by 3E approach. By SWOT analysis, simple regression analysis (since nuclear energy is not used yet), the determination of direction between economical growth and energy consumption, and the investigation of Japanese model and developed countries, information is generated and used to determine the optimum number and capacity of nuclear power plants and suggestions are provided for import-substitution energy policy. As long as risk is controlled at acceptable level, and as long as nuclear energy plants are well designed, well built, well configured, well operated, and well maintained, nuclear energy is not only clean but also cheap, safe, reliable, durable and competitive.

**Key words:** Nuclear Renaissance, Optimization, Import Substitution, Energy Supply Reliability, Capacity Factor, Energy Policy, "3E"(Economy-Energy-Environment)

## İÇİNDEKİLER

### NÜKLEER ENERJİ OPTİMİZASYONU: TÜRKİYE İÇİN İTHAL İKAMECİ ENERJİ POLİTİKASININ GELİŞTİRİLMESİ

|                                  |                                  |
|----------------------------------|----------------------------------|
| ONAY SAYFASI .....               | Hata! Yer işareti tanımlanmamış. |
| ONUR SÖZÜ .....                  | iii                              |
| BİLDİRİM .....                   | iv                               |
| ÖNSÖZ.....                       | v                                |
| TEŞEKKÜR SAYFASI.....            | viii                             |
| ÖZET ve ANAHTAR KELİMELEER ..... | ix                               |
| ABSTRACT and KEY WORDS.....      | x                                |
| TABLolar LİSTESİ.....            | xiii                             |
| ŞEKİLLER LİSTESİ.....            | xiv                              |
| KISALTMALAR .....                | xvi                              |
| GİRİŞ .....                      | 1                                |

#### BİRİNCİ BÖLÜM ARAŞTIRMA HAKKINDA GENEL AÇIKLAMALAR

|                                                                                 |   |
|---------------------------------------------------------------------------------|---|
| 1. ARAŞTIRMANIN KONUSU, ÖNEMİ, AMACI, DENENCESİ, YÖNTEM<br>VE SUNUŞ SIRASI..... | 3 |
| 1.1. Araştırmanın Konusu ve Önemi.....                                          | 3 |
| 1.2. Araştırmanın Amacı ve Denencesi.....                                       | 4 |
| 1.3. Araştırmanın Yöntemi ve Bilgi Derleme-İşleme Araçları.....                 | 7 |
| 1.4. Araştırmanın Anahtar Kavramları.....                                       | 9 |
| 1.5. Araştırmanın Sunuş Sırası.....                                             | 9 |

#### İKİNCİ BÖLÜM DÜNYADA NÜKLEER ENERJİ

|                                                       |    |
|-------------------------------------------------------|----|
| 2. NÜKLEER ENERJİ VE NÜKLEER GÜÇ SANTRALLERİ.....     | 11 |
| 2.1. Nükleer Enerjinin Elde Edilmesi .....            | 11 |
| 2.2. Nükleer Güç Santralleri (NGS).....               | 12 |
| 2.3. Nükleer Enerji Kullanım Alanları.....            | 27 |
| 2.4. Nükleer Enerjide Seçilmiş Ülke Uygulamaları..... | 28 |
| 2.4.1. ABD .....                                      | 29 |
| 2.4.2. Fransa .....                                   | 36 |
| 2.4.3. Japonya .....                                  | 40 |
| 2.4.4. Rusya.....                                     | 54 |
| 2.4.5. Kanada .....                                   | 58 |

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 2.4.6. G.Kore.....         | 61 |
| 2.4.7. Çin .....           | 64 |
| 2.4.8. Diğer Ülkeler ..... | 67 |

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM NÜKLEER RÖNESANS

|                                                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3. NÜKLEER ENERJİ EKONOMİSİ, OPTİMİZASYON, POLİTİKA VE TÜRKİYE ÖRNEK OLAYI ..... | 76  |
| 3.1. Nükleer Enerji Ekonomisi .....                                              | 76  |
| 3.1.1. Nükleer Enerji Arz ve Talep Boyutu .....                                  | 88  |
| 3.1.2. Nükleer Enerji, İktisadi Büyüme ve Sürdürülebilir Kalkınma İlişkisi ..... | 90  |
| 3.1.3. Nükleer Enerji, İstihdam ve Kapasite Kullanımı .....                      | 96  |
| 3.1.4. Nükleer Enerji ve Fiyatlar Genel Düzeyi .....                             | 100 |
| 3.1.5. Nükleer Enerji ve Ödemeler Dengesi .....                                  | 101 |
| 3.1.6. Nükleer Enerji Maliyetleri .....                                          | 102 |
| 3.1.7. Dünyada Nükleer Enerjinin Payı .....                                      | 110 |
| 3.2. GZFT Çözümlemesi .....                                                      | 118 |
| 3.3. Optimizasyon .....                                                          | 135 |
| 3.4. İthal İkameci Sanayileşme Politikası .....                                  | 138 |
| 3.5. Türkiye Örnek Olayı .....                                                   | 141 |
| 3.5.1. Japonya'nın Enerji Bağımlılığı, Türkiye Özdeşliği .....                   | 171 |
| 3.5.2. Japonya Nükleer Kazanımlarının Türkiye'ye Transferi .....                 | 172 |
| 3.5.3. Fukushima Sonrası Ülkelerin Nükleer Enerji Politikaları .....             | 172 |
| 3.5.4. Japonya Modeli: Türkiye'nin Ulusal Enerji Stratejisinin Tahlili .....     | 177 |

## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM GENEL DEĞERLENDİRME

|                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4. BULGULAR, ÖNERİLER VE SONUÇ .....                                                | 191 |
| 4.1. Bulgular ve Öneriler .....                                                     | 191 |
| 4.2. Genel Sonuç .....                                                              | 197 |
| KAYNAKÇA .....                                                                      | 200 |
| EKLER .....                                                                         | 216 |
| EK-1: Dünya Enerji Tüketimi (Mtep) .....                                            | 216 |
| EK-2: Reaktör Tiplerine Göre İşletmedeki Nükleer Santral Sayı ve Kapasiteleri ..... | 217 |
| EK-3: Yıllara Göre Dünya Nükleer Reaktör Sayı ve Kapasiteleri, 1954-2014 .....      | 218 |
| EK-4: Yıllara Göre Nükleer Santral Yapım Aylık Süreleri .....                       | 219 |
| EK-5: Türkiye Elektrik Üretim Haritası .....                                        | 220 |
| EK-6: Regresyon Analizi Test Sonuçları .....                                        | 221 |

## TABLolar LİSTESİ

|             |                                                                                                                                                    |       |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Tablo 1.1   | Enerji Kaynaklarına Göre Dünya Rezervleri ve Payları, 2014 .....                                                                                   | 6     |
| Tablo 2.1   | Ticari Amaçla Çalışan Nükleer Güç Santralleri.....                                                                                                 | 14    |
| Tablo 2.2   | Dünyada Nükleer Gemi Dağılımı .....                                                                                                                | 222   |
| Tablo 2.3   | Ülkelere Göre Nükleer Sektör Firma Sayıları.....                                                                                                   | 255   |
| Tablo 2.4   | Yıllara Göre ABD Enerji Tüketimi/Üretimi, 1970-2013 .....                                                                                          | 311   |
| Tablo 2.5   | Yıllara Göre Fransa Enerji Tüketimi/Üretimi, 1973-2010.....                                                                                        | 377   |
| Tablo 2.6   | Yıllara Göre Japonya Enerji Tüketimi/Üretimi, 1980-2009.....                                                                                       | 433   |
| Tablo 2.7   | Reaktör Tiplerine Göre Kapasite Oranları ve Sayıları .....                                                                                         | 444   |
| Tablo 2.8   | Japonya'da Hizmet Dışı Kalan Reaktörler .....                                                                                                      | 533   |
| Tablo 2.9   | Yıllara Göre Rusya Enerji Tüketimi/Üretimi, 1970-2013 .....                                                                                        | 566   |
| Tablo 2.10  | Yıllara Göre Kanada Enerji Tüketimi/Üretimi, 1980-2009.....                                                                                        | 59    |
| Tablo 2.11  | Yıllara Göre G.Kore Enerji Tüketimi/Üretimi, 1970-2009 .....                                                                                       | 622   |
| Tablo 2.12  | Yıllara Göre Çin Enerji Tüketimi/Üretimi, 1980-2011.....                                                                                           | 666   |
| Tablo 2.13. | Seçilmiş Dünya Ülkelerinde Nükleer Enerji Üretimi, 2015.....                                                                                       | 75    |
| Tablo 3.1   | Elektrik Üretim Maliyetleri (ABD Cent/kWh).....                                                                                                    | 800   |
| Tablo 3.2   | OECD Elektrik Üretim Maliyetleri 2010 - % 5 İndirimOranı, c/kWh .....                                                                              | 833   |
| Tablo 3.3   | Nükleer Enerji Üretim Maliyetleri (cent/kWh).....                                                                                                  | 844   |
| Tablo 3.4   | Yeni Nükleer Santral Projeleri .....                                                                                                               | 866   |
| Tablo 3.5   | Nükleer Enerji Endüstrisindeki İş Pozisyonları.....                                                                                                | 98    |
| Tablo 3.6   | Türkiye’de İthalatın Ekonomik Gruplara göre Dağılımı.....                                                                                          | 102   |
| Tablo 3.7   | Türkiye’de Enerji Fiyatlarının Yıllıklandırılmış Cari Açık Üzerine Etkisi .....                                                                    | 102   |
| Tablo 3.8   | Reaktör Tiplerine Göre İlk Yatırım Maliyetleri Mukayesesi (%).....                                                                                 | 104   |
| Tablo 3.9   | Ülkelere Göre Uranyum Üretimi (Ton), 2006-2013 .....                                                                                               | 106   |
| Tablo 3.10  | Dünya Uranyum Üreticisi İlk 8 Firma, 2013 .....                                                                                                    | 107   |
| Tablo 3.11  | Dünyada Nükleer Enerji Uranyum (ton U) Gereksinimleri, 2015.....                                                                                   | 108   |
| Tablo 3.12  | Uluslararası Enerji Ajansı Nükleer Teknoloji Ar-Ge Bütçeleri (Milyon \$), 1975-2005 .....                                                          | 10909 |
| Tablo 3.13  | Ülkelere Göre Nükleer Enerji Üretimi (1994-2014), TWh .....                                                                                        | 117   |
| Tablo 3.14  | Türkiye ve Dünyada Elektrik Üretiminde Kaynak Kullanım Oranları .....                                                                              | 118   |
| Tablo 3.15  | Dünya Tarım İhracatı İlk On Ülke (2008).....                                                                                                       | 124   |
| Tablo 3.16  | Dünyanın En Fazla Yüzölçümüne Sahip 4 Ülkesi.....                                                                                                  | 125   |
| Tablo 3.17  | 1969-2000 yılları arasında farklı elektrik üretim sistemlerinde gerçekleşmiş ve 5'ten fazla ölümle sonuçlanan kazalar.....                         | 133   |
| Tablo 3.18  | 1970-1992 yılları arasında farklı elektrik üretim sistemlerinde gerçekleşmiş ve 5'ten fazla ölümle sonuçlanan kazalarla ilgili istatistikler ..... | 133   |
| Tablo 3.19  | EÜAŞ Kurulu Güç ve Üretim.....                                                                                                                     | 137   |
| Tablo 3.20  | Abone Gruplarına Göre Enerji Tarifesi (Kr/kWh) .....                                                                                               | 148   |
| Tablo 3.21  | Elektrik Enerjisinin Abone Gruplarına Göre Dağılımı.....                                                                                           | 149   |
| Tablo 3.22  | Elektrik Dağıtım Şirketlerine Göre Alınan/Satılan Enerji, 2014.....                                                                                | 149   |
| Tablo 3.23  | Yüzde Dönüşümlü ADF Birim Kök Testi .....                                                                                                          | 152   |
| Tablo 3.24  | EKKY Testi .....                                                                                                                                   | 153   |
| Tablo 3.25  | Türkiye’de Yıllara Göre Elektrik Üretim ve Tüketim Değerleri.....                                                                                  | 160   |
| Tablo 3.26  | Yıllara Göre Türkiye Enerji Tüketimi/Üretimi, 1970-2012 .....                                                                                      | 160   |
| Tablo 3.27  | Planlı Nükleer Güç Santralleri .....                                                                                                               | 162   |
| Tablo 3.28  | Akkuyu Proje Şirketi Hisse Payları.....                                                                                                            | 164   |
| Tablo 3.29  | İnsani Gelişmişlik Endeksi ve Nükleer Santral Zengini İlk 3 Ülke ile Türkiye Mukayesesi, 2014 .....                                                | 169   |
| Tablo 3.30  | 2015-2019 Stratejik Plan Yıllık Maliyetler .....                                                                                                   | 188   |
| Tablo 3.31  | Türkiye’nin Neden Nükleer Enerjiye İhtiyacı Vardır: Gerekçe ve Olası Sonuçları....                                                                 | 190   |

## ŞEKİLLER LİSTESİ

|            |                                                                                         |     |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 2.1  | Parçalanma (fizyon) Tepkimesi ve Zincirleme Tepkime .....                               | 111 |
| Şekil 2.2  | Nükleer Güç Santrali .....                                                              | 122 |
| Şekil 2.3  | Nükleer Reaktörlerin Nesillere Göre Gelişimleri. ....                                   | 155 |
| Şekil 2.4  | Yaşlarına Göre İşletmedeki Reaktör Sayıları (2015) .....                                | 19  |
| Şekil 2.5  | Fransa ve İngiltere Nükleer Denizaltı Reaktör Şemaları ve Mukayesesi.....               | 20  |
| Şekil 2.6  | Nükleer Endüstri Yapı Şeması.....                                                       | 24  |
| Şekil 2.7  | ABD’de İşletmedeki Nükleer Güç Santrallerinin Konumu, Payı ve Reaktör Sayıları          | 29  |
| Şekil 2.8  | ABD’de Elektrik Kullanımı, Ekonomik Büyüme (%) 1950-2040 ve Trend Doğruları             | 30  |
| Şekil 2.9  | ABD’de Kaynaklarına Göre Enerji Üretim Oranları.....                                    | 31  |
| Şekil 2.10 | ABD Nükleer Enerji Kapasitesi GW (1960-2020) .....                                      | 32  |
| Şekil 2.11 | ABD’de Onaylanan Güç Arttırmaları (1977-2013 Yılları ).....                             | 33  |
| Şekil 2.12 | Fransa İşletmedeki Nükleer Güç Santrallerinin Konumu, Payı ve Reaktör Sayıları          | 36  |
| Şekil 2.13 | Japonya’da Nükleer Santraller .....                                                     | 41  |
| Şekil 2.14 | Japonya Nükleer Santral Sayı ve Kapasite Durumu Fukushima Sonrası Mukayesesi .....      | 42  |
| Şekil 2.15 | Rusya İşletmedeki Nükleer Güç Santrallerinin Konumu, Payı ve Reaktör Sayıları           | 55  |
| Şekil 2.16 | Rusya’da Nükleer Endüstrinin Yapısı .....                                               | 57  |
| Şekil 2.17 | Kanada İşletmedeki Nükleer Güç Santrallerinin Konumu, Payı ve Reaktör Sayıları.....     | 59  |
| Şekil 2.18 | G.Kore İşletmedeki Nükleer Güç Santrallerinin Konumu, Payı ve Reaktör Sayıları .....    | 61  |
| Şekil 2.19 | Nükleer Enerji Üretim Kapasitesi İlk 6 Ülke (2000-2020).....                            | 64  |
| Şekil 2.20 | Çin İşletmedeki Nükleer Güç Santrallerinin Konumu, Payı ve Reaktör Sayıları.....        | 65  |
| Şekil 2.21 | İngiltere İşletmedeki Nükleer Güç Santrallerinin Konumu, Payı ve Reaktör Sayıları ..... | 68  |
| Şekil 2.22 | Almanya İşletmedeki Nükleer Güç Santrallerinin Konumu, Payı ve Reaktör Sayıları .....   | 69  |
| Şekil 2.23 | Arjantin Primary Enerji Kaynakları (1970-2012) .....                                    | 70  |
| Şekil 3.1  | İnşa Riski: Santrallerin Yatırım Maliyetleri (\$/kW), 2013 .....                        | 78  |
| Şekil 3.2  | Bölgelere Göre Santral Yatırım Sermaye Gecelik Maliyeti (\$/kW) .....                   | 78  |
| Şekil 3.3  | Finlandiya’da Yakıt Maliyetinin Elektrik Üretim Maliyetine Etkisi (2000 Yılı).....      | 81  |
| Şekil 3.4  | Uranyum Fiyatlarının Yakıt Maliyetine Etkileri .....                                    | 81  |
| Şekil 3.5  | Finlandiya’da Kaynaklara Göre Elektrik Üretim Maliyetleri .....                         | 85  |
| Şekil 3.6  | 2100 Yılı Talep Tahminleri.....                                                         | 89  |
| Şekil 3.7  | Nükleer Enerji ve Sürdürülebilir Kalkınma.....                                          | 94  |
| Şekil 3.8  | ABD’de Enerji Üretim Kaynaklarına Göre İstihdam Sayıları .....                          | 97  |
| Şekil 3.9  | Nükleer Enerji Faaliyet Alanları .....                                                  | 98  |
| Şekil 3.10 | Duke ve Westinghouse Nükleer Enerji Mühendisleri Yıllık Ücret Mukayesesi .....          | 99  |
| Şekil 3.11 | Fosil Yakıt (Doğalgaz ve Petrol) Fiyatlarındaki Tarihsel Dalgalanmalar .....            | 100 |
| Şekil 3.12 | Enerji Üretim Kaynaklarına Göre İşletme Onarım ve Yakıt Maliyetleri.....                | 103 |
| Şekil 3.13 | Uranyum Maden Maliyeti, 2010 .....                                                      | 105 |
| Şekil 3.14 | Dünya Uranyum Arz ve Talebi (1945-2012) .....                                           | 105 |
| Şekil 3.15 | Uranyum Fiyatları .....                                                                 | 108 |
| Şekil 3.16 | IEA Enerji Ar-Ge Harcamaları, 1975-2005.....                                            | 109 |
| Şekil 3.17 | Çalışmakta Olan Nükleer Güç Reaktör Sayı ve Kapasiteleri (1971-2012) .....              | 111 |
| Şekil 3.18 | Ülkelere Göre Nükleer Reaktör Sayıları ve Durumları.....                                | 112 |
| Şekil 3.19 | İşletmedeki Nükleer Reaktör Sayıları. ....                                              | 112 |
| Şekil 3.20 | Ülkelere Göre İnşa Halindeki Nükleer Reaktör Sayıları (2015) .....                      | 113 |
| Şekil 3.21 | Tamamen Kapatılmış Nükleer Santraller.....                                              | 114 |
| Şekil 3.22 | Toplam Net Nükleer Elektrik Kapasitesi, MW .....                                        | 114 |
| Şekil 3.23 | Ülkelere Göre Dünya Nükleer Enerji Kapasite (% Yüzde )Oranları .....                    | 115 |
| Şekil 3.24 | Yıllar İtibarıyla Nükleer Reaktör Sayıları ve Kapasiteleri .....                        | 116 |
| Şekil 3.25 | GZFT Çözümlemesi .....                                                                  | 120 |

|                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 3.26 ABD Elektrik Üretim Maliyetleri (1995-2012) Cent/kwh.....                | 121 |
| Şekil 3.27 Kaynaklara Göre CO <sub>2</sub> Emisyonu .....                           | 122 |
| Şekil 3.28 Enerji Kaynaklarına Göre Kapasite Faktörleri (2013) .....                | 123 |
| Şekil 3.29 İnsani Gelişmişlik Endeksi (HDI) ve Kişi Başı Elektrik Tüketimi .....    | 124 |
| Şekil 3.30 Dünya Nükleer Enerji Üretimi (milyar KWh), 2013 .....                    | 125 |
| Şekil 3.31 Temiz Enerji (225 Mwe) Alan Mukayesesi .....                             | 126 |
| Şekil 3.32 Nükleer Santrallerde Radyoaktif Salımı Engelleyen Bariyerler.....        | 128 |
| Şekil 3.33 Uluslararası Nükleer ve Radyolojik Olay Ölçeği (INES) .....              | 129 |
| Şekil 3.34 Kümülatif Reaktör Çalışma Yılı (X1000) ve Önemli Kazalar .....           | 131 |
| Şekil 3.35 Birim Elektrik Başına Enerji İlişkili Kazalara Ait Ölümmler.....         | 132 |
| Şekil 3.36 Nükleer Santral İnşa Süreci.....                                         | 134 |
| Şekil 3.37 Nükleer Santral Risk Yönetimi.....                                       | 134 |
| Şekil 3.38 Türkiye'nin Nükleer Hammadde Rezervleri.....                             | 139 |
| Şekil 3.39 Türkiye İklim Diyagramı .....                                            | 141 |
| Şekil 3.40 Türkiye Deprem Haritası .....                                            | 141 |
| Şekil 3.41 Türkiye'de Nüfus .....                                                   | 142 |
| Şekil 3.42 Türkiye GSYH Gelişimi (TL), 1998-2014 .....                              | 143 |
| Şekil 3.43 Türkiye'de Elektrik Enerjisi Kurulu Güç Değişimi (1970-2014).....        | 143 |
| Şekil 3.44 Türkiye Kurulu Güç Kapasitesi Gelişimi (2003-2013).....                  | 144 |
| Şekil 3.45 Türkiyede Elektrik Enerjisi Kurulu Güç Mukayesesi (2013-2014-2015).....  | 144 |
| Şekil 3.46 Türkiyede Elektrik Enerjisi Üretimi (2015-2014-2013).....                | 145 |
| Şekil 3.47 Türkiye'de Elektrik Enerjisi Üretiminde Değişim (1970-2014) .....        | 145 |
| Şekil 3.48 Türkiye Elektrik Talebi (%), 2003-2013 .....                             | 146 |
| Şekil 3.49 Türkiye'de Kurulu Güç ve Elektrik Talebi (2003-2013) .....               | 147 |
| Şekil 3.50 Türkiye'de Elektrik Talebi ve Ekonomik Büyüme (1970-2010) .....          | 147 |
| Şekil 3.51 Kişi Başına GSYH ve Elektrik Tüketimi, 1970-2013 .....                   | 150 |
| Şekil 3.52 Kişi Başına GSYH ve Elektrik Kullanımı (1970-2013).....                  | 151 |
| Şekil 3.53 Yüzde Dönüşümlü Kişi Başına GSYH ve Elektrik Kullanımı (1971-2013) ..... | 152 |
| Şekil 3.54 Türkiye Enerji Koridoru .....                                            | 155 |
| Şekil 3.55 Enerji Üretim Kaynak Etkinliklerinin Sinop NGS ile Mukayesesi .....      | 165 |
| Şekil 3.56 Sinop NGS Planlı Kapasite ve Yıllar .....                                | 166 |
| Şekil 3.57 Türkiye'de Enerji Bağımlılığı .....                                      | 171 |
| Şekil 3.58 Negatif Dışsalıklar ve Çift Koruma Kabı.....                             | 174 |
| Şekil 3.59 Japonya Enerji Üretim Kaynakları 1990-2012 (%).....                      | 178 |
| Şekil 3.60 Japonya Birincil Enerji Arz Yapısı .....                                 | 178 |
| Şekil 3.61 Japonya Nihai Enerji Tüketim Trendi.....                                 | 179 |
| Şekil 3.62 Japonya'nın Enerji Politikası Gelişimi.....                              | 179 |
| Şekil 3.63 Japonya'nın Yeni Enerji Politikası.....                                  | 180 |
| Şekil 3.64 Japonya'da Güç Üretim Payında Değişim .....                              | 181 |
| Şekil 3.65 Sıvı Doğalgaz/Doğalgaz Fiyat Değişimi (\$/Mmbtu) .....                   | 181 |
| Şekil 3.66 Yakıt İthalatının Japonya Ekonomisine Etkileri .....                     | 182 |
| Şekil 3.67 Japonya Nükleer Güç Santralleri.....                                     | 183 |
| Şekil 3.68 Nükleer Enerji Kullanımı ve Fosil Yakıt İthali .....                     | 184 |
| Şekil 3.69 Japonya Nükleer Yakıt Çevrimi .....                                      | 184 |
| Şekil 3.70 Fukushima Sonrası Yakıt Maliyetleri ve Güç Formasyon Değişikliği .....   | 185 |
| Şekil 3.71 Dünyada Büyük Nükleer Güç Üreticileri.....                               | 185 |
| Şekil 3.72 Fukushima Öncesi ve Sonrası Japonya'da Güç Üretim Kompozisyonu .....     | 186 |
| Şekil 3.73 Japonya'da Reform Sonrası Elektrik Piyasası .....                        | 186 |
| Şekil 3.74 Türkiye Enerji 2015–2019 Stratejik Planı .....                           | 188 |

## KISALTMALAR

|                 |                                                         |
|-----------------|---------------------------------------------------------|
| <b>AB</b>       | : Avrupa Birliği                                        |
| <b>ABD</b>      | : Amerika Birleşik Devletleri                           |
| <b>ABWR</b>     | : Advanced Boiling Water Reactor                        |
| <b>ACR</b>      | : Advanced CANDU Reactor                                |
| <b>AEC</b>      | : Atomic Energy Commission                              |
| <b>AHWR</b>     | : Advanced Heavy-Water Reactor                          |
| <b>ANDRA</b>    | : National Agency for Radioactive Waste Management      |
| <b>ANRE</b>     | : Agency of Natural Resources and Energy                |
| <b>AP</b>       | : Advance Passive                                       |
| <b>APWR</b>     | : Advanced Pressurized Water Reactor                    |
| <b>AR-GE</b>    | : Araştırma - Geliştirme                                |
| <b>ASN</b>      | : Autorité de Sûreté Nucléaire                          |
| <b>ATR</b>      | : Advanced Test Reactor                                 |
| <b>BAE</b>      | : Birleşik Arap Emirlikleri                             |
| <b>BP</b>       | : British Petroleum                                     |
| <b>BTİM</b>     | : Bölgesel Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi      |
| <b>BWR</b>      | : Boiling Water Reactor                                 |
| <b>CANDU</b>    | : CANadian Deterium Uranium                             |
| <b>CAREM</b>    | : Central Argentina de Elementos Modulares              |
| <b>CCGT CCS</b> | : Combined Cycle Gas Turbine Carbon Capture and Storage |
| <b>CEA</b>      | : Commissariat à l’Energie Atomique                     |
| <b>CGDD</b>     | : Commissariat général au Développement Durable         |
| <b>EDF</b>      | : Electricité de France                                 |
| <b>EEC</b>      | : Energy & Environment Council                          |
| <b>EEDB</b>     | : Energy and Economic Database                          |
| <b>EPR</b>      | : Evolutionary Pressurized-Water Reactor                |
| <b>ESBWR</b>    | : Economic Simplified Boiling Water Reactor             |
| <b>EUR</b>      | : Euro                                                  |
| <b>EVN</b>      | : Electricity of Vietnam                                |
| <b>FBR</b>      | : Fast Breeder Reactor                                  |



|                |                                                        |
|----------------|--------------------------------------------------------|
| <b>FEPCO</b>   | : Federation of Electric Power Companies               |
| <b>FTP</b>     | : Federal Target Program                               |
| <b>GCR</b>     | : Gas Cooled Reactor                                   |
| <b>GE</b>      | : General Electric                                     |
| <b>GEC</b>     | : The General Electric Co. Ltd.                        |
| <b>GETSCO</b>  | : General Electric Technical Services Co.              |
| <b>GJ</b>      | : Giga Joule                                           |
| <b>GSMH</b>    | : Gayri Safi Milli Hasıla                              |
| <b>GSYH</b>    | : Gayri Safi Yurtiçi Hasıla                            |
| <b>GZFT</b>    | : Güçlü Yönler, Zayıf Yönler, Fırsatlar, Tehditler     |
| <b>GCR</b>     | : Gas Cooled Reactor                                   |
| <b>HDI</b>     | : Human Development Index                              |
| <b>HEPCO</b>   | : Hokkaido Electric Power Co.                          |
| <b>HILW-LL</b> | : Long-lived High And Intermediate Level Wastes        |
| <b>HTGR</b>    | : High-Temperature Gas-Cooled Reactor                  |
| <b>IAEA</b>    | : International Atomic Energy Association              |
| <b>IEA</b>     | : International Energy Agency                          |
| <b>IGA</b>     | : Intergovernment Agreement                            |
| <b>INES</b>    | : International Nuclear Event Scale                    |
| <b>IPHWR</b>   | : Indian Pressurizedheavy-Waterreactors                |
| <b>IRSN</b>    | : Radioprotection and Nuclear Safety Institute         |
| <b>JAEA</b>    | : Japan Atomic Energy Agency                           |
| <b>JAERI</b>   | : Japan Atomic Energy Research Institute               |
| <b>JAIF</b>    | : Japan Atomic Industrial Forum                        |
| <b>JAPCO</b>   | : The Japan Atomic Power Co.                           |
| <b>JCCI</b>    | : Japan Chamber of Commerce and Industry               |
| <b>JERI</b>    | : Japan Economic Research Institute                    |
| <b>JINED</b>   | : International Nuclear Energy Development of Japan Co |
| <b>JNC</b>     | : Japan Nuclear Cycle Development Institute            |
| <b>JPDR</b>    | : Japan Power Demonstration Reactor                    |
| <b>¥</b>       | : Japon Yeni                                           |
| <b>JSW</b>     | : Japan Steel Work                                     |

|                  |                                                                  |
|------------------|------------------------------------------------------------------|
| <b>KBRN</b>      | : Kimyasal Biyolojik Radyolojik Nükleer                          |
| <b>KEPCO</b>     | : Kansai Electric Power Co.                                      |
| <b>KNY</b>       | : Kullanılmış Nükleer Yakıt                                      |
| <b>LILW-SL</b>   | : Short-lived Low And Intermediate Level Wastes                  |
| <b>LLW-LL</b>    | : Long-lived Low Level Wastes                                    |
| <b>LNG</b>       | : Liquid Natural Gas                                             |
| <b>LSBWR</b>     | : Long operating cycle Simplified BWR                            |
| <b>METI</b>      | : Ministry of Economy, Trade and Industry                        |
| <b>MEXT</b>      | : Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology |
| <b>MHI</b>       | : Mitsubishi Heavy Industries Ltd.                               |
| <b>MIT</b>       | : Massachusetts Institute of Technology                          |
| <b>MITI</b>      | : Ministry of International Trade and Industry                   |
| <b>MMBTU</b>     | : Thousand Thousand British Thermal Unit                         |
| <b>MoFA</b>      | : Ministry of Foreign Affairs                                    |
| <b>MOTIE</b>     | : Ministry of Trade, Industry and Energy                         |
| <b>MOX</b>       | : Mixed Oxide                                                    |
| <b>Mtep</b>      | : Milyon ton eşidi petrol                                        |
| <b>MW (=MWe)</b> | : Megawatt (=Megewatt elektrik)                                  |
| <b>MWh</b>       | : Megawattsaat                                                   |
| <b>NEA</b>       | : Nuclear Energy Agency                                          |
| <b>NEI</b>       | : Nuclear Energy Institute                                       |
| <b>NEPUD</b>     | : Nükleer Enerji Proje Uygulama Dairesi                          |
| <b>NGS</b>       | : Nükleer Güç Santrali                                           |
| <b>NISA</b>      | : Nuclear and Industrial Safety Agency                           |
| <b>NPP</b>       | : Nuclear Power Plant                                            |
| <b>NPT</b>       | : Non-Proliferation Treaty                                       |
| <b>NRA</b>       | : Nuclear Regulation Authority                                   |
| <b>NRC</b>       | : Nuclear Regulatory Comission                                   |
| <b>NSC</b>       | : Nuclear Safety Comission                                       |
| <b>NSSC</b>      | : Nuclear Safety and Security Commission                         |
| <b>NSSS</b>      | : Nuclear Steam Supply System                                    |
| <b>OECD</b>      | : Organisation for Economic Co-operation and Development         |

|                |                                                                        |
|----------------|------------------------------------------------------------------------|
| <b>PBMR</b>    | : Pebble Bed Modular Reactor                                           |
| <b>PHWR</b>    | : Pressurised Heavy Water Reactor                                      |
| <b>PPA</b>     | : Power Purchase Agreement (Satın Alma Anlaşması)                      |
| <b>PRIS</b>    | : Power Reactor Information System                                     |
| <b>PWR</b>     | : Pressurised Water Reactor                                            |
| <b>RBMK</b>    | : Реактор Большой Мощности Канальный (High Power Channel-type Reactor) |
| <b>SSCB</b>    | : Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği                               |
| <b>SWU</b>     | : Separative Work Unit                                                 |
| <b>TAEK</b>    | : Türkiye Atom Enerjisi Kurumu                                         |
| <b>TANAP</b>   | : Trans Anadolu Doğalgaz Boru Hattı Projesi                            |
| <b>TEPCO</b>   | : Tokyo Electric Power Co.                                             |
| <b>TMI</b>     | : Three Mile Island                                                    |
| <b>TPAO</b>    | : Türk Petrolleri Anonim Ortaklığı                                     |
| <b>TRC</b>     | : Thorium Report Committee                                             |
| <b>TÜİK</b>    | : Türkiye İstatistik Kurumu                                            |
| <b>TÜBİTAK</b> | : Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu                      |
| <b>TWh</b>     | : Terawattsaat                                                         |
| <b>vs</b>      | : vesair                                                               |
| <b>VECM</b>    | : Vektör Hata Düzeltme Modeli                                          |
| <b>VLLW</b>    | : Very Low Level Wastes                                                |
| <b>VVER</b>    | : Vodo-Vodyanoi Energetichesky Reactor                                 |
| <b>WANO</b>    | : World Association of Nuclear Operators                               |
| <b>WH</b>      | : Westinghouse Electric Corporation                                    |
| <b>WNA</b>     | : World Nuclear Association                                            |
| <b>YPK</b>     | : Yüksek Planlama Kurulu                                               |
| <b>3E</b>      | : Energy-Economy-Environment (Enerji-Ekonomi-Çevre)                    |
| <b>3R</b>      | : Reduce-Reuse-Recycle (Azalt-Tekrar Kullan- Dönüştür)                 |

## GİRİŞ

Türkiye jeopolitik ve jeostratejik açıdan son derece önemli bir coğrafya üzerinde yer almaktadır. Pek çok medeniyete ev sahipliği yapmış olan bu toprakların tarihi incelendiğinde ortaya çıkan en önemli sonuç, zayıf devletlerin bu coğrafyada yaşama şansının olmadığıdır. Türkiye'yi gelecekte ekonomik yönden istikrarlı ve güçlü kılmak, enerji sistemlerini geliştirmekle mümkündür. Hızla değişen dünyada bilim ve teknoloji üreten ülke konumunda olmak, milli kaynaklarını kendi imkânları ile kullanmak, bağımsızlığın temel koşullarından biri olduğu gibi aynı zamanda beklenmedik enerji darboğazlarına ve krizlere karşı hazırlıklı olmak anlamına da gelmektedir.

Güvenilir enerji arayışı 20. yüzyılın ikinci yarısını takiben enerji dünyasının odak noktası olmuştur. 1970'li yılların başında beliren petrol dar boğazı yüksek kapasiteli nükleer reaktörlerin 1980'li yılların ikinci yarısına kadar işletmeye alınmasını sağlamış, sonrasında talep artışı azalarak 1990'lı yıllarda durağanlaşmıştır. Sebep olarak Çernobil ile Three Mile Island nükleer kazaları gözüktüğü de, enerji pazarına doğalgazın girmesi ve dünya ekonomisindeki yavaşlama temel etkindir. Küresel ısınma, iklim değişiklikleri gibi çevre faktörlerini göz önüne alan ve sürdürülebilir kalkınmayı destekleyen enerji üretim seçenekleri 21. yüzyılda büyük önem kazanmıştır. Nükleer enerji paralelinde yenilenebilir enerji kaynaklarından verimli enerji üretimi gündeme alınmıştır. Ancak, yenilenebilir enerji üretiminin dış koşullara bağımlı olmaları (rüzgar, su ve güneş) sonucunda yeterince verimli enerji üretimi sağlanamaması, nükleer enerjiyi yüksek kapasite faktörü nedeniyle sürekli ve güvenilir bir kaynak olarak ön plana taşımaktadır.

Enerjiyi kaliteli, temiz, sürdürülebilir ve ucuz olarak elde eden ülkeler, küresel ticaret ve kalkınmada öncü rol almışlardır. Buradan hareketle, yıllık ortalama %4-6 civarında elektrik talep artışıyla Çin'i takip eden Türkiye'nin mutlak surette nükleer enerji tercihinin milli olarak sahip olması gerekmektedir.

Artan nüfus ve sürekli büyüyen ekonomi izdüşümünde Türkiye'nin elektrik tüketim talebi, yıllık ekonomik büyüme miktarından daha fazla artış göstermektedir. Ayrıca, doğalgaz ve petrolde sırasıyla %98 ve %92 gibi yüksek oranda ithalat enerjide dışa bağımlılığı %72 seviyelerine çıkarmakta ve enerjinin cari açık

içerisindeki payını yükseltmektedir. Yenilenebilir ve yerli enerji potansiyelinin yüksek oranda kullanılması gerektiği gibi nükleer santrallerin de ülkemizde kurulması bir gerekliliktir. Elektrik üretiminin yanında nükleer santraller, ileri teknoloji ve emniyet kültürünün gelişimine, istihdamın artmasına, yarattığı katma değer ve enerji ithalatının azalması yoluyla ödemeler dengesine, ucuz girdi ve yeni iş alanları oluşturarak yan sanayinin gelişmesine önemli katkılar sağlayacaktır.

Gelişmiş ülkelerde, enerji çeşitliliğinin oluşturulması kapsamında nükleer enerji teknolojisine sahip olmanın uluslararası alanda sağladığı üstünlüğün yanı sıra, hem genel ekonomiye katkı sağlamada hem de politik etkinlik oluşturulmasında önemli bir rol oynadığı bilinen bir gerçektir. Bu sektörde global ölçekte başarılı olmak ve pazarda söz sahibi duruma gelmek, Türkiye'ye pek çok açıdan üstünlük sağlayacaktır. Nükleer enerji santrallerine yapılacak yatırımlarla *askeri, teknolojik, siyasal, sosyal ve ekonomik* yararlar elde edilebilecektir.

## BİRİNCİ BÖLÜM

### ARAŞTIRMA HAKKINDA GENEL AÇIKLAMALAR

#### 1. ARAŞTIRMANIN KONUSU, ÖNEMİ, AMACI, DENENCESİ, YÖNTEM VE SUNUŞ SIRASI

Birinci bölümde, “*Nükleer Enerji Optimizasyonu: Türkiye İçin İthal İkameci Enerji Politikasının Geliştirilmesi*” başlıklı araştırmanın öncelikle önemi ve amacı ile araştırmanın denenceleri irdelenmiştir. Araştırmanın yöntemine ilişkin hususlar değerlendirildikten sonra sunuş sırası ile birinci bölüm sonlandırılmıştır.

##### 1.1. Araştırmanın Konusu ve Önemi

Türkiye Cumhuriyeti kurulduktan yüzyıl sonra 29 Ekim 2023’de, Türkiye’yi çağdaş medeniyetler seviyesi üzerine çıkarmak amacıyla belirlenen ulusal stratejilerden biri de enerjide dışa bağımlılıktan kurtulmak ve enerji arz güvenliğini sağlamaktır. Bu amaç doğrultusunda nükleer enerji tercihi yapılmıştır.

Bu husus irdelendiğinde ortaya çıkan en çarpıcı bulgu; özellikle gelişmiş ülkelerin ve hızlı büyüme oranı yakalayan ülkelerin nükleer enerji tercihlili enerji politikaları izlemekte olduğudur. Diğer önemli bir bulgu ise; ülkelerin nüfus potansiyeli, gelişmişlik ve Gayri Safi Milli Hasıla (GSMH) düzeyleri ile nükleer enerji tercihi arasında pozitif yönlü ilişki olduğu gerçeğidir.

Ayrıca, dünya fosil kaynaklarının tahmini tükeniş süreleri petrolde 48, doğal gazda 56 ve kömürde 230 yıldır. Dünya enerji talebinin gelişen teknoloji ve artan nüfus izdüşümünde sürekli artması (elektrikli otomobil, bisiklet, el aletleri, makineler, vinçler, metro ve hızlı trenler, teknolojik gelişmeler, savunma ve uzay sistemleri, aydınlatma, ısınma, endüstri için girdi vs.) enerji konusunun önemini gözler önüne sermektedir. Bu bağlamda gelecekte enerji talep tahminlerinin sağlıklı yapılması büyük önem arz etmektedir.

Yaşanan ekonomi çağında milli egemenliğin ekonomik egemenlikle kuvvetlendiğini belirten Atatürk’ün ekonomik bağımsızlığın sağlanmasına ne kadar önem verdiği görülmektedir. Ekonomik bağımsızlığın temel taşlarından biri de enerjidir.

Ocak 2006 doğal gaz krizi ve 2016 Rusya uçak krizi enerji arz güvenliği ve enerji çeşitliliğinin gerekliliğini kurumsal hafızaya da perçinlemiştir.

Türkiye jeopolitik ve jeostratejik açıdan son derece önemli bir coğrafya üzerinde yer almaktadır. Pek çok medeniyete ev sahipliği yapmış olan bu toprakların tarihi incelendiğinde ortaya çıkan en önemli sonuç, zayıf devletlerin bu coğrafyada yaşama şansının olmadığıdır. Milli gücün en önemli unsurlarından olan ekonomik güç enerji bağımsızlığıyla pekişmektedir. Türkiye, yeni dünya düzeninde küresel enerji koridoru görevi yapmaktadır. Bu bağlamda uygulanacak etkin makroekonomik strateji ve politikalar, son 10 yılda yüzde 70'ler düzeyinde olan enerji bağımlılığının geleceğini şekillendirecektir.

Türkiye günümüzde %72 oranında enerjide dışa bağımlıdır. Türkiye bu bağımlılığını mutlaka azaltmak zorundadır. Gelişmiş ülkelerde nükleer enerjinin askeri açıdan sağladığı üstünlüğün yanı sıra hem genel ekonomiye katkı sağlanmasında hem de politik etkinlik oluşturulmasında önemli bir rol oynadığı bilinen bir gerçektir.

Bu çalışmada; Türkiye'nin enerji kaynakları ve dünya enerji potansiyeli içindeki nükleer enerjinin yeri belirlenip elde edilen analitik bulgular paralelinde enerji sorunsalını çözümleyecek nükleer enerji optimizasyonunda ithal ikameci strateji ve politikalar önerilecektir.

## **1.2. Araştırmanın Amacı ve Denencesi**

Atom enerjisinin ticari amaçlarla kullanılması için ilk nükleer santralin 1954 yılında Rusya tarafından kurulmasıyla Nükleer Enerji Piyasası doğmuş, nükleer santral teknolojisinin geliştirilmesi ile Nükleer Rönesans Rusya, Kanada, ABD, İngiltere ve Fransa tarafından başlatılmıştır. Kendilerine özgü nükleer santral tasarımlarına bu teknolojiyi daha da geliştiren G.Kore, Japonya ve Almanya gibi ülkeler de sahip olmuşlardır. Günümüzde 30'dan fazla ülkede 444 nükleer reaktör işletmede bulunmaktadır. Aralarında daha öncesinde nükleer güç santrali bulunmayan Birleşik Arap Emirlikleri'nin de bulunduğu ülkelerde toplam 65 santralin yapımı devam etmektedir. 2030 yılına kadar 173 yeni nükleer santral ünitesinin yapılması planlanmaktadır.

PRIS (2016) verilerine göre; dünyanın en fazla nükleer santraline sahip olan ABD, 99 santral ünitesi ile elektrik üretiminin %19,5'ini nükleer santrallerden elde etmektedir. 58 nükleer reaktörün üretimde olduğu Fransa elektrik üretiminin %76,34'ünü, 35

nükleer santral ünitesinin üretime devam ettiği ve 8 reaktörün yapım aşamasında bulunduğu Rusya %18,59'unu, 3 santral ünitesinin inşaat aşamasında ve 25 nükleer reaktörün işletmede olduğu G.Kore %31,73'ünü nükleer santrallerden elde etmektedir. 33 nükleer santral ünitesine sahip Çin'de ise gelecek yıllardaki elektrik enerji talebini karşılamak için 22 nükleer santral ünitesi inşa aşamasındadır.

Türkiye'nin enerji tüketim değerleri içerisinde elektrik enerjisinin payı gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerdeki eğilime paralel olarak artmaktadır (MMO, 2015). Akkuyu Nükleer AŞ'nin (2013) bir raporunda Türkiye, 2010 yılında elektrik talep artışında Avrupa'da ilk sırada yer almakta iken dünyada ise birinci sırada yer alan Çin'i takip etmektedir. Hızla artan nüfus yükselen elektrik enerjisi ihtiyacını beraberinde getirmektedir. Elektrik tüketim talebi ekonomik büyümeden yaklaşık %2'den fazla olmuştur. Toplam enerji ihtiyacının %72'sini ithalatla karşılayan Türkiye enerjide büyük oranda dışa bağımlıdır. Elektrik üretiminde kullanılan kömür, petrol ve doğalgaz sırasıyla %20, %92 ve %98 seviyelerinde ithal edilmektedir. 2015 sonunda elektrik tüketimi yıllık yaklaşık 264 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir. 2023 yılında Türkiye'nin bu ihtiyacının 414-440 milyar kWh'a çıkması öngörülmektedir. Fosil yakıtların bilinen rezervlerinin tahmini bitiş süreleri göz önüne alındığında, Türkiye mevcut enerji potansiyeli ile 2023 talebinin ancak yarısını karşılayabilmektedir. Türkiye'nin enerji politikasının temel hedefi (EÜAŞ, 2013)'de belirtildiği gibi zamanında, güvenilir ve yeterli miktarda enerjiyi çevreyi korumaya yönelik önlemlerle beraber ekonomik büyüme ve sosyal gelişmeyi destekleyecek en ekonomik şekilde tüketime sunmaktır. Enerjide ithal bağımlılığının azaltılması, enerji arz güvenliğinin sağlanması, ödemeler bilançosu üzerindeki olası yükün azaltılması, cari açığın giderilmesi, enerji yoğunluğunun düşürülerek verimliliğinin artırılması, istihdam sağlanması, endüstri için minimum maliyetle enerji girdisi sağlanması, enerji arz-talep dengesi gibi nedenlerle Türkiye hükümet politikası olarak; İngilizcede “enerji, ekonomi, çevre” anlamına gelen “3E” (Energy-Economy-Environment) yaklaşımında nükleer enerji tercihi yapmıştır. Bu kapsamda, bu metinde nükleer enerji GZFT çözümlemesine tabi tutulmuştur. Gelişen nükleer enerji piyasasına girmeye hazırlanan Türkiye için devletin “Vizyon 2023” hedefi doğrultusunda en iyi strateji belirlenmeye çalışılmıştır.

Ayrıca, bu çalışmada dünya toplam elektrik üretimindeki nükleer enerji potansiyeli incelenerek, 1950'li yıllarda nükleer enerji girişimine Güney Kore ile aynı



zamanda başlayan Türkiye'nin gelişen nükleer enerji piyasasındaki başarısızlığının nedenleri de tartışılmıştır.

Dünyada birincil enerji talebi 2014 yılında %0,9 artarken, 1,6 milyon varil/gün ile en büyük petrol üreticisi ABD olmuş, doğalgaz tüketimi %11,6 rekor düşüşle AB'de görülmüş, küresel gaz ticareti %3,4 düşerken kömür tüketimi %0,4 artmış ve birincil enerji tüketiminde nükleer payı %4,4 olarak gerçekleşmiştir (BP, 2015). Dünyada enerji bağımlılığı yüksek olan ülkeler Fransa, Japonya ve G.Kore ile petrol/doğalgaz zengini ABD, Kanada, Rusya, Meksika ve İran gibi ülkeler dahi elektrik enerjisi üretim portföyüne nükleer enerjiyi dâhil etmişlerdir. (Tablo 1.1 ve EK-1)

**Tablo 1.1: Enerji Kaynaklarına Göre Dünya Rezervleri ve Payları, 2014**

| Ülke          | Petrol (Milyar Varil) |             | Doğalgaz (Milyar m3) |             | Kömür(Milyon Ton) |             | Hidro(Mtep)       |             | Nükleer (Mtep) |             |
|---------------|-----------------------|-------------|----------------------|-------------|-------------------|-------------|-------------------|-------------|----------------|-------------|
|               | 2014                  | Payı        | 2014                 | Payı        | 2014              | Payı        | 2014              | Payı        | 2014           | Payı        |
| S.Arabistan   | 267                   | 15,70%      | 8,2                  | 4,40%       |                   |             |                   |             |                |             |
| Kanada        | 172,9                 | 10,20%      | 2                    | 1,10%       | 6582              | 0,70%       | 85,7              | 9,80%       | 24             | 4,20%       |
| İran          | 157,8                 | 9,30%       | 34                   | 18,20%      |                   |             | 3,4               | 0,40%       | 1              | 0,20%       |
| Rusya         | 103,7                 | 6,10%       | 32,6                 | 17,40%      | 157010            | 17,60%      | 39,3              | 4,50%       | 40,9           | 7,10%       |
| BAE           | 97,8                  | 5,80%       | 6,1                  | 3,30%       |                   |             |                   |             |                |             |
| ABD           | 44,2                  | 2,60%       | 9,8                  | 5,20%       | 237295            | 26,60%      | 59,1              | 6,70%       | 189,8          | 33,41%      |
| Nijerya       | 37,1                  | 2,20%       | 5,1                  | 2,70%       |                   |             | 37,1              | 2,20%       | 1              | 0,20%       |
| Çin           | 18,5                  | 1,10%       | 3,5                  | 1,80%       | 114500            | 12,80%      | 240,8             | 27,40%      | 28,6           | 5,00%       |
| Brezilya      | 16,2                  | 1,00%       | 0,5                  | 0,20%       | 6630              | 0,70%       | 83,6              | 9,50%       | 3,5            | 0,60%       |
| Meksika       | 11,1                  | 0,70%       | 0,3                  | 0,20%       | 1211              | 0,10%       | 8,6               | 0,10%       | 2,2            | 0,40%       |
| Hindistan     | 5,7                   | 0,30%       | 1,4                  | 0,80%       | 60600             | 6,80%       | 29,6              | 3,40%       | 7,8            | 1,40%       |
| Japonya       |                       |             |                      |             |                   |             | 19,8              | 2,30%       | 66,2           |             |
| Fransa        |                       |             |                      |             |                   |             | 14,2              | 1,60%       | 98,6           | 17,20%      |
| G.Kore        |                       |             |                      |             |                   |             | 0,8               | 0,10%       | 35,4           | 6,20%       |
| <b>Toplam</b> | <b>1.701,00</b>       | <b>100%</b> | <b>187,10</b>        | <b>100%</b> | <b>891.531,00</b> | <b>100%</b> | <b>891.531,00</b> | <b>100%</b> | <b>574,00</b>  | <b>100%</b> |

Kaynak: BP, 2015

Ayrıca, petrol rezervi bakımından dünya 8.si, doğalgaz rezervi bakımından dünya 6.sı olan Birleşik Arap Emirlikleri (BAE), 5600 MWe kurulu güce sahip dört ünite için Güney Kore ile anlaşma imzalamıştır ve ilk ünitenin inşası devam etmektedir (BP, 2015). Nükleer santrallerin yapımına Fukushima, Three Mile Island (TMI) ve Çernobil kazaları sonrasında dahi devam edilmektedir. 17 nükleer santral ünitesinden kullanım ömrü dolan 8 santral ünitesini kapatmış olan Almanya, Fransa ve Çek Cumhuriyetinden elektrik ithal etmektedir. Nihayetinde, kaza nedeniyle kapattığı nükleer santrallerden dolayı ortaya çıkan elektrik açığını karşılamak için yıllık 40 milyar \$'a yakın ilave enerji kaynakları ithal etmek zorunda kalan Japonya 17 adet nükleer santral ünitesini yeniden açma sürecini başlatmıştır. Bu çalışma ile nükleer enerji piyasasının gelişimi irdelenmiş, cumhuriyetin kuruluşunun 100'üncü yılında "Vizyon 2023" doğrultusunda 2

trilyon \$ gelire dünyanın en büyük ilk on ekonomisi içinde olmayı planlayan, kişi başına gelirini 25.000 \$'a, ihracatını ise 500 milyar \$'a çıkarmayı hedefleyen Türkiye'nin 2 nükleer santralin üzerinde optimum seviyede nükleer enerji tercihinin yapmasının kalkınma açısından önemli bir üstünlük sağlayacağı değerlendirilmiştir. Bu çerçevede enerjiyi kaliteli, ucuz, sürdürülebilir ve temiz olarak elde eden ülkeler küresel olarak daha yüksek ticaret ve kalkınma düzeyine erişmişlerdir.

Bu araştırmanın aşağıdaki denencelere dayalı olarak hazırlanması planlanmıştır:

*Denence-1:* Artan enerji açığı sebebiyle Türkiye'nin nükleer enerji seçeneğine (de) ihtiyacı vardır.

*Denence-2:* Türkiye için nükleer enerjinin optimum düzeyinin belirlenmesi ekonomiyi olumlu etkileyecektir.

*Denence-3:* ABD, Kanada, Rusya, Meksika ve İran gibi petrol/doğal gaz zengini ülkeler ile enerji bağımlılığı az olan ülkelerin dahi enerji portföyüne nükleeri dahil etmesinden hareketle Türkiye için nükleer enerji tercihi; cari açığın kısmen de olsa kapatılması, ithal enerjiye bağımlılığın azaltılması, enerji arz güvenliği ve çeşitliliğinin sağlanması bakımından büyük katkı sağlayacaktır.

*Denence-4:* Fukushima Daiichi nükleer kazası sonrasında dahi ülkeler nükleer enerji programlarına devam etmişlerdir. Gelişmiş (tezimizde seçilmiş) ülkeler ve model ülke tecrübesinde ekonometrik tahminlerin kullanılması Türkiye'yi "3E" yaklaşımında üstün konuma getirebilecektir.

*Denence-5:* Enerjiyi kaliteli, ucuz, sürdürülebilir ve temiz olarak elde eden ülkeler küresel olarak daha yüksek ticaret ve kalkınma düzeyine erişirler.

*Denence-6:* Türkiye için ithal ikameci yönde enerji politikası ve stratejisi geliştirmek, Türkiye'yi Vizyon 2023 hedefine biraz daha yaklaştırabilecektir.

### **1.3. Araştırmanın Yöntemi ve Bilgi Derleme-İşleme Araçları**

Yerinde inceleme ve yetkin görüşmeler araştırmada büyük önem taşımaktadır. Araştırmada nitel ve nicel araştırma yöntemleri kullanılmıştır. Yöntem olarak örnek ülke/ülkeler seçilip uygun model ekonometrik model ile test edilmiştir. "Doğru tedavi, doğru teşhis gerektirir" prensibi ile hareket edilen bu çalışma ile;

- ✓ Dünyanın nükleer enerji potansiyelinin belirlenmesi,

✓ Ekonometrik regresyon yöntemiyle Türkiye için en iyi enerji politikasının belirlenmesi,

✓ Enerji ile ilgili GZFT çözümlemesinin yapılması,

✓ Enerji arz güvenliği, verimlilik, bağımlılık kapsamında “3E” (Energy-Economy-Environment) yaklaşımında “3R” (Reduce-Reuse-Recycle) temelli optimizasyonun sağlanması,

✓ Ampirik uygulamalarla elde edilen analitik bulgular ışığında enerji sorunsalının çözümü için ithal ikameci sanayileşme politikaları geliştirilmesi sağlanarak bilimsel sentezleme ile bir defada doğruyu yapabilme yeteneği kazanılacaktır.

Bilgi toplama zamanı Aralık 2013 - Haziran 2014’dür. Bilgi işleme zamanı Temmuz-Aralık 2014 arasındaki dönemi kapsamıştır. Değişiklikler güncellenmiştir.

Tez konusu ile ilgili bilimsel-teknik geziler yapılmış ve ilgili kaynaklar tespit edilmiştir. (Tez yazarı olarak) Önce -nükleer enerji denilince ilk akla gelen ülkelerden-Japonya’ya 18-28 Mayıs 2014 tarih aralığında inceleme amaçlı seyahat yapılmış, ardından 30-31 Mayıs 2014 tarihlerinde İstanbul Nükleer Santraller Zirvesi’ne katılım sağlanmıştır. Aynı yıl (tez danışmanı ile birlikte ise) 28th International Business Research Conference’da (Barcelona/Spain, 8-9 September 2014) “ Developing Nuclear Energy Market: Case of Turkey” başlıklı bildiri sunulmuştur. Tez yazarı 26 Kasım 2014 tarihinde Milli Savunma Bakanlığı’ndan “Dünyada ve Türkiye’de Enerji” eğitimi almış ve tez danışmanı ile 29 Mayıs 2015 tarihinde “Türkiye’de İktisadi Açından Nükleer Enerji Tercihi” başlıklı bildirisi (İzmir Katip Çelebi Üniversitesi tarafından düzenlenen) 1.Uluslararası Avrasya Enerji Sorunları Sempozyumu’nda sunulmuştur. Doğrudan kaynak temini yapıldığı gibi, çeşitli veri tabanlarında kaynak taraması yapılmıştır. Aşağıda belirtilen katılım/temaslar/görüşmeler yapılmıştır.

- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
- Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK)
- Hacettepe Üniversitesi
- Türkiye İstatistik Kurumu
- World Nuclear Association
- Ministry of Japan Economy, Trade and Industry (経済産業省)
- Tokyo University
- Japan Nuclear Regulation Authority

- ATMEA
- İstanbul Nükleer Santraller Zirvesi

06 Ekim 2015 tarihinde Milli Savunma Bakanlığı'ndan KBRN eğitimi alınmıştır.

#### **1.4. Araştırmanın Anahtar Kavramları**

*Nükleer Enerji:* Ağır atom çekirdeklerinin nötronlarla bombardımanı sonucunda parçalanması veya hafif atom çekirdeklerinin birleşme tepkimeleri büyük bir enerjinin açığa çıkmasına sebep olmaktadır. Filyon ve füzyon tepkimeleri ile elde edilen enerjiye "çekirdek enerjisi" veya "nükleer enerji" adı verilmektedir.

*Nükleer Santraller:* Nükleer enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir.

*Nükleer Gemiler:* Nükleer itkiye sahip gemilerdir.

*Nükleer Endüstri:* Nükleer hammaddenin çıkarılmasından bertarafına kadar olan süreçteki sanayinin tümüne verilen isimdir.

*Nükleer Atık:* Kullanılmış nükleer yakıtı ifade etmektedir.

*Enerjide Dışa Bağımlılık:* Enerji kaynaklarında yurtdışına bağımlılık anlamı taşır.

*Optimizasyon:* En iyileme tekniği anlamına gelmektedir.

*İthal İkame:* Yerli sanayiye geliştirmek maksadıyla kendi öz kaynaklarını kullanmaktır.

*Vizyon 2023:* Türkiye'nin kuruluşunun 100. yılı hedef ve öngörülerini temsil eder.

*3E Yaklaşımı:* Energy-Economy-Environment temelli yaklaşımdır.

*Derinliğine Savunma:* Nükleer santrallerden açığa çıkan radyoaktif maddelerin ve radyasyonun, normal çalışma veya kaza durumunda reaktör ve santralin dışına çıkmamasını ve çevreden yalıtılarak muhafaza edilmesini sağlamak üzere tasarımıda beş fiziksel bariyerin yer almasıdır.

*Megaton'dan Megawatt'a:* Rusya tarafından nükleer silah başlıklarının sökülerek ABD'de ticari amaçla kullanılması programını ifade etmektedir.

#### **1.5. Araştırmanın Sunuş Sırası**

Tezin amacına yönelik olarak yapılan çalışma dört bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölümde; araştırma konusunun önemi irdelenerek tez çalışmasının amacı ile temel kavram ve stratejilere yer verilmiştir.

İkinci bölümde; "Dünyada Nükleer Enerji" başlığı altında Nükleer Enerjinin Elde Edilmesi, Nükleer Güç Santralleri (NGS), Nükleer Enerji Kullanım Alanları ve

Nükleer Enerjide Seçilmiş Ülke Uygulamaları'na yer verilmiştir. Özellikle nükleer enerji ve teknolojisi üretiminde önde olan ABD, Fransa, Japonya, Rusya, Kanada, G.Kore ve Çin gibi ülkelerle diğer ülkeler irdelenmiştir.

Üçüncü bölümde; Nükleer Rönesans başlığı altında Nükleer Enerji Ekonomisi, Arz ve Talep, Büyüme, İstihdam ve Kapasite Kullanımı, Fiyatlar Genel Düzeyi, Ödemeler Dengesi, Nükleer Enerji Maliyetleri yönüyle incelenmiş, veriler değerlendirilerek GZFT çözümlemesi yapılmış, Türkiye'de 1970-2014 yılları kişi başına milli gelir ve kişi başına enerji kullanımı basit regresyon çözümlemesi ile test edilmiş, optimizasyon yöntemi ile "Türkiye'nin 2023 yılında kaç tane nükleer santrali olmalı" sorusuna cevap aranmış ve "İthal İkameci Sanayileşme Politikası" geliştirmeye yönelik olarak Japonya Örneği ile Nükleer Kazanımlarının Türkiye'ye Transferi ve Fukushima Sonrası Ülkelerin Nükleer Enerji Politikaları irdelenerek Türkiye'nin Ulusal Enerji Stratejisinin Çözümlemesi yapılmıştır.

Dördüncü bölümde; tez konusuyla ilgili olarak genel bir değerlendirme yapıldıktan sonra, önemli görülen bir takım bulgular ve önerilere yer verilmiş olup sonuç kısmı ile çalışma tamamlanmıştır.

## İKİNCİ BÖLÜM

### DÜNYADA NÜKLEER ENERJİ

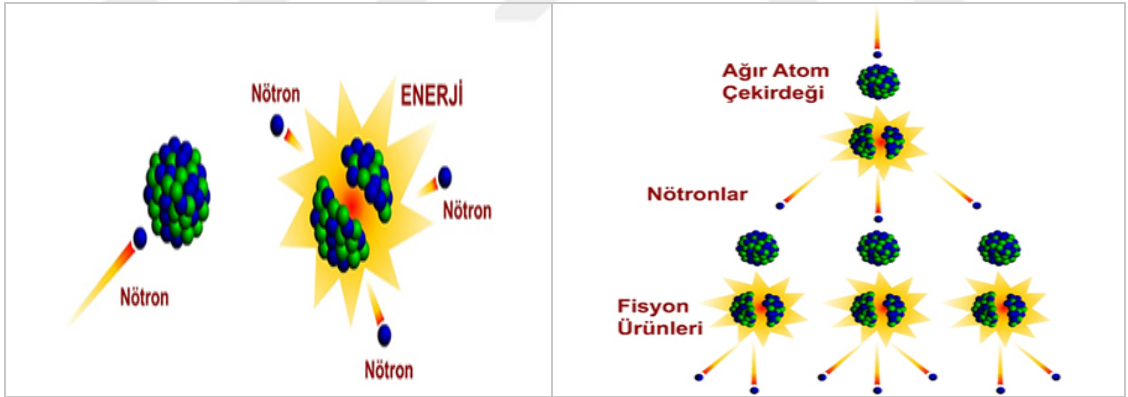
#### 2. NÜKLEER ENERJİ VE NÜKLEER GÜÇ SANTRALLERİ

Bu bölümde nükleer enerjinin elde edilmesi, nükleer güç santralleri, nükleer enerji kullanım alanları ve nükleer enerjide seçilmiş ülke uygulamaları incelenmiştir.

##### 2.1. Nükleer Enerjinin Elde Edilmesi

TAEK (2009) tarafından yapılan tanıma göre; hem ağır atom çekirdeklerinin nötronlarla bombardımanı sonucunda parçalanması neticesinde hem de hafif atom çekirdeklerinin birleşme tepkimeleri sonucunda büyük miktarda enerji açığa çıkmaktadır. Birleşme tepkimesine "füzyon" ve parçalanma tepkimesine "filyon", filyon ve füzyon tepkimeleri ile elde edilen enerjiye ise nükleer enerji adı verilmektedir. Her bir parçalanma sonucunda açığa filyon ürünleri, enerji ve 2-3 adet de nötron çıkmaktadır. (Şekil 2.1) Uygun şekilde tasarlanan bir sistemde tepkime sonucu açığa çıkan nötronlar kullanılarak parçalanma tepkimesi sürekliliği (zincirleme tepkime) sağlanabilir.

Şekil 2.1: Parçalanma (Filyon) Tepkimesi ve Zincirleme Tepkime



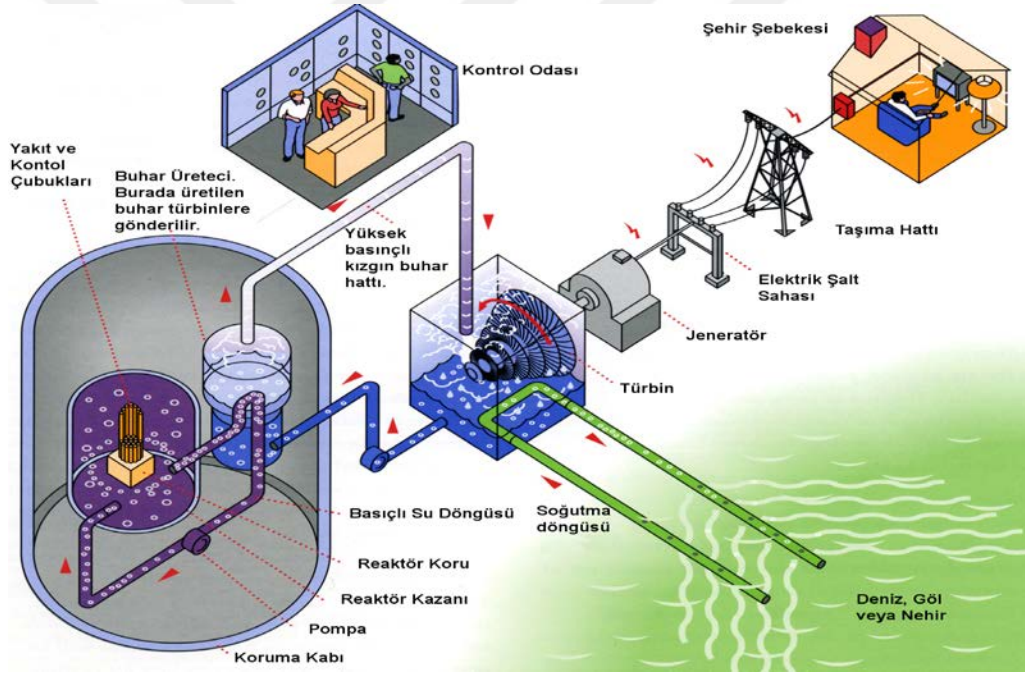
Kaynak: TAEK, 2009

Füzyon tepkimesinin sağlanabilmesi için ise atom çekirdeğinde bulunan artı yüklerin birbirini itmesinden kaynaklanan kuvvetin yenilmesi gereklidir. Bu nedenle çok yüksek sıcaklığa çıkılan sistemler kullanılmaktadır. Çok yüksek sıcaklıkta yüksek enerjiye ulaşan atom çekirdeklerinin çarpışması ile füzyon tepkimesi sağlanabilmektedir. Füzyon enerjisinde uygulamada beklenen noktaya ulaşamamıştır.

## 2.2. Nükleer Güç Santralleri (NGS)

Nükleer santraller temel olarak fisyon sonucu açığa çıkan nükleer enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Öncelikle nükleer enerji, nükleer yakıt ve diğer malzemeler içerisinde ısı enerjisine, bu ısı enerjisi daha sonrasında kinetik enerjiye ve nihayetinde jeneratör sisteminde elektrik enerjisine dönüştürülür. Nükleerden enerji üretimi Şekil 2.2’de yer almaktadır. Bu tasarımda reaktör kalbindeki yakıtlardan ısı enerjisi basınç altında tutularak kaynaması engellenen su ile çekilmektedir. Çekilen ısı enerjisi buhar üreteçlerinde ikinci devredeki suya aktarılmakta böylece üretilen buhar ile türbin-jeneratör sistemi döndürülerek elektrik enerjisi üretilmekte ve tüketicinin kullanımına sunulmaktadır (TAEK, 2009) .

Şekil 2.2: Nükleer Güç Santrali



Kaynak: [www.sce.com/NR/rdonlyres/A050B788-F86C-448A-9A66-8FABD9F302B4/0/NuclearEnergy\\_process.jpg](http://www.sce.com/NR/rdonlyres/A050B788-F86C-448A-9A66-8FABD9F302B4/0/NuclearEnergy_process.jpg)

Nükleer santral reaktörü güç çıkışları üç şekilde gösterilir:

- Isıl MWt; bu güç reaktörün tasarımına bağlıdır, üretilen ısı gücü ifade eder, reaktörde üretilen buharın miktarı ve kuruluğu ısı güce bağlıdır.
- Brüt elektrik MWe; buhar türbini ve jeneratör tarafından üretilen elektriksel gücü gösterir.

- Net elektrik MWe; santralden şebekeye gönderilen güçtür, brüt elektrikten santral pompalarının ve elektrik gereksinimi olan sistemlerinin çalışması için gerekli olan elektrik enerjisi düşüldükten sonra geriye kalan elektriksel gücü ifade eder. Bunlar arasındaki ilişkiler iki şekilde ifade edilir:

- Isıl verimlilik; brüt elektrik MWe'nin ısı MWT'a yüzde olarak oranıdır, genellikle %33-37 arasında değerler alır.

- Net verimlilik; net elektrik MWe'nin ısı MWT'a yüzde olarak oranıdır, ısı verimliliğinden biraz daha düşüktür.

*Nükleer Reaktörler:* Zabunoğlu'nun (2012) ifade ettiği gibi nükleer reaktör, fisyon sonucu açığa çıkan ısı enerjisi olarak anlaşılan nükleer enerjinin düzenli olarak ve sürekli üretilmesini sağlamak üzere tasarlanmıştır. *“Sürekli ve düzenli üretim için öncelikle;*

- ✓ *Fisyon reaksiyonunun bire bir (kontrollü bir şekilde) sürdürülmesi,*
- ✓ *Üretilen ısıнын uygun şekilde ortamdaki çekilmesi sağlanmalıdır.”*

Parçalanma tepkimesi sonucu açığa çıkan nötronlardan sadece birinin tekrar fisyon yapmasını sağlayan nükleer reaktör tepkimesinin bire bir gerçekleşmesini sağlamak üzere tasarlanır; birim zamanda gerçekleşen fisyon sayısı kontrol altında tutularak ısı üretiminin sürekliliği sağlanabilir. Fisyon zincirleme reaksiyonunun kontrolsüz olması durumu atom bombasının temelini oluşturur.

Fisyon sonucu üretilen ısıнын uygun bir soğutucu ile ortamdaki sürekli olarak çekilmesi de nükleer reaktörün diğer bir fonksiyonudur. Nükleer reaktörlerin başlıca elemanları;

- ✓ Yakıt: Uranyum temel yakıt olarak kullanılmaktadır.
- ✓ Moderatör (yavaşlatıcı): Genellikle su kullanılmaktadır.
- ✓ Kontrol Çubukları
- ✓ Soğutucu
- ✓ Basınç Kabı veya Basınç Tüpleri
- ✓ Buhar Jeneratörü
- ✓ Koruma Kabı: Tipik olarak 1 metre kalınlığında çelik ve beton yapı şeklindedir.

Tiplerine göre işletmedeki nükleer santral sayı ve kapasiteleri EK-2’de detaylandırılmış olup başlıca nükleer reaktör tipleri ise Tablo 2.1’de yer almaktadır;



- ✓ Pressurised Water Reactor (PWR): Basınçlı Su Reaktörü
- ✓ Boiling Water Reactor (BWR): Kaynar Su Reaktörü
- ✓ Pressurised Heavy Water Reactor 'CANDU' (PHWR): Basınçlı Ağır Su Reaktörü
- ✓ Gas-cooled Reactor (AGR & Magnox): Gaz Soğutmalı Reaktör
- ✓ Light Water Graphite Reactor (RBMK & EGP): Hafif Su Grafit Reaktörü
- ✓ Fast Neutron Reactor (FBR): Hızlı Nötron Reaktörü

**Tablo 2.1: Ticari Amaçla Çalışan Nükleer Güç Santralleri**

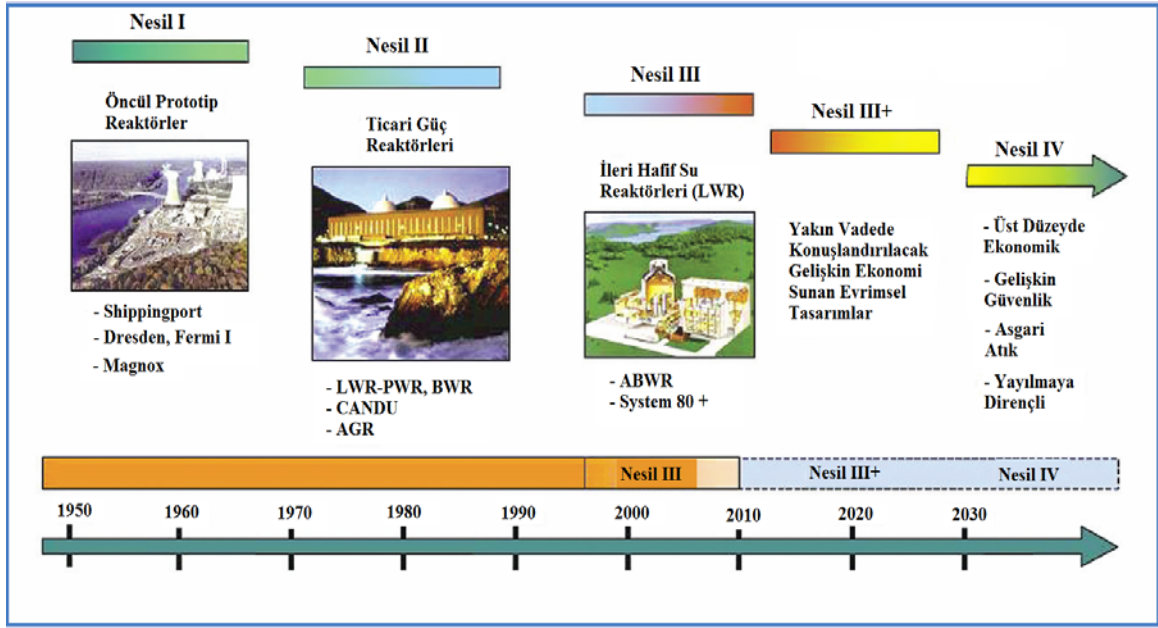
| Reaktör Tipi                                          | Başlıca Ülkeler                  | Sayı       | GWe        | Yakıt                                              | Soğutucu        | Moderatör |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------|------------|------------|----------------------------------------------------|-----------------|-----------|
| <i>Pressurised Water Reactor (PWR)</i>                | ABD, Fransa, Japonya, Rusya, Çin | 273        | 253        | Zenginleştirilmiş UO <sub>2</sub>                  | Su              | Su        |
| <i>Boiling Water Reactor (BWR)</i>                    | ABD, Japonya, İsveç              | 81         | 76         | Zenginleştirilmiş UO <sub>2</sub>                  | Su              | Su        |
| <i>Pressurised Heavy Water Reactor 'CANDU' (PHWR)</i> | Kanada                           | 48         | 24         | Doğal UO <sub>2</sub>                              | Ağır Su         | Ağır Su   |
| <i>Gas-cooled Reactor (AGR &amp; Magnox)</i>          | İngiltere                        | 15         | 8          | Doğal U (metal), Zenginleştirilmiş UO <sub>2</sub> | CO <sub>2</sub> | Grafit    |
| <i>Light Water Graphite Reactor (RBMK &amp; EGP)</i>  | Rusya                            | 11 + 4     | 10.2       | Zenginleştirilmiş UO <sub>2</sub>                  | Su              | Grafit    |
| <i>Fast Neutron Reactor (FBR)</i>                     | Rusya                            | 2          | 0.6        | PuO <sub>2</sub> and UO <sub>2</sub>               | Likit Sodyum    |           |
| <b>TOPLAM</b>                                         |                                  | <b>434</b> | <b>372</b> |                                                    |                 |           |

Kaynak: Nuclear Engineering International Handbook 2011, IAEA

Thorium Report Committee (TRC, 2008) göre; 1950 ve 1960'lı yıllarda öncü prototipler olarak inşa edilen ilk reaktörler I. nesil olarak adlandırılmaktadır. İlk ticari reaktörler ise II. nesil olarak adlandırılmaktadır. Günümüzde çalışmakta olan reaktörlerin çoğu ikinci nesil tipindedir. Şekil 2.3'de nükleer reaktör nesilleri görülmektedir.

III. nesil reaktörler 1990'lı yıllarda, güvenlik ve ekonomi açısından anlamlı iyileştirmeler sunan evrimsel bazı tasarım özellikleriyle donatılmış olarak geliştirilmişlerdir. II. Nesil reaktörleri geliştirme yönünde devam eden çalışmalar, yakın zamanda devreye alınabilir nitelikteki III. nesil olarak adlandırılan tasarımların önünü açmıştır. 2030 yılına kadar inşa edilecek olan yeni santraller büyük olasılıkla bu tasarımlar arasından seçilecektir. IV. nesil reaktör tasarımları, nükleer enerji sektöründe yaşanan durgunluk nedeniyle aksamıştır.

Şekil 2.3: Nükleer Reaktörlerin Nesillere Göre Gelişimleri.



Kaynak: TRC, 2008

Ancak, nükleer endüstrinin artan enerji ihtiyaçlarına uyum sağlaması ve daha küçük üretim birimleriyle yerel ihtiyaçlara yanıt verebilir hale gelmesi planlanmaktadır. IV. nesil bir nükleer enerji sistemi, çevre ile tüm etkileşimlerini kapsayacak biçimde tanımlanmaktadır. Dolayısıyla, nükleer reaktör ve enerji dönüştürme bileşenlerinin yanında, cevherin eldesinden atığın nihai depolanmasına kadar, yakıt döngüsü için gereken tüm tesisleri de içermektedir.

Nükleer santrallerin reaktörleri ait oldukları nesillerin yanısıra, ürettikleri elektrik gücü ile de sınıflandırılırlar. Gücü 300 MWe'nin altında olan santrallerin reaktörleri küçük, 300 MWe ile 700 MWe arasında olanlar orta ve 700MWe'den büyük olanlar ise büyük reaktörler olarak adlandırılırlar. Nükleer teknolojinin tarihçesi içinde ürettikleri güç artagelmış (III. nesillerde olduğu gibi), ancak günümüzde özellikle elektrik şebekesinde yeni yatırımlar yapmayı gerektirmeyen küçük reaktörler ticarileşmeye (Arjantin'de gücü 100 MWe olan CAREM reaktörünün inşaatı) başlamıştır.

*Nükleer yakıt:* Günümüzde işletmede olan nükleer güç santrallerinin (PWR, BWR ve CANDU) Uranyum dioksitten ( $UO_2$ ) oluşan yakıtlarında çekirdek bölünmesi (özellikle taze yakıtta) doğada bulunan tek fisil izotop olan U-235'in bölünmesiyle gerçekleşir. PWR ve BWR yakıtında bulunan U-235 uranyum içinde doğada bulunduğu kadar fazla

miktarda bulunmalıdır; CANDU yakıtında ise U-235 miktarı doğada bulunan uranyumla aynıdır. Yakıtta bulunan uranyumun U-235 dışındaki kısmı U-238 izotopunu içerir.

Türkiye'ye yapılması planlanan reaktörlerin tipi olan PWR reaktörlerinde taze yakıt %3-5 oranında U-235 içermelidir, aksi takdirde fisyon reaksiyonu gerçekleştirilemez. Doğada bulunan uranyumda U-235 oranı ise %0.7 civarındadır; PWR yakıtı için uranyumun içindeki U-235 miktarı arttırılmalıdır. Bunun için uranyum madeninde elde edilen ve %80 oranında uranyum dioksit içeren ve “sarı pasta” olarak adlandırılan malzemeden, uranyumhexaflorid (UF<sub>6</sub>) formunda gaz üretilmesi gerekir. Bu gazın üretilmesi işlemi “dönüştürme” olarak adlandırılır. Dönüştürme sonunda elde edilen gaz içinde U-235 miktarını arttırma işlemine “zenginleştirme” denir. Eğer zenginleştirme miktarı %90'ın üzerindeyse, silah üretme amaçlı zenginleştirme gerçekleştirilmiş olur. PWR yakıtı olan UO<sub>2</sub> içinde %95-97 oranında bulunan U-238, reaktör içinde nötron yutarak fisil olan ve doğada bulunmayan Pu-239'a dönüşür. Yakıt içinde Pu-239'da çekirdek bölünmesiyle enerji üretimine katkıda bulunur. U-238'den Pu-239 oluşturulmasına “üretme” denir.

Nükleer yakıt imal edilirken, zenginleştirilmiş UO<sub>2</sub> toz halinde üretilir, ardından bu toz sıkıştırılarak silindir şeklinde, 1 cm'den küçük yarıçaplı, yaklaşık 2.5 cm boyunda peletler (tabletler) üretilir. Bu peletler boyu 3.5-4.0 metre olan zirkonyum alaşımından yapılmış tüpler içine dizilir. Tüplere Helyum gazı basılıp, peletlerin yerleşimine katkıda bulunan destek yapıları tüpler içine yerleştirilerek tüpler kapatılır. Böylece nükleer yakıt çubuğu imal edilmiş olur.

Nükleer yakıt çubukları reaktör tasarımına bağlı olarak altıgen ya da kare demetler oluşturacak şekilde dizilirler. Yakıt demetleri yakıt çubuklarının arasından soğutucu su geçecek şekilde reaktör içine yerleştirilirler. Türkiye'ye yapılması planlanan PWR tipi reaktörlerde 50 binden fazla yakıt çubuğu yer almaktadır. Bu 90 tondan fazla UO<sub>2</sub> bulunduğu anlamına gelmektedir.

Yakıtın içinde çekirdek bölünmesi gerçekleştikçe içeriğinde bulunan fisil izotopların sayısı azalır ve bir süre sonra zincirleme reaksiyon sürdürülemez hale gelir. Böyle bir durumda kullanılmış nükleer yakıt demetlerinin bir kısmı (yaklaşık üçte biri) reaktörden çıkarılır. Bu demetlerin yerine taze yakıt demetleri yüklenir. Bir yakıt demeti, ülkemize yapılması planlanan tipte reaktörlerde 4-6 yıl boyunca kalır. 1000 MWe

gücündeki bir PWR, yukarıda anlatıldığı gibi sürekli taze yakıt yüklenerek, yaklaşık 7,5 milyar kWh elektrik üretimi sağlayabilmektedir (Zabunoğlu, 2012).

*Kullanılmış Nükleer Yakıt (KNY), Yeniden İşleme, Nükleer Atıklar ve Kullanılmış Nükleer Yakıtların Depolanması:* Kullanılmış nükleer yakıtlar (KNY), zincirleme reaksiyon sürdürülemediği durumda reaktörden çıkarıldıklarında, ölümcül derecede radyoaktiftirler (fiziksel yapıları değişmemiştir). Bir nükleer reaktör (1.000 MWe gücünde) yaklaşık olarak yılda 7 m<sup>3</sup> (27 ton) kullanılmış yakıt üretmekte, aynı düzeyde kömür santrali ise üç milyon ton kömür ile yaklaşık yedi milyon ton kül ve baca gazı üretmektedir. İçeriğinde yaklaşık %95,5 uranyum, %0,9 plütonyum, %3,5 fisyon ürünü hafif izotoplar ve %0,1'i ağır izotoplar olan KNY radyoaktivitesinin azalması ve soğutulması için bir süre nükleer santrallerde bulunan havuzlarda bekletilmelidir. Havuzlarda bekletilmenin ardından KNY ya atık olarak bertaraf edilebilir, ya da içeriğinde bulunan plütonyum (doğada bulunmaz) ve doğada bulunandan fazla miktarda olan uranyum-235 izotoplarının geri kazanılması için yeniden işlenebilir.

Yeniden işleme sonucunda KNY'nın %3,6'lık kısmını oluşturan fisyon ürünü uranyum ötesi ağır izotoplar ile hafif izotoplar yüksek seviyeli atık olarak tasfiye edilir, çevre ve halktan uzaklaştırılmalarıyla bertaraf edilirler.

Yeniden işlenmeyen KNY ise önce havuzlarda, ardından kuru depolama tesislerinde bekletilebilir veya bekletme yalnızca havuzlarda yapılabilir. KNY hacmi oldukça düşük olduğundan; örneğin, 1200 MWe gücünde yaklaşık 15-20 yıl süresinde 23 nükleer reaktörde kullanılmış nükleer yakıtı muhafaza etmek için olimpik ölçülerde ve yaklaşık 8-9 metre derinliğinde bir havuz yeterli olduğundan, KNY'yı yalnızca havuzlarda bekletmek de bir seçenek olabilir.

KNY yeniden işlenmediğinde, nihai bertarafından önce havuzlarda veya kuru depolama tesislerinde depolanabilirler. KNY'nın depolamanın ardından, nihai bertaraf için yer altına gömülerek tasfiye edilmesi mümkün olabilir (jeolojik tasfiye). Nükleer atıkların jeolojik tasfiyesi nihai bertarafı anlamına gelir. Özellikle ABD'de planlanan jeolojik tasfiye şu anda hiç bir ülkede uygulama bulmuş değildir.

Yeniden işleme ile jeolojik tasfiye seçeneği ekonomik olarak kıyaslandığında, nükleer yakıtın yakıt yanma oranı oldukça arttırıldığında (III. nesil santrallerde olduğu gibi) yeniden işlemenin daha ekonomik olabileceği bildirilmektedir. Nükleer santrallerin atıkları, içerdikleri radyoaktif maddelerin yarılanma ömürleri ve radyoaktivitelerine göre

düşük, orta ve yüksek seviyeli atıklar olarak sınıflandırılırlar ve bu sınıflandırmaya uygun olarak depolanır, tasfiye edilirler ve bertarafları gerçekleşir.

*Enerji Üretiminde Nükleer Reaktörlerin Kullanımı ve Kullanım Süreleri, Hizmetten Çıkarma:* Dünya nüfusunun önümüzdeki yirmi yıl içinde %25 artacağı göz önünde bulundurulduğunda elektrik talebinin 2030 yılına kadar iki katına çıkacağı öngörülebilir. Bu talebi sürdürülebilir bir şekilde karşılamak için enerji üretiminde nükleer santrallerin kullanımı daha etkin bir tercihtir.

Enerji üretiminin sağlıklı yapılabilmesi için alternatif enerji kaynaklarının dengeli olarak kullanılması gerekmektedir. Nükleer santral kullanımı böylesi bir dengenin sağlanması için önem taşımaktadır.

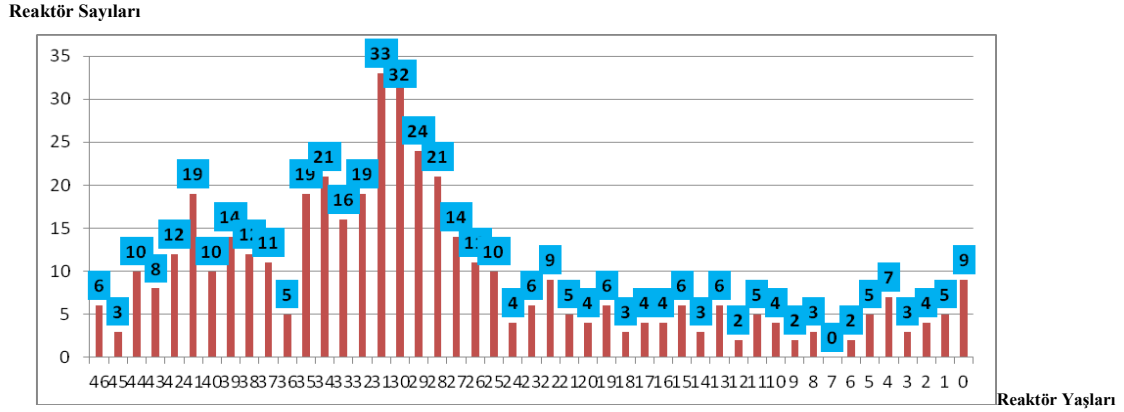
Nükleer santraller, enerji üretim sisteminde, işletme maliyetleri oldukça düşük olduğundan baz yük üretimi için kullanılırlar. Ayrıca, yüksek kapasite faktörleri ve yakıt olarak kullanılan uranyumun doğadaki miktarı ve sabite yakın bir fiyatının olması, nükleer santralleri enerji üretiminde önemli bir tercih haline getirmektedir.

Nükleer santraller, karbon gazı salımına neden olmadıkları, sera gazı salımları diğer elektrik sistemlerine göre oldukça az olduğu ve hacimce küçük miktarda atık ürettikleri için çevreye zarar vermeyen sistemlerdir. Nükleer santraller normal işletmeleri sırasında çevreye herhangi bir endüstriyel tesisten daha fazla hasar vermez.

Enerji üretiminde nükleer santraller için teknoloji seçimleri santrallerin nesillerine göre yapılabileceği gibi (atık miktarı az, gelişkin güvenliğe sahip, ekonomik ve yayılmaya dirençli olan IV. nesil) küçük veya orta büyüklükteki reaktörler de elektrik üretiminde kullanılabilir. Ülkemizde yakın gelecek için olmasa da, reaktör tipi seçilirken toryumun (toryumun kendisi yakıt değildir ama üretken reaktörlerde fisyon yapan uranyum-233 izotopuna dönüştürülebilir) kullanılabildiği reaktörlerin seçilmesi makul bir tercih olabilir. Nükleer santrallerin enerji üretim sistemleri olarak tercih edilmelerinin bir nedeni de uzun kullanım süreleridir. İkinci nesil reaktörlerin güvenli ve ticari ömrü 30-40 yıl olarak tahmin edilmiş, ancak santral işletimindeki gelişmeler, nükleer santral malzeme ve malzeme analizindeki iyileştirmeler ile işletmedeki santrallerin ömürlerinin 40 yıldan 60 yıla uzatılması uygulaması hayat bulmuştur. Kullanım süreleri 60 yıl olarak planlanan III. nesil santrallerin ömrünün bu şekilde 80 yıla uzayabileceği öngörülmektedir.

Yaşlarına göre işletmedeki reaktör sayıları Şekil 2.4’de gösterilmektedir. Ömürleri uzatılan reaktörlerle çok sayıda nükleer santralin uzun yıllar daha elektrik üretimine devam edeceği açıkça görülmektedir.

Şekil 2.4: Yaşlarına Göre İşletmedeki Reaktör Sayıları (2015)



Kaynak: PRIS, 2015

Ekonomik ve güvenli ömrünü tamamlayan nükleer santraller hizmetten çıkarılır. Hizmetten çıkarılan santraller bir süre beklenildikten sonra tamamen sökülürler ve santralden sökülen radyoaktif malzemeler radyoaktif atık olarak bertaraf edilirler.

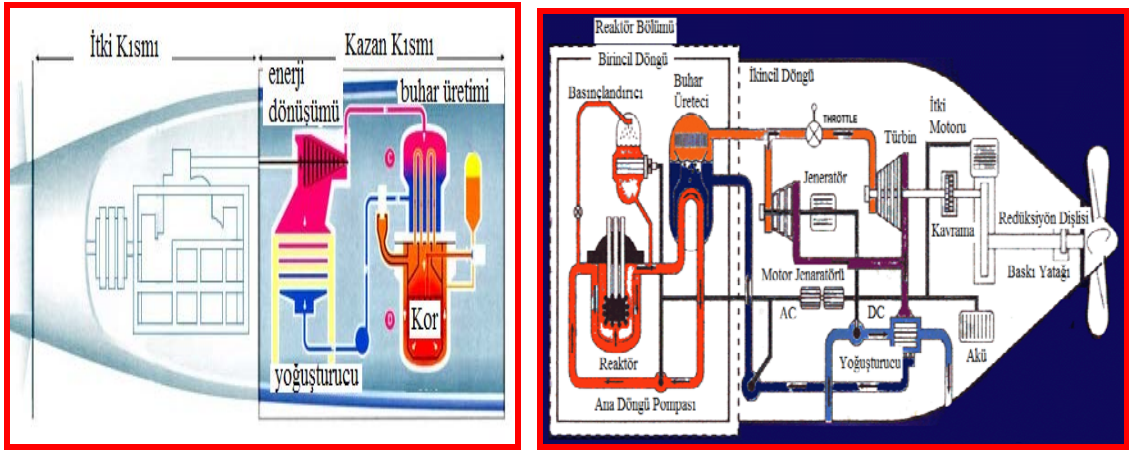
Askeri amaçlarla kullanılan oldukça ağır olan gemi (kravazör ve uçak gemileri) ve denizaltıların, gerek uzun süre yakıt yenilemeden görevde kalma zorunlulukları olduğundan gerekse de hızlı gitmeye ve hızlı manevra yapmaya ihtiyaç duymalarından dolayı, ABD'nin 1940'larda başlattığı girişimlerle, gemilerde ve denizaltılarda nükleer güç kullanılmaya başlanmıştır. İlk nükleer denizaltı (Nautilus) 1955'de kullanılmaya başlanmıştır.

1950'lerden bu yana 700'e yakın küçük nükleer reaktör askeri gemi ve denizaltılarda kullanılmıştır. ABD, Rusya, Çin, Fransa, İngiltere ve Hindistan askeri gemi ve denizaltılarında nükleer gücü kullanmaktadırlar.

**Nükleer İtki:** Nükleer güçle gemi ve denizaltıların hareket etmesi için iki teknik kullanılmıştır. Nükleer enerji kullanılarak üretilen buharın yollandığı türbinle itki (bu yöntem ABD, Rusya ve İngiltere tarafından kullanılır) ve buhar türbini kullanılarak elde edilen elektrik enerjisiyle itki (bu yöntem ise Fransa, Çin ve Hindistan tarafından kullanılır) şeklindedir.

Aşağıdaki şekillerde bahsedilen itki yöntemlerini kullanan sistemler ve reaktörleri gösterilmiştir. Petrolün tükenme süresi göz önüne alındığında *nükleer itki sistemlerinin öneminin daha da artacağı* değerlendirilmektedir. Şekil 2.5'de gösterildiği gibi nükleer gemi ve denizaltılarda nükleer enerji, basınçlı su reaktörlerinde (PWR) elde edilmektedir. Rusya'nın kurşun-bizmut soğutmalı reaktör kullanma girişimleri olmuş ancak bu girişimler başarısızlıkla sonuçlanmıştır.

**Şekil 2.5: Fransa ve İngiltere Nükleer Denizaltı Reaktör Şemaları ve Mukayesesi**



Kaynak: WNA, 2014

Gemilerde kullanılan reaktörlerin ısı güçleri 300 MWt (büyük kruvazörler) ile 10 MWt arasında değişirken, denizaltılarda reaktörlerin ısı güçleri 200 MWt ve 10 MWt arasındadır. Gemi ve denizaltılarda tasarımlarına bağlı olarak 2'den fazla (9'a kadar olmak üzere) nükleer reaktör bulunabilir. Bu reaktörlerde yüksek zenginlikli (zenginliği %40'dan fazla, hatta %90 zenginlikte) yakıtlar kullanılmıştır.

Bahsedilen reaktörlerden dolayı gemi ve denizaltılarda çalışan personelin maruz kaldığı radyasyon dozunun sınırlı kalmasına özen gösterilmektedir. Örneğin, 1958 yılından bu yana ABD'nin nükleer güçle çalışan filolarında personelin aldığı fazladan yıllık radyasyon dozu (1.03 miliSievert), ABD'de solumayla maruz kalınan dozun (2.28 miliSievert) yarısından azdır.

**Nükleer Filolar:** Nükleer gücü filusunda ilk kez kullanan ABD, gemi ve denizaltılarda nükleer reaktörlerini radyolojik hiç bir olayla karşılaşmadan çalıştırma başarısına da sahiptir. ABD'nin 2010 yılı Mart ayında 9 kruvazörü, 11 uçak gemisi, 71 denizaltısı nükleer reaktörlerle çalıştırılmıştır. 2014 yılı sonunda ise ABD'nin, 75'i

denizaltı olmak üzere 86 nükleer reaktörlü taşıtını filosunda bulundurduğu bilinmektedir. (WNA,2016)

ABD'den sonra gemi ve denizaltılarda nükleer reaktörleri kullanmak konusunda en fazla tecrübeye sahip olan Rusya'nın 13 denizaltısında (saldırı denizaltısı) nükleer reaktör bulunmaktadır. Nükleer reaktörle çalışan uçak gemisi bulunmayan Rusya'nın nükleer kruvazör sayısı 1'dir. Rusya 2015 yılında 8 yeni nükleer denizaltının inşaatını bitireceğini ilan etmiştir. Ayrıca 3 nükleer kruvazörün yapımı ile ilgili projeler de Rusya'da devam etmektedir.

Fransa'nın bir uçak gemisi ve 10 denizaltısı nükleer güçle çalışırken, İngiltere'nin reaktörü bulunan 12 denizaltısı vardır. Çin'in 12 denizaltısı nükleer güçle çalışmaktadır. Hindistan, maliyeti 2.9 milyar \$ olan ilk nükleer denizaltısını 2009'da çalıştırmaya başlamıştır. İkinci nükleer denizaltısının inşasını bitirmeyi hedefleyen Hindistan, Rusya'nın bir nükleer saldırı denizaltısını da 10 yıl süreyle 650 milyon \$ ödeyerek kiralamıştır.

Nükleer güçle çalışan denizaltı ve gemiler konusunda tecrübeli ülkelerin yanında Brezilya da 2025 yılında ilk nükleer denizaltısına sahip olmayı hedeflemektedir.

*Sivil Amaçla Kullanılan Nükleer Gemiler:* Nükleer gücün yalnız askeri amaçlarla değil sivil gemilerde de kullanılması, fosil yakıt kaynaklarının azalması nedeniyle cazip bulunmuş, farklı amaçlarla nükleer güçle çalışan sivil gemiler inşa edilmiştir. Sivil amaçla kullanılan gemiler arasında Rusya'nın buz kırma gemileri (başarıyla çalıştırılmış 8 gemi) en önemli örneklerdir.

ABD'nin ve Japonya'nın ticari gemilerde nükleer reaktörleri kullanma girişimleri ekonomik ve teknik sorunlar nedeniyle başarısız olmuştur. Almanya ise tek sivil nükleer gemisi olan Otto Hahn nükleer kargo gemisini teknik sorunlar nedeniyle 1982 yılından sonra dizel yakıt ile çalıştırmaya başlamıştır. Yaklaşık 5000 kişinin çalıştığı 2 adet nükleer güç reaktörüne sahip Nimitz sınıfı uçak gemisinin birim maliyeti yaklaşık 8,5 milyar \$'dır (Navy, 2016).

Tablo 2.2'de askeri ve sivil amaçlı olarak kullanımı denenmiş nükleer gemi ve denizaltılarla ilgili özet verilmektedir. Tabloda yer alan sistemlerin reaktörlerinin ömrü 25 ile 40 yıl arasında değişmektedir.



**Tablo 2.2: Dünyada Nükleer Gemi Dağılımı**

| ABD                               | Rusya                             | Diğer Ülkeler                            |
|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------|
| <b>Kruvazör:</b>                  | <b>Kruvazör:</b>                  | <b>Fransa</b>                            |
| USS Long Beach (CGN-9)            | Admiral Ushakov (Project 1144)    | FS Charles De Gaulle (R91) (Uçak gemisi) |
| USS Bainbridge (CGN-25)           | Admiral Lasarev (Project 1144.1)  | Almanya                                  |
| USS Truxtun (CGN-35)              | Admiral Nakhimov (Project 1144.2) | NS Otto Hahn (Kargo)                     |
| USS California (CGN-36)           | Pyotr Veliky (Project 1144.3)     | Japonya                                  |
| USS South Carolina (CGN-37)       | <b>Muhabere Gemisi:</b>           | NS Mutsu (Kargo)                         |
| USS Virginia (CGN-38)             | Ural (Project 1941)               | <b>Denizaltılar:</b>                     |
| USS Texas (CGN-39)                | <b>Sivil Gemiler:</b>             | ABD'nin tüm denizaltıları nükleerdir.    |
| USS Mississippi (CGN-40)          | <b>Buzkıran Gemileri:</b>         | Rusya                                    |
| USS Arkansas (CGN-41)             | Yamal                             | Fransa                                   |
| <b>Uçak Gemileri:</b>             | Sovetsky Souz                     | İngiltere                                |
| USS Enterprise (CVN-65)           | Rossiya                           | Çin                                      |
| USS Nimitz (CVN-68)               | Lenin                             | Hindistan                                |
| USS Dwight D. Eisenhower (CVN-69) | Sibir                             |                                          |
| USS Carl Vinson (CVN-70)          | Arktika                           |                                          |
| USS Theodore Roosevelt (CVN-71)   | Taymyr                            |                                          |
| USS Abraham Lincoln (CVN-72)      | Vaygach                           |                                          |
| USS George Washington (CVN-73)    | <b>Konteynır Gemisi:</b>          |                                          |
| USS John C. Stennis (CVN-74)      | Sevmorput                         |                                          |
| USS Harry S. Truman (CVN-75)      |                                   |                                          |
| USS Ronald Reagan (CVN-76)        |                                   |                                          |
| USS George Bush (CVN-77)          |                                   |                                          |
| <b>Sivil gemi:</b>                |                                   |                                          |
| NS Savannah                       |                                   |                                          |

Kaynak: [www.nukte.org/node/144](http://www.nukte.org/node/144) [www.radiationworks.com/nuclearships.htm](http://www.radiationworks.com/nuclearships.htm).

*Nükleer Güçle Çalışan Gemiler ve Denizaltıların Geleceği:* Nükleer güçle çalışan gemi ve denizaltıların gerek askeri gerekse sivil amaçlı kullanımının yayılması beklenmektedir. Denizcilikte nükleer güç kullanımının artması, fosil yakıt kullanımının sera gazları salımına etkisi ve bu yakıtların kaynaklarının tükenmesi nedeniyle beklenmektedir. Bu artışın yüzen nükleer santraller (elektrik iletiminin ve üretiminin güç olduğu bölgelere deniz yoluyla gönderilmek üzere), aralarında uzun mesafeler bulunan limanlar arasında büyük gemilerle taşımacılık, büyük gezinti gemileri, gemi çekicileri ve hızlı olması gereken büyük gemilerde nükleer reaktörlerin kullanılmasıyla gerçekleşmesi beklenmektedir. Gelecekte gemi ve denizaltılar için kullanılan reaktör teknolojisinin; uzun ömürlü olması, çevreci yakıt çevrimli olması ve sürdürülebilir reaktörlerin kullanılması amacıyla küçük-modüler ve IV. nesil reaktörlere (örneğin kurşun-bizmutun soğutucu olarak kullanımı) benzemesi üzerine planlar yapılmaktadır.

*Nükleer Endüstri:* Bir nükleer santralin tüm yaşam döngüsüne ait etkinlikleri içeren büyük bir sektördür. Bahsedilen yaşam döngüsü; nükleer santralin inşaatı, inşaat kabulü, işletilmesi ve sökülmesi etkinliklerinin yanı sıra, nükleer yakıtın madenden elde edilmesinden kullanılmış yakıtın bertarafına kadar yakıt döngüsü ile ilgili etkinlikleri de içerir.

Böylesi çok etkinliğin yürütüldüğü ve etkinliklerin her aşamasında güvenliğin herşeyden üstün tutulduğu bir sektörde oldukça çok sayıda aktör bulunmaktadır. Bu aktörler; Birleşmiş Milletler düzeyinde faaliyet gösteren Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) gibi uluslararası çatı kuruluşları, nükleer santrallerin ve yakıtlarının tüm yaşam döngüsünde faaliyet gösteren kamu ve özel kuruluşları ile tüm faaliyetleri düzenleyen ve denetleyen kamu kurumlarını içerir. Aşağıda nükleer sektörün aktörleri özetlenmiştir ve bu aktörler ayrıca şekil 2.6'da gösterilmektedir.

*Nükleer Reaktör Kurucuları ve İşleticileri:* Nükleer enerjiden elektrik üretmek için gerekli inşaat ve işletme etkinliklerini yapan özel kuruluşlar veya kamu kurumlarıdır. Nükleer santral kurma ve işletmesine bu kurumların yanında reaktör ve diğer ekipmanı sağlayan alt yüklenici şirketler ve müteahhitler de dahildir.

*Uranyum Madeni, Nükleer Yakıt, Depolama ve Atık:* Bu başlık altında nükleerden elektrik üreticilerine yakıt sağlayan şirketler yer alır. Bu şirketler; uranyum madenciliği yapan şirketlerle, madenden dönüştürme, zenginleştirme ve yakıt üretimi yapan firmalarla bunlara hizmet sağlayan şirketlerdir. Nükleer yakıt kullanıldıktan sonra bir süre reaktörde depolanır ancak yönetilmesinden, yeniden işlenmesinden veya nihai bertarafından da sorumlu firmalar vardır. Yakıt döngüsü ile ilgili çalışan firmalar çoğunlukla teknoloji ve mühendislik tabanlıdır, ancak bu firmaları birbiriyle ilintilendiren ticari şirketler de vardır.

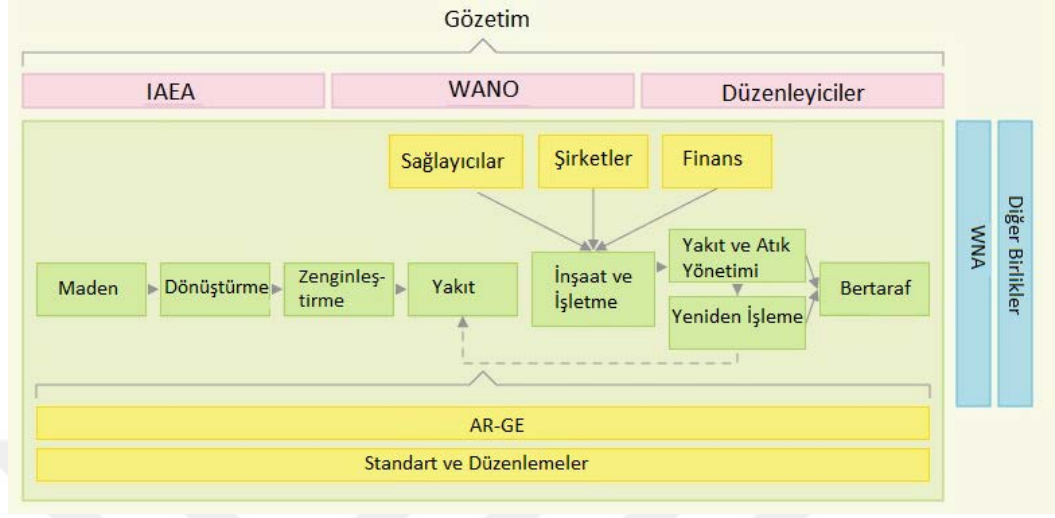
*Düzenleyiciler:* Büyük endüstrilerin faaliyetlerinin bu faaliyetlerin yürütüldüğü ülkenin hükümetleri tarafından düzenlemeye tabi olması normaldir. Nükleer endüstri de, nükleer santrallerin yerinin, inşaatının ve işletmesinin lisanslanması kapsamında hükümetlerin düzenlemelerine tabidir. Ülkelerin hükümetler tarafından kurulan düzenleyici kuruluşları aynı zamanda nükleer santraller için uygun teknolojinin seçimini yapma görevini de yerine getirirler.

*Araştırma ve Geliştirme:* Nükleer sektörde, sektörle ilgili burada sıralanan tüm etkinliklerin güvenli bir şekilde gerçekleştirilmesi, standartların belirlenmesi ve ekipman tasarlanması işlerini yapan kuruluşlar da yer alır.

*Finans:* Nükleer santrallerin kurulumu oldukça büyük yatırım gerektirir. Bu nedenle finans sektörünün nükleer santral kurulumu için sağlayıcı hizmetleri hayati önem taşır. Santrallerin kurulması ve işletilmesi için gerekli olan üçüncü taraf sorumluluğu sigortası ile santralin sigortalanması da finans hizmetleri içindedir.

Genel çerçevede nükleer endüstri yapısı Şekil 2.6’da gösterilmektedir.

Şekil 2.6: Nükleer Endüstri Yapı Şeması



Kaynak: INPP Summit, 2014

*Ulusal ve Uluslararası Örgütler:* Ulusal hükümetlerin rolünün ötesinde, nükleer enerjinin barışçıl kullanımı konusunda uluslararası işbirliğini sağlayan, özellikle de Nükleer Silahların Yayılmasının Önlenmesi Antlaşması (NPT) gibi özel uluslararası anlaşmaların uygulanmasından sorumlu olan IAEA’da nükleer enerjinin kullanımının sivil programlar dahilinde kalması ile ilgili güvence sağlayan önemli bir nükleer sektör aktörüdür.

IAEA’dan daha az resmi olmak üzere, Dünya Nükleer Reaktör İşleticileri Birliği (WANO) de uluslararası ilişkileri yönlendirmektedir. WANO’nun dünyadaki santral işleticileri arasındaki ilişkiyi yönlendirme rolü daha ziyade santrallerin işletmesinin güvenliğinin ve güvenilirliğinin artırılması ve işletmenin yüksek standartlarda yapıldığından emin olunması ile ilgilidir. Bazı ülkelerde farklı işleticilerin iletişimde kalmasını sağlayan ulusal işletici birlikleri de vardır.

Nükleer sektörün uluslararası aktörlerinden biri olan Dünya Nükleer Birliği (WNA), dünya çapında şirketlerin ve kuruluşların ortak sorunlarını ele almak ve bu şirket ve kuruluşları birbirine bağlamak amacıyla kurulmuş uluslararası ticaret birliğidir.

Burada bahsedilen tüm sektör aktörleri, nükleer endüstrinin etkin şekilde faaliyetlerini sürdürebilmesi için bir araya gelen devlet kurumları ve özel şirketlerdir. Nükleer sektörün tüm aktörlerinin yatırımları nükleer santralin ürettiği elektriğin

satışıyla geri kazanılır. Ülkelere göre nükleer sektör firma sayıları Tablo 2.3’de yer almaktadır.

**Tablo 2.3: Ülkelere Göre Nükleer Sektör Firma Sayıları**

| Ülke          | Elektrik Üretim | Uranyum Madenciligi | Nükleer Mühendislik Tedarik, İnşaat | Holding  | Danışma  | Atık     | Nükleer Teknoloji Geliştirme | Yakıt Yönetimi | Ağır Su Üretimi | Santral Sökülmesi |
|---------------|-----------------|---------------------|-------------------------------------|----------|----------|----------|------------------------------|----------------|-----------------|-------------------|
| Arjantin      | 1               |                     |                                     |          |          |          |                              |                |                 |                   |
| Australya     |                 | 3                   |                                     |          |          |          |                              |                |                 |                   |
| Belçika       | 1               |                     |                                     |          |          |          |                              |                |                 |                   |
| Brezilya      | 1               |                     |                                     |          |          |          |                              |                |                 |                   |
| Bulgaristan   | 1               |                     |                                     |          |          |          |                              |                |                 |                   |
| Kanada        | 2               | 6                   | 1                                   |          |          |          |                              |                |                 |                   |
| Çin           | 1               | 1                   | 1                                   | 1        |          |          |                              |                |                 |                   |
| Çek Cum.      | 1               |                     | 1                                   |          |          |          |                              |                |                 |                   |
| Finelanda     | 3               |                     |                                     |          |          |          |                              |                |                 |                   |
| Fransa        | 1               | 1                   | 2                                   |          | 1        | 1        |                              | 3              |                 |                   |
| Almanya       | 3               |                     | 2                                   |          |          | 2        |                              | 2              |                 |                   |
| Hindistan     | 2               | 1                   |                                     |          |          |          | 1                            | 1              | 1               |                   |
| İtalya        | 1               |                     | 1                                   |          |          |          |                              |                |                 |                   |
| Japonya       | 3               |                     |                                     |          |          |          |                              | 1              |                 |                   |
| Kazakistan    |                 |                     |                                     | 1        |          |          |                              |                |                 |                   |
| G. Kore       | 1               |                     | 1                                   |          |          |          |                              | 1              |                 |                   |
| Namibya       |                 | 1                   |                                     |          |          |          |                              |                |                 |                   |
| Hollanda      | 2               |                     |                                     |          |          | 1        |                              |                |                 |                   |
| Romanya       | 1               |                     |                                     |          |          |          |                              |                |                 |                   |
| Rusya         | 2               | 1                   | 5                                   | 2        |          |          |                              | 2              |                 |                   |
| Slovakya      | 1               |                     |                                     |          |          |          |                              |                |                 |                   |
| Slovenya      | 1               |                     |                                     |          |          |          |                              |                |                 |                   |
| G. Afrika     | 1               | 1                   |                                     |          |          |          |                              |                |                 |                   |
| İspanya       | 2               |                     | 1                                   |          |          |          |                              |                |                 |                   |
| İsviç         | 4               |                     |                                     |          |          |          |                              |                |                 |                   |
| İsviçre       | 4               |                     |                                     |          |          |          |                              |                |                 |                   |
| İngiltere     | 1               | 1                   |                                     |          |          |          |                              | 1              |                 | 2                 |
| Ukrayna       | 1               |                     |                                     |          |          |          |                              |                |                 |                   |
| ABD           | 7               | 1                   | 4                                   |          |          |          |                              | 5              |                 |                   |
| Özbekistan    |                 | 1                   |                                     |          |          |          |                              |                |                 |                   |
| <b>Toplam</b> | <b>27</b>       | <b>18</b>           | <b>19</b>                           | <b>4</b> | <b>1</b> | <b>4</b> | <b>1</b>                     | <b>16</b>      | <b>1</b>        | <b>2</b>          |

Kaynak: [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_companies\\_in\\_the\\_nuclear\\_sector](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_companies_in_the_nuclear_sector)

*Nükleer Santral Projeleri için Saha Seçimi:* Nükleer santrallerde saha seçimi halkın sağlığı göz önünde bulundurularak güvenlik, mühendislik ve tasarım, çevresel, ekonomik ve sosyal etkiler değerlendirilerek yapılır. Nükleer santralin belirlenen bir sahada kurulmasına karar verildiğinde, sahanın bulunduğu bölgede başka tip bir santralin yapılması yerine nükleer santral kurulmasının avantajlarının ortaya konması beklenir.

Bir sahanın nükleer santral sahası olarak belirlenmesinin ardından ülkenin lisanslayıcı kuruluşu (ülkemizde TAEK) tarafından lisanslanır. Lisanslama aşamasında güvenlik için sahanın jeolojik, sismik, hidrolojik ve meteorolojik verileri incelenir. Ayrıca, santralin yakın çevresindeki nüfus yoğunluğu (özellikle büyük bir kaza durumunda halkın boşaltılmasının planlanması için vs.) ve demografik yapısı incelenir.

Santralin fiziksel emniyetinin sağlanması açısından saha çevresindeki askeri bölgeler, patlayıcı içerebilecek tesisler ve trafik (özellikle uçuş trafiği) de değerlendirmeye alınır. Çevresel etkiler için de ekolojik sistemlere etki ile su ve toprak

kullanımı göz önünde bulundurulur. Santralin, sahasının bulunduğu bölgeye yapacağı sosyoekonomik etkiler de incelenmelidir.

#### *Nükleer Santraller ve Lisanslama:*

Bir nükleer santralin kurulumunda çeşitli lisans ve izinlerin alınması gerekir. Saha seçiminde de bahsedildiği gibi, santralin kurulması kararını santralle ilgili sosyoekonomik analizlerle saha lisanslaması izler. Saha lisansı ile birlikte santral için çevresel etki analizleri de yapılabilir. Çevresel etki analizleri yetkili kuruluş tarafından onaylandığında (ülkemizde Çevre ve Şehircilik Bakanlığı) santral için sınırlı inşaat izni alınabilir. Saha lisansını, bir ön güvenlik analizi ile birlikte inşaat lisansı ve inşaatın başlamasının ardından son güvenlik analizi ile işletme lisansı takip eder.

Bazı ülkeler nükleer santral kurulmadan önce santral teknolojisini incelemek üzere tasarım değerlendirmesi ve tasarım lisansı çalışmaları da yürütürler. Nükleer santral projelerinin her aşamasında (kurulumdan hizmetten çıkarmaya), nükleer tesislerle ilgili her işlemde “adım-adım” tetkikler yapılır.

*Elektrik Sistemi:* Nükleer santrallerin kurulumu tamamlandıktan sonra elektrik sistemine dahil edilirler. Nükleer santraller elektrik sisteminin üretim kısmında yer alırlar. Elektrik sistemindeki diğer kısımlar iletim (üretilen yüksek gerilimli elektriğin farklı bölgelere iletilmesi), dağıtım (daha alçak gerilimli elektriğin son kullanıcılara dağıtılması), son kullanıcılar ve tüm bu etkinlikleri yürüten işletmelerden oluşur. Sistemin tüm kısımlarının ilişkileri farklı ülke ve bölgelerde farklı düzenlenebilir. Bu düzenlemeler elektriğin satışı ile ilgili kuralları ve fiyatı belirlemektedir. Ayrıca, nükleer santral sahiplerinin santral kurma, işletme ve işletmeye devam etme kararında etkili olmaktadır.

Elektrik sisteminde üretilen elektriğin güvenli bir şekilde iletilmesi çok büyük öneme sahiptir. Elektrik enerjisi uzun süreli depolanamadığından iletilemediği sürece elektriği üretmenin iktisadi anlamı yoktur. İletimin maliyeti elektriğin son maliyetini de etkilediğinden, özellikle nükleer santraller elektrik sistemine katıldığında iletim hatlarının güvenilirliği ve geliştirilmesi sağlanmalıdır. Bunun içinde “akıllı şebekeler” gibi teknolojik gelişmeler sürdürülmektedir.

### 2.3. Nükleer Enerji Kullanım Alanları

Önceki kısımlarda bahsedildiği gibi, nükleer enerji atom çekirdeği tepkimelerinden biri olan fisyon neticesinde elde edilir ve nükleer reaktörlerde nükleer enerji elektrik üretiminde kullanılır. Nükleer reaktörler en önemli kullanım alanı olan elektrik üretiminin yanısıra, direkt ısı kaynağı olarak da kullanılabilir. Nükleer reaktörlerde elde edilen yüksek ısı, deniz suyundan tatlı su elde edilmesi, hidrojen üretilmesi veya kömür gazı elde edilmesinde kullanılabilir. Ayrıca reaktörlerin artık ısısı (elektrik üretiminden arta kalan ısı) ısıtma amacıyla (konutlar veya seralar) değerlendirilebilir. Ayrıca, nükleer reaktörler yine yukarıda bahsedildiği gibi denizaltılarda, uçak gemilerinde, araştırma gemilerinde de kullanılmaktadır. Rusya'da KLT-40S tipi reaktörler buz kırma gemilerinde itkinin sağlanması ve su arıtılması için kullanılmalarının yanında, coğrafi olarak izole bölgelere geminin yaklaştırılmasıyla elektrik sağlanması amacıyla da kullanılmaktadır.

Çekirdek bölünmesi ve bunun dışındaki nükleer tepkimeler (çekirdek tepkimeleri) ile açığa çıkan nükleer enerji (radyasyon); sanayide, kalp pillerinde, tanı ve tedavi amacıyla sağlık sektöründe, pek çok önemli izotopun üretimi için tarım ve hayvancılıkta, uydu ve uzay araçlarının enerji gereksinimlerine kadar büyük bir alanda kullanılmaktadır.

Örneğin, nükleer tıpta radyasyon vücut içinde hastalıkların teşhisinde ve tedavisinde kullanılır. Radyasyonun teşhis amaçlı kullanımı hızlı ve düşük hatalı tanı konulmasına yardımcı olur. Kanser tedavisinde tümörlerin öldürülmesi veya üremesinin yavaşlaması için radyasyon kullanılır. Bir yıl içinde on milyonlarca insanın hastalıklarının teşhisinde ve tedavisinde (teşhis ve tedavinin toplamının %90'ı) radyasyon kullanılmaktadır. Radyasyonun tıpta kullanımı yanında endüstriyel radyografide, ölçme uygulamalarında ve mineral analizlerinde kullanımı da oldukça yaygındır.

Radyoaktif atom çekirdeklerinin bozunmasıyla açığa çıkan enerjinin ısı enerjisine ve bundan da elektrik enerjisine dönüştürülmesi uzay görevleri için uzay araçlarında yer alan bir uygulamadır. Örneğin Voyager uzay aracında Satürn'e yapılacak Cassini görevinde, Jüpiter'e yapılacak Galileo görevinde ve Plüton'a yapılacak New Horizons görevinde elektrik üretimi bu şekilde gerçekleşecektir. Mars görevlerinde kullanılan araçlarda ısınma radyoaktif bozunma yoluyla elde edilmiştir. Gelecekte, nükleer

reaktörlerde üretilen yüksek ısıнын, ulaşım araçlarında *yakıt* olarak kullanılabilen olan *hidrojenin* (fosil yakıtlara çevreci bir alternatif olmak üzere) elde edilmesinde kullanılabilenği öngörülmektedir.

*Nükleer Teknolojiye Sahip Olmanın Önemi:* Ülkemizde nükleer santral projeleri hayata geçirilirken, nükleer teknolojinin yalnızca kullanımı değil, bu teknolojiye sahip olmak da hedeflenmektedir. Nükleer teknolojiye sahip olmak, bu teknoloji ile elde edilecek olan güvenlik, çevre ve yüksek kalite kültürüne sahip olmayı gerektireceğinden, ileri teknolojinin gerekliliklerine sahip olmak demektir. Nükleer teknoloji yeni iş kolları sağlamanın yanında çevre, güvenlik ve yüksek kalite kültürünün gelişimine önemli ölçüde katkı sağlayacaktır. Nükleer teknolojiye sahip olmak aynı zamanda gelecekte kullanılacak daha ileri teknolojilere ulaşmak ve bu teknolojileri üretmek için önemli bir basamak olacaktır (Zabunoğlu, 2012).

Nükleer teknolojiye yalnızca teknolojiyi kullanarak başlamış ülkelerin 40-50 yıl içinde (G.Kore, Arjantin) teknolojiyi kısmen üretir hale geldiği bilinmektedir. Günümüzde teknoloji transferi anlaşmalarıyla teknoloji üretme süresinin düşeceği (Çin örneğine bakılarak) öngörülebilir. Bu anlamda, ülkemiz için nükleer teknolojiye sahip olma hedefi makul bir hedef olarak görünmektedir. Uluslararası standartlarda nükleer teknoloji transferi gerçekleştirme ve nitelikli işgücü temini aşamasında şeffaflığın ve kararlılığın sağlanması için bağımsız ve güçlü bir denetim kurumu büyük önem taşımaktadır.

#### **2.4. Nükleer Enerjide Seçilmiş Ülke Uygulamaları**

Atom enerjisinin ticari amaçlarla kullanılmasıyla Nükleer Enerji Piyasası doğmuş, nükleer santral teknolojisinin geliştirilmesi ile Nükleer Rönesans başlatılmıştır. Bu teknolojiyi daha da geliştiren G.Kore ve Japonya gibi ülkeler nükleer santral tasarımlarına özgün olarak sahip olmuşlardır.

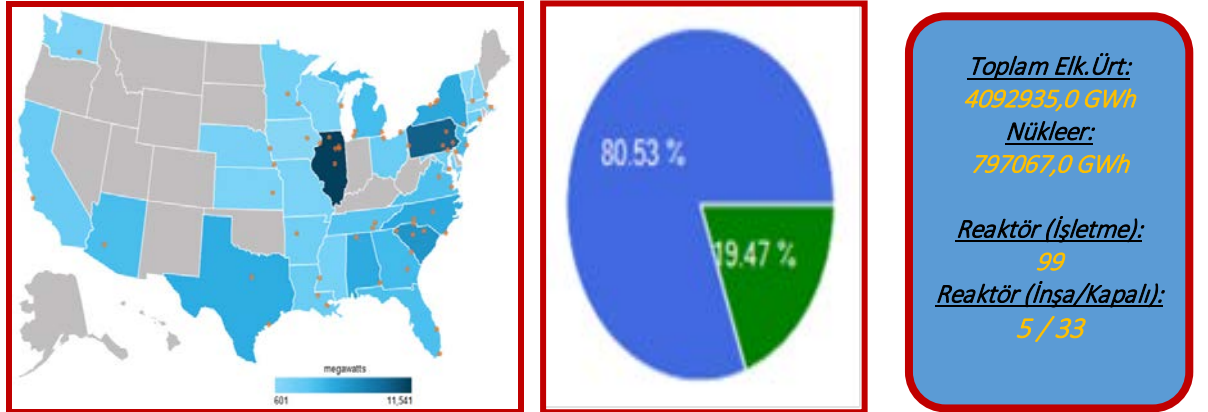
Günümüzde dünyada üretilen elektrikte nükleerin payı %11,5 olup 30'dan fazla ülkede 444 nükleer reaktör "386.276MWe" işletmede, 65 reaktör "64.024MWe" inşa aşamasında, 173 reaktör "182.424MWe" planlama aşamasında ve 337 reaktör "379,200 MWe" teklif aşamasındadır. Ancak, dünyada az sayıda ülke *nükleer enerji teknolojisine* sahiptir (PRIS, 2016; WNA, 2016).

#### 2.4.1. ABD

ABD dünyanın en büyük nükleer endüstrisine sahiptir. Yüzölçümü 9.857.300 km<sup>2</sup> olup iklim oldukça farklılıklar gösterir. 2013 nüfus sayımına göre nüfusu 316,4 milyon olup 2051'de 400 milyon ve 2060'da 420,3 milyon kişi olması beklenmektedir. 2013 GSYH'sı 16,8 trilyon \$ olup 2000-2013 yılları arasında yıllık büyüme oranı yaklaşık %1,76'dır. ABD'nin görünür tahmini kömür rezervleri 200 yıldan fazla yetecek kapasitedir ve %70'i 5 eyalette; Wyoming, West Virginia, Kentucky, Pennsylvania ve Illinois'de üretilmektedir. ABD'de shale doğal gaz üretimi 2012 yılında %30 artmıştır. 2013 yılı tahmin edilen uranyum (U308) rezervlerinin 129.900 metrik ton olduğu tahmin edilmektedir (EIA, 2013).

ABD'de işletmedeki nükleer güç santrallerinin konumu, payı ve reaktör sayıları incelendiğinde; reaktörlerin çoğunun Mississippi nehrinin doğusundaki 30 eyalette yer aldığı, toplam 99 reaktörün işletmede olduğu, toplam elektrik üretimi içerisinde nükleerin payının %19,47 olduğu görülmektedir. Ayrıca, ABD nükleer reaktörlü uçak gemisi, kruvazör ve denizaltılara sahiptir. 5 nükleer santral ünitesi inşa aşamasında olup 33 reaktör kapatılmıştır (Şekil 2.7).

Şekil 2.7: ABD'de İşletmedeki Nükleer Güç Santrallerinin Konumu, Payı ve Reaktör Sayıları



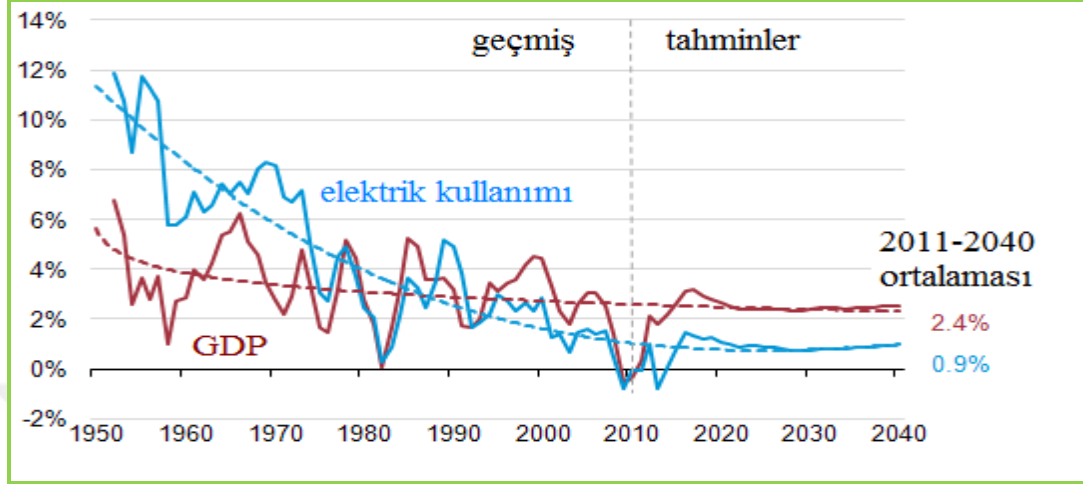
Kaynak: PRIS and U.S. Energy Information Administration, Form EIA-860, "Annual Electric Generator Report."

Bir ülkenin ekonomisi ve enerji kullanımı özellikle elektrik kullanımıyla bağlantılıdır. Kısa dönemde elektrik kullanımı ile ekonomik çıktı (ölçülebilen GSYH) arasında sıklıkla pozitif ilişki vardır. Ancak, uzun dönem trendlerinde iki gösterge farklılık gösterir. Bunlardan başka ekonomik büyüme enerji ve elektrik kullanımının



artmasına yol açar. Fakat, ABD gibi gelişmiş ülkelerde ilişki ekonomik büyümeden elektrik kullanımına doğrudur (EIA, 2013).

**Şekil 2.8: ABD'de Elektrik Kullanımı, Ekonomik Büyüme (%) 1950-2040 ve Trend Doğruları**



Kaynak: U.S. Energy Information Administration, Annual Energy Outlook 2013 Early Release.

Energy Information Administration (EIA, 2013)'e göre geçmiş 60 yıldan fazla sürede veriler (Şekil 2.8) değerlendirildiğinde; 2040 projeksiyonu ABD'de elektrik kullanımı ve ekonomik büyümenin bağıntılı devam edeceğini göstermektedir. Ancak, uzun dönem eğilim elektrik kullanımındaki büyümenin ekonomik büyüme oranının yarısından daha az olacağı yönündedir. 1975-1995 arasındaki büyüme değerlerinin elektrik kullanımıyla yaklaşık olduğu, önceki dönemlerde elektrik kullanım oranının ekonomik büyüme oranından oldukça fazla olduğu görülmektedir. Sonraki on yıllarda elektrik talebindeki artış GSYH büyüme oranına göre belirgin şekilde yavaştır. 1950, 1960 ve 1970'lerde elektrik kullanımı sıklıkla yıllık %5'den daha fazla artmıştır. 1980 ve 1990'larda yıllık %2 ile %3 oranında gerilemiş ve geçen 10 yıldan daha fazla sürede yıllık %1 den daha az seviyeye düşmüştür. Gelecek 30 yılda elektrik kullanımının artmaya devam etmesi fakat, büyüme oranının zamanla yavaşlaması beklenmektedir. Bu eğilimin faktörleri; nüfus artışının yavaşlaması, elektrik kullanan piyasaların doyması, teknolojik yeniliklerin enerji kullanımını düşürmesi ve ekonomide az enerji yoğun endüstrilere doğru kaymalar şeklindedir.

**Tablo 2.4: Yıllara Göre ABD Enerji Tüketimi/Üretimi, 1970-2013**

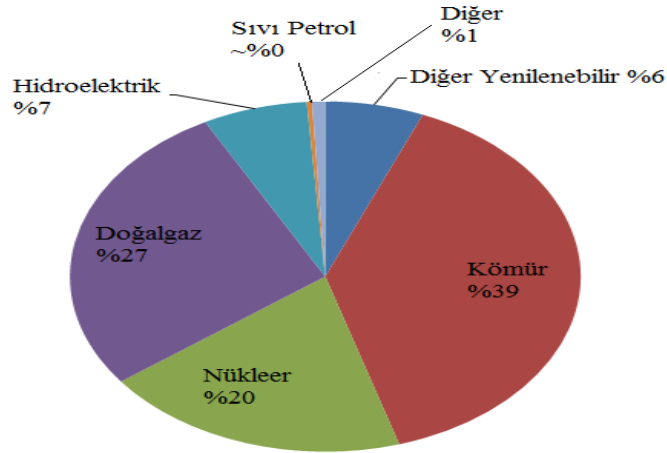
| Yıl                                          | 1970  | 1980   | 1990   | 2000   | 2005   | 2013   |
|----------------------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <i>Kişi Başı Enerji Tüketimi (GJ)</i>        | 349   | 362    | 357    | 369    | 358    | 324    |
| <i>Kişi Başı Elektrik Tüketimi (TWh)</i>     | 6,790 | 9,218  | 11,373 | 12,732 | 12,896 | 12,115 |
| <i>Elektrik Tüketimi /Enerji Üretimi (%)</i> | 8.23% | 11.61% | 14.00% | 17.40% | 19.18% | 16.25% |
| <i>Nükleer/Toplam Elektrik (%)</i>           | 1.42% | 10.98% | 19.88% | 20.73% | 20.04% | 20.24% |
| <i>Dışa Bağımlılık Oranı (%)</i>             | 8.42% | 15.50% | 16.65% | 25.27% | 30.06% | 13.09% |

Kaynak: U.S. Census Bureau, Population Division; U.S. Energy Information Administration, 2011 Annual Energy Review, March 2014 Monthly Energy Review, January 2014 Electric Power Monthly.

ABD'de 1970-2013 yılları enerji üretim/tüketimi Tablo 2.4'de verilmiş olup ABD'de dışa bağımlılık oranı 2005 yılında %30,06 iken 2013 yılında %13,09 seviyesinde gerçekleşmiştir. ABD'de kişi başına elektrik tüketimi 2013 yılında 12,115 TWh olup toplam elektrik üretimi içerisinde nükleerın payı %20,24 seviyesinde olduğu görülmektedir.

Kaynaklarına göre enerji üretim oranları şekil 2.9'da yer almaktadır.

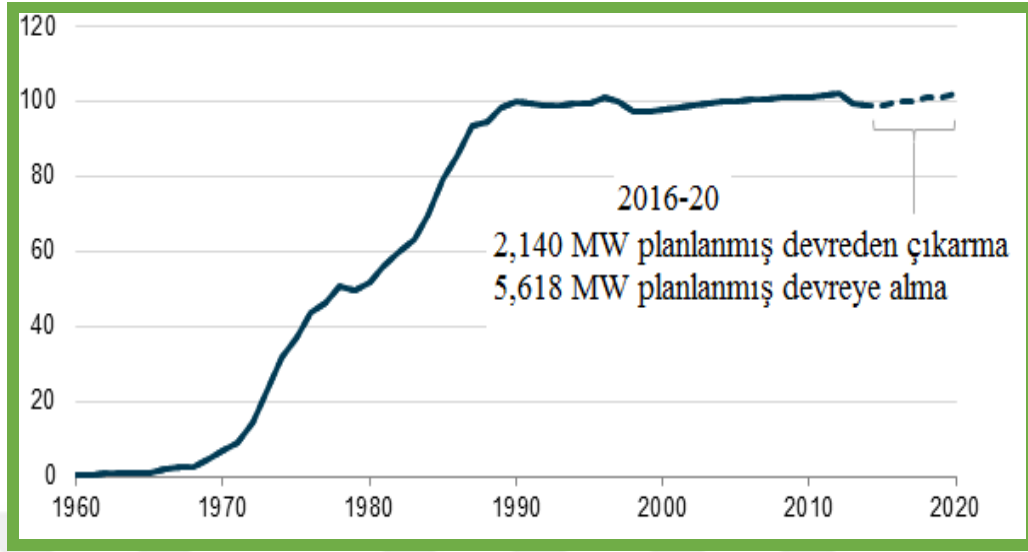
**Şekil 2.9 ABD'de Kaynaklarına Göre Enerji Üretim Oranları (%)**



Kaynak: U.S. Energy Information Administration, Form EIA-923, "Power Plant Operations Report."

Buna göre elektrik üretimi içerisinde kömürün payı %39 ile birinci sırada yer alırken dünyanın en büyük nükleer enerji üreticisi olan ABD'de nükleer enerjiden elektrik üretimi yaklaşık %20 ile üçüncü sırada gelmektedir.

Şekil 2.10: ABD Nükleer Enerji Kapasitesi GW (1960-2020)

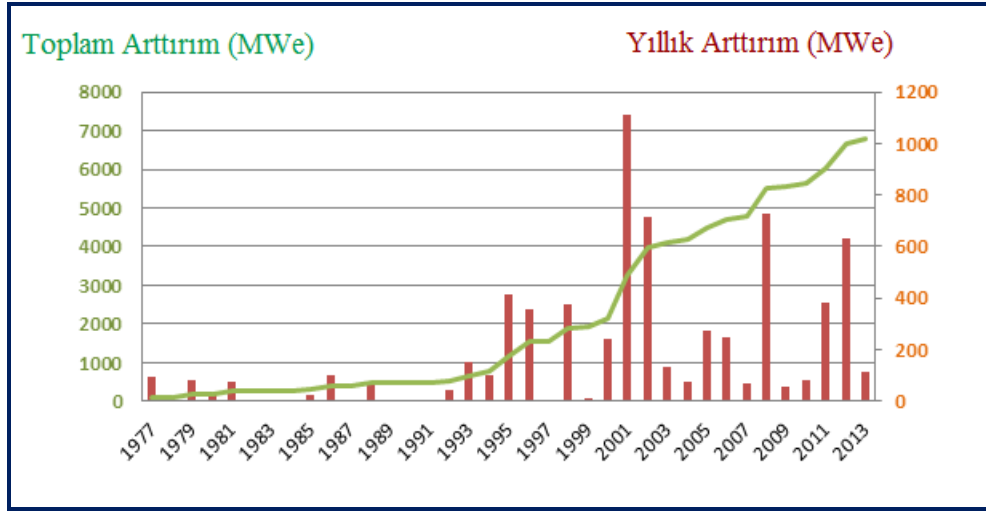


Kaynak: U.S. Energy Information Administration, Monthly Energy Review

Şekil 2.10'da görüldüğü üzere ABD'de 2020 yılına dek yaklaşık 2.000 MWe nükleer üretim kapasitesine sahip nükleer santrallerin kapatılması planlanırken, 2016-2020 yılları arasında yaklaşık 5.500 MWe üretim kapasitesine sahip nükleer santraller kurulacağından ülkenin net nükleer kapasitesinde artış olacaktır (EIA, 2013).

*"Power Uprates" (İşletmedeki NGS'lerde Güç Arttırımı):* ABD'de işletmede olan NGS'lerin ürettikleri güç, güvenlik analizi tekniklerinde yapılan iyileştirmeler sonucunda ve Nuclear Regulatory Commission (NRC)'ın onayıyla arttırılmıştır. Geçmişte yapılan güvenlik analizlerinin güvenlik marjlarını çok yüksek kabul ettiğinin bilimsel çalışmalarla ortaya konmasının ardından; 2013 yılında McGuire 1 ve 2 (North Carolina) ve Monticello (Minnesota) reaktörleri ile 2014 yılında Braidwood 1 ve 2 (Illinois), Byron 1 ve 2 (Illinois) ve Fermi 2 (Ohio) reaktörleri için olmak üzere toplamda 154 güç arttırımı onaylanmıştır. Bunun sonucunda ABD'de toplamda 7.035 MWe değerinde güç arttırımı gerçekleştirilmiştir. Şekil 2.11'de 1977 ile 2013 yılları arasında onaylanan yıllık ve toplam güç arttırmaları gösterilmiştir.

Şekil 2.11: ABD'de Onaylanan Güç Artırımları (1977-2013 Yılları )



Kaynak: U.S. Energy Information Administration, based on data from U.S. Nuclear Regulatory Commission.

1970'lerin sonu 1980'lerin başında beklendiği kadar artmayan elektrik talebi, artan nükleer santral inşaat maliyeti (artan enflasyon yüzünden) ve Three Miles Island kazasının ardından düzenlemelerle ilgili sürekli gerçekleşen belirsizlikler yüzünden nükleer santral yatırımlarının iptal edilmesine veya yavaşlamasına sebep olmuştur. Nükleer santral yatırımlarının özellikle nükleer santral güvenliğini kapsayan düzenlemelerle ilgili olarak yapılması gereken güvenlik düzenlemeleri, risk bilgisine ve performansa dayalı olarak yapılmaya başlanmıştır. ABD'de santraller başlangıçta 40 yıllık bir süre için lisanslanmışlardır. Lisans yenilemeleri ise 20 yıl için gerçekleştirilerek santrallerin lisansları 60 yıla uzatılmıştır. (EIA, 2013)

*ABD Enerji Politikası:* ABD enerji sektörü genelde piyasa merkezlidir. Sektörle ilgili federal düzenlemeler enerji üretim ve iletimi yanında çevre etkileri, kaynak güvenliği, kamusal alanların kullanımı, araştırma ve geliştirme çalışmalarının desteklenmesi, yatırım ve vergilerle ilgili teşvikler, nükleer lisanslama ve güvenlik yönetimi ile ilgilidir. Federal düzenlemelerin yanında her eyalet kendilerine ait düzenlemelere sahip olabilir. ABD, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Konvensiyonu çerçevesinde Kyoto Protokolü'ne, küresel ısınma çerçevesinde de Paris Antlaşması'na taraf olmuştur.

*Nükleer Güç Gelişimi Stratejisi:* Nükleer santrallerin ABD'deki geleceği santrallerin güvenliğinin ve güvenilirliğinin artmasına neden olacak araştırma ve geliştirme çalışmalarına, güvenlik düzenlemelerinde belirsizliklerin kalkmasına, inşaat

maliyetlerinin düşmesine, silah yapımında kullanılabilecek malzemelerin yayılmasının önlenbilmesine, santrallerin emniyetinin sağlanabilmesine ve nükleer santralden üretilen elektriğin maliyetinin diğer üretim yöntemlerinden ucuz kalmasına bağlıdır.

Nükleer santrallerin ABD üretim sisteminde alacağı rolü belirlemek üzere, ABD Enerji Bakanlığı Nükleer Enerji Ofisi nükleer santrallerin kurulumu için aşağıdaki hedefleri belirlemiştir;

- ✓ Mevcut santrallerin güvenilirliğini, güvenliğinin sürdürülebilirliğini ve ömür uzatılmasını sağlayacak teknolojik ve diğer çözümlerin geliştirilmesi,
  - ✓ Hükümetin iklim değişikliği ve enerji güvenliği hedeflerine ulaşmaya yardımcı olacak şekilde nükleer santrallerin ekonomikliğin artırılması,
  - ✓ Sürdürülebilir yakıt ve atık yönetimi yapılması,
  - ✓ Nükleer maddelerin yayılmasının önlenmesi ve terörizm riskinin azaltılması
- şeklindedir.

ABD üretilecek ilk 6.000 MWe nükleer elektrik için verilmek üzere (2014 yılında başlayıp 2021 yılında bitecek santral kurulumları için) megawatt saat başına 18 dolarlık bir üretim vergisi kredisi uygulaması başlatmıştır. Bu kredi santral işletmesinin ilk 8 yılı için geçerli olacaktır ve kredi oransal esasa göre verilecektir.

ABD’de iletim hatları 300.000 mil uzunluğundadır ve 9.200 adet üretim birimi tarafından üretilen yaklaşık bir milyon megawatt elektriği iletmektedir. İletim yatırımlarının teşvik edilmesiyle “akıllı şebeke” yatırımlarının artırılması taşıma kapasitesine olumlu yönde katkıda bulunmuştur.

*Yakıt ve Atık Yönetimi:* Günümüzde ABD’de yakıt tedariği, uranyum madenciliği, dönüşümü ve zenginleştirilmesi aşamalarında çoğunlukla ithalatla gerçekleştirilmektedir. ABD’de 2013 yılında nükleer santral sahipleri ve işleticileri tarafından satın alınan 22.000 ton “sarı pasta” uranyumun 1.792 tonu ABD’de üretilmiştir. 2013 yılında yakıt üretiminde kullanılan sarı pasta uranyumun %19’u Avustralya, %18’i Rusya, %14’ü Kanada, %11’i Kazakistan, %10’u Namibya, %5’i Özbekistan ve %3’ü Nijer’den satın alınmıştır. Küçük miktarlarda sarı pasta ise Brezilya, Çin, Çek Cumhuriyeti, Almanya, Macaristan ve Portekiz’den alınmıştır (EIA, 2013). Uranyumun dönüşüm işlemi için ABD’de tek bir şirket mevcuttur. Dönüştürülmüş uranyum ağırlıkla Avustralya, Rusya, Kazakistan, Özbekistan ve Namibya’dan ithal edilmektedir.

'Megatons to Megawatts' Programı ABD ile Rusya arasında 1993 ve 2013 yıllarını kapsayan bir program olup nükleer silah başlıklarındaki uranyumdan ticari elektrik üretme amaçlıdır. 20.000 savaş başlığı eşiti az zenginleştirilmiş uranyumdan ABD toplam enerji üretiminin %10'unu karşılamıştır. ABD'de zenginleştirme yapılırken, İngiltere, Almanya, Hollanda ve Rusya başta olmak üzere farklı ülkelerden de zenginleştirilmiş uranyum satın alınmaktadır (EIA, 2013).

Yılda yaklaşık 2.000 ton KNY açığa çıkan ABD'de 2013 yılı Ocak ayına kadar biriken nükleer güç santrali KNY miktarı 68.000 tondur. Bu KNY'nin büyük bir kısmı santral sahalarında havuzlarda bekletilirken bir kısmı ise santral sahaları dışındaki depolarda bekletilmektedir (Energy Gov, 2013).

ABD'de 2021 yılına dek pilot depolama sahasının belirlenmesi, sahanın lisanslanması ve deponun kurularak işletmeye alınması, 2025 yılına dek daha büyük bir depolama alanının hazırlıklarının tamamlanarak atık yönetimi için nihai kararların verilmesine olanak sağlanması ve 2048 yılına dek atıkların jeolojik tasfiyesinin (bertaraf) gerçekleştirilmesinde kullanılabilecek sahanın belirlenmesi hedeflenmektedir.

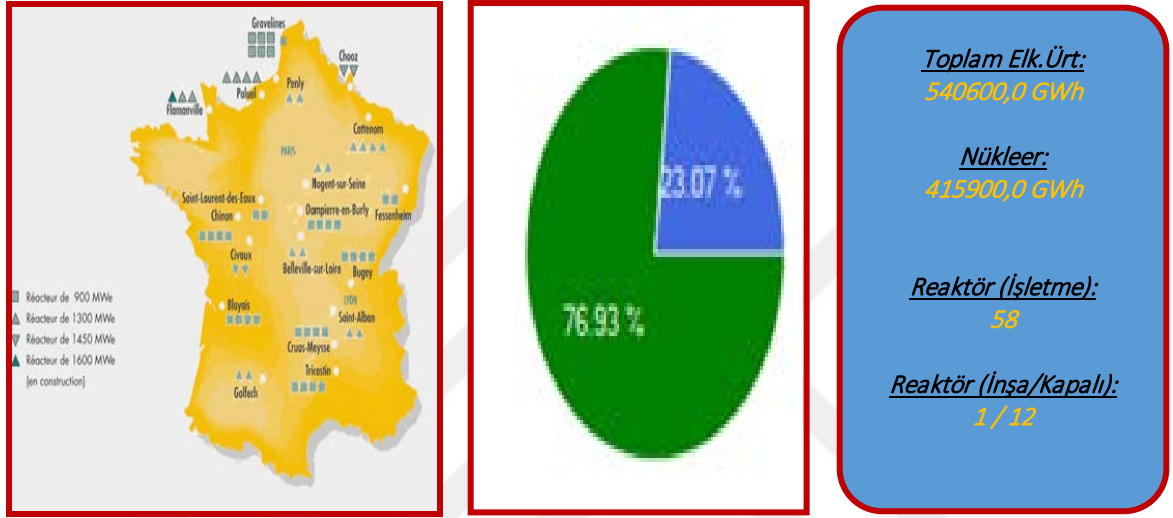
*Ömür Uzatma ve ilgili Düzenlemeler:* Daha önce bahsedildiği gibi, ABD'de nükleer santraller 40 yıl süreyle işletilmeleri için lisanslanırken, yeni lisanslarla işletme ömürleri 60 yıla çıkmıştır. Bu sürenin bazı santraller için 80 yıla kadar uzatılması beklenmektedir. Örnek olarak, Dominion Power Şirketi North Anna santralının ömrünün 80 yıla çıkarılmasını talep etmeye hazırlanmaktadır. Santral ömürlerinin daha da uzatılması için ABD'de "*Lisans Yenilemenin Devamı*" başlıklı düzenlemeler yapılmaktadır.

*Yeni Santral Hazırlıkları:* ABD'de, 2012 yılında nükleer santralden üretilen elektriğin maliyeti kWh başına 2.4 cent (3.4 cent doğalgaz ve 3.3 cent kömür) olmuştur. Ekonomik ve jeopolitik önemi nedeniyle ABD'de nükleer santral kurulumları tekrar başlamıştır. Nükleer santral kurulumunun önemli bir aşaması olan tasarım lisansının 15 yılda bir yenilenmesine karar verilmiştir. ABD'de oldukça büyük ve gelişkin nükleer endüstride, büyük şirket ve sermaye birleşmeleri gerçekleşmektedir ve böylece sektörün daha kolay işlemesine yardımcı olunmaktadır.

## 2.4.2. Fransa

Fransa'nın yüzölçümü 552.000 km<sup>2</sup> olup yıllık ortalama sıcaklık yaklaşık 12°C'dir. Toplam nüfusu 2013 yılı başında 66,1 milyon kişidir. 200-2013 yılları arası yıllık nüfus artışı %7'dir. Ortalama GSYH'nin 2005-2010 yılları arasında artış oranı %1,5'dir. Bu değer, 2010-2011 yıllarındaki ekonomik krizden dolayı %0,8 oranında gerilemiştir.

Şekil 2.12 Fransa İşletmedeki Nükleer Güç Santrallerinin Konumu, Payı ve Reaktör Sayıları



Kaynak : General Directorate for Energy and Climate (DGEC), PRIS

Fransa'da 58 nükleer reaktör işletmede olup 1 reaktör inşaa aşamasında ve 12 reaktör tamamen kapalı durumdadır. Fransa'da toplam elektrik üretimi 540.600 GWh olup nükleer enerjinin payı %76,93'dür. ( Şekil 2.12) 14 adet nükleer santral ise Loire nehri üzerinde işletilmektedir (TUTEV, 2010).

2. Dünya Savaşı sonrasında Fransa'nın yeniden ekonomik ve sosyal yapılanması büyük oranda enerji yoğun endüstrilerin gelişimine bağlı olmuştur. Hızla büyüyen enerji ihtiyacı yerel kömür ve hidrolik kaynaklardan karşılanmıştır. Ancak, yerli fosil yakıt kaynakları limitli ve pahalı olduğu için Fransa, enerji arzında çok yüksek oranda ithalata bağımlıdır. 1973'e kadar ulusal enerji tüketiminin %75'inden fazlası ithalatla karşılanmıştır. 1970'li yıllardaki petrol krizinden sonra Fransa enerji bağımsızlığının iyileştirilmesi yönünde çalışmalarını hızlandırmıştır. Yüksek seviyede nükleer enerji kullanımı Fransa enerji politikasının ana gündem maddesi olmuştur. Birincil enerji arzında nükleer payı %2'den 2008'de %41'e oranına tırmanmıştır.

Fransa enerji politikasının ana makro ekonomik etkisi, enerji ticareti dengesini sağlanmasıyla yurt içi enerji fiyatlarını istikrarlı hale getirmesi ve rekabetin artmasıdır. Fransa enerji politikası 2020'ye kadar; sera gazı emisyonunu düşürmek, nihai enerji tüketiminde yenilenebilirin payını minimum %23 seviyesine çıkarmak ve enerji verimliliğini %20 oranında arttırmak yönündedir.

Günümüzde, Fransa'nın enerji üretiminde kullanılan kaynakların payı değerlendirildiğinde nükleer ve yenilenebilir payının %90 olduğu görülmektedir. %10 oranında ise fosil yakıtlardan enerji elde edilmektedir. Elektrik talebi az oranda olmasına rağmen, GSYH ile aynı doğrultuda artmaktadır. 2000-2012 yılları arasındaki 12 yıllık dönemde rüzgar enerjisi artış oranı yıllık bazda %73 oranında gerçekleşmiştir. Fransa'nın dışa bağımlılık oranı 2010 yılı için %49'dur. ( Tablo 2.5)

**Tablo 2.5: Yıllara Göre Fransa Enerji Tüketimi/Üretimi, 1973-2010**

| <b>Yıl</b>                                   | 1973 | 1980 | 1990 | 2000 | 2005 | 2010 |
|----------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| <i>Kişi Başı Enerji Tüketimi (GJ)</i>        | 146  | 146  | 163  | 180  | 184  | 172  |
| <i>Kişi Başı Elektrik Tüketimi (TWh)</i>     | 3076 | 4204 | 5558 | 6758 | 7395 | 7800 |
| <i>Elektrik Tüketimi /Enerji Üretimi (%)</i> | 18   | 42   | 78   | 86   | 89   | 85   |
| <i>Nükleer/Toplam Elektrik (%)</i>           | 8    | 24   | 75   | 77   | 79   | 75   |
| <i>Dışa Bağımlılık Oranı (%)</i>             | 76   | 73   | 50   | 50   | 50   | 49   |

Kaynak: CGDD ve IAEA, <https://cnpp.iaea.org/countryprofiles/France/France.htm>

Fransa'da kronolojik açıdan nükleer reaktörlerin gelişimi 4 aşamaya ayrılmıştır. 1960'larda endüstriyel bağımsızlık ve ulusal teknolojik gelişme doğrultusunda Belçika ile PWR ve İngiltere ile ağır su reaktörlerinde işbirliğine gidilmiştir. 1969'da Fransa hükümeti tarafından alınan kararla LWR lisansı altında inşa programı öngörülmüştür. 1974'den 1981'e kadar Westinghouse tasarımının Fransa standartlarına göre adaptasyonuna vurgu yapılmıştır. Bu programı 1970'lerdeki petrol krizi hızlandırmıştır. Fransız reaktörlerinin birim kapasitesi 900MWe ile 1300 MWe daha sonra 1.500 MWe seviyesine yükselmiştir. Bu uygulama ve gelişmelere paralel olarak Fransa güçlü bir yakıt çevrim endüstrisini inşa etmiştir. Fransa dünyanın en büyük elektrik ihracatçısıdır.

Yeni periyod 2000 yılında başladığında Framatome'un Alman Siemens ile birleşmesiyle AREVA NP oluşturulmuştur. 2006 yılında 1600 MWe European Pressurized Reactor AREVA NC tarafından tasarlanmış ve Olkiluoto santralinin



(Finlandiya) yapımına başlanmıştır. 2007 yılında Fransa Flamanville santrali inşası takip etmiştir. İlk 4'üncü nesil reaktör inşaatı 2020 yılı için planlanmıştır.

Fransa nükleer şeması irdelendiğinde; hükümet yetkisi (DGEC: General Directorate for Energy and Climate), bağımsız nükleer ajans French Safety Authority (Autorité de Sûreté Nucléaire-ASN), uzman enstitü IRSN (Radioprotection and Nuclear Safety Institute), araştırma ve geliştirme CEA (Alternative Energies and Atomic Energy Commission), nükleer güç santralleri operatörü EDF (Electricité de Fransa), nükleer santral inşası AREVA NP, mühendislik ve hizmetleri kapsayan yakıt çevrim endüstrisi AREVA Group, madencilik ve yeniden işleme ve ambalaj AREVA NC, çevrim Comurhex, zenginleştirme Georges Besse II, yakıt fabrikasyon AREVA NP (UO), AREVA NC (MOX), AREVA NC ve radyoaktif atık yönetimi (Ar-Ge ve bertaraf) ANDRA şeklindedir.

Fransa, ABD'den sonra dünyanın en büyük 2'nci nükleer güç üreticisidir. Fransa'nın nükleer güç gelişim stratejisi, enerji arz güvenliğini garantilemek ve enerji bağımsızlığına katkıda bulunmak, enerji fiyatlarında rekabet sağlamak, insan sağlığını ve çevreyi koruma altına almak ve sosyal ve alansal bağlantıları garanti altına almaktır.

Bu stratejileri gerçekleştirmek için izlenecek yollar; enerji talebini kontrol etmek (vergi, sertifikasyon vb. ), enerji çeşitliliğini sağlamak, enerji sektöründe araştırma ve yenilikleri geliştirmek ve ulaşım ve depolama tesislerinin ihtiyaçlara cevap verecek şekilde uygunluğunu sağlamaktır.

Ayrıca, sera gazı salımının 2050 yılına kadar 4 kat daha az olması için gerekli yasaların çıkarılması önem taşımaktadır. Fransa'da 1 Temmuz 2007'den itibaren her şirket ve hane halkı kendi elektrik enerjisi sağlayıcısını seçmekte tamamen özgürdür.

Fransız operatörler tarafından üretilen KNY hacminin %85'inin geri dönüşümü etkin ve uzun dönemli yönetimle gerçekleştirilmektedir. KNY hacminin kalan %15'i ise atık olarak geçici depolarda paketlenildikten sonra nihai bertaraf için derin jeolojik depolama tesislerine gönderilmektedir. Radyoaktif atık yönetiminden National Agency for Radioactive Waste Management (ANDRA) sorumludur.

*Çok Düşük Seviyeli Atıklar (VLLW):* Morvillers sahasında depolanacak şekilde tasarılanmıştır ve hacmi 650.000 m<sup>3</sup> olup 2033 yılına kadar depolama kapasitesine sahiptir.

*Kısa Süreli Düşük ve Orta Seviyeli Atıklar (LILW-SL):* Soulaines-Dhuys sahasında depolanmaktadır.

*Uzun Süreli ve Düşük Seviyeli Atıklar (LLW-LL):* Derin depolama tesislerinde saklanmalıdır. 2008'den beri yer altında bulunmaktadır (Beniston, 2011).

*Uzun Süreli Yüksek ve Orta Seviyeli Atıklar (HILW-LL):* Uzun dönem yönetim şartlarında ileri seviye ayırma ve transmutasyon, derin jeolojik bertaraf ve geçici depolama şeklinde süreçlendirilmiştir.

1945'de araştırma ve geliştirme *Commissariat à l'Energie Atomique* (CEA) tarafından atom enerjisinin hem sivil hem de askeri uygulamalarını geliştirecek şekilde teşkilatlanmıştır. Ar-Ge boyutunda güvenliği arttırmak, sürdürülebilirliği ve ekonomik kalkınmayı sağlamak ve 2020'ye kadar 4'üncü nesil prototip reaktörü gerçekleştirmek ileri nükleer teknolojinin gelişiminde önemli rol oynayacaktır.

Fransa elektrik üretiminin %76,93'ünü nükleerden sağlamaktadır. Üretim maliyeti çok düşük olduğu için Fransa dünyanın en büyük elektrik ihracatçısıdır ve yılda 3 milyar EUR gelir elde etmektedir. Nükleer teknoloji gelişiminde çok aktif olan Fransa reaktör, yakıt ürünleri ve hizmetlerde ana ihracatçı konumdadır. 3. nesil reaktöre sahip Fransa elektrik üretiminin yaklaşık %17'sini yakıt geri dönüşümünden sağlamaktadır.

1974'de aldığı kararın sonucu olarak, Fransa hatırı sayılır bir seviyede enerji bağımsızlığına ve Avrupa'nın en düşük maliyetli elektrik üretimine sahiptir. Elektrik üretiminin %90'dan fazlasını nükleer ve hidroelektrik santrallerden sağladığı için kişi başına CO<sub>2</sub> salımı aşırı düşük seviyededir. Fransa enerji politikasının temel hedefi enerji arz güvenliğini sağlamaktır. 40 ülke ile nükleer işbirliği anlaşması imzalayan Fransa yaptığı hizmetlerden de gelir sağlamaktadır. Fransa nükleer güç programının maliyeti 400 milyar FF'dir. ( 6.56 FF = EUR 1 (Jan 1999)) EPR ünitesi maliyetinin yaklaşık EUR 5.5-6.0 c/kWh olacağı beklenmektedir. Fransa'dan elektrik ithal eden ülkeler arasında en büyük ithalatçı İtalya ile önemli müşterisi İngiltere yer almaktadır. Fransa ayrıca, İran (2), Güney Afrika ve Güney Kore (2), Çin (4) adet olmak üzere 900 MWe kapasiteli reaktör ihraç etmiştir. Çin'in CPR 1000 tipi tasarımı M310 üniteleri Fransa teknolojisi temellidir. Fransa'da 34 adet reaktörün kullanım ömrü 40 yıl olup reaktör ömür uzatma programının maliyeti 55 milyar EUR'dur ve 2025'e kadar tamamının tamamlanması öngörülmektedir. Ayrıca, işletmede olan 58 adet reaktörün Fukushima sonrası modifikasyonu maliyeti 10 milyar EUR ve negatif dışsallıklara karşı güvenlik

arttırma maliyeti 10 milyar EUR'dur. Fransa'nın 2020 yılı için nükleer stratejisi 4'üncü nesil teknolojiyi uygulamaktır.

Fransa elektrik üretimi için yıllık 10.500 ton uranyuma ihtiyaç duymaktadır. Fransa Kanada, Nijerya, Avustralya, Kazakistan ve Rusya'dan uranyum ithalatını uzun dönem anlaşmayla tedarik etmektedir. Yılda 14.000 ton uranyum konsantresi Comurhex Malvesi ve Pierrelatte santrallerinde hexafluoride'a çevrilmektedir. Bu fabrikalar sırasıyla 1959 ve 1961 yıllarında işletmeye alınmıştır. 33 yıldır 81.000 MWe enerji üretmek için (yaklaşık Fransa genelinin 3'te 1'i) 10.8 milyon SWU kapasitesinde Georges Besse I santrali zenginleştirme yapmaktadır. Zenginleştirme maksimum %6 U-235'tir. Yaklaşık 7.300 ton kullanılmış uranyum kuyruğu yıllık bazda üretilmekte ve 4'üncü nesil hızlı reaktörler için depolanmaktadır. Yıllık bazda 100-150 ton MOX kullanılabilir . 2040'a kadar bu kaynakların 450.000 ton artık uranyum olması beklenmektedir. Kullanılmış uranyum kuyruğu zenginleştirilmesi Rusya'nın kontrolü altındadır. Yakıt fabrikasyonu Fransa ve Belçika'daki birkaç AREVA NC santralinde yapılmaktadır. Uzun dönem uranyum, plütonyum ve minör aktinitlerin (minor actinides) geri dönüşümü ve 4'üncü nesil reaktörlerde kullanılması 2040 yılı için hedeflenmektedir.

Nükleer enerji atık maliyeti 0,14 (EUR) cents/kWh olarak öngörülmektedir. Bu kapsamda 2004 sonu için tesislerin hizmetten çıkarılması ve yeniden işleme 9,6 milyar EUR ve yüksek seviyeli ve uzun süreli atıkların bertaraf edilmesi 3,8 milyar EUR olmak üzere toplam 13,4 milyar EUR olarak hesaplanmıştır. Uzun süreli orta seviyeli atıklar 500 ton, grafitler 18.000 ton, kısa süreli orta seviyeli atıklar 41.000 ton ve çok düşük seviyeli atıklar 105.000 tondur. Ancak, ANDRA tarafından 110.000 ton çeliğin ve 20.000 ton alüminyumun bertaraf merkezlerinde geri çevrim yoluyla endüstriye kazandırılması öngörülmüştür. Toplam maliyet olarak 5,6 milyar EUR tahmin edilmektedir. Fransa'nın işletmede olan 58 reaktör ve diğer nükleer tesisler için radyoaktif atıklardan kurtulma, hizmetten geri alma, söküm için gelecek tahmini maliyeti 79,4 milyar EUR olarak tahmin edilmektedir.

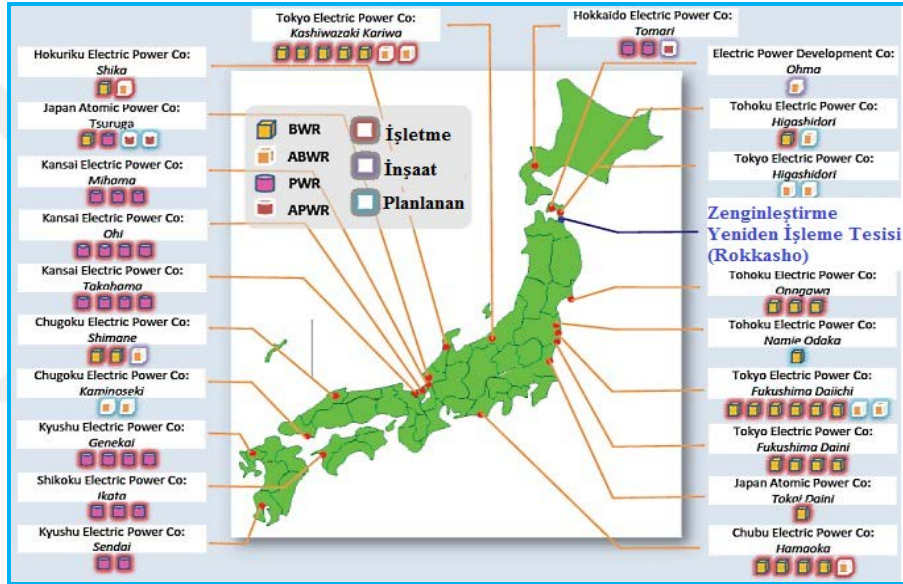
### **2.4.3. Japonya**

Japonya'nın yüzölçümü 364.500 km<sup>2</sup> olup muson iklimine sahiptir. Dört farklı mevsim enerji ve elektrik talebindeki değişiklikleri önemli oranda etkilemektedir.

Elektrik talebinde yıllık dalgalanmada iki zirve vardır; yaz mevsimi soğutma için ve kış mevsimi ısınma için klima kullanılması elektrik talebine zirve yaptırmaktadır. 1980 yılında 116,8 milyon olan Japonya'nın nüfusu 2009 yılında 127,3 milyondur. Nüfusun %65'i şehirlerde yaşamaktadır. Yıllık büyüme oranı %0,5'in de altındadır. GSYH 4.872.220 milyon dolardır. Kişi başına gelir artış hızı 1980-2000 arası %2,29'dur. Japonya petrolde büyük oranda dışarıya bağımlıdır: 1973'de %77,4 iken günümüzde %49,77'dir. 2002 yılında Japonya tükettiği petrolünün %99,8'ini ithal etmektedir (World Bank World Development Indicators, 2015).

Japonya'da nükleer santral konumları Şekil 2.13'de verilmiştir.

**Şekil 2.13: Japonya'da Nükleer Santraller**



Kaynak: Sewada TOMOKO, METI (e-mail)

Japonya 54 reaktörlük nükleer reaktör filosunu Eylül 2013'e kadar geçici/tamamen kapatmıştır. Japonya toplam elektrik üretimi 2015 yılı başında 795.936 GWh olup 43 nükleer santral ünitesi çalışabilir durumda ve 2 santral ünitesi yapım aşamasındadır. Japonya yeni nükleer güvenlik kuralları altında 846 MW'lık nükleer reaktörünü yeniden çalıştırmıştır. Japonya Nuclear Regulation Authority (NRA) ve merkezi hükümet 5 reaktörün yeniden çalışmaya başlamasını onaylamıştır; bunlar, Sendai 1 ve 2 üniteleri, Kansai Electric Power Company (KEPCO) Takahama 3 ve 4 üniteleri, ve Shikoku Electric Power Company Ikata 3 ünitesidir. Bu 5 reaktörün dışında geriye kalan çalışabilir durumdaki 38 reaktörden 19 tanesi yaklaşık 18.400 MWe güce sahiptir ve farklı aşamalardan ve incelemelerden sonra yeniden çalıştırılması için

sıralamaya alınmıştır. NRA tarafından yapılan düzenlemeler sonucunda ciddi depremlere dayanımı karşılayabilecek durumda olan üniteler devreye alınmıştır. Nükleer reaktör sayı ve kapasite durumları şekil 2.14’de yer almaktadır.

**Şekil 2.14: Japonya Nükleer Santral Sayısı ve Kapasite Durumu: Fukushima Sonrası Mukayesesi**



Kaynak: U.S. Energy Information Administration (EIA)

2011 yılında gerçekleşen deprem ve Tsunami öncesinde, ABD ve Fransa'dan sonra dünyanın en büyük üçüncü nükleer enerji üreticisi olan Japonya'da 54 reaktör işletilmekteydi ve toplam elektrik üretiminin %30'u nükleer santrallerden karşılanmaktaydı. Fukushima felaketi sonrasında, 6 Fukushima reaktör ünitesinin tamamı (yaklaşık 4.500 MWe gücünde) tamamen kapatılmıştır. Buna ek olarak Nisan 2015'de, göreceli olarak eski ve küçük 5 reaktör (2.100 MWe gücünde) tamamen kapatılmıştır. Japonya uzun dönem enerji politikasına göre 2030 yılına kadar toplam elektrik üretimi içerisinde nükleerin payını %20–22 düzeyine çıkarılması merkezi hükümet tarafından planlanmıştır (Nancy Slater-Thompson, 2015).

Yüksek elektrik maliyetleri Japonya'nın küçük ve orta ölçekli firmalarını etkilemektedir. Japan Chamber of Commerce and Industry (JCCI, 2015) raporuna göre Mart 2011 Fukushima kazasından sonra elektrik fiyatları yaklaşık %28 oranında (kWh fiyatı 3,6 ABD cent olarak) artış gerçekleşmiştir. Bu artış firmaların % 61'inde iş kaybına ve personel azaltılmasına neden olmuştur. Japonya'da 48 nükleer reaktörün tamamının rölantide çalıştırılması fosil yakıt ithalatında artışa ve elektrik fiyatlarının hızla sıçramasına neden olmuştur. Enerji fiyatlarındaki artış, hanehalkını ve sektörleri

etkilemiş ve Japonya'yı 1970'lerdeki petrol şokuna göre denizaşırı ülkelere daha fazla bağımlı hale getirmiştir (Abe, 2015).

Japon Atom Enerji Kurumu (JAEA, 2014) değerlendirmelerine göre, Fukushima sonrası nükleer güvenlik kuralları gereksinimleri doğrultusunda, cihazların ve güvenliğin artırılması maliyeti yaklaşık 915 milyon \$ olduğu için (devreye alınması için gerekli modifikasyonunun maliyeti) Tokai yeniden yakıt işleme santrali, kapatılmıştır. Tokai, Japonya'nın en eski yeniden yakıt işleme santralidir.

*Enerji Politikası:* 1973 ve 1979 yılındaki iki petrol krizi Japonya'nın hassas enerji yapısını ve ekonomisini hasara uğratacak şekilde direkt etkilemiştir. İlk enerji krizi Japonya enerji politikasını temelden değiştirmiştir.

*Minister of International Trade and Industry (MITI):* Petrol bağımlılığını azaltmak, petrol dışı enerji arzını çeşitlendirmek, petrol rezervlerinin arz güvenliğini ve istikrarını sağlamak, Japon firmaları tarafından petrol keşfini ve gelişimini sağlamak, yeni enerji kaynaklarına ulaşmak için Ar-Ge faaliyetlerine önem vermek, petrol krizinden sonra Japonya'nın enerji politikasına çevreyi koruyacak şekilde ve piyasa ekonomisi uygulamaları altında ana gündem teşkil etmiştir. Bunları sağlamak için nükleer güç kapasitesinin artırılması ve nükleer yakıt çevirimi ön koşuldur. Bu plan her üç yılda bir tekrar gözden geçirilerek, gerektiğinde modifikasyon yapılmaktadır.

*The Ministry of Economy, Trade and Industry (METI):* Önceki ismi MITI olup güç üretici firmaların arz ve talep performanslarını gözleyerek gelecek enerji arz programını belirleyecek şekilde firmaları desteklemektedir. Japonya elektriksel güç üretim firmaları bakımından 9 coğrafik bölgeye bölünmüştür. Her bölgede bir firma faaliyet göstermektedir. Japonya enerji tüketim/üretim rakamları Tablo 2.6'da yer almaktadır.

**Tablo 2.6: Yıllara Göre Japonya Enerji Tüketimi/Üretimi, 1980-2009**

|                                       | 1980  | 1990    | 2000    | 2005    | 2009    | 1980 -<br>2000 | 2000 -<br>2009 |
|---------------------------------------|-------|---------|---------|---------|---------|----------------|----------------|
| Kişi Başı Enerji Tüketimi (GJ)        | 123.8 | 150.8   | 175.1   | 175.2   | 158.1   | 1.75           | -1.13          |
| Kişi Başı Elektrik Tüketimi (KWh)     | 4,922 | 6,868.1 | 8,431.0 | 8,713.2 | 8,229.9 | 2.70           | -0.27          |
| Nükleer/Toplam Enerji (%)             | 14.3  | 24.0    | 30.4    | 27.7    | 26.7    | 3.85           | -1.44          |
| Yıllık Kapasite Faktörü - Genel (%)   | 45.9  | 49.4    | 46.4    | 45.3    | 42.0    | 0.06           | -1.09          |
| Yıllık Kapasite Faktörü - Termal (%)  | 46.8  | 49.5    | 43.2    | 45.2    | 42.2    | -0.39          | -0.26          |
| Yıllık Kapasite Faktörü - Hidro (%)   | 35.3  | 28.9    | 23.9    | 20.8    | 19.8    | -1.94          | -2.03          |
| Yıllık Kapasite Faktörü - Nükleer (%) | 60.1  | 73.0    | 81.2    | 70.2    | 65.4    | 1.52           | -2.39          |

Kaynak: IAEA Energy and Economic Databank, 2009.

Japonya 1955’de demokratik yönetim, gönüllü faaliyetler, açık bilgi ilkeleri altında atom enerjisinin barışçıl amaçlarla kullanılması ve geliştirilmesi için nükleer enerji elde etme çalışmalarına başlamıştır. Uzun dönemde araştırma, geliştirme ve nükleer enerji kullanımı 1956’da formüle edilmiş olup her beş yılda bir gözden geçirilmektedir. Japonya, TMI-2 kazası (1979) ve sonra Çernobil no. 4 kazası (1986) alınan dersler kapsamında bir takım enerji uygunluğu ve gereksinimlerini 2030 yılına kadar planlamıştır.

Japonya’da nükleer enerji reaktör tiplerine göre kapasite faktörleri ve sayıları Tablo 2.7’de yer almaktadır.

**Tablo 2.7: Reaktör Tiplerine Göre Kapasite Oranları ve Sayıları**

( ): işletmedeki reaktör sayısı (%)

| Reaktör Tipi | 1988      | 1990      | 1995      | 2000      | 2001      | 2002      | 2003      |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| -BWR         | 72.9 (19) | 72.9 (21) | 82.5 (26) | 79.9(28)  | 78.6 (29) | 61.9 (29) | 39.0 (29) |
| -PWR         | 69.9 (16) | 72.6 (17) | 77.6 (22) | 84.1 (23) | 82.9 (23) | 89.1 (23) | 87.9 (23) |
| -GCR         | 57.9 (1)  | 65.3 (1)  | 60.4 (1)  |           |           |           |           |
| Ortalama     | 71.4 (36) | 72.7 (39) | 80.2 (49) | 81.7 (51) | 80.5 (52) | 73.4 (52) | 59.7 (52) |

Kaynak: METI Nuclear Data, 2004

Nükleer güç santrallerinin temel yaşlanma yaklaşımları belirlenmiştir (MITI, 1996). Nükleer reaktör tesislerinin periyodik değerlendirmeleri yayımlanmıştır (NISA, 2003). Yaşlanma yönetimine göre 30 yıl içinde:

✓ Nükleer güç santrallerinin güvenlik fonksiyonları ve teknik değerlendirmeleri ile parça ve yapılarının uygun yaşını ve etkilerini teknik olarak analiz etmek,

✓ 10 yıllık bakım planı yaparak teknik değerlendirme sonuçlarına yönelik yeni bakım önlemleri temin etmek,

✓ Her 10 yılda tekrar değerlendirmeye tabi tutmak şeklinde önceliklendirilmiştir.

Japonya LWR gelişimine Westinghouse’dan PWR ve GE’den BWR ile başlamıştır. Günümüzde Toshiba, Hitachi ve Mitsubishi Heavy Industries (MHI) nükleer buhar sağlama sistemi (NSSS) ve nükleer güç santrali inşaatını mümkün kılan endüstriyel sistemleri sağlayan firmaları temsil etmektedir. Japonya’da nükleer güç

endüstrisi için birçok firma teçhizat ve hizmet sağlamadan nükleer yakıt çevirimine kadar nükleer enerjiyle ilgili kabiliyete sahiptir.

Kullanım sürelerini tamamlamış ve güvenliği sağlanan nükleer güç santrallerinin hizmetten alınması ve sökülmesi Japonya'nın temel bertaraf politikasıdır. 1.100 MWe gücünde bir nükleer santral 5 yıllık bir periyotta güvenli olarak bekletildiğinde reaktörün hizmetten alma tahmini maliyeti yaklaşık 3 milyar ¥'dir.

Japonya'da işletmede olan santraller için firmaların operatör eğitim merkezleri bulunmaktadır. Toshiba, Hitachi ve Mitsubishi aynı zamanda nükleer santraller için bakım hizmetleri de sağlamaktadır.

Japonya yakıt çevirim faaliyetleri zenginleştirme, çevrim, yakıt fabrikasyon, yeniden işleme, zirkonyum alaşımı yakıt zarfı ve radyoaktif atık gibi bileşenlerden oluşmaktadır.

Japonya Atomic Energy Research Institute (JAERI) 1956 yılında kurulmuş olup nükleer güvenlik araştırmaları, radyasyon uygulamaları ve nükleer enerjinin geliştirilmesiyle ilgili olup 1985'den beri nükleer gemi araştırma ve geliştirme ajansı ile koordineli çalışmaktadır.

Yeni nesil nükleer reaktör sistemlerine ilave olarak Japonya LWR, HTGR ve FBR tipi reaktörlerin gelişimi için çalışmaktadır. 100-300 MWe güç kapasitesi için 15 yıllık kor ömrüne sahip LSBWR ile çalıştırma ve test aşamasında olan bir HTGR ulusal projelerle hayat bulmaktadır.

Japonya'nın sosyo ekonomik yapısı ile enerji arz talep yapısı büyük değişikliklere maruz kalmaktadır. 2030 yılı arz ve talep projeksiyonları Kyoto Protokolü'ne göre orta ve uzun dönem enerji stratejileri şeklinde belirlenmiştir. Buna göre:

- ✓ Asya enerji talebindeki bir artış beklentisiyle uluslararası enerji stratejisinin belirlenmesi,
- ✓ Halk ve endüstriyel firmalar tarafından çevre koruma ve enerji tasarruf çevriminin öneminin anlaşılması,
- ✓ Enerji arz çeşitliliği ve dağıtımı için değişikliklere cevap verilecek kabiliyetin sağlanması,
- ✓ Enerji endüstrisinin değişik sektörler arasında enerji arz sisteminin sağlamlığının ve esnekliğinin gerçekleştirilmesi şeklindedir.



Japonya enerji gereksiniminin yaklaşık %84'ünü ithalat ile karşılamaktadır (IAEA, 2014). İlk ticari nükleer güç reaktörüne 1960 yılı ortalarında çalışmaya başlanılmış ve 1973'den beri nükleer enerji ülkenin stratejik önceliği olmuştur. Ancak, 2011 Fukushima kazası sonrasında tekrar gözden geçirilmiş olmasına rağmen nükleer önceliğini korumaktadır. Japonya zenginleştirme ve yeniden işleme dahil kullanılmış yakıt çevriminin tamamına sahiptir. Ülkede bulunan 54 reaktörden 6 tanesi Fukushima sonrası tamamen kapatılmıştır. Tamamen kapatılmayan 48 reaktör ülkenin elektrik ihtiyacının %30'dan fazlasını sağlayacak kapasitedir. 2017 yılına kadar nükleerden enerji üretimi payının en az %40 artması ve yeniden çalıştırılması sürecinin yavaş olacağı ve 3-5 yıl alacağı beklenmektedir. 2011 başlarında, ülkenin toplam elektrik üretiminin yaklaşık % 30'unu (net 47,5 GWe) nükleer santraller karşılamıştır.

Japonya'da II. Dünya Savaşı'ndan sonra iyileşen ve hızla genişleyen endüstri özellikle Orta Doğu kaynaklı petrol ithalatına bağımlıdır (1974 yılında elektriğin % 66'sı petrol kaynaklı). Japonya'nın coğrafik ve emtia açığı zaafiyeti 1973 yılında petrol şoku nedeniyle kritik hale gelmiştir ve yüksek öncelik, ülkenin petrol ithalatı bağımlılığını azaltmaya verilmiştir. Yerli enerji politikasının yeniden değerlendirilmesi ve enerjinin çeşitlendirilmesi hedefi büyük bir nükleer santral yapım programının ortaya çıkarılmasına neden olmuştur. Nükleer endüstri, işletme halinde olan 5 nükleer reaktör ile büyümeye başlamıştır. Nükleer endüstri için ithal uranyumdan maksimum fayda elde etmek amacıyla kapalı yakıt döngüsü kullanılması kabul edilmiştir .

Japonya Atom Enerjisi Kurumu (2010) CO<sub>2</sub> salımını 2050'ye kadar %54 ve 2100 yılına kadar %90 azaltmayı planlamıştır. 2030 yılına kadar enerji arz güvenliğini sağlayarak ve CO<sub>2</sub> emisyonunu düşürerek enerjide kendi kendine yeterliliği % 70 düzeyine indirmeyi planlamaktadır (METI, 2010). Burada, yeni reaktörlerin % 90 kapasite faktörü ile çalışması ekseninde nükleer enerji büyük rol oynayacaktır. Bu, nükleerin emisyon azaltımında % 51 katkı sağlayacağı anlamına gelmektedir.

2011 yılı sonunda Japonya'da kullanılan enerji 48,96 GWe nükleer, 48,4 GWe hidro, 35,9 GWe kömür, 46,7 GWe gaz, 41,2 GWe petrol, 12,4 GWe petrol veya kömür, 50,7 GWe otomobil yakıtı, 4,85 GWe güneş, 2,33 GWe rüzgar ve 0,54 GWe jeotermal şeklinde belirtilmiştir. Nükleer zorundalıkların karşılığında, kömür kapasitesinin 2020 başlarına kadar %21 (47 GWe) artırılması planlanmaktadır (EIA, 2015; IEA, 2015).

### *Nükleer Program ve Politikasının Gelişimi 1950-2005:*

Japonya barışçıl amaçlarla nükleer teknolojinin kullanılması amacıyla nükleer enerji elde etmek için araştırma programına 1954 yılında 230 milyon ¥ bütçe ile başlamıştır. Japonya’da elektrik üreten ilk reaktör prototip bir BWR olup 1963-1976 yılları arasında çalışmış sonraki ticari reaktörler için büyük miktarda bilgi sağlamıştır. Sonrasında söküm/hizmetten alma sürecinde uygulama imkanı sağlamıştır. Japonya 160 MWe gücünde ilk ticari reaktörünü İngiltere’den ithal etmiş ve 1966-1998 yılları arasında çalıştırılmıştır. Uranyum zenginleştirmesi için LWR, BWR ve PWR yapımı 1970 yılında tamamlanmış ve ticari olarak çalıştırılmaya başlanmıştır. Hitachi Co Ltd, Toshiba Co Ltd ve Mitsubishi Heavy Industry Co Ltd tarafından LWR kapasitesi artırılarak tasarlanmış ve yapımı tamamlanmıştır. 1970’lerin sonuna kadar Japonya endüstrisi sahip olduğu yerli nükleer güç üretim kapasitesiyle büyük oranda genişlemiş, günümüzde diğer Asya ülkelerine ihracat gerçekleştirmiş ve Avrupa’da kullanılan reaktörler gibi yeni reaktör tasarımları geliştirmişlerdir. 1975-77 yıllarında %46 olan ortalama kapasite faktörü 2001 yılına kadar %79 seviyesine yükselmiştir. Sonrasında, tasarımında temel değişiklikler yaparak reaktör ölçü büyüklüğünü 1300-1400 MWe seviyelerine çıkarmışlardır. Bunlar, ABWR ve APWR şeklindedir. Japonya’da 1990’ların sonlarında yakıt çevrim programı başlatılmıştır. 2005 yılında Ministry of Education, Culture, Sports, Science & Technology (MEXT) teşkilatlanmasında Japan Nuclear Cycle Development Institute (JNC) ile JAERI birleşerek Japan Atomic Energy Agency (JAEA) kurulmuştur.

*Nükleer Odaklı Enerji Politikası 2002-2011:* Ekonomik büyümeyi destekleyecek ve enerjide serbest piyasa oluşturacak şekilde enerji stratejisi uygulamak, Kyoto Protokolü çerçevesinde sera gazı salımını azaltmak, ithal bağımlılığını minimize etmek ve enerji arz güvenliğini sağlamak için Japonya hükümeti tarafından 2002 yılında 10 yıllık enerji planı kapsamında nükleer enerji kullanımına büyük oranda yöneldiği deklare edilmiştir (METI, 2002). Fukushima Daiichi kazası nedeniyle 1-4 numaralı ünitelerde ciddi hasarlar meydana gelmiştir (METI, 2010). Japonya elektrik arz planı 2019 yılına kadar 12.94 GWe nükleer kapasiteyi ve payını yaklaşık 455 TWh (%41) artırmayı göstermektedir. Ancak bu, günümüzde mümkün gözükmemektedir.

*Fukushima 2011 Sonrası Enerji Politikası:* Energy & Environment Council (EEC, 2011) Japonya enerji geleceği için başlangıç olarak orta vadede elektrik üretiminde

nükleer gücün katkısının %0, %15, %20-25 olarak amaçlanmasını önermiştir. Mitsui ve Mitsubishi gibi büyük firmalar LNG kaynaklı enerji üretimi için 2 milyar dolarlık yatırıma başlamıştır. METI (2012) üretim maliyetinin her yıl 3 trilyon ¥ (37 milyar \$) üzerinde olacağını ve nükleerle termal üretim değişim maliyetinin GSYH'nin yaklaşık %0.7'lik kısmına denk geleceğini tahmin etmektedir. Nükleer santraller kapalı kaldığı süre boyunca elektrik üretim maliyetlerinin artış göstereceği öngörülmektedir.

Nükleer kazadan doğan hasar ve kayıplar için azami 10 trilyon ¥ (130 milyar \$) telafisi dikkate alındığında nükleer enerji üretiminin maliyeti 2011 yılında kişi başına 8,9 yen (11,4 cent) kWh'dir (JAERI, 2011). Buna sermaye maliyeti (2,5¥), işletme ve bakım maliyetleri (3,1¥) ve yakıt çevrimi maliyetlerini (1,4¥) dahildir. İlave olarak Fukushima sonrası güvenlik önlemleri 0,2 ¥, politika giderleri 1,1¥ ve gelecek nükleer riskler ile başa çıkmak için 0,5 ¥ dahil edilmiştir. Gelecekteki nükleer riskler için 0,1 ¥ tutarında artış 1 trilyon ¥ (13 milyar dolar) kayıpla sonuçlanacaktır. Kişi başına 8,9 ¥ kWh rakamına 2004'den beri %70 kapasite ile çalışan 1200 MWe kapasitesinde ve inşaat maliyetleri 420 milyar ¥ (5,4 milyar dolar) 40 yıllık çalışma hayatı varsayılarak 4 ünitelik bir nükleer santralin ortalama rakamları kullanarak %3 iskonto oranı modellemesi yapılarak hesaplanmıştır. 2010 yılı CO<sub>2</sub> önlemlerinin maliyetleri de dahil olmak şartıyla fosil yakıt enerji üretim maliyetleri petrol için 36,0 ¥ , LNG 10,7 ¥ ve kömür 9,5¥ arasında değişmektedir. 2030 ileri projelendirme ise nükleer maliyetlerin istikrarlı fakat fosil yakıt maliyetlerinin önemli ölçüde artacağını öngörmektedir. Artan fosil yakıt ithalatı 2012 yılının ilk yarısında 2,5 trilyon ¥ (31,78 milyar dolar) olarak gerçekleşmiş ve Japonya ticaret açığında çok önemli bir rekor etki yapmıştır.

Küresel ısınmayla ve enerji bağımlılığıyla mücadele etmek için 4'üncü Stratejik enerji planı 20 yıl perspektifinde nükleer enerjinin temel anahtar güç olduğunu vurgulamıştır. Nükleer güç, enerji arz ve talep yapısındaki dengeyi sağlayan en önemli güç kaynağıdır. Reaktörlerin güvenliği NRA tarafından onaylandıktan sonra nükleer santraller tekrar çalıştırılmaya başlanacaktır. Kullanılmış yakıt daha dikkat çekici hale getirilecek, nükleer yakıt çevriminde ilerleme kaydedilecek, hızlı reaktör AR-GE kapsamına dahil edilecek ve her üç yılda bir yeni kanuna göre güncellemeler yapılacaktır. Japonya nükleer santralleri medyan *kapasite faktörü yaklaşık % 70* düzeyindedir. Bu seviye, dünya genelinde % 90 üzerinde çok iyi performans sergileyen

reaktörlerle mukayese edildiğinde bakım gereksinimleri ve katkı faktör farklılıkları yeniden değerlendirilmelidir (METI, 2014).

*Tsunami Savunması:* Tsunami Japonya and Kuril adalarının ortak sorunudur. 1498 yılından beri 7,4 ile 9,0 şiddetinde depremlerden kaynaklanan, 10m ve daha yukarısında toplam 16 tsunami meydana gelmiştir. Bu büyüklükte tsunami gerçekleşme sıklığı ortalama 30 yıldır. Fukushima kazası 11 Mart 2011 tarihinde meydana gelen depremden kaynaklanan tsunami neticesinde olmuştur.

Chubu Electric Power Co, 140 milyar Japon yeni (1.7 milyar dolar) harcayarak deniz duvarını tsunami savunması kapsamında inşa etmiştir. Böylece deniz seviyesinden yüksekliği 25 metre olacaktır. Ayrıca, sugeçirmez dizel jeneratör odası ve denizsuyu pompası eklenmiştir. Hokkaido 1.25 km uzunlukta ve azami 6.5 m yükseklikte deniz duvarı inşa etmektedir ve Tomari sahasının deniz seviyesinden yüksekliği ise 10 metredir. Kansai 11 reaktörü için depremlere ve tsunamilere karşı savunma amaçlı 4 yıldan uzun sürede 200 milyar ¥ (2.5 milyar dolar)'dan fazla bir tutar harcayacağını deklare etmiştir.

*Stres Testleri:* Nükleer risk ve güvenlik yeniden değerlendirmeleri yapılması anlamına gelip iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada santral operatörleri tarafından santral temel tasarımı dışında kalan doğal felaketlerin ana güvenlik sistemlerinde arıza veya hasara sebep olup olamayacağı değerlendirilir. Reaktör tasarımındaki zayıf noktalara ilave olarak nükleer yakıtta hasara neden olabilecek olayların büyüklüğü tanımlanır. Testler yakıt tam dolu ve tam güçte çalışan reaktörün aşırı yük koşullarından başlar. Oradan depremler, tsunamiler, saha güç kaybı gibi olay ağacı kullanılarak bilgisayarlar tarafından benzeştirilen olay/kazalara karşı uygun koruyucu önlemlerin etkinliği tespit edilir. İlk aşama testler reaktör çalıştırılmadan önce onaylanmak zorundadır. Birinci aşama sonuçları önce NISA ve sonra (NSC) Nuclear Safety Commission tarafından gözden geçirilerek başbakanın onayına sunulur. İkinci aşamada çok daha ciddi olaylar dikkate alınır, kaçınılması mümkün olmayan kazaların dışındaki potansiyel kaza sıklığı tespit edilir. Bu aşama benzetilmiş doğal felaketlerin etkilerini içerir.

2012 Mart ayı sonunda NISA 12 PWR ve 5 BWR olmak üzere 17 reaktörü birinci aşama değerlendirmeye almış bunlardan 3 tanesi NISA tarafından ve 2 tanesi NSC tarafından onaylanmıştır. Bulgular ve öneriler yeniden çalıştırılmayı onaylamaktan

sorumlu New Nuclear Regulation Agency (NRA)'ye gönderilmiştir. Bu değerlendirmeler NRA tarafından emniyet rehberi şeklinde IAEA'ye bildirilmiştir. Japonya bu dönemde sıcak yazda ciddi elektrik kesintilerine maruz kalmıştır.

Reaktörlerin yeniden çalıştırılmaya başlaması ünite başına reaktör büyüklüğü ve yaşına bağlı olarak 700 milyon ile 1 milyar \$ arasında maliyet doğurmaktadır. Bu kapsamda 2014 Mart ayına kadar 12,3 milyar \$ harcanmıştır.

*Nükleer Santralleri Kapatmanın Ekonomik Etkileri:* Japonya'da 2011 Nisan ayından 2014 Mart ayına kadar toplam ticaret açığı 23,25 trilyon ¥ (227 milyar \$) olarak gerçekleşmiştir. Yakıt ithalatının maliyetinin yılda 3,8 ile 4 trilyon ¥ (40 milyar \$) olduğu bildirilmektedir. 2012 yılında gerçekleşen ticari açık 6,9 trilyon ¥ (70 milyar dolar) iken 2013 yılında açık %70 artarak 13,75 trilyon ¥ (134 milyar \$) olmuştur (The Japan Times, 2014).

Elektrik üretim maliyeti 2012 yılında %56 artışla kWh'te 8,6 ¥'den 13,5 ¥'e çıkmıştır. Elektrik üretim firmalarının parasal kaybı yılda 1 trilyon ¥ olmuştur. Fukushima kazasından Nisan 2013'e kadar bu firmalar ithal fosil yakıtlara fazladan 9,2 trilyon ¥ (93 milyar \$) harcamışlardır. Bu, nükleer santrallerin işletmeden çıkarılmasıyla ülkenin yılda 3.6 trilyon ¥ miktarındaki zenginliğinin (34.9 milyar \$) başka ülkelere aktarıldığı anlamına gelmektedir. Bu nedenle, Japonya'nın enerji politikası ucuz ve güvenilir kaynakların kullanılmasına dayandırılmalıdır.

*Yeni Nesil Nükleer Teknoloji:*Japonya'da 2008 yılında, 8 yılda 60 milyar ¥ harcanmak üzere gelişkin basınçlı su ve gelişkin kaynar su reaktörlerinin geliştirilmesi için projeler hayata geçirilmiştir. Bu projelerin hedefi, inşaat ve işletme maliyetinin %20 azaltıldığı, kullanılmış yakıt miktarının da %20 düşürüldüğü, daha uzun ömürlü, 3 yılda inşaatı tamamlanan daha güvenli reaktör teknolojilerinin geliştirilmesidir. 2020 yılına dek devreye alınması ve 2030 yılına dek uluslararası pazara sunulması planlanan bu gelişkin reaktörlerin, 1700-1800 MWe kurulu güce, 80 yıllık işletme ömrüne ve 24 aylık kesintisiz işletme süresine sahip olmaları hedeflenmiştir.

*Ömür Uzatma ve 30-Yıl Gözden Geçirme:*Japonya'da santraller 40 yıl süreli lisanslanır ve lisans uzatılmaları 10 yıllık süre için yapılır. Reaktör ömrünün 30. yılında reaktör işletmecileri tarafından reaktörün yıpranmasının incelenmesi için çalışmalar başlatılır. Fukushima Santralinin ilk ünitesi, bu düzenleme çerçevesinde 10 yıllık lisans uzatma süresi almış, bunun hemen ardından kaza gerçekleşmiştir. Kazanın ardından

Japonya’da lisans uzatma ile ilgili denetimler katılaştırılmıştır. Daha önce bahsedildiği gibi, ABD’de lisans yenilemeleri 20 yıl süre için yapılmaktadır.

Japonya’da gelişkin PWR’ların kurulması ile ilgili planlar yapılmıştır: İlki 1538 MWe gücünde ve 770 milyar ¥ (7.4 milyar \$) inşaat maliyetiyle kurulması planlanmış, yine gelişkin PWR reaktörlü 1590 MWe gücünde bir santralin inşaatı 2019 yılında başlamak üzere değerlendirilmiştir. Japonya’da gelişkin BWR kurulması ile ilgili de planlar vardır; 9 ünite gelişkin BWR’ın kurulması önerilmekte ya da planlanmaktadır. Bu ünitelerden ikisinin yapımına, santral sahası yakınında bulunan halk tarafından itiraz edilse de devam edilme kararı verilmiştir.

*Hızlı Reaktörler:* Japonya, kullanılmış nükleer yakıtları atık olarak bertaraf etmek yerine, yeniden işlenmesi yöntemini benimsediğinden, mevcut hızlı reaktörlerini kullanmaya devam etmeyi ve yeni hızlı reaktörler kurmayı planlamaktadır. Yeni hızlı reaktörler için yapılacak Ar-Ge çalışmaları için ayrılan bütçe 2006 yılında 34.6 milyar yen arttırılarak, onarımı ve yenilenmesi günde 50 milyon yeni malolacak mevcut hızlı üretken reaktör yerine 2050 yılında 1500 MWe gücünde bir hızlı reaktörün ticari olması hedeflenmiştir.

*Kamuoyu:* Fukushima kazasının ardından 2011 yılı Nisan ve Mayıs aylarında yapılan anketler, Nisan ayında halkın %50’sinin nükleer santrallerden elektrik üretilmesine devam edilmesini, hatta nükleer santrallerin elektrik üretimine katkısının arttırılmasını desteklediklerini, ancak kazanın etkileri sürmeye devam ettikçe, Mayıs ayında desteğin %40’a düştüğünü göstermiştir. Kazanın ardından Mayıs-Haziran aylarında halkın %15’inin nükleer santrallerin kapatılmasını istediği belirlenmiş, bu oran 2013 yılı Mart ayında %20’ye çıkmıştır. Aynı anket, nükleer santrallerin elektrik üretimindeki payının aynı kalmasını isteyenlerin oranının %22, azalmasını isteyenlerin oranının ise %53 olduğunu göstermiştir (IAEA, 2014).

*Uranyum arzı:* Japonya yerli uranyuma sahip değildir. 2011 Uranyum gereksinimi 8.195 tU olup 1/3 ‘ünü Avustralya, Kanada ve Kazakistan’dan karşılamaktadır. Japonya ithal uranyum temelli nükleer yakıt çevrim endüstrisinin tamamını geliştirme sürecindedir. Uranyum zenginleştirme reaktörü Rokkasho-RE2A’nın tasarım kapasitesi olan 1.5 milyon SWU/yıl düzeyine 2022 yılında ulaşması beklenmektedir. Rosatom ve Toshiba arasında yeni bir zenginleştirme santrali anlaşması

planlanmaktadır. Japonya Fransa ve İngiltere’de depolanan KNY dan 6400 ton yeniden işlenmiş yakıta sahiptir.

Enerji güvenliği sebebiyle yıllardır düşük fiyatlı uranyum ithal eden Japonya 1956’dan beri MOX gibi yanmamış uranyum ve plütonyumdan yeniden işleme /yakıt çevrimi ile ekstra %25-30 enerji elde etmektedir.

Japonya’da kullanılmış nükleer yakıtın bertaraf edilmesine veya yeniden işlenmesine karar verilebilmesi için nükleer santrallerin elektrik üretimindeki payının artıp artmayacağını belirlenmesi gerekmektedir. 2030 yılına dek nükleer santrallerden elektrik üretim payı “0”a düşerse, kullanılmış nükleer yakıtların yer altına gömülmesi uygun olacaktır. 2030 yılında nükleer santrallerden elektrik üretimi payı %20-%35 arasında gerçekleşirse, kullanılmış nükleer yakıtların yeniden işlenmesinin yakıtın yer altına gömülmesinden %20 daha ekonomik olacağı öngörülmektedir. Nükleer santrallerin elektrik üretimindeki payı %20’nin altında kaldığında, hem yeniden işleme hem de yakıtın gömülmesi ekonomik olmaktadır. Son iki durumda hızlı üretken reaktörlerin hizmete alınmasına ve MOX yakıt elde edilmesine ihtiyaç olacaktır.

Japonya’da kullanılmış nükleer yakıtların yer üstünde kuru olarak depolanması da planlanmış ve kurulumu 2016 yılında tamamlanmak üzere bir kuru depolama sahasının inşaatına başlanmıştır. Kuru depolama için yalnızca kullanılmış nükleer yakıt kabı maliyetinin 100 milyar ¥ olacağı öngörülmektedir. MOX yakıt üretimi için kurulan tesisin 210 milyar ¥ bütçe (2,05 milyar \$) ile 2017 yılında işletmeye alınması beklenmektedir.

Nükleer atıkların bertarafında kullanılacak sahanın inşaat maliyetinin 3 trilyon ¥ (28 milyar \$) olması beklenmektedir. Bu maliyet, nükleer santrallerden üretilen elektriğin kWh’ine 0,2 ¥ eklenmesiyle oluşturulan bütçe ile karşılanabilecektir.

MOX yakıtların yeniden işlenmesinin 80 yıllık maliyetinin yeniden işleme tesislerinin söküm maliyeti de göz önünde bulundurularak 19 trilyon ¥ olacağı öngörülmüştür. Bunun için de üretilen elektriğin maliyetinin 1 ¥ civarında arttırılması gerekecektir. Bu, Japonya’da değerlendirilmekte olan bir durumdur; Japonya’da elektriğin maliyetinden çok elektrik arzının güvenilir olmasına önem verilmektedir.

*Decommissioning (Hizmetten Çıkarma/Söküm):* 1981 yılında başlayan The Japan Power Demonstration Reactor (JPDR) söküm programı, iki aşamadan oluşmuştur. İlk aşamada hizmetten alma teknikleri geliştirilmiş ve ikinci aşamada 1986-1992 yıllarında

söküm işlemleri gerçekleştirilmiştir. Yaklaşık 20 yıldır hizmet dışı olan Tokai-1 reaktörü için ilk 10 yılda radyoaktivite seviyesinin düşmesi amacıyla “güvenli depolama” işlemi gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada 2006 yılına kadar önçalışma, ikinci aşamada 2011 yılına kadar buhar jeneratörü ve türbinlerinin sökümü gerçekleştirilmiş ve 2018 yılına kadar olan üçüncü aşamada sahanın tekrar kullanılabilir hale gelmesi için reaktör ve binaların sökümü yapılacaktır. Tüm radyoaktif atıklar düşük seviye olarak sınıflandırılmış olup 50-100 metre derinliğe gömülecektir. Toplam maliyetinin 93 milyar ¥ olması beklenmektedir. Bu tutarın 35 milyar ¥’lık kısmı söküm için harcanacaktır. Geriye kalan miktar atık iyileştirme amaçlı kullanılacaktır(JAEA, 2014). 2029 yılına kadar bertaraf dahil toplam maliyeti 70 milyar ¥ olan Fugen ATR sahasının temizlenmesini planlamaktadır. Japonya’da hizmet dışı kalan reaktörler Tablo 2.8’dedir.

**Tablo 2.8: Japonya'da Hizmet Dışı Kalan Reaktörler**

| Reaktör       | Tip    | Net Kapasite MWe | Tedarikçi | Ticari Çalışma (Ay/Yıl) |
|---------------|--------|------------------|-----------|-------------------------|
| JPDR          | BWR    | 12               | JAERI     | 2/1965 - 3/1976         |
| Tokai 1       | Magnox | 137              | Japco     | 7/1966 - 3/1998         |
| Fugen         | ATR    | 148              | JNC       | 3/1979 - 3/2003         |
| Hamaoka 1     | BWR    | 515              | Chubu     | 3/1976 - 2/2009         |
| Hamaoka 2     | BWR    | 806              | Chubu     | 11/1978 - 2/2009        |
| Fukushima I-1 | BWR    | 439              | Tepco     | 3/1971 - 3/2011         |
| Fukushima I-2 | BWR    | 760              | Tepco     | 7/1974 - 3/2011         |
| Fukushima I-3 | BWR    | 760              | Tepco     | 3/1976 - 3/2011         |
| Fukushima I-4 | BWR    | 760              | Tepco     | 10/1978 - 3/2011        |
| Fukushima I-5 | BWR    | 760              | Tepco     | 4/1978 - 3/2011         |
| Fukushima I-6 | BWR    | 1067             | Tepco     | 10/1979 - 3/2011        |

Kaynak: JAEA, 2013

JAEA reaktörlerin hizmet dışı kalma aşamalarından sorumludur. 2013 yılının Ağustos ayında International Research Institute for Nuclear Decommissioning (IRID) JAEA tarafından kurulmuş olup Fukushima reaktörlerinin saha temizliğinin yapılması sürecinde reaktör üreticilerini bu alana odaklamıştır. JAEA aynı zamanda 4400 çalışanı, 10 tesisi ve yıllık 161 milyar ¥ bütçesiyle (1.7 milyar \$) Ar-Ge faaliyetlerinin yürütülmesinden de sorumludur (JAEA, 2013).

*Uluslararası Görünüm ve İhracat:* Japonya 1990’lara kadar yerel nükleer endüstriye odaklanmış ve bu tarihten sonra ihracat imkanı ve uluslararası ortaklıkları değerlendirmeye başlamıştır. Hitachi, Mitsubishi Heavy Industries (MHI) ve Toshiba gibi firmalar önemli uluslararası firmalarla ortaklık kurmuşlardır. Japonya Steel Works (JSW) gibi dünya çelik lideri 2007 yılında 40 milyar ¥ (330 milyon \$) yatırım yaparak



kapasitesini artırmış ana reaktör parçalarını (reactor pressure vessels, steam generator components, generator & turbine rotor shafts, clad steel plates and turbine casings for nuclear power plants) ihraç etmiştir (WNA, 2014).

Vietnam'ın ikinci nükleer santrali için Japonya Atomic Power Co. ve JINED ile Electricity of Vietnam (EVN) arasında 2010 yılında Ninh Thuan II projesi imzalanmıştır. Son yıllarda imzalanan en önemli proje, Türkiye ile MHI arasında Sinop nükleer santral projesidir. Ayrıca BAE ile nükleer santral ihraç anlaşması imzalamıştır. Hitachi, İngiltere'de Horizon Nuclear Power PLC'yi satın almıştır. Böylece, Wylfa ve Oldbury'da , 4 ile 6 ABWR ünitesi inşa edecektir. Japonya'da nükleer santral operatörleri 120 milyar ¥ (1.4 milyar \$) tutarında risklere karşı finansal güvence vermek zorundadır (JAIF, 2014).

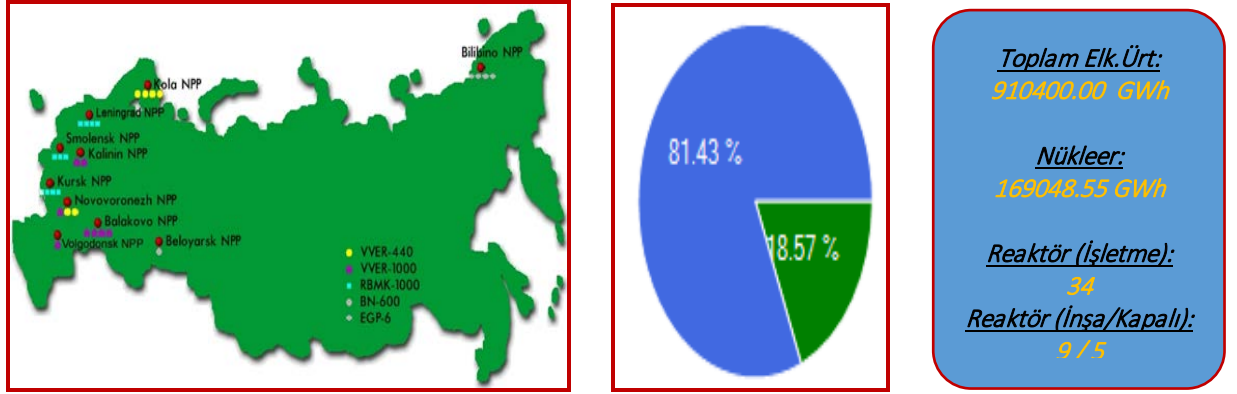
#### **2.4.4. Rusya**

Rusya'nın yüzölçümü 17.075,4 bin km<sup>2</sup> olup iklimi büyük oranda bölgesel farklılıklar göstermektedir. Rusya çok büyük miktarda enerji kaynak çeşitliliğine sahiptir. Ülke GSYH'sının %10'u enerji sektöründen sağlanmaktadır. Rusya, zengin petrol, doğalgaz ve kömür potansiyeline rağmen nükleer enerjiyi barışçıl amaçlarla kullanan ilk ülkedir. 1954 yılında Obninsk nükleer güç santrali ticari amaçlarla elektrik şebekesine enerji vermeye başlamıştır. Son istatistiklere göre Rusya'nın nüfusu yaklaşık 144 milyondur. 2000-2013 yılları arasındaki 13 yıllık dönemde nüfus yıllık ortalama %0,1 azalmıştır. Nüfusun düşmesine rağmen şehirde yaşayan nüfus artış göstermiştir. (IAEA Energy and Economic Database, 2015).

Kişibaşına gelir belirgin bir şekilde artış kaydetmiştir. 2000-2012 yılları arasında yıllık ortalama büyüme oranı % 9 olarak gerçekleşmiştir. Dünyanın ikinci en büyük doğalgaz üreticisi olan Rusya, dünyanın en büyük ikinci doğalgaz rezervine ve yine en büyük ikinci kömür rezervine sahiptir; ham petrolde ise dünyanın en büyük sekizinci rezervi Rusya'dadır. Rusya, aynı zamanda dünyanın en büyük çelik ve ham alüminyum ithalatçısıdır.

Rusya enerji ihracatçısı bir ülke olup işletmedeki nükleer güç santrallerinin konumu, payı ve reaktör sayıları Şekil 2.15'de gösterilmiştir.

Şekil 2.13: Rusya İşletmedeki Nükleer Güç Santrallerinin Konumu, Payı ve Reaktör Sayıları



Kaynak: [www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat/rosstatsite.eng/](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat/rosstatsite.eng/)

Rusya'nın 34 reaktörden oluşan nükleer santraller tipleri aşağıda sıralanmış olup;

- ✓ 4 tane birinci nesil VVER-440 basınçlı su reaktörü,
- ✓ 2 tane ikinci nesil VVER-440 basınçlı su reaktörü,
- ✓ 11 tane tam işlev gören koruma kabına sahip VVER-1000 basınçlı su reaktörü,
- ✓ 12 tane RBMK (kaynar su soğumalı grafit yavaşlatıcılı, Çernobil tipi) reaktör,
- ✓ 4 tane küçük kaynar su soğumalı grafit yavaşlatıcılı reaktör,
- ✓ 1 tane BN-600 hızlı üretken reaktörü şeklindedir.

**Enerji Politikası:** Rusya verimli, çevreci, sürdürülebilir, etkin enerji ve teknoloji gelişimini 2020 hedefleri arasına koymuştur. Gelecek 10-15 yıllık hedefler;

- ✓ Rusya içinde doğalgaz kullanımında verimliliğin ve etkinliğinin artırılması,
- ✓ Hidrokarbon ham maddelerinin işlenmesi ve verimli kullanılmasının artırılması,
- ✓ Kömür kaynaklarının planlı ve verimli kullanılması,
- ✓ Bölgesel ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artması,
- ✓ Ekonomik ve çevreci elektrik üretimi için çalışmalara yoğunlaşılması,
- ✓ Gelişkin teknolojilere sahip nükleer santrallerin kurulması şeklindedir.

Rusya'nın yeni teknolojik enerji politikası, üretimden satışa enerji kaynaklarının etkin, verimli ve ekonomik kullanımı, enerji arzının tek merkezden yönetilmesine son verilmesi, çevreci ve güvenilir enerji arzı, çevreci kömür ve güvenli nükleer santrallerle

yeni güç kaynaklarının etkin şekilde kullanımını içermektedir. Enerji ekonomisi politikaları yatırım faaliyetlerinin teşvik edilmesine yoğunlaşmaktadır.

Rusya'nın birleşik enerji sistemi 3.018 milyon km'yi içeren iletim hatlarıyla, Rus endüstrisi için önemli ekonomik yararlar sağlamaktadır. İletim devlet tekeli ile işletilirken 2008 yılından günümüze üretim sistemlerinin özelleştirilmesi gerçekleştirilmiştir.

Rusya'da elektrik toptan satışı ile ilgili faaliyet gösteren termik santral, nükleer santral, hidroelektrik santral ve diğer üretim santrali sahipleri ile federal iletim şirketi, dağıtım şirketleri ve sistem işleticisi firmalar bulunmaktadır.

Rusya ürettiği elektriği eski SSCB ülkeleri ile Çin, Polonya, Türkiye ve Finlandiya'ya ihraç etmekte, İran, Afganistan ve Pakistan'a da (Tacikistan'da kurulan iki büyük hidroelektrik santralinden) elektrik satmayı planlamaktadır. Rusya'nın iletim hatlarının Batı Avrupa hattına entegre edilmesi planlanmaktadır. Böylelikle, Rusya bu hattaki ülkelere de elektrik satabilecektir. Rusya 2013 yılında 18.4 milyar kWh elektrik ihracatı gerçekleştirmiştir. 1970-2013 enerji tüketimi/üretimi değerleri Tablo 2.9'da verilmiştir. Negatif dışa bağımlılık oranıyla Rusya, enerji ihracatçısı bir ülkedir.

**Tablo 2.9: Yıllara Göre Rusya Enerji Tüketimi/Üretimi, 1970-2013**

|                                              | 1970 | 1980 | 1990  | 2000  | 2005 | 2006 | 2013  |
|----------------------------------------------|------|------|-------|-------|------|------|-------|
| <i>Kişi Başı Enerji Tüketimi (GJ)</i>        | 160  | 250  | 260   | 190   | 214  | 228  | 234   |
| <i>Kişi Başı Elektrik Tüketimi (TWh)</i>     | N/A  | N/A  | 7311  | 5915  | 6544 | 6740 | 7026  |
| <i>Elektrik Tüketimi /Enerji Üretimi (%)</i> | N/A  | N/A  | N/A   | 7,75  | 6,87 | 7,01 | 10,81 |
| <i>Nükleer/Toplam Elektrik (%)</i>           | 0,74 | 6,71 | 10,91 | 15    | 15,7 | 15,7 | 16,79 |
| <i>Dışa Bağımlılık Oranı (%)</i>             | N/A  | N/A  | N/A   | -48,1 | -60  | -58  | -60   |

Kaynak:FSSS, [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/en/main/](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/en/main/) ve <https://cnpp.iaea.org/countryprofiles/Russia/Russia.htm>

Rusya'daki nükleer endüstrinin yapısını şekil 2.16 göstermektedir. Rusya'nın nükleer endüstrisi 250'den fazla kuruluş ile 250.000'den fazla kişinin istihdam edildiği büyük bir endüstridir. Bahsedilen kuruluşlar, yakıt çevrimi, nükleer güç mühendisliği, nükleer silah uygulamaları ve araştırma kuruluşlarını içermektedir.

Rusya'da uranyumun eldesi, dönüşüm ve zenginleştirme işlemleri, yeniden işleme, yakıt üretimi, ekipman üretimi, nükleer santral tasarım, kurulum ve işletmesi ile ilgili mühendislik faaliyetleri ve nükleer enerjiden güç üretimi gerçekleştirilmektedir.

Ayrıca, nükleer santrallerde bakım ve onarım, nitelikli personel yetiştirilmesi, bilimsel araştırma ve tasarım yapma ile ilgili faaliyetler de Rusya’da nükleer endüstrinin faaliyetleri arasındadır.

Şekil 2.14: Rusya’da Nükleer Endüstrinin Yapısı



Kaynak: [www.rosatom.ru/en/about/nuclear\\_industry/Industry\\_structure/](http://www.rosatom.ru/en/about/nuclear_industry/Industry_structure/)

*Santrallerde Lisans Yenileme:* Rusya’da 2011 yılı itibarıyla toplam 8,362 MWe güç üretim kapasitesine sahip 15 santralin lisansları yenilenmiş, bu santrallerin işletme ömürleri yenilenen lisanslarla artmıştır.

*Nükleer Güç Geliştirme Stratejisi:* Rusya’da nükleer güç santrallerinin sayısının artışıdaki amaç, doğalgazın ülke içinde kullanımının azaltılarak doğalgazın daha pahalıya ihraç edilebilecek olmasıdır. Nükleer santrallerden üretilen elektriğin maliyetinin düşüklüğü nedeniyle 2006 yılında Rus hükümeti 2011-2020 yılları arasında her yıl 1,200 MWe gücünde bir nükleer santralin devreye alınmasına karar vermiştir. Böylece, Rusya’da üretilen elektriğin %23’ünün nükleer santrallerden üretilmesi hedeflenmiştir. 2009 yılında Federal Hedef Programı (FTP) çerçevesinde bir federal fonlama oluşturulmuştur. FTP çerçevesinde nükleer enerjiden elektrik üretiminin, toplam üretimde 2030 yılına dek %25-30, 2050 yılına dek %45-50, yüzyılın sonunda %70-80 pay alması hedeflenmiştir. FTP programı 2030 yılına dek VVER teknolojisinin kullanımını içermektedir. Fukushima kazasından sonra 15 milyar Ruble (530 milyon \$) bütçe ile santrallerin güvenlik kontrolleri ve iyileştirmeleri yapılmıştır.

*Proje Bütçelendirilmesi:* 2009 yılının ortasında Rusya hükümeti 2010-2012 yılları arasında 120 milyar Ruble'nin (3.89 milyar \$) yeni nesil santrallerin geliştirilmesi amacıyla araştırma yapılması için harcanmasına karar vermiştir.

*İletim Hatları:* Rusya iletim hattı dünyanın en büyük iletim hattı olarak karmaşıklığına rağmen başarıyla işletilen bir sistemdir. Rusya'nın elektrik iletim hattına Kazakistan, Ukrayna, Moldova, Belarus, Estonya, Latviya, Litvanya, Azerbeycan, Gürcistan ve Finlandiya hatları dahildir.

*Sosyal Kabul:* Rusya'da 2013 yılında yapılan bir araştırmaya göre Rus halkının %71.5'i nükleer güç ile ilgili yaşanan gelişmeleri desteklemektedir.

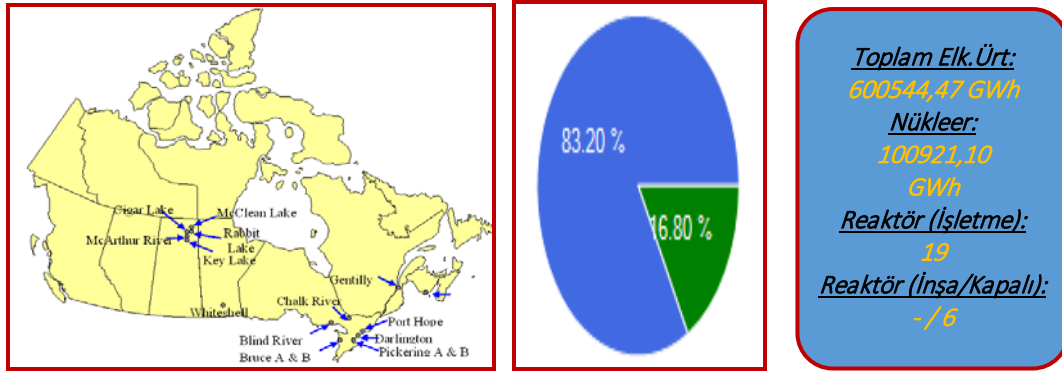
*Yakıt ve Atık Yönetimi:* Yukarıda bahsedildiği gibi Rusya'da yakıt yönetiminin tüm aşamaları gerçekleştirilebilmektedir. (Uranyum madenciliği ve eldesi, dönüştürme, zenginleştirme, yakıt imalatı ve yeniden işleme)

*Gelişkin Teknolojiler ve İnsan Kaynakları Geliştirilmesi:* Rusya'da daha güvenli orta ve büyük güçte santrallerin tasarımı yanında küçük ve dördüncü nesil santral tasarımı ve bunlarla ilgili teknolojilerin geliştirilmesi devam etmektedir. Rusya'da her yıl yaklaşık 30.000 kişi tüm seviyelerde (iş başı eğitiminden doktora) eğitim almaktadır. Eğitimde ülkemiz de dahil olmak üzere, farklı ülkelerle eğitim işbirliği anlaşmaları bulunmaktadır.

#### **2.4.5. Kanada**

Kanada 10 milyon km<sup>2</sup> yüzölçümüyle dünyanın en büyük ikinci ülkesidir. İklimsel olarak sert kışları ve ılık yazları içeren Kanada'da, ısınma ve taşımacılık için güvenilir enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Nüfusu yaklaşık 33 milyon kişi olan Kanada'da 2000-2008 yılları arasında nüfus artışı % 1 oranında gerçekleşmiştir. Nüfusun %80'inin şehirlerde yaşadığı Kanada'da, 2000-2008 yılları arasında GSYH ortalama %1.9 artmıştır. Kanada nükleer enerji görünümü ise Şekil 2.17'de yer almakta olup işletilmekte olan 19 nükleer reaktör, toplam elektrik üretiminin % 16,80'nini sağlamaktadır.

**Şekil 2.17: Kanada İşletmedeki Nükleer Güç Santrallerinin Konumu, Payı ve Reaktör Sayıları**



Kaynak: PRIS, <https://cnpp.iaea.org/countryprofiles/Canada/Canada.htm>

Kanada'nın enerji politikası arz, talep, fiyat ve ticaretin rekabetçi bir piyasa ortamında gerçekleşmesi ile enerji üretim ve kullanımının çevreyi koruyacak yöntemlerle yapılmasına dayanır. Kanada güvenilir enerjiye yoğun ihtiyaç duyulan bir ülkedir ve halihazırdaki enerji politikası;

- ✓ Daha temiz fosil yakıt uygulamaları ve alternatifleri,
- ✓ Yenilenebilir enerji kullanımının ve temiz enerji üretiminin artırılması,
- ✓ Enerji verimliliğinin artırılması üzerine odaklıdır.

Kanada dünyanın en büyük 6'ncı elektrik üreticisidir. Hidroelektrik, doğalgaz, petrol, kömür, nükleer, rüzgar ve diğer tip yenilenebilir enerji temelli elektrik üretiminde dünyada en çok çeşitliliğe sahip ülkelerden birisi Kanada'dır. Kanada ekonomisinde elektriksel güç endüstrisinin büyük önemi vardır. 2007 yılında 76 binden fazla işçi endüstride direkt istihdam etmiştir. Kanada'nın elektrik endüstrisinden toplam geliri yaklaşık 52 milyar dolardır. Bunun yaklaşık 2,1 milyon doları ihracat gelirlerinden oluşur. Kanada'da enerji tüketimi/üretimi Tablo 2.10'da yer almaktadır.

**Tablo 2.10: Yıllara Göre Kanada Enerji Tüketimi/Üretimi, 1980-2009**

|                                       |          |          |          |          |          | Yıllık Ortalama<br>Büyüme Oranı % |             |
|---------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------------------------------|-------------|
|                                       | 1980     | 1990     | 2000     | 2005     | 2009     | 1980 - 2000                       | 2000 - 2009 |
| Kişi Başına Enerji Tüketimi (GJ)      | 336.2    | 333.0    | 359.2    | 378.0    | 339.5    | 0.33                              | -0.62       |
| Kişi Başı Elektrik Tüketimi (KW.h/)   | 15,350.6 | 17,406.6 | 19,732.6 | 19,378.1 | 17,878.9 | 1.26                              | -1.09       |
| Nükleer/Toplam Elektrik (%)           | 10.2     | 15.1     | 12.0     | 14.7     | 15.0     | 0.83                              | 2.48        |
| Yıllık Kapasite Faktörü - Genel (%)   | 52.6     | 52.8     | 62.1     | 58.2     | 52.4     | 0.84                              | -1.87       |
| Yıllık Kapasite Faktörü - Termal (%)  | 34.6     | 41.1     | 59.8     | 52.4     | 41.5     | 2.78                              | -3.97       |
| Yıllık Kapasite Faktörü - Hidro (%)   | 60.5     | 57.1     | 60.7     | 57.7     | 55.3     | 0.02                              | -1.03       |
| Yıllık Kapasite Faktörü - Nükleer (%) | 74.9     | 61.5     | 78.3     | 78.7     | 77.3     | 0.22                              | -0.13       |

Kaynak: <https://cnpp.iaea.org/countryprofiles/Canada/Canada.htm>

*Genel Bakış:* Kanada İkinci Dünya Savaşı'nın ardından kendi nükleer santral teknolojisini geliştirmiştir. CANDU olarak adlandırılan santrallerin reaktörleri basınçlı su reaktörleridir, yakıtı zenginleştirilmemiş doğal uranyum olan CANDU'ların soğutucu ve yavaşlatıcısı ağır sudur. CANDU reaktörleri Kanada dışında da kurulmuştur ve Kanada'nın elektrik ihtiyacının %15'i CANDU'lar tarafından karşılanmaktadır.

Kanada 2013 yılında 652 Milyar kWh elektrik üretmiştir ve bunun 102,8 Milyar kWh (%15,8)'i nükleer enerjiden sağlanmıştır. Kalan elektrik üretiminin (%60) hidrolik elektrik santrallerden geriye kalan ise kömür ve doğalgazdan sağlanmıştır. Yıllık elektrik kullanımı yaklaşık kişi başına 15,000 kWh olup dünyanın en yüksek seviyelerinden biridir. 2013 yılında ABD'ye net ihracat 52 milyar kWh'tir (WNA, 2016).

Kanada enerji araştırma enstitüsü tarafından yapılan bir çalışmaya göre nükleer reaktörler her yıl GSYH'ya 6.6 milyar dolar katkı sağlamaktadır. Bunun 1.5 milyar doları devlet gelirlerinden ve 1.2 milyar doları ihracat gelirlerinden sağlanmaktadır. Nükleer enerji endüstrisinde 20.000 doğrudan, 10.000 dolaylı, 40.000 alt yükleniciler ve diğer olmak üzere yaklaşık 80.000 kişi istihdam edilmektedir. 1952-2006 yılları arasında Kanada Nükleer Programı çerçevesinde 13,26 milyar Kanada Doları yatırım yapılmaktadır (WNA, 2016).

*Nükleer Yakıt Yönetimi:* Kanada nükleer endüstrisinde nükleer santral inşaatı, bakımı, atık yönetimi ve hizmetten çıkarmanın yanında, tüm yakıt ve atık yönetimi aşamaları gerçekleştirilmektedir.

*Uranyum Madenciliği ve Eldesi:* 2008 yılında Kanada'da uranyum üretimi 9,000 ton olarak gerçekleşmiştir. Bu, dünyadaki yıllık tüketimin beşte birinden fazladır.

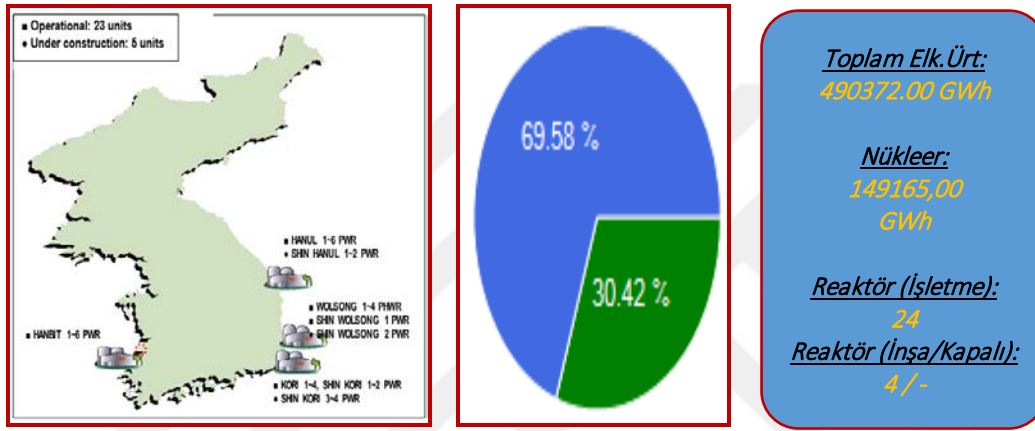
*Radyoaktif Atık Yönetimi:* Kanada Hükümeti'nin 2006'da açıkladığı 70 yıllık atık stratejisinin maliyetinin 7 milyar Kanada doları olacağı tahmin edilmektedir.

*İleri Nükleer Teknoloji Çalışmaları:* Kanada'da 3. ve 3+ nesil reaktör teknolojilerinin geliştirilmesine çalışılmaktadır. Geliştirilme çalışmaları santral güvenliğinin artırılması ile ilgilidir.

#### 2.4.6. G.Kore

Bir yarımada olan G.Kore karasal iklime sahip olup kuru ve çok soğuk kış ile çok sıcak ve nemli yaz egemendir (Korea Meteorological Administration [www.kma.go.kr](http://www.kma.go.kr)). 2010 yılında nüfus yaklaşık 49 milyon kişi olup nüfusun %82,1'i şehirlerde yaşamaktadır. 2011 yılı GSYH 1.114.700 milyon \$'dır. (Korea Energy Statistics Information System, <http://www.kesis.net/>). 24 reaktörün işletildiği G.Kore'nin nükleer enerji görünümü Şekil 2.18'de olup elektrik üretiminde nükleerin payı %30,42'dir.

Şekil 2.18: G.Kore İşletmedeki Nükleer Güç Santrallerinin Konumu, Payı ve Reaktör Sayıları



Kaynak: PRIS ve IAEA, <https://cnpp.iaea.org/countryprofiles/KoreaRepublicof/KoreaRepublicof.htm>

**Enerji politikası:** G.Kore hükümeti 2008 yılında 2030 yılı için uzun dönem enerji stratejisi belirlemiştir. Enerji güvenliği, ekonomik etkinlik ve çevresel etkiler göz önünde bulundurularak oluşturulan strateji:

- ✓ Enerji verimliliğinin artırılması ve enerji tüketiminin azaltılması, (Böylece enerji tüketiminin 42 Mtep olması beklenmektedir)
- ✓ Fosil yakıt tüketiminin azaltılması, yenilenebilir enerji payının %11'e çekilmesi,
- ✓ Yeşil enerji endüstrisinin kurulması şeklindeki adımları içerir.

Nükleer teknoloji ve endüstri alanında küresel liderliği amaçlayan G.Kore, 2012-2016 planına göre; halkın nükleer endüstriye desteğinin arttırılması, uluslararası güvenilirliğin artması, nükleer ihracatın artması, radyasyon teknolojilerinin geliştirilmesi, nükleer enerji kullanımının artması ve sürdürülebilir nükleer kullanımın oluşturulmasını hedeflemektedir. Enerjide arz güvenliği, nükleer altyapının



oluşturulması, halkın nükleer teknolojiye güveninin arttırılması ve nükleer enerjinin barışçıl amaçlarla kullanılması bu amaçların uygulama alanlarını içermektedir.

Ministry of Trade, Industry & Energy (MOTIE), Kore elektrik politikasının geliştirilmesinden sorumludur.

The Nuclear Safety and Security Commission (NSSC), nükleer güvenlik ve düzenlemelerden sorumludur. Nükleer sektör politikasının oluşturulmasından da aynı zamanda sorumludur. 2013-2027 arası dönemi kapsayan 6'ncı planlı dönemin ana maddeleri;

- ✓ Ekonomik elektrik arz sistemini kurmak için temel üretim tesislerini yavaşça geliştirmek,
- ✓ Ulusal sera gazı salımını önemli oranda düşürmek için çevre dostu güç arzını oluşturmak,
- ✓ Arz ve talep görünümündeki belirsizlikleri minimize etmek şeklindedir.

*Dağıtım:* 2013 yılında Güney Kore 442.641 km uzunluğunda elektrik iletim hattına sahip olup elektrik kaybı %3,69'dır (KEPCO, 2014).

1970-2009 yılları G.Kore enerji tüketimi/üretimi Tablo 2.11'de yer almaktadır.

**Tablo 2.11: Yıllara Göre G.Kore Enerji Tüketimi/Üretimi, 1970-2009**

|                                              | 1970  | 1980  | 1990  | 2000   | 2005   | 2009   |
|----------------------------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| <i>Kişi Başı Enerji Tüketimi (GJ)</i>        | 25.24 | 48.15 | 90.85 | 170.82 | 198.87 | 208.92 |
| <i>Kişi Başı Elektrik Tüketimi (kWh)</i>     | 240   | 859   | 2,206 | 5,067  | 6,883  | 8,092  |
| <i>Elektrik Tüketimi /Enerji Üretimi (%)</i> | 7.68  | 27.36 | 99.11 | 175.47 | 179.21 | 232.29 |
| <i>Nükleer/Toplam Elektrik (%)</i>           | 0.00  | 9.34  | 49.12 | 40.90  | 40.25  | 34.08  |
| <i>Dışa Bağımlılık Oranı (%)</i>             | 47.56 | 73.37 | 87.95 | 97.15  | 96.66  | 96.50  |

Kaynak: Korea Energy Economics Institute, (2010),<http://www.kesis.net/>

*Genel Bakış:* 1957 yılında IAEA üyesi olmasıyla G.Kore'nin nükleer faaliyetleri başlamıştır. G.Kore'de nükleer program, sanayileşme hamlesiyle paralel olarak kararlılıkla yürütülmüştür.

Kore'nin yerli teknolojisi ile kurulan ilk nükleer santrali 1998'de devreye alınmıştır. Kore'de, Kore Standart Nükleer Santrali olan OPR-1000 santrallerinin 8 tanesi inşa edilmiştir. OPR-1000 santrallerinin üçüncü nesil tasarımları olan APR-1400 santralleri hem Kore'de hem de Birleşik Arap Emirlikleri'nde inşa halindedir.

İşletmedeki bir nükleer santralin lisans yenileme periyodu halihazırdaki uygulama ve yasal çerçeveye göre 10 yıldır. Her 10 yılda bir düzenli olarak kontrollerin yapılması ve nükleer santral lisansının onaylanması zorunludur. 6'ncı uzun dönem elektrik arz ve talep temel planına göre 10 yeni nükleer ünitenin 2024 yılına kadar yapımı tamamlanacaktır. APR1400 tipi LWR 3'üncü nesil reaktörün OPR1000 tipi reaktörden 10 kez daha emniyetli olması beklenmektedir. Ekonomik fayda açısından termik santraller veya var olan nükleer santrallerden daha rekabetçi olacaktır. G.Kore'nin 1985 yılında kendi kendine yeterlilik ulusal politikası nirengi olarak belirlenmiş ve ulusal nükleer organizasyonun gelişmesine büyük katkı sağlamıştır. Ayrıca, G.Kore nükleer enerji santrallerinin hizmetten çıkarılma sürecini göz önüne alarak 1983 yılından beri fon biriktirmektedir. G.Kore'nin nükleer yakıt çevirim hizmetleri talebi nükleer güç kapasitesinin genişlemesine bağlı olarak artmaktadır. G.Kore 2012'de Avustralya, Kanada, Fransa, Almanya, Kazakistan, Rusya, Nijerya ve ABD'den uranyum konsantresi ithal etmektedir. Kanada, Fransa, Almanya, Japonya ve ABD'den çevrim hizmetleri Fransa, Rusya, İngiltere ve ABD'den zenginleştirme hizmeti ithal etmektedir. Kullanılmış yakıtlar ise kendi santrallerinin kullanılmış yakıt depolama tesislerinde depolanmaktadır.

*Gelişkin Nükleer Reaktör Teknolojisinin Geliştirilmesi:* Ulusal Ar-Ge programı 5 araştırma alanına odaklanmıştır: Bunlar, gelişkin reaktör ve yakıt; nükleer güvenlik; radyoaktif atık yönetimi; radyasyon ve radyoizotop uygulamaları ile temel teknolojiler şeklindedir.

G.Kore'de KNY yönetiminde “bekle ve gör” politikasını benimsemiş olsa da KNY yönetimi için farklı çalışmalar yapılmaktadır. Radyasyon ve radyoizotop üretimi için farklı araştırma projeleri yürütülmektedir. Bu çalışmalar, tıp, ziraat, gıda ve endüstri alanlarında yapılmaktadır.

Yüksek nükleer standartlar sayesinde G.Kore nükleer kurulu güç kapasitesiyle dünyanın beşinci ülkesi konumundadır. Nükleer teknolojiyi ihraç eden Kore, Ürdün'de bir araştırma reaktörü, BAE'de nükleer güç santrali inşa etmektedir.

G.Kore nükleer enerji konusunda yerel halka, gelecek nesile ve gençlere pozitif farkındalık oluşturmak amacıyla, medya, online programlar ve toplu iletişim araçlarıyla, sempozyum, seminer gibi faaliyetlere ilave olarak ikili ilişkilerle nükleer santral gezi programları düzenlemektedir. G.Kore'de haftada yaklaşık 147 bin kişi internet

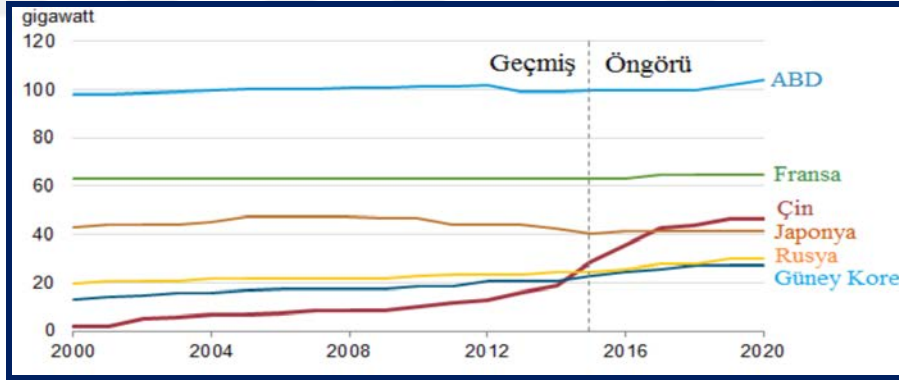
üzerinden online olmak üzere ve yılda 467 bin kişi nükleer tesisleri gezdirilerek nükleer kültür oluşturulmaya çalışılmaktadır.

#### 2.4.7. Çin

Çin'in yüzölçümü 9 561 000 km<sup>2</sup> olup zengin kömür ve su kaynaklarına sahiptir. ortalama sıcaklık 9.4 °C'dir. 2012 yılı nüfus sayımına göre ülkenin nüfusu yaklaşık 1.354.040.000 olup 711,82 milyon kişi şehirlerde yaşamaktadır. 2012 yılında GSYH yaklaşık 8.35 trilyon \$ olup 1978 yılına göre 18 kat artmıştır. Dünyanın 2. büyük ekonomisi olan Çin'in 2002-2012 arasında yıllık ortalama büyüme oranı % 17,6 olarak gerçekleşmiştir. Çin primary enerjide 3.108 milyar ton eşidi kömür üretimiyle dünyanın en büyük enerji üreticisidir. Ülkenin etkin yakıtı olan kömür üretim ve tüketimi en üst seviyededir. Çin aynı zamanda dünyanın 2. en büyük petrol ürünleri tüketicisidir.

Çin'in 2020 yılında nükleer enerji üretim kapasitesine göre G.Kore, Rusya ve Japonya'yı geçerek dünyanın üçüncü büyük nükleer enerji üreticisi olacağı öngörülmektedir.(Şekil 2.19)

Şekil 2.19: Nükleer Enerji Üretim Kapasitesi: İlk 6 Ülke (2000-2020)

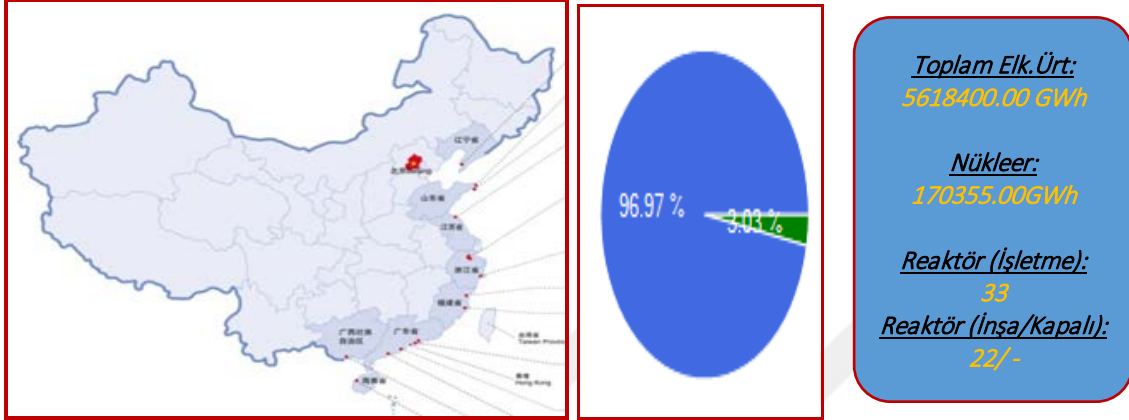


**Kaynak:** U.S. Energy Information Administration, International Atomic Energy Agency, World Nuclear Association

Çin 2020'ye kadar toplam enerji tüketiminin %15'ini ve 2030'a kadar %20'sini fosil olmayan nükleer, hidro ve diğer yenilenebilir kaynaklardan sağlamayı, karbondioksit salımını azaltmayı hedeflemektedir. Ayrıca, Çin Asya'da nükleer enerji üretiminde lider ülke konumuna gelecektir. Çin nükleer arz zincirinin tamamına sahip olmayı planlamaktadır. 2017 yılına kadar nükleer yakıt yeniden işleme tesislerini hizmete almayı planlamıştır. Reaktör teknolojisinin tamamını ithal eden Çin, ABD

Westinghouse tabanlı teknoloji transferiyle tasarım sürecindedir. Ayrıca, nükleer genişleme programı kapsamında kendi reaktörlerinin yapımı ve ihracatı hususunda 2014'de bir takım anlaşmalar imzalamıştır (Dunn, 2014). 33 reaktörle elektrik üretiminin %3,03'ü nükleerden sağlanan Çin'de 22 reaktör inşa halindedir. (Şekil 2.20)

**Şekil 2.20: Çin İşletmedeki Nükleer Güç Santrallerinin Konumu, Payı ve Reaktör Sayıları**



Kaynak: EIA, [www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=22132](http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=22132)

Çin nükleer santrallerinin tamamı enerji talebine göre güney ve doğu kıyılarında konuşlandırılmıştır. Fukushima kazası sonrasında reaktör yapımında daha da dikkatlidir.

**Enerji Politikası:** Çin'in enerji politikası öncelik tasarrufa verilmek üzere, yerli kaynakların kullanımı, enerji üretiminde çeşitliliğin sağlanması, teknolojiye yenileşimcilik, çevrenin korunması, reformların sürdürülmesi, uluslararası işbirliklerinin sağlanmasına dayandırılmaktadır ve sürdürülebilir sosyo-ekonomik kalkınma için sürdürülebilir enerjinin sağlanmasını amaçlamaktadır.

Çin'de elektrik üretim sistemleri oldukça çeşitlidir. Çin'de hidroelektrik, rüzgar, nükleer ve kömür yakıtlı termik santraller bulunmaktadır.

**Elektrik Sektörünün Yapısı:** Çin'de enerji yönetimi ve elektrik sektörü ile ilgili düzenlemeleri yapan iki kurum bulunmaktadır. Bu kurumlar, elektrik üretim ve iletimi ile ilgili izleme ve yönetme faaliyetlerini yürütmektedirler.

Çin'de beş büyük elektrik üretim firması vardır. Bu firmaların yanında, nükleer santrallere ortak olan farklı firmalar da mevcuttur. Elektrik iletimi faaliyetleri iki firma tarafından yürütülmektedir. Ayrıca dört Çin firması elektrik sektöründe danışmanlık ve mühendislik hizmeti vermektedir.

**Ana Göstergeler:** Çin'de elektriğin büyük kısmı termik santrallerden üretilmektedir. Hidroelektrik santraller elektrik üretiminde ikinci büyük paya sahipken,

Tablo 2.12’de görüldüğü üzere, 2005-2011 yılları arasında nükleer santrallerin elektrik üretimindeki payı yaklaşık % 2 civarındadır.

**Tablo 2.12: Yıllara Göre Çin Enerji Tüketimi/Üretimi, 1980-2011**

|                                              | 1980   | 1990   | 2000    | 2005    | 2011    |
|----------------------------------------------|--------|--------|---------|---------|---------|
| <i>Kişi Başı Enerji Tüketimi (GJ)</i>        | 17.97  | 25.44  | 33.75   | 52.98   | 75.78   |
| <i>Kişi Başı Elektrik Tüketimi (kWh)</i>     | 306.00 | 549.00 | 1067.00 | 1913.00 | 3497.00 |
| <i>Elektrik Tüketimi /Enerji Üretimi (%)</i> | 4.72   | 6.00   | 9.98    | 11.53   | 14.78   |
| <i>Nükleer/Toplam Elektrik (%)</i>           | 0      | 0      | 1.24    | 2.13    | 1.84    |
| <i>Dışa Bağımlılık Oranı (%)</i>             | --     | --     | --      | --      | --      |

Kaynak: <https://cnpp.iaea.org/countryprofiles/China/China.htm>

Çin’de nükleer enerjinin barışçıl amaçla elektrik üretiminde kullanılması kararı 1970 yılında verilmiştir. Nükleer santralden ilk elektrik üretimi 1991 yılında başlamıştır ve 1994’de teknolojisi Fransa’dan ithal iki nükleer santral ünitesi işletmeye alınmıştır. “Nükleer güç kullanımını hızla arttırmayı” hedefleyen Çin’de 2005-2020 yıllarını kapsayacak orta-uzun dönem nükleer güç kalkınma planı yapılmıştır. Fukushima kazasının ardından güvenlik kontrolleri ve denetimleri yeniden yapılandırılmıştır.

Çin’de yürürlüğe konan nükleer güç planları 2020 yılına kadar 58 GW gücünde nükleer santral ünitesi yapılmasını içermektedir ve bunun 30 GW’lık kısmını oluşturacak ünitelerin kurulumu sürmektedir. Üçüncü nesil santrallerin geliştirilmesi ile ilgili Ar-Ge faaliyetlerinin yürütülmesi, teknoloji geliştirilmesi ve transferi çalışmaları sürmektedir.

**Yakıt ve Atık Yönetimi:** Çin uranyum kaynakları açısından oldukça zengindir. Oldukça agresif bir nükleer santral programına sahip olan Çin’de, yakıt üretiminin tüm aşamaları yapılmaktadır (tüm reaktör tiplerine uygun yakıt ve yakıt demetleri üretilmektedir) ve yeniden işleme için pilot tesis kurulmuştur. Çin orta ve düşük seviyeli atıkların bertarafı için uygun depolama projelerini tamamlamıştır. Yüksek seviyeli atıkların tasfiyesi için çalışmalar sürmektedir.

**Teknolojik Gelişmeler:** Çin nükleer teknolojiye sahip diğer ülkelere göre nükleer projelerini oldukça geç başlatmış olsa da, ABD’de tasarlanmış olan AP-1000 basınçlı su reaktörlerinin teknolojisinin ileriye götürülmesiyle ortaya çıkan 3+ nesil Çin basınçlı reaktörünün yanısıra (CAP-1400) gaz soğutmalı, hızlı üretken, mobil (özellikle gemiler

için) 4. nesil, 4. nesil ötesi hareketli dalga reaktörü gibi oldukça yeni teknolojilerde de çalışmalar yapan bir ülke haline gelmiştir.

*Sosyal Kaygılar ve Kamuoyu Kabulü:* Çin’de Tianwan nükleer santralinin 30 km yarıçapında bir bölgede yaşayan 18 yaş üstü 1.656 seçkin kişinin katılımıyla, bağımlı değişkenler ve farklı faktörler arasındaki ilişkiyi anlamak için korelasyon analizi ve her alt grup arasındaki farklılığı mukayese etmek için çoklu regresyon analizi kullanılarak yapılan araştırmada; nükleer santral kabulü ve farkındalığının yüksek olmadığı, cinsiyet, yaş, medeni durum, eğitim seviyesi, yerleşim ve ailenin geliri önemli faktörler olarak belirlenmiştir (Yu vd, 2012).

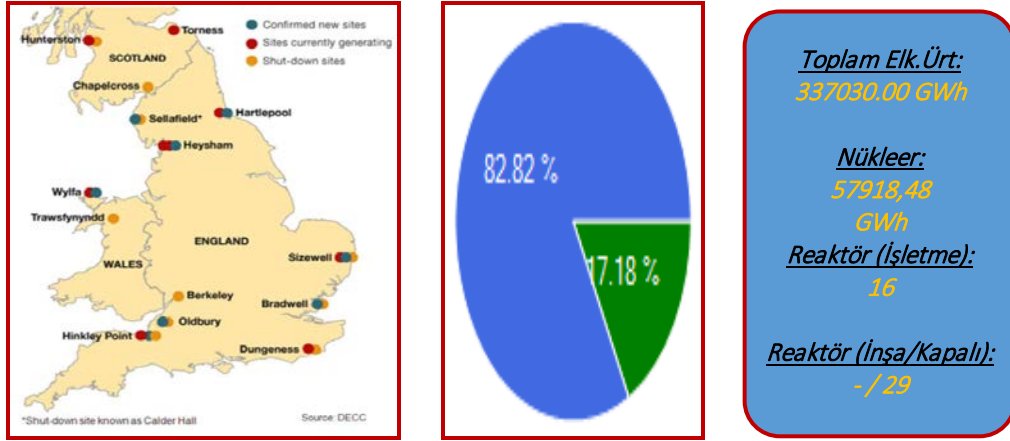
#### **2.4.8. Diğer Ülkeler**

IAEA, IEA, WNA ve PRIS (2015) verilerine göre Almanya, İngiltere, Arjantin, Meksika, Slovakya, Ermenistan, Çek Cumhuriyeti, İran, Slovenya, Ukrayna, İtalya, Hollanda, Bulgaristan, Macaristan, Litvanya, Romanya ve Hindistan incelenmiştir.

Endonezya, Türkiye, Fas, Bangladeş, Mısır, BAE, Belarus, Nijerya, Ürdün, Filipinler, Vietnam, Gana, Polonya, Suriye, Kuveyt, Tayland, Şili ve Tunus gibi ülkeler nükleer santrale sahip değildirler, fakat elde etmek için çalışmalar başlatılmıştır. İran hariç hiçbir müslüman yoğun ülkede nükleer santral yoktur. Türkiye Mersin ve Sinop projeleriyle diğer Müslüman ülkelere öncü olmaktadır.

*İngiltere:* 16 nükleer reaktör işletmede olup 29 adet reaktör kapalı durumdadır. Toplam elektrik üretimi 337030,00 GWh olup nükleer enerji üretimi 57918,48 GWh’tir. Toplam elektrik üretimi içerisindeki nükleerin payı % 17,18 olup nükleer denizaltıya ve nükleer itki teknolojisine sahip olan ülkelerden biridir. Ülkede nükleer enerji ilk olarak 27 Ağustos 1956 tarihinde şebekeye aktarılmıştır. Kişi başına elektrik enerjisi tüketimi 2010 yılında 5413 kWh’tir. İngiltere nükleer enerji görünümü Şekil 2.21’de yer almaktadır.

Şekil 2.21: İngiltere İşletmedeki Nükleer Güç Santrallerinin Konumu, Payı ve Reaktör Sayıları



Kaynak: PRIS ve IAEA, <https://cnpp.iaea.org/countryprofiles/UnitedKingdom/UnitedKingdom.htm>

İngiltere'nin iklim özellikleri hafif kışlar ve ılık yazları içermektedir. Yıllık ortalama sıcaklık kuzeyde 8,5°C güneyde 11°C'dir. İngiltere nüfus bakımından Avrupa'nın üçüncü, dünyanın yirmi ikinci en büyük ülkesidir (World Bank, 2015).

**Enerji Politikası:** İngiltere enerji politikası sera gazı emisyonlarının 2050 yılına dek %80 azaltılmasını ve enerji üretiminin %15'ini yenilenebilir enerjiden elde edilmesini hedeflemektedir. Enerji üretim altyapısının oluşturulmasında ve elektrik üretim sektöründe özel şirketlerin lider rolü üstlenmesi desteklenmektedir.

İstihdamın artması (inşaatlarda 5000, işletmede 1000 kişinin çalışacağı değerlendirilerek) ve elektriğin ucuz üretilmesi için 20 milyar EUR harcanarak nükleer santraller yapılması da İngiltere'nin enerji politikası hedeflerindendir.

İngiltere'de 2010 yılında enerji sektörünün GSYH içinde oranı %3,4 olmuştur (bu oran 1980'li yıllarda en yüksek değeri alarak %10,4 olmuştur). İngiltere'de katma değer yılda ortalama %1,9 artmıştır ve bu nedenle ekonomideki genişlemede enerji sektörünün payı daha düşük seviyede kalmıştır.

**Nükleer Güç Geliştirme Stratejisi:** İngiltere hükümeti yeni nükleer santrallerin yapılması için gerekli düzenlemeleri yapmış ve özel sektör 16 GW gücünde santrallerin kurulması için yatırım yapmaya karar vermiştir. 2023 yılında ilk ünitenin elektrik üretimine başlaması planlanmıştır. Yeni nükleer santrallerin kurulmasının maliyetinin 75 milyar pound olması beklenmektedir.

**Nükleer Santrallerin Hizmetten Çıkarılması ile İlgili Kurumlar:** İngiltere'de ömrünü tamamlayan nükleer santrallerin hizmetten çıkarılması ve santral sahalarının

temizlenmesi çalışmaları yoğun olarak sürmektedir. Santralin sökülmesi, ortaya çıkan atıkların bertarafı ve sahanın temizlenmesi İngiltere'nin yeni nükleer santral projeleri ile birlikte yürütülmektedir.

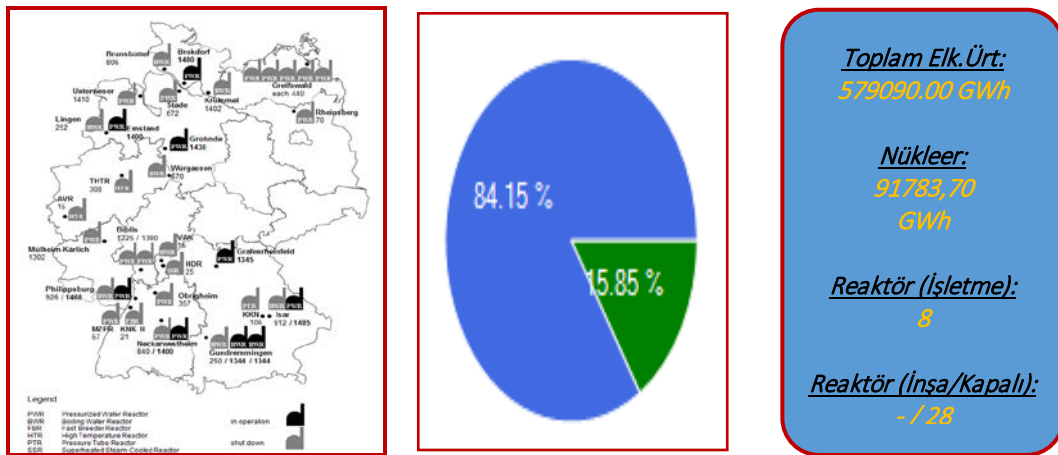
*Yakıt ve Atık Yönetimi:* Uranyum madenciliği ve uranyum eldesi dışında İngiltere'de yakıt üretiminin tüm aşamaları gerçekleştirilebilmektedir.

*Araştırma ve Geliştirme Kurumları:* 2010/2011 ve 2011/2012 yıllarında İngiltere hükümetinin nükleer araştırma ve geliştirmeye ayırdığı bütçe 66 milyon pound'dur. Bu bütçe, ulusal projeler yanında uluslararası projelere dahil olmak için de (Uluslararası Jules Horowitz Araştırma Reaktörü projesi gibi) oluşturulmuştur. İngiltere'de araştırma ve geliştirme için yılda 11.7 milyon pound harcanmaktadır.

*İleri Reaktör Teknolojilerinin Geliştirilmesi:* 2050 yılına dek nükleer Ar-Ge faaliyetleri planlanmış ve 2008 yılında yetenek ve yeterliliklerin geliştirilmesi için 40 milyon pound bir bütçe hazırlanmıştır.

*Almanya;* 8 adet nükleer reaktör işletmede olup 28 adet reaktör tamamen kapalı durumdadır. Toplam elektrik üretimi 579090,00 GWh olup nükleer enerji üretimi 91783,70 GWh'tir. Toplam elektrik üretimi içerisindeki nükleerin payı % 15,85 olup ülkede nükleer enerji ilk olarak 17 Haziran 1961 tarihinde şebekeye aktarılmıştır. Kişi başına elektrik enerjisi tüketimi 2012 yılında 7535 kWh olup dışa bağımlılık oranı %60,5 seviyesindedir. Almanya nükleer enerji görünümü Şekil 2.22'de yer almaktadır.

**Şekil 2.22: Almanya İşletmedeki Nükleer Güç Santrallerinin Konumu, Payı ve Reaktör Sayıları**



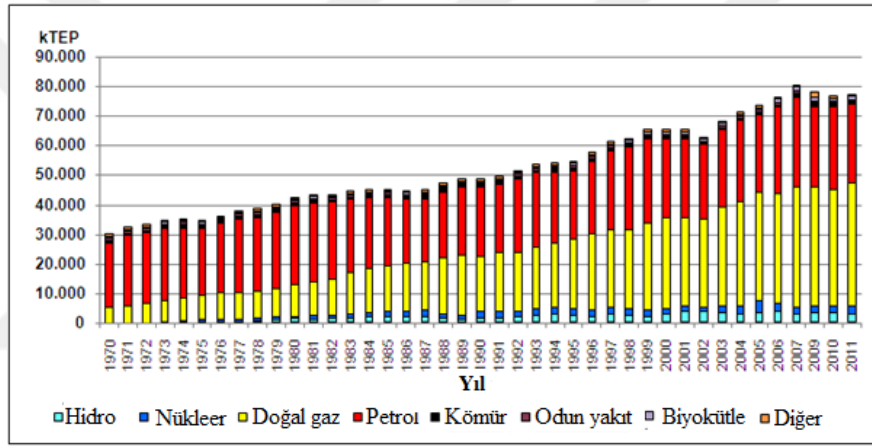
Kaynak: PRIS ve IAEA, <https://cnpp.iaea.org/countryprofiles/Germany/Germany.htm>



*Arjantin:* Yüzölçümü 3.761.274 km<sup>2</sup> olup 4 çeşit ana iklim vardır; serin, ılık, kurak ve soğuk. 2010 yılı nüfus sayımına göre toplam nüfusu 40.117.096 olup nüfusun yaklaşık %91.4'ü şehirlerde yaşamaktadır. Kişibaşına gelir 2012'de 17.516 \$ olup 2000'den 2012'ye büyüme oranı 5,5'dir. Ülke petrol, doğal gaz, kömür ve uranyum gibi doğal kaynaklara sahiptir.

Arjantin'de 1972-2012 dönemi primary enerji kaynakları arasında doğalgazın petrolün yerini aldığı şekil 2.23'de belirgin şekilde görülmektedir. Diğer dikkate değer değişiklik hidroelektrik ve nükleer arasındaki ilişkidir. Temel enerji politikası, güç üretim matrisinde nükleer, hidroelektrik ve yenilenebilir enerji katkısıyla arz çeşitliliğini sağlamaktır.

**Şekil 2.23: Arjantin Primary Enerji Kaynakları (1970-2012)**



Kaynak: <https://cnpp.iaea.org/countryprofiles/Argentina/Argentina.htm>

Arjantin'in kişi başına elektrik tüketimi 2.872,23 kWh, dışa bağımlılık oranı % 11,47 olup toplam elektrik üretiminde nükleerin payı % 4.70 seviyesindedir.

*Hindistan:* 21 nükleer reaktör işletmede olup 6 adet reaktör yapım aşamasındadır. Toplam elektrik üretimi 941413.96 GWh olup nükleer enerji üretimi 33231.88 GWh'tir. Toplam elektrik üretimi içerisindeki nükleerin payı % 3,53 olup nükleer denizaltıya sahip olan ülkelerden biridir. Ülkede nükleer enerji ilk olarak 01 Nisan 1969 tarihinde şebekeye aktarılmıştır. Nükleer reaktör kapasitelerinin genel olarak düşük olması dikkat çekici bir husustur. Kişi başına elektrik enerjisi tüketimi 2009 yılında 778,5 kWh olup değişim oranı 1980-2000 yılları arasında % 5.98, 2000-2009 arası %3.88 olarak gerçekleşmiştir.

*Brezilya:* 2 nükleer reaktör işletmede olup 1 adet reaktör yapım aşamasındadır. Toplam elektrik üretimi 537925.88 GWh olup nükleer enerji üretimi 15385,00 GWh'tir. Toplam elektrik üretimi içerisindeki nükleerin payı % 2,86 olup nükleer denizaltıya sahip olan ülkelerden biridir. Ülkede nükleer enerji ilk olarak 01 Nisan 1982 tarihinde şebekeye aktarılmıştır. Nükleer reaktör kapasitelerinin genel olarak düşük olması dikkat çekici bir husustur. Kişi başına elektrik enerjisi tüketimi 2011 yılında 2770 kWh olup değişim oranı 2006-2011 yılları arasında % 3,79 olarak gerçekleşmiştir. Enerjide dışa bağımlılık oranı ise % 8,55 seviyesindedir (Brazilian Ministry of Mines and Energy, 2012).

*Meksika:* 2 nükleer reaktör işletmededir. Ülkenin toplam elektrik üretimi 165066,92 GWh olup nükleer enerji üretimi 9311,61 GWh'tir. Toplam elektrik üretimi içerisindeki nükleerin payı % 5,64'tür. Ülkede nükleer enerji ilk olarak 13 Nisan 1989 tarihinde şebekeye aktarılmıştır. Kişi başına elektrik enerjisi tüketimi 2012 yılında 1997,44 kWh'dir. Meksika 2011 yılına kadar dışa bağımlı değilken 2012 itibarıyla dışa bağımlılık oranı % 0,08 seviyesindedir.

*Ermenistan:* 1 nükleer reaktör işletmede olup 1 adet reaktör tamamen kapalı durumdadır. Toplam elektrik üretimi 7389,00 GWh olup nükleer enerji üretimi 2266,00 GWh'tir. Toplam elektrik üretimi içerisindeki nükleerin payı % 30,67 olup ülkede nükleer enerji ilk olarak 22 Aralık 1976 tarihinde şebekeye aktarılmıştır. Nükleer reaktör kapasitelerinin genel olarak düşük olması dikkat çekici bir husustur. Kişi başına elektrik enerjisi tüketimi 2013 yılında 2,01 MWh olup 2011 yılında dışa bağımlılık oranı ise % 74 seviyesindedir.

*Çek Cumhuriyeti:* 6 nükleer reaktör işletmededir. Toplam elektrik üretimi 80045,10 GWh olup nükleer enerji üretimi 28636,78 GWh'tir. Toplam elektrik üretimi içerisindeki nükleerin payı % 35,78 olup ülkede nükleer enerji ilk olarak 24 Şubat 1985 tarihinde şebekeye aktarılmıştır. Kişi başına elektrik enerjisi tüketimi 2012 yılında 8,33 MWh olup dışa bağımlılık oranı ise % 26 seviyesindedir.

*Slovakya:* 4 nükleer reaktör işletmede olup 2 adet reaktör yapım aşamasındadır. 3 reaktör tamamen kapatılmıştır. Toplam elektrik üretimi 25382,00 GWh olup nükleer enerji üretimi 14420,33 GWh'tir. Toplam elektrik üretimi içerisindeki nükleerin payı % 43,19 olup ülkede nükleer enerji ilk olarak 25 Aralık 1972 tarihinde şebekeye aktarılmıştır. Nükleer reaktör kapasitelerinin genel olarak düşük olması dikkat çekici bir

hususdur. Kişi başına elektrik enerjisi tüketime 2011 yılında 5443 kWh olup dışa bağımlılık oranı ise % 90 seviyesindedir.

*Slovenya:* 1 nükleer reaktör işletmededir. Toplam elektrik üretimi 16269,00 GWh olup nükleer enerji üretimi 6060,82 GWh'tir. Toplam elektrik üretimi içerisindeki nükleerin payı % 37,25 olup ülkede nükleer enerji ilk olarak 2 Ekim 1981 tarihinde şebekeye aktarılmıştır. Nükleer reaktör kapasitesinin düşük olması dikkat çekici bir husustur. Kişi başına elektrik enerjisi tüketime 2011 yılında 6204 kWh olup değişim oranı 2000-2011 yılları arasında % 1,25 olarak gerçekleşmiştir.

*Ukrayna:* 15 adet nükleer reaktör işletmede olup 2 adet reaktör yapım aşamasındadır. 4 adet reaktör ise tamamen kapatılmıştır. Toplam elektrik üretimi 168284,00 GWh olup nükleer enerji üretimi 83122,77 GWh'tir. Toplam elektrik üretimi içerisindeki nükleerin payı %49,39 olup ülkede nükleer enerji ilk olarak 26 Eylül 1977 tarihinde ÇERNOBİL'den şebekeye aktarılmıştır. Nükleer reaktör kapasitelerinin genel olarak düşük olması dikkat çekici bir husustur. Kişi başına elektrik enerjisi tüketime 2009 yılında 3773,5 kWh olup değişim oranı 2000-2009 yılları arasında % 0,88'dir

*İtalya:* Ülkede işletmede nükleer reaktör olmayıp 4 adet reaktör tamamen kapalı durumdadır. Toplam elektrik üretimi 2011 yılında 302600,00 GWh olup nükleer enerji ilk olarak 12 Mayıs 1963 tarihinde şebekeye aktarılmıştır. Kişi başına elektrik enerjisi tüketime 2000 yılında 4792,9 olarak gerçekleşmiştir. 1988 yılında 3 reaktörün yapımı iptal edilmiş olup 01 Temmuz 1990 tarihinde nükleer enerji üretimi durdurulmuştur.

*Hollanda:* 1 nükleer reaktör işletmede olup 1 adet reaktör tamamen kapalıdır. Toplam elektrik üretimi 97968,00 GWh olup nükleer enerji üretimi 3873,51 GWh'tir. Toplam elektrik üretimi içerisindeki nükleerin payı % 3,95 olup ülkede nükleer enerji ilk olarak 18 Ekim 1968 tarihinde şebekeye aktarılmıştır. Kişi başına elektrik enerjisi tüketime 2010 yılında 6795 kWh olup dışa bağımlılık oranı ise % 37 seviyesindedir.

*Güney Afrika:* 2 nükleer reaktör işletmededir ve toplam elektrik üretimi 237841,36 GWh olup nükleer enerji üretimi 14748,56 GWh'tir. Toplam elektrik üretimi içerisindeki nükleerin payı % 6,20'dir. Ülkede nükleer enerji ilk olarak 4 Nisan 1984 tarihinde şebekeye aktarılmıştır. Kişi başına elektrik enerjisi tüketime 2009 yılında 5060 kWh olup değişim oranı 2000-2009 yılları arasında % 0,63 olarak gerçekleşmiştir.

*Finlandiya:* 4 nükleer reaktör işletmede olup 1 adet reaktör yapım aşamasındadır. Toplam elektrik üretimi 65378,00 GWh olup nükleer enerji üretimi 22654,00 GWh'tir.

Toplam elektrik üretimi içerisindeki nükleerlerin payı % 34,65 olup ülkede nükleer enerji ilk olarak 8 Şubat 1977 tarihinde şebekeye aktarılmıştır. Kişi başına elektrik enerjisi tüketimi 2012 yılında 15692 kWh olup dışa bağımlılık oranı ise % 69,1 seviyesindedir.

*İspanya:* 7 nükleer reaktör işletmede olup 3 adet reaktör kapatılmıştır. Toplam elektrik üretimi 268400,00 GWh olup nükleer enerji üretimi 54832,00 GWh'tir. Toplam elektrik üretimi içerisindeki nükleerlerin payı % 20,43 olup ülkede nükleer enerji ilk olarak 14 Temmuz 1968 tarihinde şebekeye aktarılmıştır. Kişi başına elektrik enerjisi tüketimi 2011 yılında 5400,9 kWh olup dışa bağımlılık oranı ise % 23,9 seviyesindedir.

*Belçika:* 7 nükleer reaktör işletmede olup 1 adet reaktör kapalıdır. Toplam elektrik üretimi 67556,95 GWh olup nükleer enerji üretimi 32093,75 GWh'tir. Toplam elektrik üretimi içerisindeki nükleerlerin payı % 47,51 olup ülkede nükleer enerji ilk olarak 10 Ekim 1962 tarihinde şebekeye aktarılmıştır. Kişi başına elektrik enerjisi tüketimi 2012 yılında 7554,0 kWh olup dışa bağımlılık oranı ise % 83,05 seviyesindedir. 2005 yılında bu oran % 91,13 seviyesinde seyretmiştir.

*Pakistan:* 3 nükleer reaktör işletmede olup 2 adet reaktör yapım aşamasındadır. Toplam elektrik üretimi 106268,15 GWh olup nükleer enerji üretimi 469,69 GWh'tir. Toplam elektrik üretimi içerisindeki nükleerlerin payı %4,34 olup ülkede nükleer enerji ilk olarak 18 Ekim 1971 tarihinde şebekeye aktarılmıştır. Kişi başına elektrik enerjisi tüketimi 2013 yılında 436 kWh olup dışa bağımlılık oranı ise % 31 seviyesindedir.

*İsveç:* 10 nükleer reaktör işletmede olup 3 adet reaktör kapalı durumdadır. Toplam elektrik üretimi 150163,00 GWh olup nükleer enerji üretimi 62270,04 GWh'tir. Toplam elektrik üretimi içerisindeki nükleerlerin payı % 41,47 olup ülkede nükleer enerji ilk olarak 01 Mayıs 1964 tarihinde şebekeye aktarılmıştır. Kişi başına elektrik enerjisi tüketimi 2012 yılında 14965 kWh olup dışa bağımlılık oranı ise % 30 seviyesindedir.

*Kazakistan:* 1 adet reaktör kapalı durumdadır. Toplam elektrik üretimi 91888,00 GWh olup nükleer enerji üretimi durdurulmuştur. Ülke uranyum yönünden zengin yer altı kaynaklarına sahip olup kömür, petrol ve doğalgaz üreticisidir. Ülkede nükleer enerji ilk olarak 16 Temmuz 1973 tarihinde şebekeye aktarılmış olup 22 Nisan 1999 tarihinde nükleer reaktör kapatılmıştır. Kişi başına elektrik enerjisi tüketimi 2013 yılında 5,4 GWh'dir.

*İsviçre:* 5 nükleer reaktör işletmede olup 1 adet reaktör tamamen kapalı durumdadır. Toplam elektrik üretimi 69633,00 GWh olup nükleer enerji üretimi

26370,00 GWh'tir. Toplam elektrik üretimi içerisindeki nükleerin payı % 37,87 olup ülkede nükleer enerji ilk olarak 29 Ocak 1968 tarihinde şebekeye aktarılmıştır. Kişi başına elektrik enerjisi tüketimi 2011 yılında 7366,7 kWh olup 1970 yılında % 85,9 enerjide dışa bağımlılık oranı %77,4 seviyesine gerilemiştir.

*Bulgaristan:* 2 nükleer reaktör işletmede olup 4 adet reaktör kapalı durumdadır. Toplam elektrik üretimi 47221,00 GWh olup nükleer enerji üretimi 15866,65 GWh'tir. Toplam elektrik üretimi içerisindeki nükleerin payı % 33,60 olup ülkede nükleer enerji ilk olarak 24 Temmuz 1974 tarihinde şebekeye aktarılmıştır. 2025 yılında nükleerin payı %32,4 olarak planlanmıştır. 2003 yılında enerjide dışa bağımlılık oranı ise % 52,08 seviyesindedir.

*Macaristan:* 4 nükleer reaktör işletmededir. Toplam elektrik üretimi 27575,77 GWh olup nükleer enerji üretimi 14777,73 GWh'tir. Toplam elektrik üretimi içerisindeki nükleerin payı % 53,59 olup ülkede nükleer enerji ilk olarak 28 Aralık 1982 tarihinde şebekeye aktarılmıştır. Nükleer reaktör kapasitelerinin genel olarak düşük olması dikkat çekici bir husustur. Kişi başına elektrik enerjisi tüketimi 2010 yılında 4787 kWh olup dışa bağımlılık oranı ise % 57,51 seviyesindedir.

*Romanya:* 2 nükleer reaktör işletmededir. Toplam elektrik üretimi 58147,00 GWh olup nükleer enerji üretimi 10753,68 GWh'tir. Toplam elektrik üretimi içerisindeki nükleerin payı % 18,49 olup ülkede nükleer enerji ilk olarak 11 Temmuz 1996 tarihinde şebekeye aktarılmıştır. Kişi başına elektrik enerjisi tüketimi 2011 yılında 2497 kWh olup dışa bağımlılık oranı ise % 23 seviyesindedir.

*Litvanya:* 2 nükleer reaktör kapalı durumdadır. Toplam elektrik üretimi 4710,00 GWh'dir. Ülkede nükleer enerji ilk olarak 31 Aralık 1983 tarihinde şebekeye aktarılmış olup 2004 tarihinde nükleer enerji üretimi durdurulmuştur. Kişi başına elektrik enerjisi tüketimi 2012 yılında 3607,5 kWh olup dışa bağımlılık oranı ise % 80 seviyesindedir.

*İran:* 1 nükleer reaktör işletmededir. Toplam elektrik üretimi 273548,90 GWh olup nükleer enerji üretimi 4140,00 GWh'tir. Toplam elektrik üretimi içerisindeki nükleerin payı % 1,51 olup ülkede nükleer enerji ilk olarak 03 Eylül 2011 tarihinde şebekeye aktarılmıştır. Kişi başına elektrik enerjisi tüketimi 2009 yılında 3035,9 kWh olup değişim oranı 2000-2009 yılları arasında %5,30 olarak gerçekleşmiştir. İran zengin petrol ve doğalgaz rezervlerine sahip bir ülkedir.

*Birleşik Arap Emirlikleri:* 1400 MWe gücünde 4 adet nükleer reaktör yapım aşamasındadır. Kişi başına elektrik enerjisi tüketimi 2010 yılında 9827 kWh'tir. İlk reaktörün 2 Haziran 2017 tarihinde hizmete alınması beklenilmektedir. Nükleer santral yapımı G.Kore tarafından gerçekleştirilecektir.

28 Haziran 2016 tarihi itibarıyla dünyada toplam 446 nükleer güç reaktörü 388. 051 MWe ile işletmede bulunmakta olup Tablo 2.13'de seçilmiş dünya ülkelerinde toplam enerji üretimi, nükleer payı ve işletmedeki ve inşa aşamasında nükleer santral ünite sayıları verilmiştir.

**Tablo 2.13: Seçilmiş Dünya Ülkelerinde Nükleer Enerji Üretimi, 2015**

|                                    | ABD        | Fransa    | Japonya   | Rusya      | G.Kore    | Çin        | Hindistan | Kanada    | İngiltere |
|------------------------------------|------------|-----------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|
| <b>Toplam Enerji Üretimi (GWh)</b> | 4087381,00 | 546000,00 | 829020,00 | 1049900,00 | 495389,00 | 5618400,00 | 980325,95 | 592755,75 | 338690,00 |
| <b>Nükleer Enerjinin Payı (%)</b>  | 19,50      | 76,34     | 0,52      | 18,59      | 31,73     | 3,03       | 3,53      | 16,60     | 18,87     |
| <b>NGS Ünite Sayısı</b>            | 100        | 58        | 43        | 35         | 25        | 34         | 21        | 19        | 15        |
| <b>İnşa Aşamasındaki NGS</b>       | 4          | 1         | 2         | 8          | 3         | 21         | 6         | 0         | 0         |

Kaynak: PRIS, <https://www.iaea.org/pris/> (28.06.2016)

Buna göre, dünyada toplam enerji üretiminde en yüksek düzeyde bulunan Çin aynı zamanda inşaa aşamasında olan en fazla nükleer santral ünitesine sahiptir.

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### NÜKLEER RÖNESANS

#### 3. NÜKLEER ENERJİ EKONOMİSİ, OPTİMİZASYON, POLİTİKA VE TÜRKİYE ÖRNEK OLAYI

Atom enerjisinin ticari amaçlarla kullanılması için ilk nükleer santralin 1954 yılında Rusya tarafından kurulmasıyla nükleer enerji piyasası doğmuş, nükleer santral teknolojisinin geliştirilmesi ile *Nükleer Rönesans* Rusya, Kanada, ABD, İngiltere ve Fransa tarafından başlatılmıştır. Kendilerine özgü nükleer santral tasarımlarına bu teknolojiyi daha da geliştiren G.Kore, Japonya ve Almanya gibi ülkeler sahip olmuşlardır. Günümüzde 30'dan fazla ülkede 444 nükleer reaktör işletmede bulunmaktadır. Aralarında daha öncesinde nükleer güç santrali bulunmayan Birleşik Arap Emirliğinin de bulunduğu ülkelerde toplam 65 santralin yapımı devam etmektedir. 2030 yılına kadar 173 yeni nükleer santralin yapılması planlanmaktadır. Ayrıca, “Megaton to Megawatt” programı gelişen nükleer enerji piyasası için önemli bir dönüşümdür. Türkiye’de nükleer enerjinin tarihi ve halihazırdaki projeler incelenmiştir. Türkiye örnekolayı enerji politikaları kapsamında değerlendirilmiş ve Japonya modeli esas alınarak ithal ikameci enerji politikası oluşturulmaya çalışılmıştır.

##### 3.1. Nükleer Enerji Ekonomisi

Nükleer enerji diğer elektrik üretim enerji çeşitlerine göre daha rekabetçidir. Ülke içinde direkt ulaşılan düşük maliyetli fosil yakıtlar bunun dışındadır. Kömür santralleri ve gaz santrallerinden sermaye maliyetleri daha yüksek olmasına rağmen nükleer santraller için yakıt maliyetleri toplam üretim maliyetlerinin çok küçük miktarına denk gelmektedir. Elektrik arz güvenliğini ve çeşitliliğini sağlamak amacıyla kısa dönem fiyat göstergelerine göre düzenlenmemiş piyasalarda yapılan yüksek sermaye yatırımları uzun dönem için lokomotif görevi yapacaktır. Nükleer enerji ekonomisi değerlendirmesinde hizmetten çıkarma ve bertaraf maliyetleri tam olarak göz önüne alınmıştır.

Farklı teknolojiler kullanılan yeni enerji üretim santrallerinin göreceli maliyetleri değerlendirildiğinde bölgelere göre farklılık göstermektedir. Kömür Çin, ABD ve Avustralya gibi büyük kömür rezervlerine sahip ülkeler için ve karbon salımı serbest

olan ülkeler için çekici kaynak olmaya devam etmektedir. Nükleer güç santralleri inşaatı pahalı olmasına rağmen işletilmesi nisbeten ucuzdur. Çoğu yerde elektrik üretimi bakımından nükleer enerji fosil yakıtlara göre daha rekabetçidir. Hizmetten çıkarma ve bertaraf maliyetleri işletme maliyetleri içerisinde yer almaktadır. Fosil yakıtların sosyal, sağlık ve çevresel maliyetleri göz önüne alındığında nükleer güç ekonomisi mükemmel seviyededir.

Nükleer enerji ekonomisi; sermaye maliyetleri, finansal maliyetleri, işletme maliyetleri, dışsal maliyetler, inşaat/yapım maliyetleri gibi çeşitli alanları kapsamaktadır.

Sermaye maliyetleri; bir nükleer güç santralının finans, işletme, imalat, inşaat ve yapım ile saha hazırlık maliyetlerini içermektedirler. Büyük ölçekli bir nükleer reaktör inşaa etmek binlerce çalışan, devasa miktarlarda çelik ve beton, binlerce parça ve birçok elektrik sistem parçası, soğutma, havalandırma, bilgi, kontrol ve iletişim gerektirir. Farklı güç üretim teknolojileri ile mukayese edildiğinde sermaye maliyetleri santralin üretim kapasitesi bakımından ifade edilmelidir. Sermaye maliyetleri finansal maliyetleri dahil ederek veya hariç tutarak hesaplanabilir. Eğer finansal maliyetler dahil edilirse santralin yapımı uzun zaman alacağından ve faiz oranı devreye konulacağından sermaye maliyetleri değişecektir. Bu normal olarak yatırım maliyetleri olarak da adlandırılır.

İşletme maliyetleri; yakıt maliyetleri, çalışma ve bakım maliyetleri, hizmetten çıkarma maliyetleri, kullanılmış yakıtın yeniden işlenmesi ve bertaraf maliyetlerini içerir. İşletme maliyetleri sabit maliyetler ve değişken maliyetler olarak ikiye ayrılır. Sermaye maliyetleri genellikle TL/ kWh olarak dikkate alınırken işletme maliyetleri Kr/ kWh olarak göz önüne alınır.

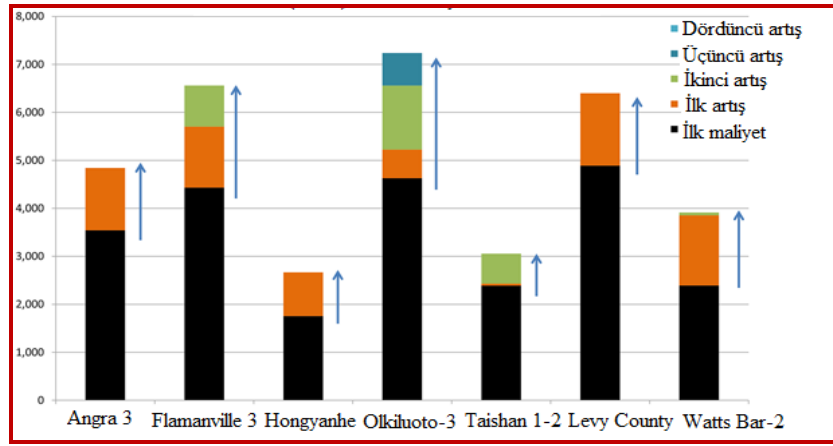
Dış maliyetler; sosyal, çevresel ve sağlık maliyetleri göz önüne alınarak hesaplanır. Dış maliyetler göz önüne alındığında nükleer santraller fosil yakıt kaynaklı santrallere göre önemli bir avantaj sağlamaktadır.

İnşaat/Yapım maliyetleri; santralin baz maliyeti, üreticinin maliyeti ve enflasyondan oluşmaktadır. Bunlar genellikle mühendislik, inşaat, saha seçimi, danışmanlık, yardımcı tesisler, proje yönetimi ve lisanslama gibi bileşenlerden oluşmaktadır. OECD ülkelerinde nükleer santral inşaat maliyetlerinin 1990 yılı sonunda 1900 \$ kWe iken 2009 yılında 3.850 \$ kWe'ye yükseldiğini görülmektedir (NEA, 2009). ABD'de nükleer santral inşaat maliyetlerinin 1960'ların başında 1500 \$ kWe



iken 1970’lerin ortalarında 4.000 \$ kWe seviyesindedir (EIA, 2002). 2010 yılında ise 5.339 \$ kWe seviyesindedir. Fransa NGS inşaat maliyetleri 1978 yılından 2.060 EUR kWe iken 2000 yılında 3.700 EUR kWe düzeyindedir. Fransa’da 2000 yılı sonrası maliyetlerin düşmesinin nedeni ölçek ekonomileri kaynaklıdır. Birçok ülkede ve özellikle İngiltere’de büyük nükleer enerji üreticilerini finans projeleri nükleer santral yapımına devam edileceğini göstermektedir. Ancak, Şekil 3.1 nükleer santral inşaat maliyetlerinde kapasite başına kWh risklerin arttığını göstermektedir(Barkatullah, 2014).

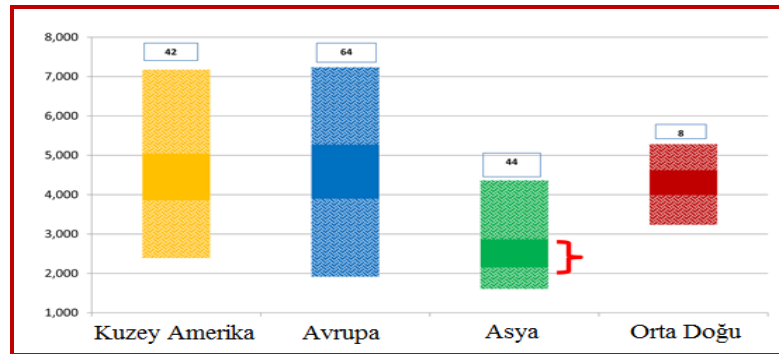
**Şekil 3.1: İnşa Riski: Santrallerin Yatırım Maliyetleri (\$/kW), 2013**



Kaynak: World Nuclear News, Nucleonics and Other Publications, 2008-2014

Aynı zamanda gecelik sermaye maliyetleri de dünyanın farklı bölgelerinde farklılıklar göstermektedir. ( Şekil 3.2)

**Şekil 3.2: Bölgelere Göre Santral Yatırım Sermaye Gecelik Maliyeti (\$/kW)**



Kaynak: WNA, (2016), <http://www.world-nuclear.org/information-library/economic-aspects/economics-of-nuclear-power.aspx>

Bunların aksine Çin’de inşaa aşamasındaki nükleer santrallerin maliyetlerinin beklenenden daha az olduğu ve 1.600 ile 2.000 \$ kWh aralığında beklendiği ifade edilmiştir.

Finansal maliyetler kredilerin faiz oranına bağlıdır. Uzun inşaat süreleri finansal maliyetleri yukarı çekmektedir. Asya’da inşaat süreleri kısalma eğiliminde olmakla birlikte 1300 MWe yeni nesil bir santral için 48 ile 54 ay aralığında gerçekleşmektedir. İşletme maliyetleri yakıt maliyetleri açısından değerlendirildiğinde kömür, petrol ve gaz santrallerine kıyasla daha avantajlıdır. NEI (2013) yakıt maliyetlerinin kömür santrallerinde %78, doğalgaz santrallerinde %79, nükleer santrallerde kullanılan uranyum için yaklaşık %14 olduğunu analiz etmiştir. Reaktör yakıtı olarak 1 kg uranyum elde etmenin maliyeti 0.66 cent kWh’dir. Etkinliğin artmasıyla yakıt maliyetleri düşmektedir. İspanya’da 1995-2001 yılları arasında nükleer enerji üretim maliyetleri %29 oranında düşmüştür.

Uranyumdan elde edilen enerjisi çok yoğun bir kaynak olarak önemli avantajlara sahiptir. Kolay ve ucuz olarak taşınabilir ve depolanabilir. 1 kg doğal uranyum aynı miktarda kömürden 20.000 kez daha fazla enerji vermektedir. Ayrıca, uranyum yeniden işlenebilmektedir.

İşletme maliyetleri yakıtı ilave olarak çalışma ve bakım maliyetlerini de içermektedir. Yakıt maliyetleri ise kullanılmış yakıt yönetimi ve nihai bertaraf işlemlerini kapsamaktadır. Kullanılmış yakıtı depolama veya atık gömme ve bertarafı içeren yakıt çevriminin, direkt bertarafı yeniden işlemeden daha ekonomik ise maksimum %10 katkı yapmakta olduğu değerlendirildiğinde 26 milyar \$’lık kullanılmış yakıt programı 0.1 cent/kWh seviyesinde fonlanmaktadır.

Nükleer santrallerin söküm maliyeti sermayesinin %9-15’i kadardır. İndirimlerle birlikte, nükleer santrallerin ilk yatırım maliyetinin çok az yüzdesi kadar bir maliyetle sökümü gerçekleştirilebilmektedir. ABD’de söküm maliyeti için üretilen elektriğin maliyetinde kWh başına 0.1-0.2 cent olmaktadır; bu da elektriğin üretim maliyetinin %5’i kadardır.

Sistem maliyetleri elektriğin tüketiciye yeterli miktarda ve istenilen zamanda iletim ve dağıtım maliyetleri gibi bileşenlerden oluşmaktadır. Sistem maliyetleri ülkelere ve teknoloji seviyelerine bağlı olarak değişmekte ve OECD ülkelerinde

yenilenebilir enerji sistem maliyetleri 15-80 \$ MWh iken nükleer sistem maliyetleri 1-3 \$ MWh seviyesindedir.

Dışsal maliyetler genellikle çevre, küresel ısınma ve halk sağlığı ile ilgilidir. AB içi farklı enerji üretim teknolojilerinin çevre ve halk sağlığına etkileri ekonomik parametrelerle gösterilmeye çalışılmıştır. Buna göre, nükleer enerji ortalamaları hidro gibi 0.4 (EUR)cent/kWh, kömür 4.0 cent üzeri (4.1-7.3 cent aralığında), doğal gaz 1.3-2.3 cent aralığında ve yalnızca rüzgar nükleerden biraz daha iyi olmak üzere 0.1-0.2 cent /kWh ortalama ile gösterilmiştir (WNA, 2012).

Elektrik üretim maliyetleri mukayese edildiğinde; ünite başına üretim teknolojilerinin çıktı ortalama maliyetleri modellendiğinde, ileri nükleer, doğal gaz, ve uygun kömür maliyeti 10-11c/kWh olarak hesaplanmıştır. Bileşik doğal gaz çevrimi 6.6 cent , ileri kömür 13.6 cent , wind onshore 8.7 cents, solar PV 14.4 cent , offshore wind 22.2 cent ve solar thermal 26.2 c/kWh şeklindedir. Nükleerin gerçek sermaye maliyeti kömürle aynı fakat gaz seçeneğinden çok daha fazladır (EIA, 2013).

OECD (2010) tarafından yapılan çalışma Tablo 3.1’de yer almakta olup elektrik üretim gerçek maliyetlerini ortaya koymaktadır.

**Tablo 3.1: Elektrik Üretim Maliyetleri (ABD Cent/kWh)**

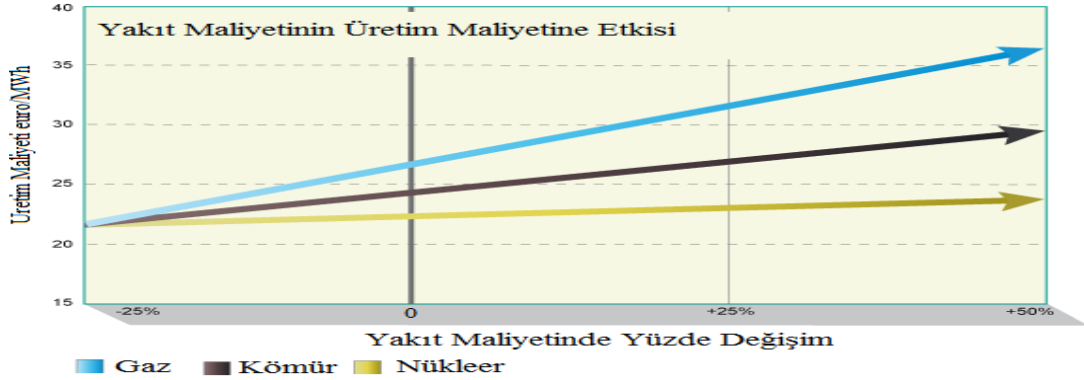
| Teknoloji                   | Bölge/Ülke    | %10 indirim oranı | %5 indirim oranı |
|-----------------------------|---------------|-------------------|------------------|
| <b>Nükleer</b>              | OECD Avrupa   | 8.3-13.7          | 5.0-8.2          |
|                             | Çin           | 4.4-5.5           | 3.0-3.6          |
| <b>Siyah Kömür CCS</b>      | OECD Avrupa   | 11.0              | 8.5              |
| <b>Kahverengi Kömür CCS</b> | OECD Avrupa   | 9.5-14.3          | 6.8-9.3          |
| <b>CCGT CCS</b>             | OECD Avrupa   | 11.8              | 9.8              |
| <b>Büyük Hidroelektrik</b>  | OECD Avrupa   | 14.0-45.9         | 7.4-23.1         |
|                             | Çin: 3 Gorges | 5.2               | 2.9              |
|                             | Çin: Diğer    | 2.3-3.3           | 1.2-1.7          |
| <b>Kara Rüzgarı</b>         | OECD Avrupa   | 12.2-23.0         | 9.0-14.6         |
|                             | Çin           | 7.2-12.6          | 5.1-8.9          |
| <b>Kıyı Rüzgarı</b>         | OECD Avrupa   | 18.7-26.1         | 13.8-18.8        |
| <b>Solar Fotovoltaik</b>    | OECD Avrupa   | 38.8-61.6         | 28.7-41.0        |
|                             | Çin           | 18.7-28.3         | 12.3-18.6        |

Kaynak: OECD/IEA-NEA, 2010, Projected Costs of Generating Electricity

NEI (2012) tarafından yapılan analize göre ABD’de nükleer enerji üretim maliyeti kömür ve doğal gazla mukayese edildiğinde sırasıyla nükleerde 2.40 cent/kWh, kömürde 3.27 cent /kWh ve doğal gazda 3.40 cent /kWh şeklindedir.

RF’den VVER teknolojisi tercihini Türkiye ile birlikte yapan Finlandiya’da 2000 yılında elektrik maliyetinin yakıt fiyat esnekliği Şekil 3.3’de gösterilmiştir.

**Şekil 3.3: Finlandiya'da Yakıt Maliyetinin Elektrik Üretim Maliyetine Etkisi (2000 Yılı)**

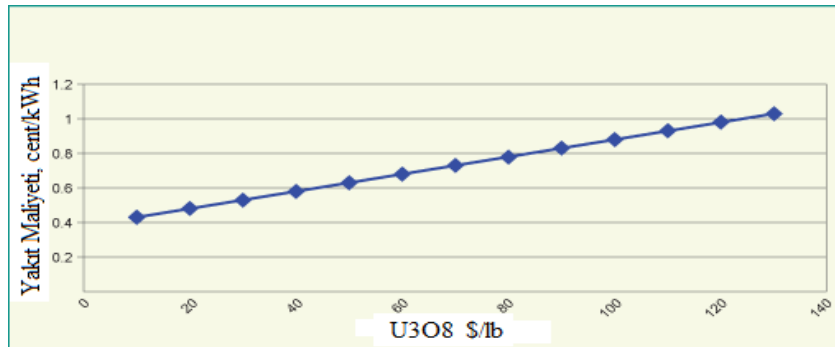


Kaynak: WNA, (2016)

Şekil 3.3’e göre, yakıt fiyatlarının iki katına çıkması nükleer santralden üretilen elektriğin maliyetini %9 arttırmaktadır. Benzer durumda kömürden üretilen elektriğin maliyetini %31, doğalgazdan üretilen elektriğin maliyetini %66 artırmaktadır. Doğalgazdan üretilen elektriğin maliyeti gaz fiyatına oranla oldukça yükselmektedir.

ABD için Şekil 3.4’de yalnızca uranyum fiyatındaki artışın etkisi gösterilmiştir (WNA, 2016). Bu şekilde zenginleştirme maliyetinin bir kısmı sabit tutulmuştur.

**Şekil 3.4: Uranyum Fiyatlarının Yakıt Maliyetine Etkileri**



Kaynak: WNA, (2016)

Uranyum fiyatının iki katına çıkmasıyla (örneğin U3O8 libre fiyatı 25\$'dan 50\$'a çıktığında) yakıt maliyeti kWh başına 0,50 cent'den 0,62 cent'e yükselmektedir, elektrik üretim maliyeti ise ABD'deki bir santral için kWh başına 1,3 cent'den 1,4 cent'e (yaklaşık %10) yükselmektedir. Bu artış, gözlenebilir olsa da, özellikle marjinal maliyetin neredeyse tamamının yakıt olduğu doğalgaz santrallerine doğalgaz fiyatlarının etkisi düşünüldüğünde, oldukça önemsiz bir artıştır. Nükleer santrallerde üretim maliyeti, yakıt fiyatından U3O8 libre fiyatı 100 \$'a çıkarsa ve uzunca bir süre bu değerde kalırsa dikkat çekici şekilde etkilenecektir.

NEI (2014) tarafından yapılan çalışma 2012 yılında 61 nükleer sahanın yakıt maliyetleri dahil sermaye ve işletme maliyetlerini içeren üretim maliyetleri göreceli maliyet ortalaması 44 \$/MWh, tek üniteli santral 50.54 \$/MWh ve çok üniteli santral 39.44 \$/MWh olduğunu göstermekte olup aynı zamanda 10 yıl içinde % 58 lik bir artışı ifade etmektedir. Üretim maliyetlerinde kullanılan göreceli maliyetler, sermaye, finans, saha, santralin çalışma ömrüne göre yakıt ve işletme, hizmetten çıkarma ve bertaraf maliyetlerinden oluşan elektrik üretim maliyetlerinin ortalaması anlamına gelmektedir. Sermaye maliyetleri ise kısaca EPC (Engineering, Procurement & Construction) maliyetleri olarak da ifade edilmektedir.

Üretim kapasitesini artırmak daha ciddi önlemler gerektirir. 800 MWe gaz santrali için doğacak maliyet yıllık 80 milyon EUR şeklinde olacaktır. Nükleer enerji santralleri ise rekabetçidir. OECD (2010) tarafından yapılan çalışma, 17 OECD ülkesi ile Brezilya, Çin, Rusya ve G.Afrika'ya ait 190 santral verileri incelendiğinde ton başına CO<sub>2</sub> maliyeti 30 \$ ile nükleerin daha rekabetçi olduğunu göstermektedir.

OECD ülkelerinde gecelik sermaye maliyetleri değişiklik göstermekte olup, G.Kore'de APR-1400 için 1556 \$/kW, Japonya'da ABWR için 3009 \$/kW, ABD'de Gen III+ için 3382\$/kW, Fransa Flamanville EPR için 3860 \$/kW, İsviçre'de EPR için 5863 \$/kW aralığındadır. Dünya'da medyan 4100 \$/kW şeklindedir. Belçika, Hollanda, Çek Cumhuriyeti ve Macaristan'da 5000 \$/kW üzerindedir. Çin'de CPR-1000 için 1748 \$/kW ve AP1000 için 2302 \$/kW, Rusya'da VVER-1150 için 2933\$/kW seviyesindedir. ABD'de EPRI APWR/ABWR için 2970 \$/kW, Euroelectric EPR için 4724 \$/kW olduğu görülmektedir. OECD siyah kömür santralleri 807-2719 \$/kW, kahverengi kömür santralleri 1802-3485\$/kW, gaz santralleri 635-1747\$/kW ve onshore rüzgar 1821-3716 \$/kW şeklindedir.

**Tablo 3.2: OECD Elektrik Üretim Maliyetleri 2010; % 5 İndirim Oranı, c/kWh**

|                    | <i>Nükleer</i> | <i>Kömür</i> | <i>Kömür CCS</i> | <i>Gaz</i> | <i>Kara Rüzgarı</i> |
|--------------------|----------------|--------------|------------------|------------|---------------------|
| <i>Belçika</i>     | 6.1            | 8.2          | -                | 9.0        | 9.6                 |
| <i>Çek Cum.</i>    | 7.0            | 8.5-9.4      | 8.8-9.3          | 9.2        | 14.6                |
| <i>Fransa</i>      | 5.6            | -            | -                | -          | 9.0                 |
| <i>Almanya</i>     | 5.0            | 7.0-7.9      | 6.8-8.5          | 8.5        | 10.6                |
| <i>Macaristan</i>  | 8.2            | -            | -                | -          | -                   |
| <i>Japonya</i>     | 5.0            | 8.8          | -                | 10.5       | -                   |
| <i>G.Kore</i>      | 2.9-3.3        | 6.6-6.8      | -                | 9.1        | -                   |
| <i>Hollanda</i>    | 6.3            | 8.2          | -                | 7.8        | 8.6                 |
| <i>Slovakya</i>    | 6.3            | 12.0         | -                | -          | -                   |
| <i>İsviçre</i>     | 5.5-7.8        | -            | -                | 9.4        | 16.3                |
| <i>ABD</i>         | 4.9            | 7.2-7.5      | 6.8              | 7.7        | 4.8                 |
| <i>Çin</i>         | 3.0-3.6        | 5.5          | -                | 4.9        | 5.1-8.9             |
| <i>Rusya</i>       | 4.3            | 7.5          | 8.7              | 7.1        | 6.3                 |
| <i>EPRI (ABD)</i>  | 4.8            | 7.2          | -                | 7.9        | 6.2                 |
| <i>Eurelectric</i> | 6.0            | 6.3-7.4      | 7.5              | 8.6        | 11.3                |

Kaynak: OECD/IEA NEA, 2010

Tablo 3.2’de, Çin ve Rusya için verilen kömür maliyetine 2.5 cent ve doğalgaz maliyetine 1,3 cent eklenerek karbon emisyon maliyeti dikkate alınmıştır. Görüldüğü gibi, nükleerden elektrik üretim maliyeti oldukça düşüktür. Karbon yakalamalı kömürden elektrik üretim sistemlerinde maliyet, CO2 emisyon maliyeti ton başına 30\$ olduğunda bile kömür ve nükleerden elektrik üretmekten fazla olmaktadır.

2004 yılında ABD’de Enerji Bakanlığı’nın desteğiyle yapılan bir çalışmada, ABWR veya AP1000 kurulum maliyeti (gecelik sermaye maliyeti kilowatt başına 1.200 \$ ile 1500 \$ arasında, santral ömrü 60 yıl, inşaat süresi 5 yıl, ve kapasite faktörü %90 kabul edilerek) kWh başına 4,3 cent ile 5 cent arasında bulunmuştur. Ayrıca, ağırlıklı yakıt maliyetine bağlı olmak üzere, kömürden elektrik üretme maliyeti kWh başına 3,5 – 4,1 cent ve doğalgazdan üretim maliyeti 3,5 – 4,5 cent bulunmuştur. Seviyelendirilmiş nükleer güç maliyetinin gecelik sermaye maliyetinin %29’u olduğu gösterilmiştir. Ayrıca, tipinin ilk örneği olan santrallerin kurulumunda sermaye maliyetinin %24 artacağı kabul edilmiştir. Tipinin ilk örneği olan reaktörlerden 8 ünite kurulması sermaye maliyetini %20 düşürmektedir, böylece maliyet kWh başına 3,4 cent olabilmektedir (WNA, 2016). Tablo 3.3’de nükleer santrallerin öngörülen maliyetleri gösterilmektedir.

**Tablo 3.3: Nükleer Enerji Üretim Maliyetleri (cent/kWh)**

| Gecelik sermaye maliyeti \$/kW |                                | 1200 | 1500 | 1800 |
|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------|
| <b>1. Ünite</b>                | 7 yıl inşa süresi, 40 yıl ömür | 5.3  | 6.2  | 7.1  |
|                                | 5 yıl inşa süresi, 60 yıl ömür | 4.3  | 5.0  | 5.8  |
| <b>4. Ünite</b>                | 7 yıl inşa süresi, 40 yıl ömür | 4.5  | 4.5  | 5.3  |
|                                | 5 yıl inşa süresi, 60 yıl ömür | 3.7  | 3.7  | 4.3  |
| <b>8. Ünite</b>                | 7 yıl inşa süresi, 40 yıl ömür | 4.2  | 4.2  | 4.9  |
|                                | 5 yıl inşa süresi, 60 yıl ömür | 3.4  | 3.4  | 4.0  |

Kaynak: <http://www.world-nuclear.org/information-library/economic-aspects/economics-of-nuclear-power.aspx>

Kömürden elektrik üretiminin maliyeti, karbon kontrol maliyetiyle 1.5 cent/kWh ve doğalgazdan üretim maliyeti 1.0 cent/kWh artmaktadır ve bu nükleerden elektrik üretim maliyetinin rekabetçiliğini arttırmaktadır.

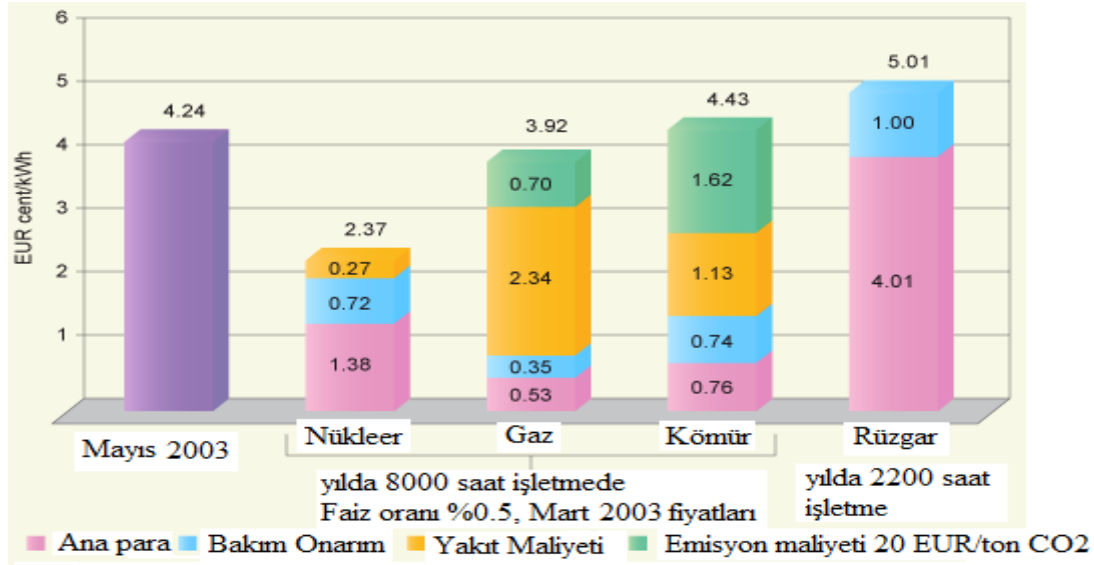
Nükleer ve kömür santralleri işletme maliyeti bakımından aynı düzeylerdedir. Kömür santrallerine oranla nükleerin santrallerin avantajı sağlanan yakıt maliyetidir (Zabunoğlu, 2012). İlk yatırım maliyetleri göz önüne alınarak yapılan mukayeseli analizde; kömür kaynaklı elektrik üretim maliyetleri aynı ülke içindeki bölgeler arasında dahi ciddi farklılıklar gösterirken nükleer için maliyetler ülkelere göre değişmektedir ve kWh başına 3-5 \$-sent civarında seyreitse de teknoloji ve kişi başına gelir düzeyine göre Macaristan 8,2 \$-sent gibi yüksek, İsviçre 13,7 \$-sent gibi çok yüksek rakamlarla da karşılaşılmaktadır (IEA, 2010). Ancak, ülkelerin yeraltı kaynak rezervlerine sahip olunması durumu da göz önüne alındığında, hammadde fiyatlarına göre çoğu ülkede nükleerin kömürden daha ucuz olduğu görülmektedir.

Massachusetts Institute of Technology (MIT, 2009) çalışması ise nükleer santral kurulum maliyetinin %15 arttığını göstermiştir. Kömür ve doğalgaz santrallerin de sermaye maliyetleri artmış, ancak artış nükleerdeki kadar çok olmamıştır. Nükleer, kömür ve doğalgaz santrallerinin gecelik sermaye maliyeti kilowatt başına 4000 \$ (2007 yılı için) kabul edildiğinde nükleerin maliyeti 6.6 cent/kWh, kömürün 8.3 cent ve doğalgazın 7.4 cent olduğu bulunmuştur. Burada, CO2 azaltma maliyeti ton başına 25\$ kabul edilmiştir.

The French Energy and Climate Directorate (DGEC, 2008) tarafından yapılan çalışma %68 kapasiteyle yılda 6000 saat işletilen nükleer santrallerin benzer koşullarda işletilen kömür ve doğalgaz santrallerine göre daha ucuz elektrik ürettiğini göstermiştir.

Finlandiya için 2003 yılında yapılan çalışmada nükleer santralden elektrik üretimi maliyeti 2.37 (EUR) cent/kWh, kömür 2.81 cent/kWh ve doğalgaz 3.23 cent/kWh %91 kapasite faktörü, %5 faiz oranı, santral ömrü 40 yıl kabul edilerek) bulunmuştur. CO2 emisyon maliyeti ton başına 20 EUR kabul edildiğinde, kömür ve doğalgazın maliyeti sırasıyla 4.43 ve 3.92 cent/kWh olmaktadır (Şekil 3.5).

**Şekil 3.5: Finlandiya'da Kaynaklara Göre Elektrik Üretim Maliyetleri**



Kaynak: Tarjanne, R. (2004).

Bu şekilde, nükleer santrallerin sermaye maliyetinin yüksek olmasının inşaat süresinin uzamasının toplam maliyete önemli etkisi olacağını göstermektedir. Kömür ve doğalgaz santralleri içinse yakıt maliyetinin önemli olduğunu göstermektedir.

2013'te Nuclear Energy Institute tarafından yapılan bir çalışma, 60 yıldan uzun ömür uzatmanın neticesinde güç üretim maliyetinin 53-60 \$/MWh olabileceğini göstermiştir.

Mayıs 2013'de Çin Nükleer Birliği, iki AP1000 ünitesinin inşaat maliyetinin 40.1 milyar Yuan (6.54 milyar \$) diğer bir deyişle kurulu güç için 16,000 Yuan/kW (2615 \$/kW) olacağını öngörmüştür. Seri halinde inşaatlar ve yerleştirme çalışmalarıyla bu maliyetin 13,000 Yuan/kW (2120 \$/kW) olacağı düşünülmektedir.

*Yatırım Teşvikleri Yapılması:* Elektrik piyasaları serbestleştikçe ve piyasalarda rekabet arttıkça, kısa dönem için arz-talep dengesini sağlama çabası fiyatlarda belirsizliğe neden olmaktadır. Spot markette fiyat değişimleri, uzun dönemde yatırımın dönüşünün ne kadar sürede gerçekleşeceğini göstermemektedir, bu nedenle de üretim ve



iletimde uzun dönem teşviklerin yapılması güçleşmektedir. Ayrıca üretim yöntemlerinde çeşitlilik de bu nedenle zorlaşmaktadır.

Çek Cumhuriyeti’nde iki yeni VVER-1200 ünitesinin kurulması için uzun dönem elektrik fiyatının garantilenmesi istenmiş, Sanayi Bakanlığı 60 EUR/MWh fiyat garantisi verirken, öngörülen fiyat 90 EUR/MWh olmuştur. Yatırımın karlı olması için fiyatın 70 EUR/MWh olması gerektiği belirlenmiştir (2013 yılı ortasında bu rakam 40 EUR/MWh olmuştur).

Türkiye’de Akkuyu NGS için 4x1200 MWe yatırımı güvence altına almak amacıyla uzun dönem nükleer enerji fiyat çalışması yapılmıştır. Bu kapsamda, TETAŞ 15 yıl veya 2030’a kadar belirli oranda sabit fiyattan 123,50 \$/MWh alım garantisi vermiştir. Bu oran ilk iki üniteden üretilen elektriğin %70’i diğer iki üniteden üretilen elektriğin % 30’u olacaktır. Rosatom şirketi başlangıçta santralin tamamına sahip olacaktır.

Dünyada yakın zamanda yürütülmeye başlanan nükleer santral projeleri ve bu projelerin yürütüldüğü ülkelerle maliyetleri Tablo 3.4’de gösterilmektedir. Burada görüldüğü üzere, santral maliyetleri kilowatt başına 1530-4923 \$ arasındadır.

**Tablo 3.4: Yeni Nükleer Santral Projeleri**

| <b>Reaktör Tipi</b>  | <b>Firma-Ülke</b>                         | <b>Maliyet \$/kW</b> |
|----------------------|-------------------------------------------|----------------------|
| AP1000,2 ünite       | Florida Power & Light -ABD                | 4035                 |
| AP1000, 2 ünite      | South Carolina Electric and Gas Co. - ABD | 4830                 |
| AP1000, 2 ünite      | Duke Energy –ABD                          | 4923                 |
| AP1000, 2 ünite      | Tennessee Valley Authority -ABD           | 4655                 |
| EPR                  | EdF-Fransa                                | 3400                 |
| İleri CANDU, 2 ünite | Bruce Power-Kanada                        | 2800                 |
| CPR, 4 ünite         | CGNPC-Çin                                 | 1530                 |
| VVER-1200, 2 ünite   | AEO-Rusya                                 | 2340                 |
| VVER-1200, 2 ünite   | AEP-Rusya                                 | 2000                 |
| APR-1400, 2 ünite    | KHNP-Kore                                 | 1850                 |
| AP1000, 2 ünite      | Progress Energy-ABD                       | 3462                 |
| ABWR, 2 ünite        | NRG-ABD                                   | 2900                 |
| APR-1400, 4 ünite    | ENEC-Birleşik Arap Emirlikleri            | 3643                 |

Kaynak:www.world-nuclear.org/info/Economic-Aspects/Economics-of-Nuclear-Power/, March 2014

Nükleer güç santrallerinin çoğu parçası radyoaktif değildir ya da çok düşük miktarda radyoaktivite taşır. Bu nedenle santralde kullanılan çoğu metal geridönüşüme verilebilir.

Nükleer tesislerin güvenli bir şekilde sökülmesini sağlamak için güvenilir teknoloji ve uygun ekipman dünyanın değişik bölgelerinde kullanılmaktadır. Nükleer santrallerin hizmetten çıkarılması/söküm maliyetleri, söküm sonrası ortaya çıkan atıkların da bertarafı dahil olmak üzere toplam elektrik üretim maliyetinin çok küçük bir kısmını oluşturmaktadır.

Tüm enerji santralleri (kömür, doğal gaz ve nükleer) belirli bir ekonomik işletme ömrüne sahiptir. Genel olarak, ilk nesil nükleer santraller 30 yıl kullanım ömrüne sahip olarak tasarlanmışlardır. Yeni santraller 40 ile 60 yıl işletme ömrüne sahiptir. Herhangi bir santralin kullanım süresi dolduğunda hizmetten çıkarılması, sökülmesi ve santral sahasının farklı kullanımları için temizlenmesi gerekmektedir. Almanya kapatılan nükleer santrallerin diğer santral tiplerine dönüşümü için çalışma başlatmıştır.

*Hizmetten Çıkarma/Söküm Seçenekleri:* IAEA uluslararası kabulü olan üç farklı hizmetten çıkarma prosedürü tanımlamaktadır;

*Decon:* Santral kapatıldıktan hemen sonra birkaç ay/yıl sonra söküm ve dekontaminasyon işlemlerinin başlatılarak santral sahasının yeniden kullanıma uygun hale getirilmesidir.

*Safstor:* Nihai söküm ve kontrol işlemlerinin uzun bir dönem genellikle 40 ile 60 yıl sonrasına ertelenmesi seçeneğidir. Böylelikle, santral sahası güvenli bir alan olarak değerlendirilip radyoaktivite seviyesinin düşürülmesinin beklendiği seçenektir.

*Entomb:* Bu seçenek, santral sökülmeden ve saha temizliği yapılmadan santralin uzun ömürlü beton kaplama ile radyoaktivite ile ilgili endişe ve kaygılara neden olmayacak şekilde tamamen kapatılmasıdır.

Herbir yaklaşımın faydaları ve dezavantajları vardır. Bu yaklaşım veya kombinasyonların hangisinin kullanılacağına belirleyicisi ulusal politikalar, Decon, gelecek nesillere sorumluluk doğurmaz. Safstor, radyoaktivite seviyesi düştüğü için düşük maliyetlidir.

Değişik tipte nükleer tesislerin hizmetten çıkarma deneyimi değerlendirildiğinde; yaklaşık 85 ticari nükleer güç reaktörü, 45 deney ve prototip reaktörü, 250'nin üzerinde araştırma reaktörü ve birçok sayıda yakıt çevrim tesisi işletmeden emekliye ayrılmıştır.

Bunlardan 15 tanesi tamamen sökülmüş, 50 tanesi sökülmekte, 50'nin üzerinde safstor, 3 tanesi entomb ve geriye kalan diğerlerinin hizmetten alma stratejileri henüz belirlenmemiştir.

Nükleer santrallerin ilk yatırım maliyeti 1000 MWe güç için hidro-elektrik santral ile aynı seviyede ancak kömür santralinden daha yüksektir. Kapasite faktörü düştükçe, yatırımın geri dönüş hızı da düşeceğinden bir nükleer santrali yüksek kapasite faktörü ile işletmek son derece önemlidir. Keban Barajı 5 yılda, Atatürk Barajı 7 yılda ve Mu Xuequan, Xinhua (2006)'ya göre Three Gorges Barajı 10 yıl içinde yatırım geri dönüşümü tamamlanmıştır.

Gemiler ve çok sayıda denizaltının hizmetten çıkarma ve bertaraf edilmesi, hakkında bilgilere ulaşmakta yaşanan zorluklar nedeniyle kapsam dışı tutulmuştur.

Çeşitli sosyal ve ekonomik gelişmişlik düzeyinde, yüksek gelirli devletlerden düşük gelirli ülkelere kadar mesafede, temiz enerji ihtiyacı ve iklim değişikliği üzerinde artan endişelere ilave olarak maliyetler ve enerji güvenliği nükleer gücü çekici bir alternatif olarak sunmaktadır. Hızla artan dünya elektrik enerjisi talebi nükleer enerjinin güçlü olmaya devam edeceğini öngörmektedir.

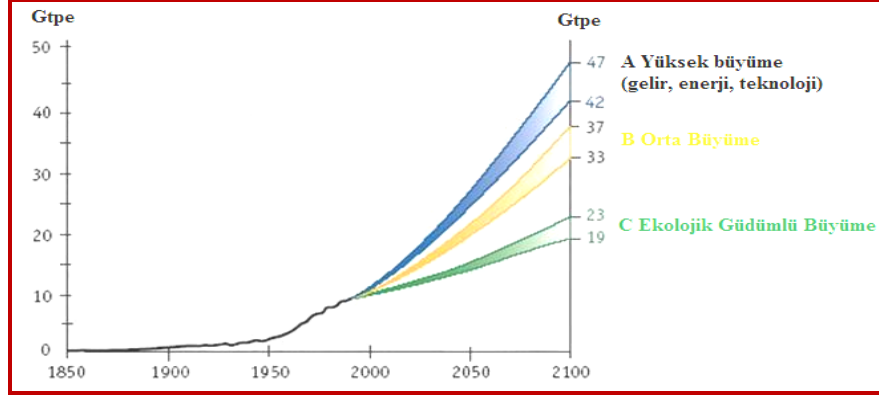
Dünya enerji talebi, artan nüfus, değişen ve hızla gelişen teknoloji enerji konusunun önemini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, enerji gelecek talep tahminlerinin sağlamlığı büyük önem taşımaktadır.

### **3.1.1. Nükleer Enerji Arz ve Talep Boyutu**

Hızla değişen ve gelişen teknoloji, nüfus artışı ve sosyo-ekonomik gelişme paralelinde çeşitli faktörlere bağlı olarak dünya enerji talebinin artması beklenmektedir. (Şekil 3.6) Nüfus artışına bağlı olarak enerji talebindeki artışın önemli bölümünün gelişmekte olan ülkelerde yaşam standardının artırılmasına yönelik olarak meydana gelmesi öngörülmektedir.

Uluslararası Uygulamalı Sistem Analizi Enstitüsü ve Dünya Enerji Konseyi (1998) tarafından dünyada 2050 yılı için elektrik talebinin iki kat, enerji talebinin ise 1.5-3.0 kat artacağı tahmin edilmiştir (TAEK,2012).

Şekil 3.6: 2100 Yılı Talep Tahminleri



Kaynak: <http://www.taek.gov.tr/component/content/article/128-isinlama-teknolojisi/443-gida-isinlama-teknolojisi-nedir-.html>

İngiliz Kraliyet Cemiyeti ve Kraliyet Mühendislik Akademisi (1999), nüfus artışı ve yaşam standartlarının artması paralelinde enerji tüketiminin gelecek 50 yılda 2 kat, gelecek 100 yılda ise 5 kat artabileceğini öngörmüştür (TAEK,2012).

*Arz Güvenliği ve Kaynak Çeşitliliği:* Bir ülkenin elektrik ihtiyacının zamana göre değişmesine rağmen mutlaka ihtiyaç duyulan asgari bir seviye olan “baz” düzey mevzu bahisdir; bu güç seviyesinin üzerindeki gereksinimler “puant” diye adlandırılır. Temel güç seviyesinin karşılanmasında nükleer ve fosil yakıtlar dışsallıklara bağımlı olmadıklarından güvenilir ve rakipsizdir. İklim koşullarına bağımlı olmaları nedeniyle barajlar "puant" gücün karşılanmasında önemli elektrik üretim seçeneğidir. Tabiatı gereği güneş ve rüzgar enerjileri kapasite faktörü nedeniyle temiz olmalarına rağmen daha da az “güvenilir”dirler.

Dilaver ve Hunt (2011) tarafından yapılan bir çalışmada, 1960 yılından 2008 yılına kadar Türkiye’nin toplam elektrik talebi kullanılarak, elektrik talebi, GSYH ve elektrik fiyatları arasında gelecekte görülebilecek ilişki ortaya konmuştur. Çalışmanın sonuçları, GSYH, elektrik fiyatı ve enerji talep eğilimlerinin elektrik talebini belirlediğini ve elektrik talebinin hızı azalarak artacağını ve 2020 yılında elektrik talebinin 259 TWh ve 368 TWh arasında olacağını göstermiştir.

Çeşitli sosyal ve ekonomik gelişmişlik düzeyinde, yüksek gelirli devletlerden düşük gelirli ülkelere kadar mesafede, temiz enerji ihtiyacı ve iklim değişikliği üzerinde artan endişelere ilave olarak maliyetler ve enerji güvenliği nükleer gücü çekici bir alternatif olarak sunmaktadır. Hızla artan dünya elektrik enerjisi talebi nükleer enerjinin güçlü olmaya devam edeceğini öngörmektedir.

Dünya enerji talebi, artan nüfus, değişen ve hızla gelişen teknoloji enerji konusunun önemini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, enerji gelecek talep tahminlerinin sağlamlığı arz güvenliğinin sağlanabilmesi için büyük önem taşımaktadır.

### **3.1.2. Nükleer Enerji, İktisadi Büyüme ve Sürdürülebilir Kalkınma İlişkisi**

Teorik olarak, literatürde ekonomik büyüme ile enerji tüketimi arasında ilişki olup olmadığı çok fazla işlenmiş olsa da değişkenler arasındaki nedenselliğin yönü hususunda görüş farklılıkları vardır.

Örneğin Baumier, Bertel ve Charles (1986) enerji tüketimi ve üretimi arasındaki dengenin tüm farklı enerji şeklinin kullanımına bağlı olduğunu ve herhangi bir enerji stratejisi için nükleer enerjinin kazanan olduğunu açıklamışlardır. Moynet (1987) bazı ülkelerde veya bölgelerde kömür santralleri ile nükleer santrallerin ekonomik karşılaştırılmasını incelendiğinde, nükleer gücün ekonomik kalkınmada muhteşem ve genişleyen bir role sahip olacağını göstermenin zor olmadığını ortaya koymuştur. Navarro (1988) Japonya’da nükleer enerjinin önemli ölçüde ABD’den daha ekonomik olduğunu sonucuna varmıştır.

Yoo ve Jung (2005) Kore’de nükleer enerji ile ekonomik büyüme arasında kısa ve uzun dönem nedensellik konularında 1977-2002 dönemi yıllık verilerini kullanarak zaman serisi uyguladıkları modelle nükleer enerji tüketiminden ekonomik büyümeye herhangi bir geri besleme etkisi olmadan tekyönlü nedensellik olduğunu göstermektedirler.

Mahadevan ve Asafu-Adjaye (2007) enerji tüketimi-GSYH büyüme ilişkisini 20 net enerji ithalatçısı ve ihracatçısı ülkenin 1971-2002 yılları arasındaki verilerini kullanarak araştırdıkları Panel Error Correction modelde; enerji ihracatçıları arasında gelişmekte olan ülkelerde ekonomik büyüme ve enerji tüketimi arasında kısa dönemde iki yönlü nedensellik olduğu halde gelişmiş ülkelerde hem kısa hem de uzun vadede aynı ilişki olduğu ve gelişmekte olan ülkelere kıyasla gelişmiş ülkelerin enerji tüketimindeki bir artıştan ekonomik büyüme bakımından tepki esnekliğinin daha büyük olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Hunt, Chontanawat ve Pierse (2008) enerji ve GSYH arasındaki 100’den fazla ülke için tutarlı bir veri ve metodoloji kullanarak yaptıkları nedensellik testleriyle

enerjinin tartışmasız ekonomik kalkınmada önemli bir rol oynadığını açıklamaya çalışmışlardır. Ayrıca, enerjiden GSYH'ye nedenselliğin gelişen OECD üyesi olmayan ülkelere kıyasla gelişmiş OECD ülkelerinde daha yaygın olduğu görülmüştür.

Yoo ve Ku (2009) nükleer enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki nedensel ilişkiyi 2005 yılına kadar 20 yıldan fazla nükleer enerjiyi kullanan 20 ülke arasından altı ülke verilerini kullanarak zaman serisi teknikleriyle araştırmışlardır. Ana sonuç, nükleer enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki nedensel ilişki ülkelerde tek tip değildir. İsviçre'de nükleer enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasında iki yönlü bir nedensellik vardır. Bu nükleer enerji tüketiminde bir artış, doğrudan ekonomik büyümeyi etkiler ve ekonomik büyümenin nükleer enerji tüketimini daha da uyardığı anlamına gelmektedir. Tek yönlü nedensellik Fransa ve Pakistan'da herhangi bir geri besleme etkisi olmadan ekonomik büyümeden nükleer enerji tüketimine, Kore'de nükleer enerjiden ekonomik büyümeye doğru çalışır. Ancak, Arjantin ve Almanya'da nükleer enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasında herhangi bir nedensellik tespit edilmemiştir.

Payne ve Taylor (2010) neoklasik üretim fonksiyonu çerçevesinde ABD için 1957-2006 yıllık verileri kullanarak bir neoklasik üretim fonksiyonu çerçevesinde nükleer enerji tüketiminin büyümesi ve reel gayri safi yurtiçi hasılanın büyümesi arasındaki ilişkiyi açıklamaya yönelik yaptıkları Toda-Yamamoto (1995) uzun dönem Granger nedensellik-testi, literatürde enerji tüketimi-ekonomik büyüme tarafsızlık hipotezini destekleyen nükleer enerji tüketiminin büyümesi ve reel gayri safi yurtiçi hasılanın büyümesi arasındaki Granger nedenselliğinin yokluğunu ortaya çıkarmıştır.

Wolde-Rufael ve Menyah (2010) ek değişkenler olarak sermaye ve emek içeren, 1971-2005 arası dönemde dokuz gelişmiş ülke için nükleer enerji tüketimi ve reel GSYH arasındaki nedensel ilişkiyi Toda ve Yamamoto tarafından geliştirilen Granger nedensellik testi ile incelemişlerdir. Buna göre; Japonya, Hollanda ve İsviçre'de nükleer enerji tüketiminden ekonomik büyümeye çalışan tek yönlü nedensellik, Kanada ve İsveç'te ekonomik büyümeden çalışan nükleer enerji tüketimine zıt tek yönlü nedensellik ve Fransa, İspanya, Birleşik Krallık ve Amerika Birleşik Devletleri'nde ekonomik büyüme ve nükleer enerji tüketimi arasında çalışan çift yönlü nedensellik bulunmuştur. İspanya, Birleşik Krallık ve ABD'de alınan koruma önlemlerinin nükleer enerji tüketimini düşürmesinin ekonomik büyümeyi negatif etkileyebilmesi şeklinde

algısına rağmen nükleer enerji tüketiminde artışlar ekonomik büyümede artışa neden olmuştur. Fransa, Japonya, Hollanda ve İsviçre’de nükleer enerji tüketiminde artışlar alınan enerji koruma önlemleri dolayısıyla ekonomik büyüme üzerinde büyüme düşüşlere neden oldu. Kanada ve İsveç’te enerji koruma önlemleri ekonomik büyümeye zarar vermeyecek şekilde nükleer enerji tüketimini etkilemektedir.

Apergis ve Payne (2010) 1980-2005 döneminde nükleer enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi on altı ülke için incelemişler; uzun dönemde nükleer enerji tüketiminden ekonomik büyümeye doğru tek yönlü nedensellik bulunduğu halde kısa dönemde nükleer enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasında iki yönlü nedensellik olduğu sonucunu elde etmişlerdir.

Wolde-Rufael (2010) ekonomik büyüme ve nükleer enerji tüketimi arasındaki dinamik ilişkiyi Hindistan’da 1969-2006 döneminde emek ve sermaye için incelediğinde kısa ve uzun dönemde nükleer enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasında ilişkiyi incelemiştir. Nükleer enerji tüketiminden ve ekonomik büyümeye doğru geri beslemesiz çalışan pozitif ve yüksek tek yönlü nedensellik tespit edilmiştir. Buna göre Hindistan’da ekonomik büyüme düştüğünde reel geliri düşüren nükleer enerji tüketimine bağlıdır. Hızla büyüyen bir enerji bağımlı ekonomi için bu ekonomik büyüme için geniş kapsamlı etkileri olabilir. Enerjisel koruma tedbirlerinin ekonomik büyüme üzerinde olumsuz etkilerine bakılmaksızın gerçekleştirilmesi halinde Hindistan'ın ekonomik büyümesinde hayal kırıklığı yaratabilecektir.

Apergis, Payne, Menyah ve Wolde-Rufael (2010) gelişmiş ve gelişmekte olan 19 ülkede 1984-1987 döneminde bir panel hata düzeltme model yapısı kullanarak CO2 emisyonu, nükleer enerji tüketimi, yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki nedensel ilişkiyi bulmaya çalışmışlardır. Ampirik kanıtlar emisyonlar, nükleer enerji, yenilenebilir enerji ve ekonomik büyüme arasında uzun dönemli bir ilişki olduğunu göstermektedir. Uzun dönemde nükleer enerji, nükleer enerji emisyonları düşürmekte, *nükleer enerji tüketiminde % 1’lik bir artışla CO2 emisyonlarında % 0,477’lik bir azalma meydana gelmekte* ve nükleer enerji CO2 emisyonlarının azaltılmasında önemli bir rol oynamaktadır.

9 Orta ve Kuzeydoğu Asya (MENA) ülkesinde 1978-2009 yılları arasında elektrik tüketimi ile GSYH arasındaki ilişkiye yönelik panel VECM modeli ile yapılan test sonucuna göre hem kısa dönemde hem de uzun dönemde elektrik tüketimiyle GSYH

arasında çift yönlü nedensellik olduğu görülmüştür (Akbaş ve Şentürk, 2013).

Türkiye'de 1996:01-2004:04 dönemi üçer aylık dönemler halinde (Aydın, 2010) tarafından sıradan en küçük kareler yöntemi ile test edildiğinde; *“enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasında pozitif yönlü bir ilişki olduğu ve enerji tüketimindeki %1’lik değişimin ekonomik büyümede %1.03’lük bir artışa neden olduğu”* sonucuna ulaşılmıştır.

Fei, Xue, Liang, Yang ve Wangzhou (2011) Çin'de 30 ilde 1985-2007 döneminde enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi incelediklerinde ampirik sonuç, kişi başı reel GSYH ve enerji tüketim değişkenleri arasında pozitif uzun dönem eşbütünleşik bir ilişki olduğunu göstermektedir.

Nuclear Energy Institute (2014) analizi, ortalama nükleer santraller tarafından harcanan her dolar yerel ekonomide 1,04 \$, eyalet ekonomisinde 1,18 \$ ve ABD ekonomisinde 1,87 \$ yaratılmasına yol açtığını göstermektedir.

Nükleer enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki nedensel ilişkiyi sanayileşmiş dört ülke olan ABD, Kanada, Japonya, Fransa için 1965-2010 döneminde inceleyen (Naser, 2015) Japonya’da, nükleer enerji tüketiminden ekonomik büyümeye doğru tek yönlü nedensellik olduğu, buna karşın Fransa’da artan reel GSYH’nın ek nükleer enerji tüketimine neden olduğu, ABD ve Kanada’da, tarafsızlık hipotezinin destekleyen kanıtlar olduğunu açıklamaya çalışmıştır. Dört ülkeden üçünde reel petrol fiyatlarının seviyesi, nükleer güç talebinin kaynağı olarak hayati bir role sahip gibi görünmektedir. ABD, Japonya ve Fransa’da küresel petrol piyasası nükleer enerji talebi belirlemede anahtar bir rol oynamaktadır. Bu, petrol ithal eden ülkelerde herhangi bir beklenmeyen petrol fiyatlarındaki artışın ekonomik büyümeyi olumsuz etkileyebileceği durumuyla yüzleşmek için nükleer enerji tüketimindeki sınırlamaların üstesinden gelmek için çaba gerektiği anlamına gelmektedir.

Enerji kaynaklarının çevresel etkileri konusunda farkındalığın gelişmesine rağmen dünya enerji talebi hızla artmaktadır (TAEK, 2012). Enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği hususu fosil kaynakların bilinen olumsuz yönleri göz önüne alındığında kalkınma bakımından büyük önem taşımaktadır. Nükleer enerji ile fosil enerji kaynakları kapasite faktörü açısından mukayese edildiğinde ısı ve elektrik üretiminin yanında baz enerji olarak enerji arz güvenliği bakımından büyük ölçüde

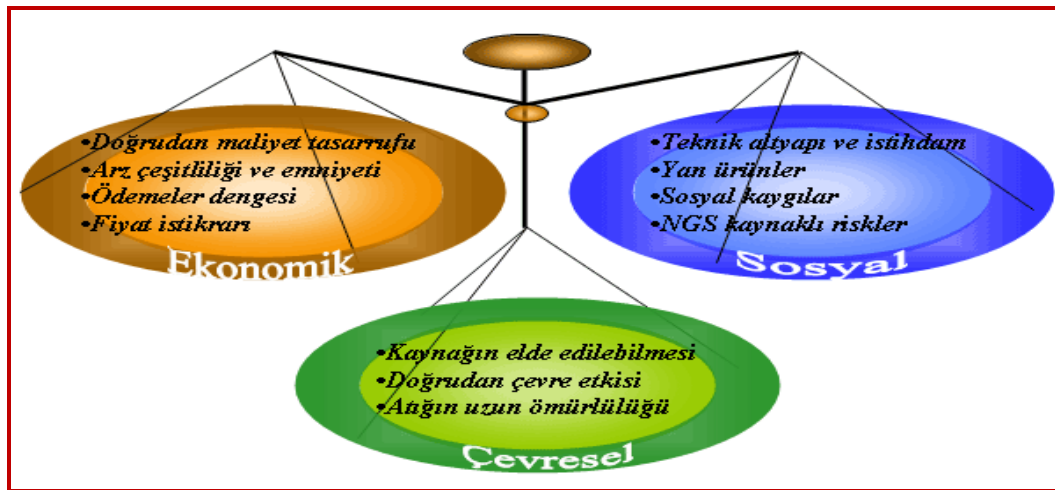


avantaj sağlamaktadır. Ekonomik gelişme bakımından enerji sürdürülebilir kalkınmanın mühim bir bileşenidir.

TÜİK (2013) tarafından Eurostat sürdürülebilir kalkınma göstergeleri dikkate alınarak yapılan çalışmada; Ar-Ge Harcamasının GSYH içindeki payı 2011 yılında %8,6 iken bu oran 2012 yılında % 9,2, 20 ile 64 yaş arası istihdam oranı 2012 yılında %52,8 iken, 2013 yılında %53,4, toplam nihai enerji kullanımı 2012 yılında 89 008 bin tep, enerji bağımlılığı 2011 yılında %71,6 iken, 2012 yılında %74,3 olarak gerçekleşmiştir. Maddi yoksunluk oranı 2011 yılında %60,4 iken 2012 yılında %59,2, eğitim ve öğretimden erken ayrılanların oranı 2012 yılında %39,6 iken, bu oran 2013 yılında %37,6 olarak gerçekleşmiştir. Resmi kalkınma yardımlarının GSYH içindeki payı 2011 yılında %0,17 iken, 2012 yılında %0,32 düzeyinde ve 2011 yılında 17,2 \$ olan kişi başına resmi kalkınma yardımı, 2012 yılında 33,7 \$ olarak gerçekleşmiştir. Kamu kurum/kuruluşları ile iletişimde bireylerin kişisel amaçla internet kullanma oranı 2012 yılında %45,1, 2013 yılında ise %41,3 olmuştur.

UNDP (2015) sürdürülebilir kalkınma bakımından 2030 yılına kadar ilki “Yoksulluğa Hayır” olan 17 hedef belirlemiş olup 7.ve 8. hedef sırasıyla satın alınabilir ve ucuz enerji ile ekonomik büyümedir. Sürdürülebilir kalkınma açısından nükleer enerji sosyal-ekonomik-çevre üçgeninde irdelenmiştir (Şekil 3.7).

Şekil 3.7: Nükleer Enerji ve Sürdürülebilir Kalkınma



Kaynak: TAEK, 2009

Fosil yakıt fiyatlarındaki dalgalanma eğilimine bağlı olarak düşük maliyetli elektrik enerjisi üretimi güvenilirliği ve rekabeti artırmak suretiyle sürdürülebilir

kalkınma açısından önemli rol oynamaktadır. Politik istikrarsızlık gibi nedenler enerji arzını etkilemektedir (TAEK, 2012). Dünya doğalgaz rezervlerinin üçte ikisini, ham petrol rezervlerinin %70'ini Rusya ile doğu ülkelerinin kontrol etmesi değerlendirildiğinde uzak mesafeler için arz güvenliğinin sağlanması büyük önem taşımaktadır.

OECD ülkeleri dünyadaki uranyumunun yaklaşık %55'ini üretmektedir. Bilinen uranyum rezervlerinin 250 yıllık ihtiyacı karşılayabileceği öngörülmektedir. Deniz suyunda bulunan uranyum hesaba katıldığında yaklaşık 4 milyar ton uranyum rezervine ulaşılmaktadır. Kullanılmış yakıtın yeniden işlenmesi uranyum talebini % 10-15 kadar düşürebilmektedir. 1 GWe elektrik enerjisi üretmek için 25 ton nükleer yakıtı veya 3.000.000 ton kömüre ihtiyaç olduğu değerlendirildiğinde nükleer yakıt kolay depolanabilir ve düşük maliyetle muhafaza edilebilmektedir. Dış kaynaklara olan bağımlılık arttıkça ekonomik sonuçları da kaçınılmazdır. Enerji arz güvenliği ve çeşitliliği ulusal güvenliği güçlendireceğinden dolayı olarak yatırımları daha cazip hale getirecek ve kalkınmada önemli bir rol oynayacaktır. Sürdürülebilir kalkınmayı destekleyecek optimum enerji çeşitliliğini temel ve alternatif bazda sağlayacak bileşimler ülkeye katmadeğer sağlayacaktır. Uranyum, yerkabuğu ve okyanuslarda çok miktarda bulunmaktadır. Nükleer enerji kaynak sınırlamasının olamayacağı bir saha olarak değerlendirildiğinde, büyük miktarda toryum rezervlerine sahip olan Hindistan toryum yakıt çevrimini uygulamaya çalışmaktadır (TAEK, 2012).

OECD ülkelerinde kurulu nükleer santraller yılda yaklaşık 1.2 milyon ton CO<sub>2</sub> salımına engel olmakta ve dünya CO<sub>2</sub> salımını % 8 düşürmektedir. Nükleer üretim kapasitesinde önemli bir artış olması durumunda küresel ısınmanın engellenmesine büyük bir oranda katkı sağlayabilecektir. 2100 yılı itibarı ile dünya kurulu nükleer güç kapasitesinin 10 katına çıkması durumunda toplam karbon salımı % 15-17 önlenmiş olabilecektir. Sera gazı salımına katkıda bulunmaksızın dünya enerji talebindeki artışı karşılayabilecek kapasite faktörü yüksek en etkin seçenek nükleerdir. Nükleer endüstri diğer enerji üretim endüstrilerine oranla daha çok yüksek nitelikli işgücü istihdam etmekte ve yan sanayinin gelişimine katkıda bulunarak istihdam artışına neden olmaktadır.

Her enerji çeşidinin negatif dışsalılığı vardır. Nükleer enerji konusundaki kaygılar güvenlik, nükleer silahlanma, radyoaktivite ve nükleer atıklardır. ABD, Fransa,

Japonya, Kanada, İngiltere ve Rusya gibi gelişmiş ülkelerin büyük oranda nükleer santrallere sahip olduğu değerlendirildiğinde bu ülkelerde insani kalkınmışlık endeksinin yüksek olduğu görülmektedir.

Belirli periyodlar halinde radyoaktif maddelerin suya ve havaya verilmesi kaynaklı deşarjlar, 2020 yılı itibarı ile sifıra yakın olmasına yönelik uluslararası anlaşmalarla desteklenmekte ve denetlenmektedir (OSPAR Commission, 2016). Potansiyel riskler değerlendirildiğinde nükleer enerji kaynaklı risklerin halk ve çevre sağlığı bakımından fosil yakıt kaynaklı risklerden daha düşük olduğu görülmektedir.

Güvenlik açısından değerlendirildiğinde tüm nükleer tesisler asimetrik tehditlerin ve karanlık eylemlerin potansiyel hedefi durumundadır. Ancak, Fukushima sonrası alınan tüm tedbirlerle olasılıklı güvenlik hesaplamaları asimetrik saldırı ve felaketlere karşı nükleer santralleri daha güvenli kılmıştır.

Sürdürülebilir kalkınma odaklı olarak nükleer enerjinin dünyanın gelecekteki enerji ihtiyacının büyük bir kısmını tedarik etme potansiyeline sahip olduğu görülebilir. Sürdürülebilir kalkınmanın sosyal bileşeni olan halk kabulü ve sosyal kaygılar ülkeden ülkeye farklılık göstereceğinden çevresel risklerin kabul edilebilirliği, sürdürülebilirlik bakımından önemli ölçüde rol oynayacaktır.

### **3.1.3. Nükleer Enerji, İstihdam ve Kapasite Kullanımı**

Nükleer enerji endüstrisi iş imkanı yaratmada ve ekonomik büyümede kısa dönem ve uzun dönem açısından ekonomik fayda sağlamakta ve işsizliği giderme bakımından önemli rol oynamaktadır. ABD'de 99 nükleer reaktör elektrik satışları ve gelirlerinden her yıl 40 ile 50 milyon dolar katma değer sağlamakta ve 100.000'den fazla işçisinin istihdamına katkıda bulunmaktadır. Nükleer enerji istihdam durumu ülkelere göre incelendiğinde; Kanada'da 80.000 kişi, ABD'de 100.000 kişi, Rusya'da 250.000 kişi ve Fransa'da 400.000 kişi istihdam edilmektedir.

Enerji kampanyaları, akademik birimler, hükümet ve diğer enerji sektörleri tarafından yapılan maliyet etkinlik analizleri nükleer enerjinin diğer enerji kaynaklarından daha rekabetçi olduğunu göstermektedir. Araştırmalar tipik bir nükleer santralin (1.000 MWe gücünde ve 23 nükleer santral ortalaması) hizmet ve mal satışlarından yaklaşık 470 milyon dolar yerel ekonomiye katkı sağladığını

göstermektedir. Bunun 453 milyon doları direkt 17 milyon doları indirekt katkıdır. Eyalet ve ülke ekonomisine göre sırasıyla 80 ve 393 milyon dolar katkı yaptığı görülmektedir. Nuclear Energy Institute (2014) analizi ortalama nükleer santraller tarafından harcanan her dolar yerel ekonomide 1,04 \$, eyalet ekonomisinde 1,18 \$ ve ABD ekonomisinde 1,87 \$ yaratılmasına yol açtığını göstermektedir. Ücretlerin ise yerel ortalamanın %36 oranında yukarısında olduğu sonucuna varılmıştır.

Nükleer güç santralleri büyük ve sermaye yoğun projelerdir. ABD Ticaret Departmanı 10 yıldan fazla bir sürede uluslararası hizmet ve teçhizat piyasasında nükleerin payının 500-740 milyar dolar arasında olduğunu tahmin etmektedir. Ayrıca, her 1 milyar dolarlık ihracatın ABD firmalarına 5.000 ile 10.000 işçi sağladığı belirlenmiştir.

ABD'de yaklaşık 50 yıl boyunca nükleer endüstride kullanılan yakıt stok edilse 1 futbol sahası büyüklüğünde ve 10 yard'dan daha az derinlikte bir alanı kaplamış olacaktır. İşletici firmalar yakıtın taşınmasından, geçici stoklanmasından ve bertaraf edilmesinden sorumludur. Uranyum dünya ticari nükleer güç santrallerinde enerji üretmek için yoğun bulunan madenlerden biridir. OECD ve IAEA raporuna göre uranyum kaynakları nükleer enerji ihtiyacını karşılamak için şu andaki tüketim seviyesine göre önümüzdeki 100 yıla karşılayacak yeterliliktedir. Daha etkin hızlı reaktörler bu süreyi 2500 yıldan fazla bir süreye çıkartacaktır. Kanada ve Avustralya küresel uranyum üretiminin %40'ını, ABD ise %3'ünü karşılamaktadır.

ABD'de enerji üretim kaynaklarına göre istihdam sayıları (Şekil 3.8) incelendiğinde nükleer güç santrallerinin 500 kişi ile en yüksek istihdam kapasitesini yakaladığı görülmektedir. Her nükleer santral her 18-24 ayda bir bakım gerektirdiğinden ek istihdam sağlamaktadır. ABD'de nükleer santralde 100 kişinin çalışmasıyla yerel ekonomide 66 ek istihdam sağlandığı görülmektedir.

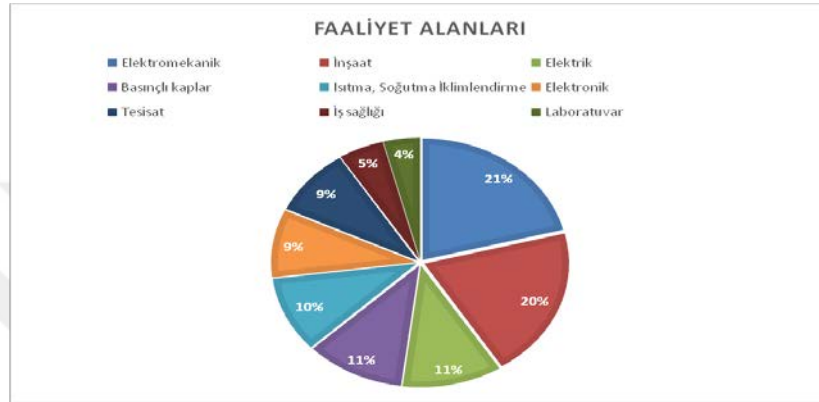
Şekil 3.8: ABD'de Enerji Üretim Kaynaklarına Göre İstihdam Sayıları



Kaynak : NEI, [www.nei.org](http://www.nei.org)

Nükleer enerjide ana ve tali sektörlerin faaliyet alanları Şekil 3.9'da görülmektedir. Sektörel bazda incelendiğinde elektrik-elektronik, çelik, makine, inşaat, tesisat, ekipman, kimya ve savunma sektörlerinin ön planda yer aldığı görülmektedir. Dünya genelinde 65 reaktör inşa aşamasında ve 173 reaktör siparişi verilmiş ve planlanmıştır. Buna göre, ABD firmaları için her yıl 14 milyar \$'lık hizmet ve yüksek kalite parça için ihracat fırsatı doğurmuştur.

**Şekil 3.9: Nükleer Enerji Faaliyet Alanları**



Kaynak: NEI, www.nei.org

Ayrıca, nükleer enerji endüstrisindeki iş pozisyonları Tablo 3.5'de gösterilmektedir.

**Tablo 3.5: Nükleer Enerji Endüstrisindeki İş Pozisyonları**

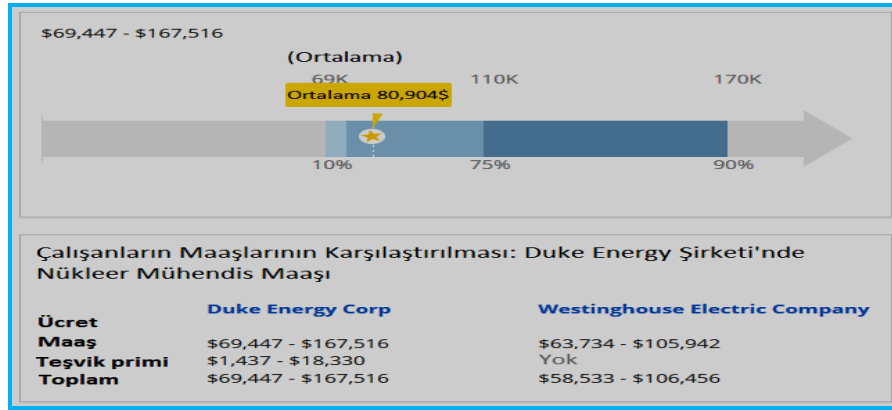
| Nitelikli işçiler         | Mühendisler ve Diğer Profesyoneller | Teknisyenler ve Radyasyon Uzmanları |
|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Marangozlar               | Muhasebeciler                       | Kimyacılar                          |
| Elektrikçiler             | Kimya mühendisleri                  | Mekanikçiler                        |
| Ağır ekipman operatörleri | İnşaat mühendisleri                 | Radyasyondan korunma uzmanları      |
| Duvarcılar                | Sağlık fizikçileri                  | Reaktör operatörleri                |
| Tesisatçılar              | Avukatlar                           |                                     |
| Saç metal işçileri        | Makine mühendisleri                 |                                     |
| Kaynakçılar               | Nükleer mühendisler                 |                                     |

Kaynak: NEI, www.nei.org

ABD Enerji Dairesi elektrik talebinin 2040'a kadar %28 artacağını projelendirmiştir. Nükleer enerji 24/7 uygunlukta ve sera gazı emisyonu etkin olan bir enerji kaynağıdır. Küçük nükleer reaktörler ulusal enerji çeşitliliği açısından hükümetlerin dikkatini çekmektedir. Çin'de yapılması planlanan 4 Westinghouse reaktörü ABD'de 20'den fazla eyalette 20.000'den fazla iş gücü sağlamaktadır.

Bir nükleer santral 400.000 yarda küp çimento, 66.000 ton çelik, 44 mil boru, 300 mil elektrik kablosu 130.000 elektrik malzemesi gerektirir. Ayrıca santral inşasının zirve aşamasında 3.500 inşaat işçisi gereklidir. İşletilen bir nükleer santral ekonomiye pozitif etki yapmakta ve ABD için 600 yüksek nitelikte ve yüksek ücrette iş gücü gerektirmektedir. Westinghouse ve Duke Enerji firmaları nükleer mühendis ortalama ücretleri mukayesesi Şekil 3.10'da yer almaktadır.

**Şekil 3.10: Duke ve Westinghouse Nükleer Enerji Mühendisleri Yıllık Ücret Mukayesesi**



Kaynak: [www.engineers.getintoenergy.com/engineer\\_nuclear.php](http://www.engineers.getintoenergy.com/engineer_nuclear.php)

Buna göre nükleer enerji mühendisinin çalıştığı yerin coğrafi konumuna bağlı olarak yıllık ortalama ücreti 89,860 \$'dır. Türkiye'de inşaatın en yoğun olduğu dönemde Akkuyu Nükleer Santralinde çoğunluğu Türk işçi olmak üzere yaklaşık 10.000 kişinin çalışacağı öngörülmektedir. Bu proje sayesinde firmalar, yaklaşık 8 milyar dolarlık yalnız inşaat malzemeleri değil aynı zamanda kritik teknoloji dışı makine-ekipman üretimi sürecine de dahil olacaklardır. Böylece, nükleer teknolojiye milli olarak sahip olunması için G.Kore örneğinde olduğu üzere nükleer santral projesinin başlaması ve belirli bir zaman geçmesi gerekmektedir.

Parsons (2011) tarafından yapılan ekonomik etki analizi neticesine göre, Ürdün'de kurulacak nükleer santrallerin toplam ekonomik etkisi 10.161 milyon \$ ve istihdam kapasitesi 7.726 iş olarak hesaplanmıştır.

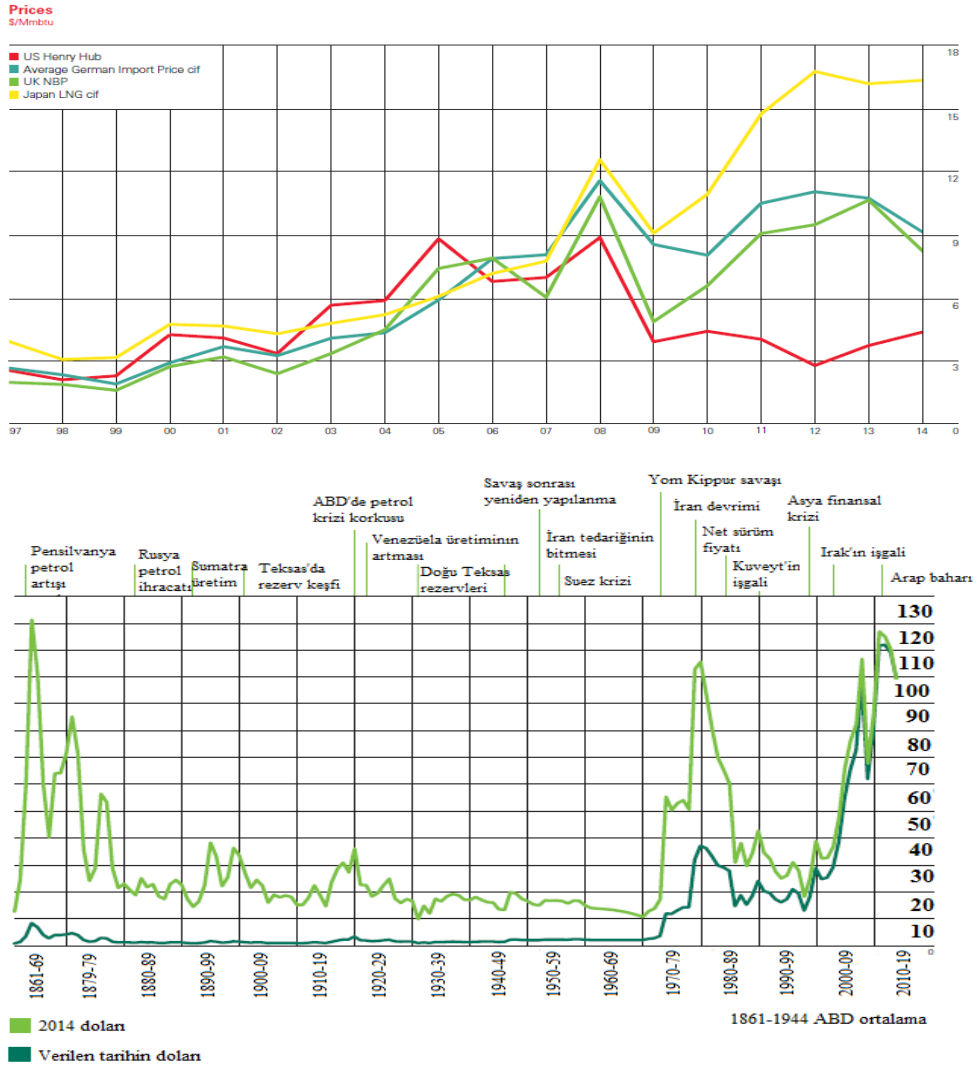
Yeni nesil nükleer santral, büyüklüğüne ve teknolojisine bağlı olarak 6 ile 8 milyar dolarlık yatırım gerektirmektedir.

### 3.1.4. Nükleer Enerji ve Fiyatlar Genel Düzeyi

Fosil yakıt temelli elektrik üretim maliyetlerinin baş aktörü yakıt fiyatlarıdır. Bu nedenle, rekabetçi piyasalarda fosil yakıt fiyatlarındaki dalgalanmalar ve ani değişimler elektrik üretim fiyatındaki değişimlere dikkate değer oranlarda yansıtılmaktadır (Şekil 3.11). Düşük yakıt maliyetine sahip nükleer kaynaklı elektrik üretimi, potansiyel bir istikrar etkisini elektrik üretim maliyetleri ve fiyatları üzerinde oluşturmaktadır.

Alternatif enerji seçeneklerinin mümkün olan optimum seviyede kullanımı, herhangi bir enerji kaynağı üzerindeki talep baskısının azaltılması yoluyla makroekonomik istikrara ve enerji arz güvenliğine katkı sağlayacaktır.

Şekil 3.11: Fosil Yakıt (Doğalgaz ve Petrol) Fiyatlarındaki Tarihsel Dalgalanmalar



Kaynak: BP, 2015

### 3.1.5. Nükleer Enerji ve Ödemeler Dengesi

Rekabetçi ve temiz bir enerji olduğu düşünülen nükleer enerjinin, maliyetler bakımından ticaret dengesine iki olumlu potansiyel etkisinden söz edilebilir. İlki, büyük hacimde ve miktarlarda ve yüksek maliyetli kömür, petrol veya doğal gaz ithalatına göre küçük miktarlardaki düşük maliyetli uranyum ithali görece olarak daha caziptir. İkincisi, nükleer endüstrinin milli olarak geliştirilmesi yerel katmadeger yaratarak kaynakların ülke içerisinde kalmasını sağlar. Böylece, yüksek teknoloji altyapısının oluşturulması ve yan sanayinin geliştirilmesi ile teknoloji ihracatına olumlu katkı sağlanmış olunur (TAEK, 2012).

Sinop ve Akkuyu nükleer santrallerinin Türkiye Vizyon 2023 hedefi doğrultusunda işletmeye alınması halinde, 2023 yılı kurulu gücün yaklaşık %10'unu nükleer santrallerden oluşacaktır (NEPUD, 2012). 2015 yılında devreye alındığı varsayıldığında, mevcut elektrik talebinin %27.5'i nükleer santrallerden tarafından karşılanmakta olacaktır. Böylece, 16 milyar metreküp doğalgaz ithali karşılığında yıllık 7.2 milyar dolar tasarruf nükleer santraller sayesinde sağlanmış olacaktır. Enerjide dışa bağımlılığın getirdiği ekonomik yük değerlendirildiğinde; 2011'de toplam 54 milyar ulaşan enerji sektör ithalatı, 2012'de 60 milyar dolara çıkmış, 2013'de bir gerileme olmuş ve ithalat 55.915 milyar \$'a gerilemiştir. Ancak, aynı dönemde ihracat gelirlerinin 1/3'ünden daha yüksek seviyededir (Türkyılmaz, 2014).

İthalatın ekonomik gruplara göre dağılımı Tablo 3.6'da yer almakta olup, 2011 yılı Ocak-Ağustos döneminde 160,5 milyar \$ olan ithalat bir sonraki yılın aynı dönemine göre hızlı iç talep yavaşlamasına, tüketim ve yatırım malları ithalatında yüksek oranda düşüşe bağlı olarak yüzde 2,4 oranında azalarak 156,6 milyar \$ olarak gerçekleşmiştir (BKK, 2012). Fakat, ihracat artışı paralelinde ara mallar ithalatında artış devam etmiştir. Ara malları ithalat artışı yüzde 1,7 ile sınırlı düzeyde kalırken tüketim malları %14,5 ve yatırım malları ithalatı % 11 oranında azalmıştır.



**Tablo 3.6: Türkiye’de İthalatın Ekonomik Gruplara göre Dağılımı**

|                             | (Milyar ABD Doları) |              |              |              | (Yüzde Pay) |            |              |            | (Yüzde Değ.) |              |
|-----------------------------|---------------------|--------------|--------------|--------------|-------------|------------|--------------|------------|--------------|--------------|
|                             | Yıllık              |              | Ocak-Ağustos |              | Yıllık      |            | Ocak-Ağustos |            | Yıllık       | Ocak-Ağustos |
|                             | 2010                | 2011         | 2011         | 2012         | 2010        | 2011       | 2011         | 2012       | 11/10        | 12/11        |
| <b>TOPLAM İTHALAT</b>       | <b>185,5</b>        | <b>240,8</b> | <b>160,5</b> | <b>156,6</b> | <b>100</b>  | <b>100</b> | <b>100</b>   | <b>100</b> | <b>29,8</b>  | <b>-2,4</b>  |
| Sermaye Malları             | 28,8                | 37,3         | 24,9         | 22,2         | 15,5        | 15,5       | 15,5         | 14,1       | 29,3         | -11,0        |
| Ara Malları                 | 131,4               | 173,1        | 115,0        | 116,9        | 70,8        | 71,9       | 71,6         | 74,6       | 31,7         | 1,7          |
| Tüketim Malları             | 24,7                | 29,7         | 20,1         | 17,2         | 13,3        | 12,3       | 12,5         | 11,0       | 20,0         | -14,5        |
| Diğer                       | 0,5                 | 0,7          | 0,5          | 0,4          | 0,3         | 0,3        | 0,3          | 0,3        | 35,3         | -21,4        |
| <b>TOPLAM İTHALAT</b>       | <b>185,5</b>        | <b>240,8</b> | <b>160,5</b> | <b>156,6</b> | <b>100</b>  | <b>100</b> | <b>100</b>   | <b>100</b> | <b>29,8</b>  | <b>-2,4</b>  |
| Enerji Ürünleri (27. Fasil) | 38,5                | 54,1         | 34,4         | 39,1         | 20,7        | 22,5       | 21,4         | 24,9       | 40,6         | 13,7         |
| Enerji Hariç                | 147,0               | 186,7        | 126,1        | 117,6        | 79,3        | 77,5       | 78,6         | 75,1       | 27,0         | -6,8         |

Kaynak: TÜİK

İthalatın hızla artması, üretim, yurtiçi talep ve enerji fiyatlarındaki hızlı artış 2011 yılında cari açığı olumsuz etkilemiştir. Cari açığın GSYH’ya oranı 2010 yılında %6,4 seviyesinde iken 2011 yılındaki seviye % 10 olarak artış göstermiştir. Yıllıklandırılmış cari açığın GSYH’ya oranı yurtiçi talebin yavaşlamasıyla 2012 yılı ilk çeyrekte yüzde 9,3’e ikinci çeyrekte ise yüzde 8,3’e gerilemiştir ( Tablo 3.7).

**Tablo 3.7: Türkiye’de Enerji Fiyatlarının Yıllıklandırılmış Cari Açık Üzerine Etkisi**

|                                                                     | (Milyar ABD Doları) |       |           |           |
|---------------------------------------------------------------------|---------------------|-------|-----------|-----------|
|                                                                     | 2010                | 2011  | 2012-1.Ç. | 2012-2.Ç. |
| Cari İşlemler Hesabı                                                | -46,6               | -77,1 | -71,8     | -63,2     |
| Net Enerji İthalatı (27. Fasil İhracatı - İthalatı)                 | -34,0               | -47,6 | -49,9     | -51,4     |
| 2002 Fiyatlarıyla Net Enerji İthalatı                               | -13,2               | -13,9 | -14,0     | -14,3     |
| Enerji Fiyat Etkisinden Arındırılmış Cari İşlemler Açığı (1)        | -25,8               | -43,5 | -35,9     | -26,1     |
| Cari İşlemler Açığı / GSYH (%)                                      | -6,4                | -10,0 | -9,3      | -8,3      |
| Enerji Fiyat Etkisinden Arındırılmış Cari İşlemler Açığı / GSYH (%) | -3,5                | -5,6  | -4,7      | -3,4      |

Kaynak: Kalkınma Bakanlığı, TÜİK, TCMB

2002 yılı seviyesinde enerji fiyat etkisinden arındırılarak cari açığın sabit kaldığı farzedildiğinde 2011 yılında yüzde 6’ya, 2012 yılı ikinci çeyreğinde ise yüzde 3,4’e gerilemektedir (BKK, 2012).

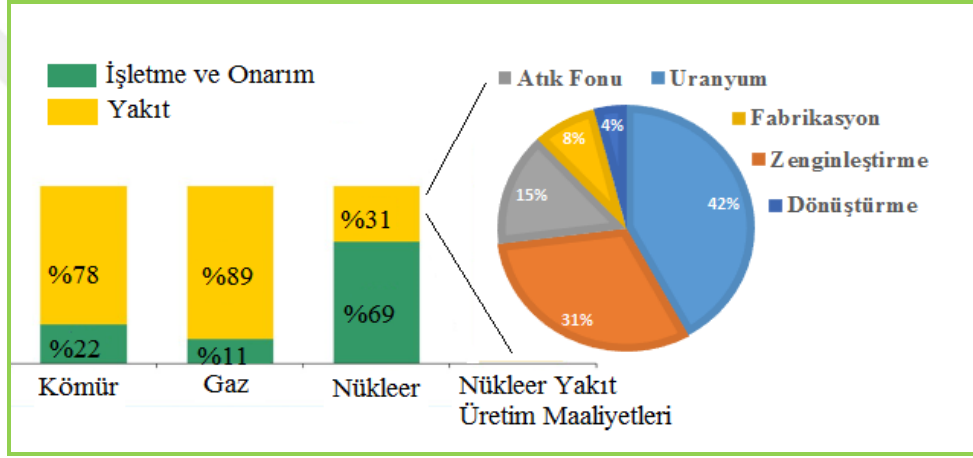
### 3.1.6. Nükleer Enerji Maliyetleri

Birim enerji üretim maliyeti ve santralin ilk yatırım maliyeti enerji santrallerinde maliyet unsurlarının değerlendirilmesinde öncelikle dikkate alınmaktadır. Santralin kullanım ömrü boyunca yapılan bütün harcamaları (ilk yatırım maliyeti, işletme/bakım maliyetleri) kapsayan birim enerji üretim maliyeti, santralden birim enerji elde edilmesi için gerekli olan maliyeti ifade eden ekonomik bir değerlendirme kriteridir (Özdemir, 2015). Santralin ilk yatırım maliyeti ve işletme/bakım maliyeti elektrik enerjisi üretimine etki eden başlıca faktörlerdir.

- ✓ Yüksek yatırım maliyetleri (6-8 milyar dolar)
- ✓ Yakıt maliyetleri
- ✓ İnşaat maliyetleri
- ✓ İşletme ve bakım maliyetleri
- ✓ Test ve kontrol maliyetleri
- ✓ Atık ve bertaraf maliyetleri
- ✓ Hizmetten alma maliyetleri (nükleer santral söküm maliyetleri:130-477 milyon \$)

Enerji üretim kaynaklarına göre işletme onarım ve yakıt maliyetleri Şekil 3.12’de gösterilmiştir. Düşük yakıt maliyeti olan nükleerde bu oran %31 düzeyindedir.

**Şekil 3.12: Enerji Üretim Kaynaklarına Göre İşletme Onarım ve Yakıt Maliyetleri**



Kaynak:Global H2 Energy Group, 2011

İlk yatırım maliyeti: Enerji santral maliyetlerinin en büyük kısmını oluşturur ve santralin enerji üretimine hazır hale getirilmesi amacıyla işletmeye başlamadan önce temel elemanlar (makine-teçhizat, bina, arazi vb.) için yapılan harcamalar anlamına gelir (Kaya ve Koç, 2015).

İşletme/Bakım Maliyeti: Santralden enerji üretmek için kurulum sonrası yapılması gereken harcamaları ifade eder; sabit işletme maliyeti ve değişken işletme maliyeti olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Değişken işletme maliyetleri, santralde kullanılan yakıtlar, enerji, su, kimyasallar, katalizörler, gazlar, yağlayıcılar, tükenebilir malzeme ve kaynaklar ile atıkların neden olduğu maliyetleri ifade etmektedir. Sabit işletme maliyeti ise çalışanların maaşları ve primler, santral genel ve idari harcamaları, santral destek ekipmanları, planlanmış bakımlar gibi maliyetleri kapsamaktadır.

Bir birim güç elde edilmesi için gereken maliyet ilk yatırım maliyeti, bir yılda santralden birim güç elde edilmesi için gereken maliyet sabit işletme maliyeti ve bir birim enerji elde edilmesi için gereken maliyet değişken işletme maliyeti olarak değerlendirilmeye alınmıştır. Reaktör tiplerine göre ilk yatırım maliyetleri mukayesesi yüzde olarak Tablo 3.8’de yer almaktadır.

**Tablo 3.8: Reaktör Tiplerine Göre İlk Yatırım Maliyetleri Mukayesesi (%)**

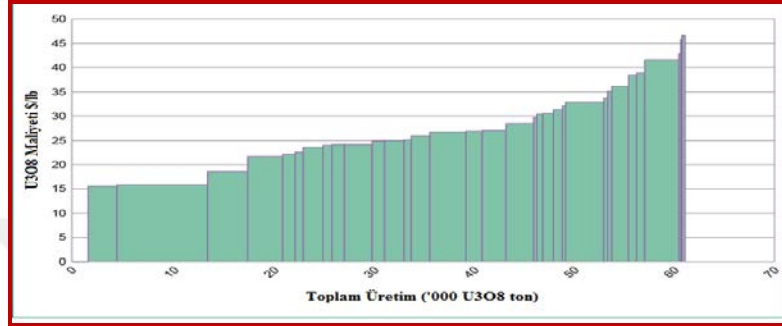
| MALİYETLER                        | CANDU 6       | PWR           | ALWR          | VVER          | BWR           |
|-----------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Yatırım Arazisi                   | 0,62%         | 1,80%         | 0,20%         | 0,30%         | 0,10%         |
| Reaktör Ekipmanları               | 26,79%        | 30,44%        | 18,60%        | 21,90%        | 27,60%        |
| Türbin Ekipmanları                | 11,41%        | 19,30%        | 16,50%        | 7,20%         | 14,70%        |
| Elektrik Ekipmanları              | 15,23%        | 8,00%         | 5,10%         | 20,00%        | 13,20%        |
| Reversing Heat Equipment          | 3,76%         | 5,09%         | 3,80%         | 2,00%         | 2,20%         |
| Yardımcı Ekipmanlar               | 6,92%         | 3,17%         | 3,30%         | 6,30%         | 15,20%        |
| Montaj                            | 13,17%        | 13,80%        | 13,40%        | 19,40%        | 10,10%        |
| <b>Toplam Doğrudan Maliyetler</b> | <b>77,90%</b> | <b>81,60%</b> | <b>60,90%</b> | <b>77,10%</b> | <b>83,10%</b> |
| Tasarım ve Mühendislik            | 4,59%         | 12,20%        | 3,50%         | 6,70%         | 3,70%         |
| Proje Yönetimi                    | 3,46%         | 0,50%         | 5,80%         | 4,00%         | 5,90%         |
| Başlangıç Maliyetleri             | 4,85%         | 1,10%         | 18,40%        | 0,90%         | 1,70%         |
| <b>Toplam Dolaylı Maliyetler</b>  | <b>12,90%</b> | <b>13,80%</b> | <b>27,70%</b> | <b>11,60%</b> | <b>11,30%</b> |
| Eğitim                            | 0,85%         | 0,43%         | 0,64%         | 0,29%         | 0,68%         |
| Vergi ve Teminatlar               | 0,61%         | 0,30%         | 0,45%         | 0,48%         | 0,38%         |
| Ulaşım                            | 0,12%         | 0,06%         | 0,09%         | 0,09%         | 0,08%         |
| Kurulum Maliyetleri               | 4,14%         | 2,07%         | 2,15%         | 9,88%         | 1,22%         |
| Yedek Parça Maliyetleri           | 1,34%         | 0,67%         | 2,15%         | 0,28%         | 1,90%         |
| Öngörülme-yen Fiyat Artışları     | 2,14%         | 1,07%         | 5,92%         | 0,28%         | 1,34%         |
| <b>Toplam Diğer Maliyetler</b>    | <b>9,20%</b>  | <b>4,60%</b>  | <b>11,40%</b> | <b>11,30%</b> | <b>5,60%</b>  |
| <b>Toplam Maliyetler</b>          | <b>100%</b>   | <b>100%</b>   | <b>100%</b>   | <b>100%</b>   | <b>100%</b>   |

Kaynak: Kınalı, M.Y., Global Nuclear Energy, INPP Summit, 2014

Dünya maden üretimi 2005’den itibaren belirgin bir şekilde artmaktadır. Uranyum piyasasında 1970’lerin sonlarındaki yüksek fiyatlar 1980 ve 1990’lı yılların tamamında depresyona yol açmıştır. Güç reaktörlerinin kapasite faktörlerinin artması ve daha etkin çalışmaları aynı zamanda uranyum kapasitesinin yavaşça artmasına yol açmıştır. Her GWe artışı yaklaşık 150 tU/yıl ekstra uranyum üretimine yol açmaktadır. Son 10 yıla bakıldığında reaktör kapasitesinin artışına oranla Fukushima kazası sonrasında dahi uranyum talebinin 2013-2023 yılları arasında %48 artacağını göstermektedir (WNA, 2011). 2020-2030 arasındaki 10 yılda uranyum talebinin %23,6 oranında artacağı öngörülmektedir. Uranyum talebindeki ana artışın Rusya, Çin ve Hindistan’da olacağı öngörülmüştür. Ticari yeniden yakıt işleme santralleri Fransa ve İngiltere’de

çalıştırılmaktadır ve bir diğeri Japonya'da başlatılacaktır. Ticari reaktörlerde uranyum işleme oranı yaklaşık %4 iken askeri amaçlı bu oran % 97 seviyesindedir. (25:1 ve 30:1 oranlarında) Askeri savaş başlıklarından 1999-2013 yıllarında yıllık 30 ton olmak üzere 9.700 ton uranyum U308 sökülerek ticari amaçlarla kullanılmıştır. Ayrıca ABD ve Rusya arasındaki anlaşmayla 2014 yılında 34 ton askeri plütonyum ticari kullanılmıştır.

**Şekil 3.13: Uranyum Maden Maliyeti, 2010**



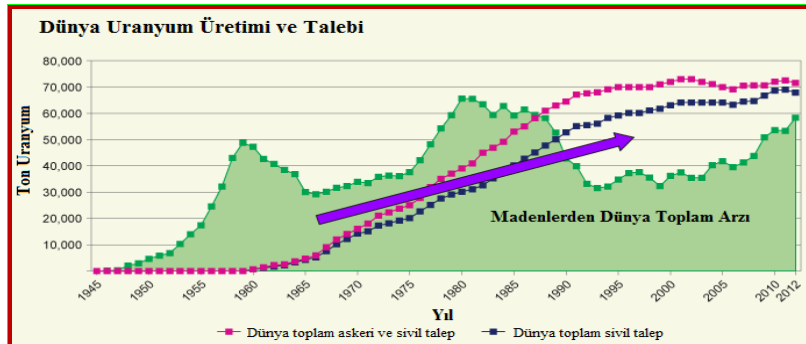
Kaynak:CRU Strategies

Yukarıdaki Şekil 3.13’de, dünya uranyum üreticileri tarafından 2010 yılında marjinal ücret 40/lb dolar olarak 53.500 tU/yıl üretim yapıldığını gösterilmektedir. Uranyumdan farklı olarak diğer arz kaynakları;

- ✓ Kullanılmış nükleer yakıtlar
- ✓ Uranyum ve plütonyum geri dönüşümleri
- ✓ Tekrar zenginleştirilmiş uranyum kuyrukları
- ✓ Askeri silah başlıkları
- ✓ Sivil stoklar şeklindedir.

1945-2012 yılları dünya uranyum arz ve talebi şekil 3.14’de yer almaktadır.

**Şekil 3.14: Dünya Uranyum Arz ve Talebi (1945-2012)**



Kaynak:WNA Global Nuclear Fuel Market Reports, IEA World Energy Outlook

<http://www.world-nuclear.org/info/Nuclear-Fuel-Cycle/Uranium-Resources/Uranium-Markets/>

Dünya uranyum üretiminin %64'ü Kazakistan, Kanada ve Avustralya tarafından sağlanmaktadır. Kazakistan uranyum üretiminden en büyük payı alarak dünya uranyum üretiminin %38'ini, Kanada %16'sını ve Avustralya %11'ini karşılamaktadır. 2030 yılı talebi 119.000 ton uranyum olarak öngörülmektedir. Tablo 3.9'da ülkelere göre 2006-2013 yılları uranyum üretimi gösterilmektedir.

**Tablo 3.9: Ülkelere Göre Uranyum Üretimi (Ton), 2006-2013**

| <i>Ülkeler</i>              | <i>2006</i> | <i>2007</i> | <i>2008</i> | <i>2009</i> | <i>2010</i> | <i>2011</i> | <i>2012</i> | <i>2013</i> |
|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <i>Kazakistan</i>           | 5279        | 6637        | 8521        | 14020       | 17803       | 19451       | 21317       | 22451       |
| <i>Kanada</i>               | 9862        | 9476        | 9000        | 10173       | 9783        | 9145        | 8999        | 9331        |
| <i>Avustralya</i>           | 7593        | 8611        | 8430        | 7982        | 5900        | 5983        | 6991        | 6350        |
| <i>Nijer</i>                | 3434        | 3153        | 3032        | 3243        | 4198        | 4351        | 4667        | 4518        |
| <i>Namibya</i>              | 3067        | 2879        | 4366        | 4626        | 4496        | 3258        | 4495        | 4323        |
| <i>Rusya</i>                | 3262        | 3413        | 3521        | 3564        | 3562        | 2993        | 2872        | 3135        |
| <i>Özbekistan</i>           | 2260        | 2320        | 2338        | 2429        | 2400        | 2500        | 2400        | 2400        |
| <i>ABD</i>                  | 1672        | 1654        | 1430        | 1453        | 1660        | 1537        | 1596        | 1792        |
| <i>Çin</i>                  | 750         | 712         | 769         | 750         | 827         | 885         | 1500        | 1500        |
| <i>Malavi</i>               |             |             |             | 104         | 670         | 846         | 1101        | 1132        |
| <i>Ukrayna</i>              | 800         | 846         | 800         | 840         | 850         | 890         | 960         | 922         |
| <i>Güney Afrika</i>         | 534         | 539         | 655         | 563         | 583         | 582         | 465         | 531         |
| <i>Hindistan</i>            | 177         | 270         | 271         | 290         | 400         | 400         | 385         | 385         |
| <i>Brezilya</i>             | 190         | 299         | 330         | 345         | 148         | 265         | 231         | 231         |
| <i>Çek Cumhuriyeti</i>      | 359         | 306         | 263         | 258         | 254         | 229         | 228         | 215         |
| <i>Romanya</i>              | 90          | 77          | 77          | 75          | 77          | 77          | 90          | 77          |
| <i>Pakistan</i>             | 45          | 45          | 45          | 50          | 45          | 45          | 45          | 45          |
| <i>Almanya</i>              | 65          | 41          | 0           | 0           | 8           | 51          | 50          | 27          |
| <i>Fransa</i>               | 5           | 4           | 5           | 8           | 7           | 6           | 3           | 5           |
| <i>Dünya Toplamı</i>        | 39 444      | 41 282      | 43 764      | 50 772      | 53 671      | 53 493      | 58 394      | 59,370      |
| <i>ton U3O8</i>             | 46 516      | 48 683      | 51 611      | 59 875      | 63 295      | 63 084      | 68 864      | 70,015      |
| <i>Dünya talebi yüzdesi</i> | 63%         | 64%         | 68%         | 78%         | 78%         | 85%         | 86%         | 92%         |

Kaynak:WNA, Global Nuclear Fuel Market Report

Tablo 3.10'da 2013 yılında dünya uranyum üretiminin %82'sinin 8 firma tarafından sağlandığı görülmektedir.

**Tablo 3.10: Dünya Uranyum Üreticisi İlk 8 Firma, 2013**

| <i>Firma</i>              | <i>Ton U</i> | <i>%</i> |
|---------------------------|--------------|----------|
| <i>KazAtomProm</i>        | 9449         | 16       |
| <i>Cameco</i>             | >9084        | 15       |
| <i>Areva</i>              | 8567         | 14       |
| <i>ARMZ - Uranium One</i> | 8222         | 14       |
| <i>Rio Tinto</i>          | 4553         | 8        |
| <i>BHP Billiton</i>       | 3400         | 6        |
| <i>Paladin</i>            | 3226         | 5        |
| <i>Navoi</i>              | 2400         | 4        |
| <i>Diğer</i>              | 10,470       | 18       |
| <i>Toplam</i>             | 59,370       | 100%     |

Kaynak: WNA

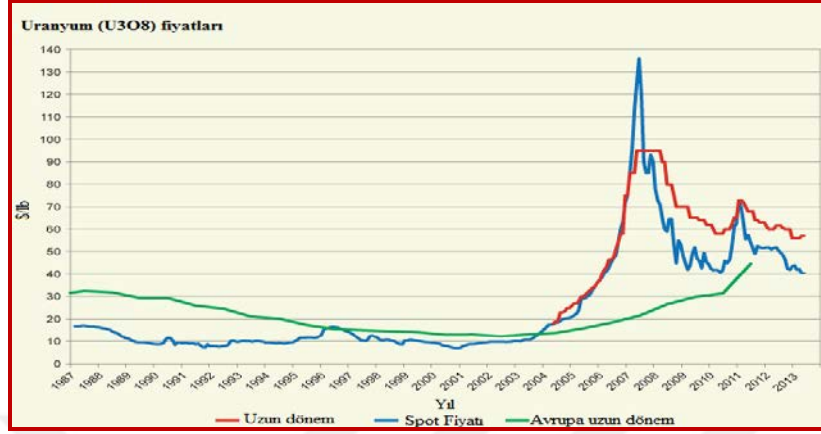
40 yıldan uzun süredir nükleer santrallerde kullanılmış olan yakıtta bulunan uranyumun silah yapımında kullanılacağından endişe edilmiştir. Günümüzde ise askeri amaçlarla kullanılmaya hazırlanmış olan uranyumun nükleer santrallerde yakıt olarak kullanılması söz konusudur. 1987 yılından bugüne ABD ve SSCB'nin elinde bulunan silah malzemesi uranyumun %80'inin silahlardan sökülerek nükleer santral yakıtı yapımında kullanılması gayesiyle çalışmalar yapılmaktadır. ABD ve Rusya'da bulunan yüksek zenginlikteki uranyum miktarının 1500 ton olduğu bilinmektedir. Bu, dünyada madenlerden elde edilen miktarın yedi katıdır.

Daha önce bahsedilen “*Megatons to Megawatts*” programı çerçevesinde Rusya'da yüksek zenginlikli 500 ton uranyum askeri malzemelerden sökülmemektedir (20,000 bombaya eşdeğer miktar) ve düşük zenginlikli yakıt üretmek üzere ABD'ye satılmaktadır. 1994 yılında Rusya'nın Tenex firması ile ABD'den USEC Inc firması arasında iki devlet adına 13 milyar \$'lık bir uranyum ticareti anlaşması yapılmıştır. 2000 yılında ise, ABD ve Rusya'nın silah yapımında kullanılan 68 ton plütonyumu 400 milyon dolar maliyetle, 2014 yılına kadar sökülün bu miktar 12.000 ton doğal uranyuma denktir.

Dünya'da üretilen elektrikte nükleerin payı 11,5 olup halen 444 reaktör “386.276 MWe” işletmede, 65 reaktör “64,024 MWe” inşa aşamasında, 173 reaktör “182,424 MWe” planlama aşamasında ve 337 reaktör “379.200 MWe” teklif aşamasındadır. Nükleer enerji teknolojisine sahip az sayıda ülkeden biri olan Rusya, dünyadaki çeşitli

santrallere de nükleer yakıt sağlamaktadır (RRIS ve WNA, 2016). 1987-2013 arası Uranyum libre fiyatları Şekil 3.15’de görülmektedir.

Şekil 3.15: Uranyum Fiyatları



Kaynak: <http://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/uranium-resources/uranium-markets.aspx>

Dünya’da kullanılan nükleer santraller için uranyum gereksinimleri ise Tablo 3.11’de gösterilmiş olup 2015 yılı uranyum gereksinimi toplamda 66.883 tondur.

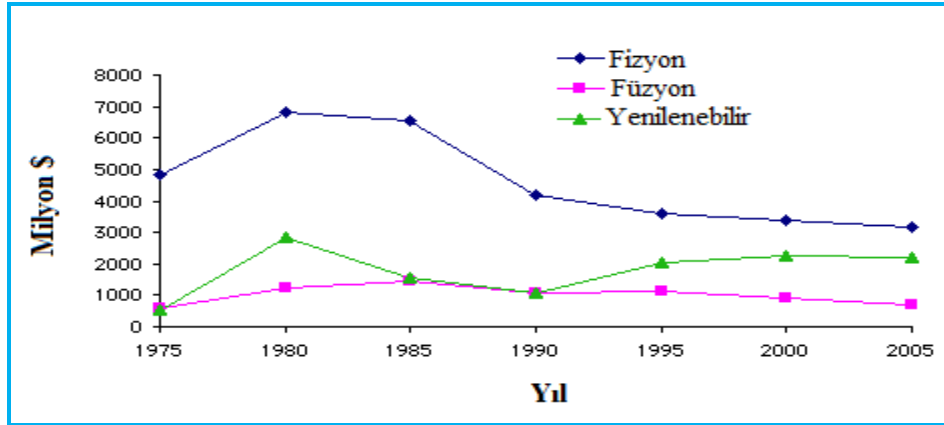
Tablo 3.11: Dünyada Nükleer Enerji Uranyum (ton U) Gereksinimleri, 2015

|              |       |            |       |            |       |            |       |             |       |           |               |
|--------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|-------------|-------|-----------|---------------|
| Arjantin     | 215   | Şili       | 0     | Hindistan  | 1579  | Kuzey Kore | 0     | Romanya     | 179   | İsviçre   | 521           |
| Ermenistan   | 88    | Çin        | 8161  | Indonesia  | 0     | Güney Kore | 5022  | Rusya       | 4206  | Tayland   | 0             |
| Bangladeş    | 0     | Çek Cum.   | 566   | İran       | 176   | Litvanya   | 0     | S.Arabistan | 0     | Türkiye   | 0             |
| Belarus      | 0     | Mısır      | 0     | İsrail     | 0     | Malezya    | 0     | Slovakya    | 466   | Ukrayna   | 2366          |
| Belçika      | 1017  | Finlandiya | 751   | İtalya     | 0     | Meksika    | 270   | Slovenya    | 137   | BAE       | 0             |
| Brezilya     | 326   | Fransa     | 9230  | Japonya    | 2549  | Hollanda   | 103   | G. Afrika   | 305   | İngiltere | 1738          |
| Bulgaristan  | 324   | Almanya    | 1889  | Ürdün      | 0     | Pakistan   | 101   | İspanya     | 1274  | ABD       | 18692         |
| Kanada       | 1784  | Macaristan | 357   | Kazakistan | 0     | Polonya    | 0     | İsveç       | 1516  | Vietnam   | 0             |
| ÜLKE         | ton U | ÜLKE       | ton U | ÜLKE       | ton U | ÜLKE       | ton U | ÜLKE        | ton U | ÜLKE      | ton U         |
| <b>DÜNYA</b> |       |            |       |            |       |            |       |             |       |           | <b>66,883</b> |

Kaynak: WNA, 2015) <http://www.world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/world-nuclear-power-reactors-and-uranium-requireme.aspx>

*Nükleer Enerji-Yenilenebilir ve Diğer Kaynaklar Ar-Ge Karşılaştırılması:* Nükleer teknoloji Ar-Ge faaliyetlerine ayrılan bütçenin oranı, tüm enerji kaynaklarına ayrılanlar içinde hep daha fazla olmuştur. 1975 yılında %64 olan bu oran 2005’de %33 olmuştur. Şekil 3.16’da görüldüğü üzere fizyon temelli Ar-Ge harcamalarının fazla olduğu görülmektedir.

Şekil 3.16: IEA Enerji Ar-Ge Harcamaları, 1975-2005



Kaynak: [http://wds.iea.org/wds/pdf/IEA\\_RDD\\_Factsheet\\_2015.pdf](http://wds.iea.org/wds/pdf/IEA_RDD_Factsheet_2015.pdf) , <http://www.globalresearch.ca/in-the-wake-of-fukushima-japans-energy-policy-impasse/5376899>

Japonya dışındaki ülkelerde nükleer teknoloji için ayrılan Ar-Ge bütçesi 1990'larda oldukça düşmüş, hatta yenilenebilir enerji için ayrılandan daha düşük olmuştur. Günümüzde bu durum değişmektedir.

Tablo 3.12: Uluslararası Enerji Ajansı Nükleer Teknoloji Ar-Ge Bütçeleri (Milyon \$), 1975-2005

|      | İngiltere | Fransa | Japonya | ABD  | Diğer Ajans Ülkeleri | Tüm Ajans Ülkeleri |
|------|-----------|--------|---------|------|----------------------|--------------------|
| 1975 | 929       | 0      | 763     | 2164 | 952                  | 4808               |
| 1980 | 741       | 0      | 2098    | 2410 | 1160                 | 6794               |
| 1985 | 638       | 895    | 2259    | 1241 | 1542                 | 6575               |
| 1990 | 253       | 555    | 2298    | 737  | 356                  | 4199               |
| 1995 | 17        | 599    | 2455    | 103  | 442                  | 3616               |
| 2000 | 0         | 666    | 2393    | 39   | 308                  | 3406               |
| 2005 | 4         | ?      | 2398    | 171  | ?                    | 3168               |

Kaynak: [http://wds.iea.org/wds/pdf/IEA\\_RDD\\_Factsheet\\_2015.pdf](http://wds.iea.org/wds/pdf/IEA_RDD_Factsheet_2015.pdf) , <http://www.globalresearch.ca/in-the-wake-of-fukushima-japans-energy-policy-impasse/5376899>

Nükleer teknoloji Ar-Ge bütçeleri 1980-1985 arasında düzenli olarak yarı miktarına düşmüştür. Toplam Ar-Ge bütçesine en büyük katkısı Japonya ve Fransa yapmıştır. ABD, Fransa ve Japonya dışındaki ülkelerin Ar-Ge bütçeleri 2000 yılında 308 milyon dolar olmuştur ( Tablo 3.12). Japonya, JAEA ile yüksek miktarda nükleer enerji temelli Ar-Ge yatırımı yaparak ülke görünümündedir.



IAEA aynı zamanda 4400 çalışanı, 10 tesisi ve yıllık 161 milyar ¥ bütçesiyle (1.7 milyar \$) Ar-Ge faaliyetlerinin yürütülmesinden sorumludur. (Management Information Services Inc, 2008) tarafından yapılan çalışma 1950-2006 yılları arasında 726 milyar \$ Ar-Ge harcaması yaptığını göstermektedir. Bu dönemde Ar-Ge harcamalarının bir sonucu olarak nükleer güç dünyada üretilen elektriğin %14'ünü yıllık 2,6 trilyon kWh düzeyinde sağlamaktadır.

Almanya'nın hizmet dışı kalan 11 reaktörü için 4 işletme firması bertaraf etme ve nükleer santrallerin sökümü için 30 milyar EUR kaynak ayırmışlardır. Japonya Tokai reaktörü için toplam maliyetin 93 milyar ¥ (1.04 milyar \$) kaynak ayırmıştır. 35 milyar ¥ söküm ve 58 milyar ¥ atık iyileştirme için kullanılacaktır. Duke's Crystal River 3 maliyetinin 1.18 milyar \$ hizmet alım bedeli öngörülmüştür. Ayrıca, hizmet dışı kalan birçok nükleer denizaltı, uçak gemisi ve buzkıran gemilerinin nükleer reaktörleri önümüzdeki 10 yılda söküm ve atık iyileştirmeye tabi tutulacaktır. Nükleer santrallerin sökülmesinin ertelenmesi radyoaktivite seviyelerini düşürdüğü için maliyetleri de düşürmektedir. ABD'de nükleer reaktörlerin/santrallerin hizmetten alma bedeli *0.1 ile 0.2 cent/kWh* fiyat aralığındadır.

Hizmet dışı kalan birçok reaktör çeşitli nedenlerle kapatılmıştır. Bunlar üç kategoride incelenmiştir:

104 reaktör ekonomik nedenlerle ve teknolojisi eski olduğu için kapatılmıştır. Bu reaktörlerden 41 tanesinin tasarım ömrü 25-35 yıldır.

11 reaktör kaza ve ciddi kusur sebebiyle artık onarımlarının ekonomik olmadığı için kapatılmıştır.

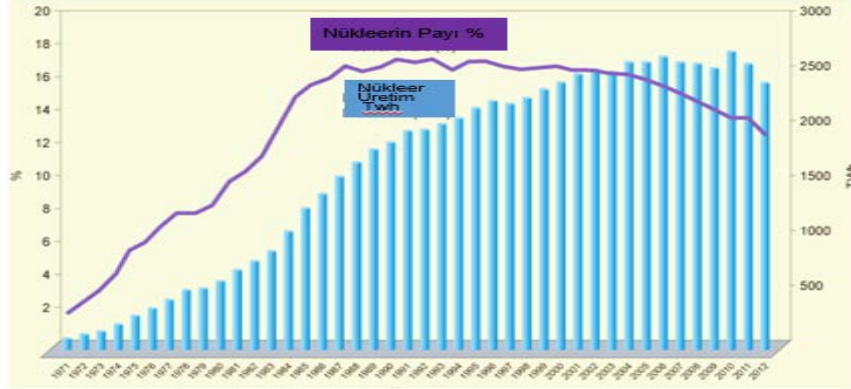
27 reaktör ise politik gerekçelerle kapatılmıştır. (17 adedi başlangıçta Sovyet tasarımıdır)

### **3.1.7. Dünyada Nükleer Enerjinin Payı**

Günümüzde 30'dan fazla ülkede 444 (=386.276 MWe) nükleer reaktör işletmede bulunmakta, 65 (=64,024MWe) reaktörün yapımı devam etmektedir. 2030 yılına kadar 173 (=182.424MWe) nükleer güç reaktörünün yapılması planlanmakta, 337 (=379.200MWe) yeni reaktörün yapılması öngörülmektedir (WNA ve PRIS, 2016). 2016 yılı uranyum gereksinimi 65.220 tondur. Dünya genelinde 1971-2012 yılları

arasında işletmede olan NGS sayısı ve toplam kapasitelerindeki değişim Şekil 3.17’de yer almaktadır.

**Şekil 3.17: Çalışmakta Olan Nükleer Güç Reaktör Sayı ve Kapasiteleri (1971-2012)**

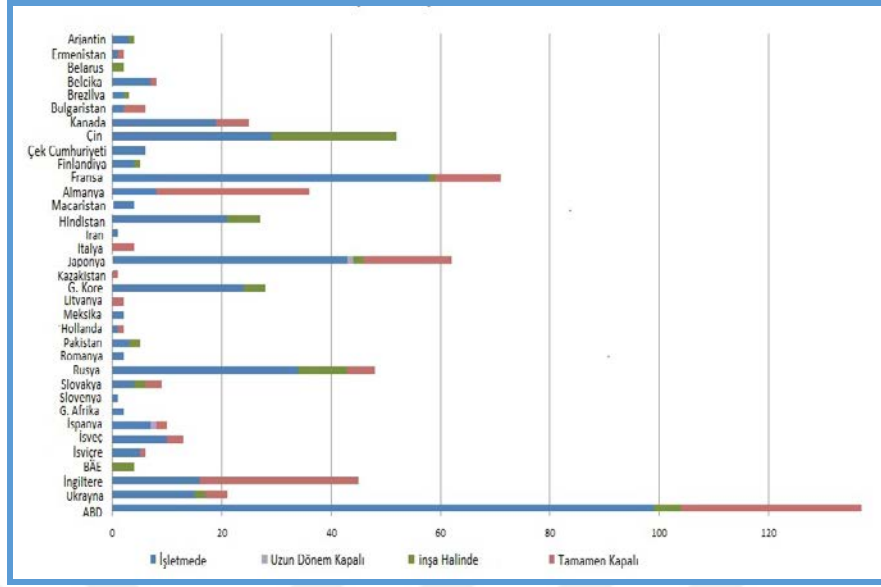


Kaynak: Rising, A, World Nuclear Association, INPP Summit, 30-31 May 2014

Güvenilir enerji arayışı 20. yüzyılın ikinci yarısını takiben enerji dünyasının odak noktası olmuştur. 1970’li yılların başında beliren petrol dar boğazı yüksek kapasiteli nükleer reaktörlerin 1980’li yılların ikinci yarısına kadar işletmeye alınmasını sağlamış sonrasında talep artışı azalarak 1990’lı yıllarda durağanlaşmıştır. Sebep olarak Çernobil ile Three Mile Island nükleer kazaları gözükse de, enerji pazarına doğalgazın girmesi ve dünya ekonomisindeki yavaşlama temel etkindir. Yine de nükleer devamlı enerji kaynağı olarak önemini korumaktadır. 2011 Fukushima kazasından sonra Almanya hariç ülkeler nükleer santral programlarına devam etmişlerdir.

Nükleer enerji piyasası gelişmekte ve genişlemektedir. 23 Nisan 2016 tarihi itibarıyla 30’den fazla ülkede 444 nükleer reaktör işletmede bulunmaktadır. Şekil 3.18 incelendiğinde; aralarında daha öncesinde nükleer güç santrali bulunmayan Birleşik Arap Emirliğinin de bulunduğu ülkelerde toplam 65 santralin yapımı devam etmektedir. 157 santral ise tamamen kapalı olup toplam 1954-2014 yılları arasında 662 santral devreye alınmıştır (PRIS, 2016). Yıllara göre dünya nükleer reaktör sayısı ve kapasiteleri 1954-2014 yıllarını kapsayacak şekilde EK-3’de yer almaktadır.

**Şekil 3.18: Ülkelere Göre Nükleer Reaktör Sayıları ve Durumları**

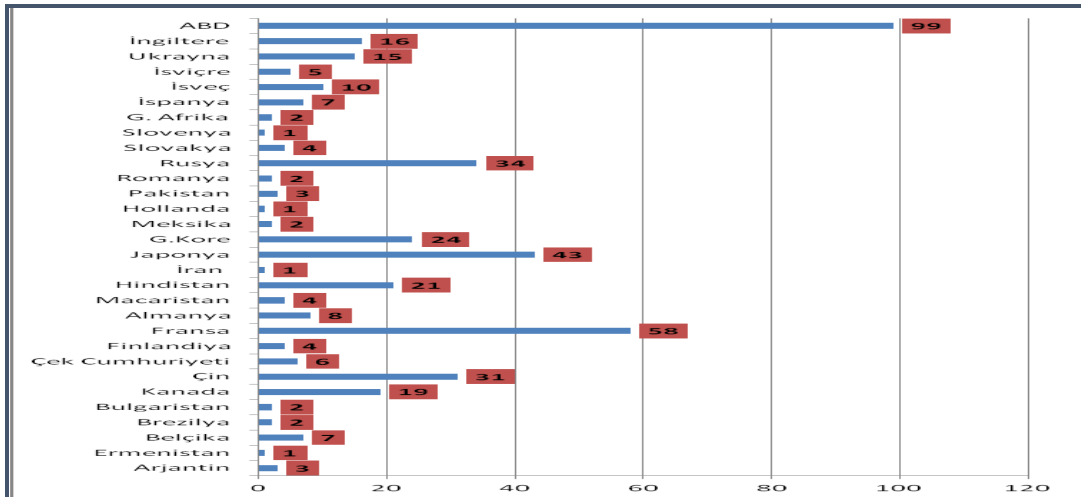


Kaynak: PRIS, <https://www.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/CountryStatisticsLandingPage.aspx>

PRIS (2016) verilerine göre 2015 yılında 9.377 MWe gücünde 10 nükleer santral ünitesi işletmeye alınmış, 3.863 MWe gücünde 7 reaktör tamamen kapatılmış ve 7.345 MWe gücünde 7 nükleer santral ünite inşası başlatılmıştır. Buradan reaktör kapasitelerinin arttığı anlaşılmaktadır.

Nükleer santraller ülkelere göre işletmedeki nükleer reaktör sayıları bakımından irdelenmiştir ( Şekil 3.19).

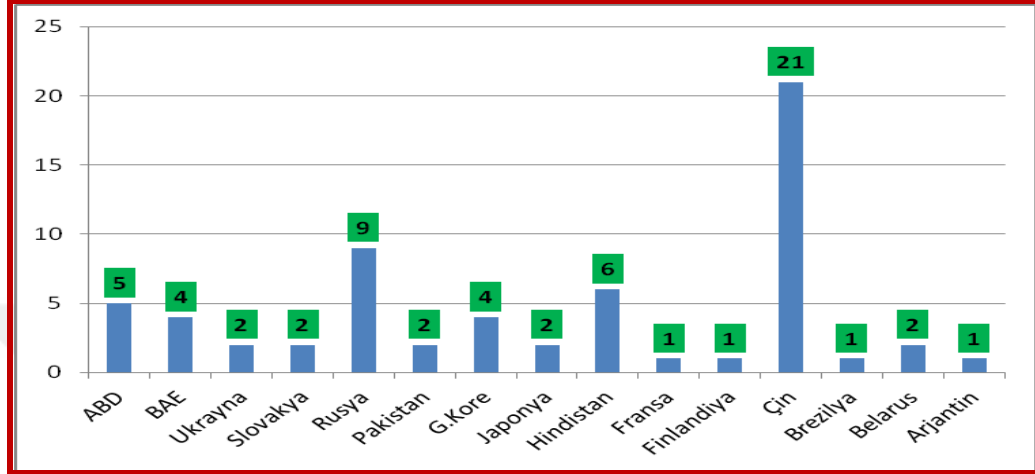
**Şekil 3.19: İşletmedeki Nükleer Reaktör Sayıları**



Kaynak: PRIS, <https://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalReactorsByCountry.aspx>

Buna göre, 2015 yılı itibarıyla ABD 99 reaktörle birinci, Fransa 58 reaktörle ikinci, Japonya 43 reaktörle üçüncü, Rusya 34 reaktörle dördüncü, Çin 31 reaktörle beşinci, G.Kore 24 reaktörle altıncı sırada yer almakta, bu ülkeleri sırasıyla Hindistan, Kanada, İngiltere ve Ukrayna takip etmektedir.

Şekil 3.20: Ülkelere Göre İnşa Halindeki Nükleer Reaktör Sayıları (2015)

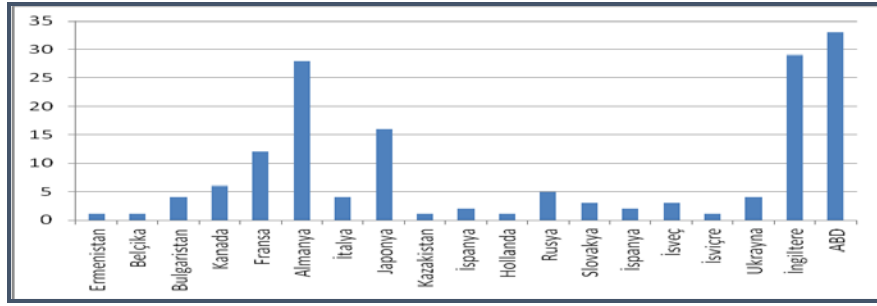


Kaynak: PRIS, [www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/UnderConstructionReactorsByCountry.aspx](http://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/UnderConstructionReactorsByCountry.aspx)

İnşa sürecindeki reaktörler (Şekil 3.20) sayı bakımından incelendiğinde Çin 21 reaktörle birinci, Rusya 9 reaktörle ikinci ve Hindistan 6 reaktörle üçüncü sırada yer almaktadır. Toplam 65 reaktör, toplam 64.020 MW net elektrik kapasitesinde inşa aşamasındadır. Çin 21128 MW net elektrik kapasitesi ile birinci, Rusya 7371MW net elektrik kapasitesi ile ikinci sırada yer almasına rağmen 5633 MW net elektrik kapasitesi ve 5 reaktör ile ABD üçüncü sırada yer almaktadır. 5420 MW net elektrik kapasitesi ve 4 reaktör ile G.Kore dördüncü sırada yer alırken 6 reaktör ile üçüncü sırada bulunan Hindistan, kapasite bakımından 5380 MW net elektrik kapasitesi ve 4 reaktörlü BAE'nin ardından altıncı sırada 3907 MW net elektrik kapasitesi ile yer almaktadır.

Tamamen kapalı reaktörler (Şekil 3.21) sayı bakımından irdelendiğinde; toplam 156 reaktör 60.905 MW net elektrik kapasitesindedir. Ülkeler bazında; ABD 33 reaktörle birinci, İngiltere 29 reaktörle ikinci ve Almanya 28 reaktörle üçüncü sırada yer almaktadır. Bu ülkeleri 16 reaktör ile Japonya ve 12 reaktör ile Fransa izlemektedir.

**Şekil 3.21: Tamamen Kapatılmış Nükleer Santraller**

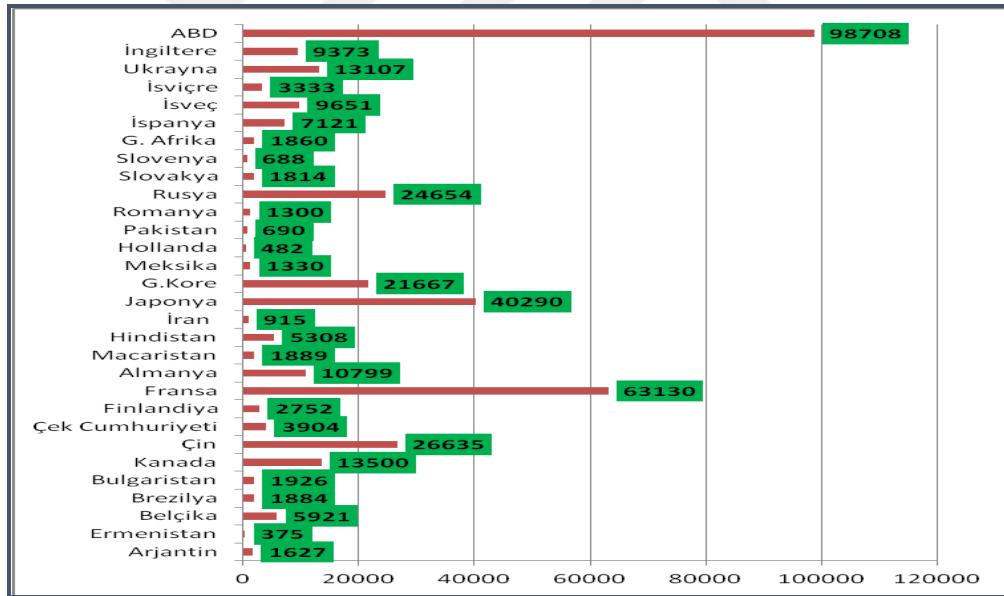


Kaynak: PRIS, [www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/ShutdownReactorsByCountry.aspx](http://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/ShutdownReactorsByCountry.aspx)

İnşa halindeki 65 reaktör ve kapalı 156 reaktör kapasite açısından mukayese edildiğinde ortaya çıkan en önemli sonuç nükleer reaktör teknolojisinin oldukça ilerleme kaydettiğidir.

İşletmedeki reaktörler (Şekil 3.22) 2015 yılı itibarıyla kapasite açısından incelendiğinde; toplam 441 reaktörün toplam 381,665 MW net elektrik kapasitesinde olduğu görülmektedir.

**Şekil 3.22: Toplam Net Nükleer Elektrik Kapasitesi, MW**

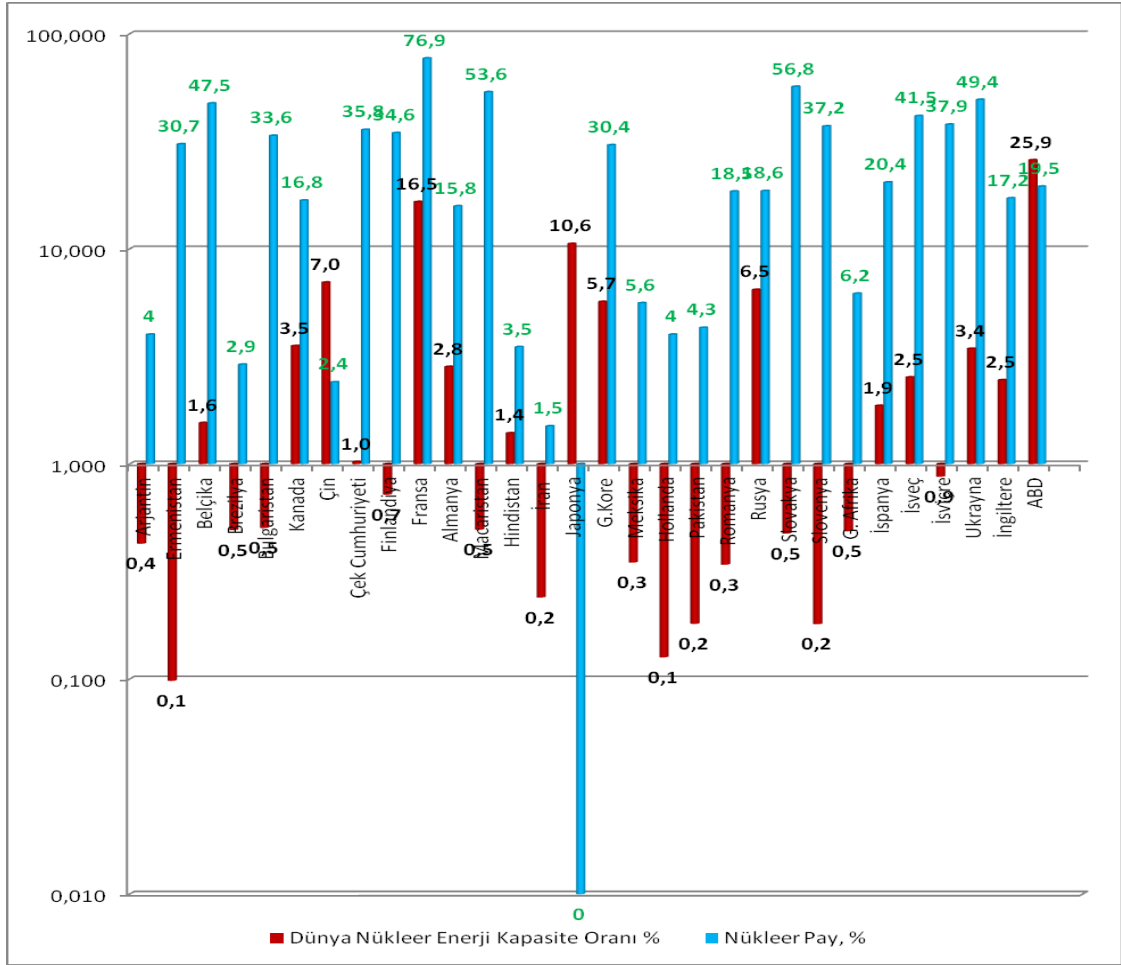


Kaynak: PRIS, <https://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalReactorsByCountry.aspx>

ABD, 98708 MW net elektrik kapasitesi ile dünyanın en büyük nükleer enerji üreticisi olarak ilk sırayı alırken Fransa, 63180 MW net elektrik kapasitesi ile ikinci sırada yer almaktadır.

Ancak, ülkelere göre ve dünya nükleer enerji kapasite payına göre (Şekil 3.23) incelendiğinde farklı bir olgu gözlenmiştir.

Şekil 3.23: Ülkelere Göre Dünya Nükleer Enerji Kapasite (% Yüzde) Oranları

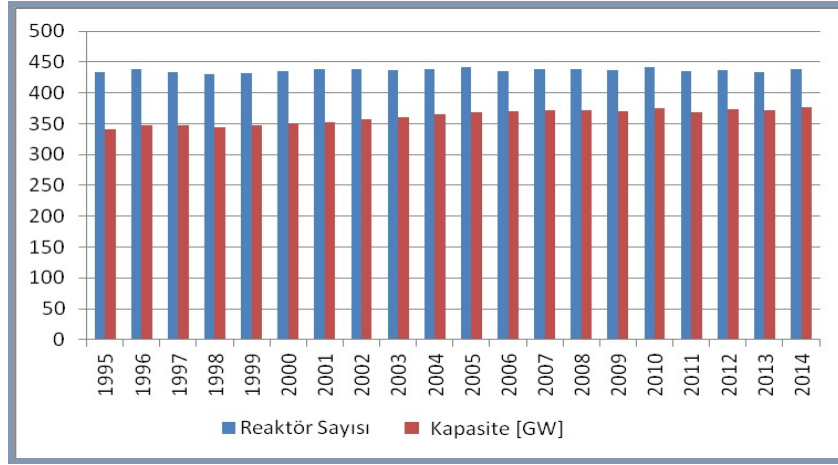


Kaynak: PRIS, [www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/NuclearShareofElectricityGeneration.aspx](http://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/NuclearShareofElectricityGeneration.aspx)

99 reaktörle dünya nükleer enerji üretiminde % 25.9 paya sahip birinci sıradaki ABD'nin ülke içerisindeki toplam elektrik üretimi içinde nükleer payı % 19,5 dur. 58 reaktörle dünya nükleer enerji üretiminde % 16,5 paya sahip ikinci sıradaki Fransa, ülke içerisindeki toplam elektrik üretimi içinde % 76,9 nükleer pay ile dünyada ilk sırayı almaktadır.

1995-2014 yılları nükleer reaktör sayı ve kapasiteleri (Şekil 3.24) incelendiğinde ise, yapımı planlanan 159 reaktörün 180,015 MWe ve önerilen 329 reaktörün 374,020 MWe kapasitede olduğu değerlendirildiğinde, nükleer reaktör teknolojisinin oldukça ilerlediği desteklenmektedir (WNA, 2015).

**Şekil 3.24: Yıllar İtibarıyla Nükleer Reaktör Sayıları ve Kapasiteleri**



Kaynak:PRIS, <https://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/WorldTrendNuclearPowerCapacity.aspx>

Nihayetinde, WNA (2016) verilerine göre 2030 yılına kadar 173 yeni nükleer santralin yapılması planlanmaktadır. Dünyanın en fazla nükleer santrale sahip olan ABD 99 santral ile elektrik üretiminin % 19,5'ini nükleer santrallerden elde etmektedir. 58 nükleer santralin üretimde olduğu Fransa %76,93'ini, 33 nükleer santralin üretime devam ettiği ve 10 santralin inşa halinde bulunduğu Rusya %18'ini, 4 santralin inşaat aşamasında 24 santralin işletmede olduğu Güney Kore % 30,42'sini nükleer santrallerden elde etmektedir. 21 Nükleer santrale sahip Çin ise gelecek yıllardaki elektrik enerji talebini karşılamak için 28 nükleer santralin inşasına başlamıştır.

Nükleer reaktör sayısı bakımından dünyada birinci ABD 99 reaktör ile elektrik üretiminin % 19,5'ini nükleerden sağlamaktadır. İkinci sıradaki Fransa 58 reaktör ile elektrik üretiminin % 76,9'unu nükleerden sağlamaktadır. 15 ülkede elektrik üretiminde nükleerin payı % 20'nin üzerindedir. Nükleer enerji dünya elektrik ihtiyacının yaklaşık % 11,5'i karşılamakta iken Türkiye nükleer enerji kullanmamaktadır. Nükleer santrale sahip 30'dan fazla ülkenin 7'si net enerji ihracatçısıdır. ABD, Kanada, Rusya, Meksika ve İran gibi petrol / doğal gaz zengini ülkeler bile elektrik üretim portföyüne nükleer enerjiyi dâhil etmişlerdir. Fukushima Daiichi nükleer felaketinden sonra dahi ülkeler, NES inşa etmeye devam etmiştir. Ülkelere göre 1994-2014 yılları nükleer payları Tablo 3.13'de yer almaktadır.

**Tablo 3.13: Ülkelere Göre Nükleer Enerji Üretimi (1994-2014), TWh**

| Ülke / Bölge | Nükleer Pay (%) |      |      |      |      |      |      |      |      |      | Nükleer Elektrik Üretimi (TWh) |       |       |
|--------------|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------------------------------|-------|-------|
|              | 2004            | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014                           | 2013  | 2014  |
| Arjantin     | 8.2             | 6.9  | 6.9  | 6.2  | 6.2  | 7.0  | 5.9  | 5.0  | 4.7  | 4.4  | 4.0                            | 5.7   | 5.2   |
| Ermenistan   | 38.8            | 42.7 | 42.0 | 43.5 | 39.4 | 45.0 | 39.4 | 33.2 | 26.6 | 29.2 | 30.7                           | 2.2   | 2.3   |
| Belçika      | 55.1            | 55.6 | 54.4 | 54.1 | 53.8 | 51.7 | 51.1 | 54.0 | 51.0 | 52.1 | 47.5                           | 40.6  | 32.1  |
| Brezilya     | 3.0             | 2.5  | 3.3  | 2.8  | 3.1  | 3.0  | 3.1  | 3.2  | 3.1  | 2.8  | 2.9                            | 13.8  | 14.5  |
| Bulgaristan  | 41.6            | 44.6 | 43.6 | 32.1 | 32.9 | 35.9 | 33.1 | 32.6 | 31.6 | 30.7 | 31.8                           | 13.3  | 15.0  |
| Kanada       | 15.0            | 14.6 | 15.8 | 14.7 | 14.8 | 14.8 | 15.1 | 15.3 | 15.3 | 16.0 | 16.8                           | 94.3  | 98.6  |
| Çin:         |                 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                                |       |       |
| - Anakara    | -               | 2.0  | 1.9  | 1.9  | 2.2  | 1.9  | 1.8  | 1.8  | 2.0  | 2.1  | 2.4                            | 104.8 | 123.8 |
| - Tayvan     | -               | -    | 19.5 | 19.3 | 17.1 | 20.7 | 19.3 | 19.0 | 18.4 | 19.1 | 18.9                           | 39.8  | 18.9  |
| Çek Cum.     | 31.2            | 30.5 | 31.5 | 30.3 | 32.5 | 33.8 | 33.3 | 33.0 | 35.3 | 35.9 | 35.8                           | 29.0  | 28.6  |
| Finlandiya   | 26.6            | 32.9 | 28.0 | 28.9 | 29.7 | 32.9 | 28.4 | 31.6 | 32.6 | 33.3 | 34.6                           | 22.7  | 22.6  |
| Fransa       | 78.1            | 78.5 | 78.1 | 76.9 | 76.2 | 75.2 | 74.1 | 77.7 | 74.8 | 73.3 | 76.9                           | 405.9 | 418.0 |
| Almanya      | 32.1            | 31.0 | 31.8 | 25.9 | 28.3 | 26.1 | 28.4 | 17.8 | 16.1 | 15.5 | 15.8                           | 92.1  | 91.8  |
| Macaristan   | 33.8            | 37.2 | 37.7 | 36.8 | 37.2 | 43.0 | 42.1 | 43.2 | 45.9 | 50.7 | 53.6                           | 14.5  | 14.8  |
| Hindistan    | 2.8             | 2.8  | 2.6  | 2.5  | 2.0  | 2.2  | 2.9  | 3.7  | 3.6  | 3.5  | 3.5                            | 30.0  | 33.2  |
| İran         | 0               | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0.6  | 1.5  | 1.5                            | 3.9   | 3.7   |
| Japonya      | 29.3            | 29.3 | 30.0 | 27.5 | 24.9 | 28.9 | 29.2 | 18.1 | 2.1  | 1.7  | 0                              | 14.0  | 0     |
| G.Kore       | 44.7            | 38.6 | 38.6 | 35.3 | 35.6 | 34.8 | 32.2 | 34.6 | 30.4 | 27.6 | 30.4                           | 132.5 | 149.2 |
| Litvanya     | 72.1            | 69.6 | 72.3 | 64.4 | 72.9 | 76.2 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0                              | 0     | 0     |
| Meksika      | 5.2             | 5.0  | 4.9  | 4.6  | 4.0  | 4.8  | 3.6  | 3.6  | 4.7  | 4.6  | 5.6                            | 11.4  | 9.3   |
| Hollanda     | 3.8             | 3.9  | 3.5  | 4.1  | 3.8  | 3.7  | 3.4  | 3.6  | 4.4  | 2.8  | 4.0                            | 2.7   | 4.0   |
| Pakistan     | 2.4             | 2.8  | 2.7  | 2.3  | 1.9  | 2.7  | 2.6  | 3.8  | 5.3  | 4.4  | 4.3                            | 4.4   | 4.3   |
| Romanya      | 10.1            | 8.6  | 9.0  | 13.0 | 17.5 | 20.6 | 19.5 | 19.0 | 19.4 | 19.8 | 18.5                           | 10.7  | 10.8  |
| Rusya        | 15.6            | 15.8 | 15.9 | 16.0 | 16.9 | 17.8 | 17.1 | 17.6 | 17.8 | 17.5 | 18.6                           | 161.7 | 169.1 |
| Slovakya     | 55.2            | 56.1 | 57.2 | 54.3 | 56.4 | 53.5 | 51.8 | 54.0 | 53.8 | 51.7 | 56.8                           | 14.6  | 14.4  |
| Slovenya     | 38.8            | 42.4 | 40.3 | 41.6 | 41.7 | 37.9 | 37.3 | 41.7 | 36.0 | 33.6 | 37.2                           | 5.0   | 6.0   |
| G.Afrika     | 6.6             | 5.5  | 4.4  | 5.5  | 5.3  | 4.8  | 5.2  | 5.2  | 5.1  | 5.7  | 6.2                            | 13.6  | 14.8  |
| İspanya      | 22.9            | 19.6 | 19.8 | 17.4 | 18.3 | 17.5 | 20.1 | 19.5 | 20.5 | 19.7 | 20.4                           | 54.3  | 54.9  |
| İsveç        | 51.8            | 46.7 | 48.0 | 46.1 | 42.0 | 34.7 | 38.1 | 39.6 | 38.1 | 42.7 | 41.5                           | 63.7  | 62.3  |
| İsviçre      | 40.0            | 32.1 | 37.4 | 40.0 | 39.2 | 39.5 | 38.0 | 40.8 | 35.9 | 36.4 | 37.9                           | 25.0  | 26.5  |
| İngiltere    | 19.4            | 19.9 | 18.4 | 15.1 | 13.5 | 17.9 | 15.7 | 17.8 | 18.1 | 18.3 | 17.2                           | 64.1  | 57.9  |
| Ukrayna      | 51.1            | 48.5 | 47.5 | 48.1 | 47.4 | 48.6 | 48.1 | 47.2 | 46.2 | 43.6 | 49.4                           | 78.2  | 83.1  |
| ABD          | 19.9            | 19.3 | 19.4 | 19.4 | 19.7 | 20.2 | 19.6 | 19.2 | 19.0 | 19.4 | 19.5                           | 790.2 | 798.6 |
| TOPLAM       |                 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                                | 2359  | 2410  |

Kaynak: WNA, IAEA

2035 yılında nükleer enerjiden elektrik üretiminin 3,908 TWh değerine yükseleceği ancak nükleer enerjinin toplam enerji üretimindeki 2010 yılında %12.9 payının %9.7'ye düşeceği, kurulu gücünün 524 GW'a çıkması beklenirken Avrupa Birliği'nde nükleer kapasitede %32'lik bir düşüş ile 94 GW'a inmesi öngörülmekte, Çin (105 GW) başta olmak üzere OECD-dışı Asya ülkelerinde 127 GW'lık artış, Rusya nükleer kapasitesinde %50 (12 GW) kadar önemli bir artış ve ABD'de 5 GW'lık bir artışla 111 GW'a ulaşılması beklenmektedir (ETKB, 2014).

2015 den 2040'a kadar dünya enerji sektörü yatırımları toplamının 68 trilyon \$ olacağı öngörülmektedir (WEO, 2015).



Ayrıca, Türkiye ve dünyada elektrik üretiminde kaynak kullanım oranları (Tablo 3.14) incelendiğinde; elektrik üretiminde kömür dünyada ilk sırayı alırken, ikinci sırada doğalgaz gelmekte, Türkiye’de ise elektrik üretiminde doğalgazın ilk, kömürün ikinci sırada yer aldığı görülmektedir.

**Tablo 3.14: Türkiye ve Dünyada Elektrik Üretiminde Kaynak Kullanım Oranları**

| <i>Kaynaklar</i>                              | <i>Dünya</i>      | <i>Türkiye</i> |
|-----------------------------------------------|-------------------|----------------|
| <i>Petrol</i>                                 | % 4,6             | % 1.5          |
| <i>Doğal Gaz</i>                              | % 22,2            | % 43.7         |
| <i>Kömür</i>                                  | % 40,6            | % 27,5         |
| <i>Hidrolik</i>                               | % 16              | % 24.2         |
| <i>Nükleer</i>                                | % 13              | % 0            |
| <i>Diğerleri(Yenilenebilir ve benzerleri)</i> | % 3,7             | % 3,1          |
| <i>Toplam</i>                                 | <b>24,431 TWh</b> | <b>240 TWh</b> |

Kaynak: Nükleer Enerji Proje Uygulama Daire Başkanlığı, Yayın No:2

Dünya elektrik enerjisi üretiminde 2012 yılında nükleerin payının yaklaşık % 13 olduğu anlaşılmaktadır. Ancak, Türkiye’nin nükleer enerji üretme kabiliyetine hiç sahip olmadığı görülmektedir.

### **3.2. GZFT Çözümlemesi**

Enerjiyi kaliteli, ucuz, sürdürülebilir ve temiz olarak elde eden ülkeler küresel olarak daha yüksek ticaret ve kalkınma düzeyine erişmişlerdir. Türkiye’nin nükleerden elektrik enerjisi üretme kabiliyeti yoktur. Bu yeni çalışmada, nükleer enerji için GZFT çözümlemesi yapılarak Türkiye için enerji politikası ve stratejisine yönelik öneriler sunulacaktır.

Kınalı (2014) tarafından yapılan çalışmada; 1954 - 2013 arası toplam 582 reaktör yapıldığı reaktör inşaatı yıllık oranı 9,84 olup, ilk 5 ülke arasında kurulu kapasite oranı % 67,74 ve ilk 5 ülke reaktör sayısı oranının % 61,10 olduğu; son 10 yıldır kapasite artış oranı % 1.26 iken gelecek 10 yıl için bu oranın yaklaşık % 24,61 ve bu dönemde nükleer santral yapım oranı yıllık ortalama 9.84 iken bu oranın önümüzdeki 20 yıl sonunda yaklaşık 13,45 olacağı öngörülmektedir.

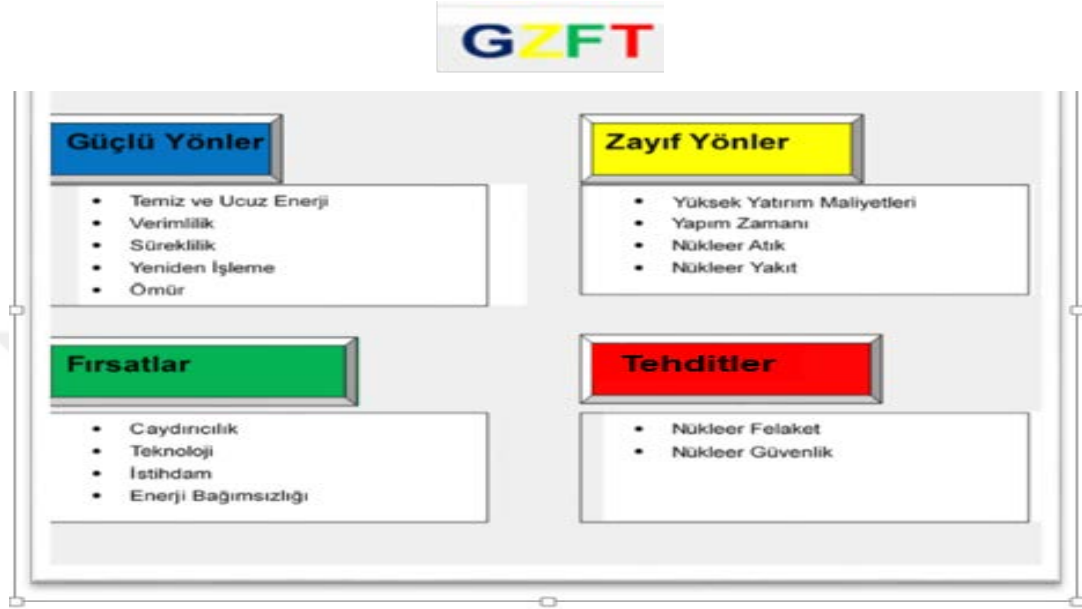
Bu kapsamda, 1954-2014 dönemi temel nükleer enerji eğilimine ve talep senaryolarına bakıldığında:

- ✓ Nükleer Enerji Piyasası gelişmekte ve genişlemektedir.
- ✓ Türkiye'nin nükleer enerjiye ihtiyacı vardır.
- ✓ Optimal nükleer enerjinin belirlenmesi Türkiye ekonomisine katkıda bulunacaktır.
- ✓ Enerji bağımlılığı olmayan ülkeler bile enerji portföyüne nükleer enerjiyi dahil etmişlerdir.
- ✓ Daichi Fukushima nükleer kazasından sonra dahi ülkelerin çoğu nükleer enerji programlarına devam etmişlerdir.
- ✓ Enerjiyi kaliteli, ucuz, sürdürülebilir ve temiz olarak elde eden ülkeler küresel olarak daha yüksek ticaret ve kalkınma düzeyine erişmişlerdir.
- ✓ Türkiye için nükleer odaklı enerji politikasının ve stratejisinin geliştirilmesi Vizyon 2023 hedefleri doğrultusunda önemli katkı yapacaktır.
- ✓ Fosil yakıtların özellikle petrolün tükenme süresi dikkate alındığında nükleer itki sistemlerinin öneminin daha da artacağı değerlendirilmektedir.
- ✓ Her enerji tercihinin pozitif ve negatif dışsalılığı vardır, ancak nükleerde karşılaştırmalı üstünlükten söz edilebilmektedir.
- ✓ Sosyal kaygılar boyutunda ise nükleer enerji kullanan ve kişi başına enerji kullanımının yüksek olduğu ülkelerin Çok Yüksek İnsani Kalkınmışlık Endekslerine sahip olduğu görülmektedir.

Cari açığın azaltılması, ithal enerjiye bağımlılığın azaltılması ve enerji arz güvenliğinin sağlanması bakımından Türkiye için nükleer enerji büyük önem taşımaktadır. Türkiye'de doğal gazın % 98'i, petrolün % 92'si ve kömürün % 20'si ithal edilmektedir. Fransa'nın yüksek ithalat oranlarına rağmen petrol (% 99) ve doğal gaz (% 97) enerji ithalatı bağımlılığının oranı % 49 iken, bu oran ülkemizde yaklaşık % 72 'dir. Ana sebep olarak elektrik üretiminde kullanılan nükleer enerji payının Fransa'da % 73.93 olması değerlendirilmektedir. WNA (2014) verilerine göre Japonya enerji ihtiyacının yaklaşık % 84'ünü ithal etmek zorundadır. Artan yakıt ithalatı Japonya'ya yılda yaklaşık 40 milyar \$ ek maliyet getirmektedir. Nisan 2011 tarihinden itibaren Mart 2014 sonuna kadar Japonya'nın toplam ticaret açığı 227 milyar \$ olarak gerçekleşmiştir. Elektrik üretim maliyetlerinde %56 artış gözlemlenmiş ve Japon enerji şirketleri Fukushima kazasından beri ithal fosil yakıtlara 93 milyar \$ ek kaynak harcamıştır.

Nükleer enerji GZFT yönüyle irdelenmiş ve Şekil 3.25’de özetle gösterilmiştir. Bu kapsamda;

Şekil 3.25: GZFT Çözümlemesi



*Nükleer Enerjinin Güçlü Yönleri;* temiz ve ucuz enerji, verimlilik, süreklilik, yeniden yakıt işleme ve uzun kullanım süresi şeklindedir.

*Nükleer Enerjinin Tehditleri;* nükleer kazalar ve nükleer güvenlik şeklindedir.

*Nükleer Enerjinin Fırsatları;* caydırıcılık, teknoloji, yeni iş alanları, enerji bağımsızlığı, enerji kaynak çeşitliliği, yüksek kalite standartları, nitelikli işgücü gereksinimleri, akıllı sistemler, değerlendirme ve test tesisleri, çift kullanım (sağlık, uzay, deniz suyu arıtılması, gemi ve denizaltılar), ikincil sektörü geliştirme, yabancı yatırımlar, kendine yeterlilik, refah artışı, endüstri için ucuz girdi, ödemeler dengesine katkı, istihdam artışı, katma değer etkisi, yaşam standartlarının yükseltilmesine katkı, kaynaklarının etkin kullanımı, araştırma ve geliştirme, yüksek nitelikli beyin göçünün önlemesi, ülkeye döviz girdisi, uluslararası pazarda rekabet edebilirlik, enflasyon düşürücü etkisi, satın alma gücüne katkı, firma büyüklüğü ve siyasi etkisi şeklindedir.

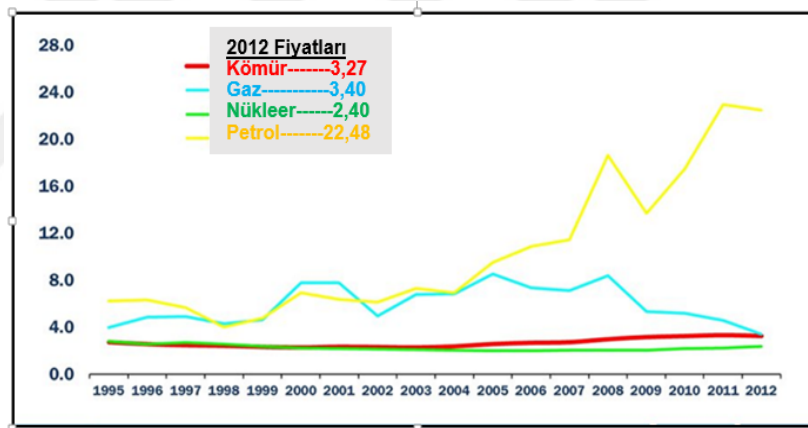
*Nükleer Enerjinin Zayıf Yönleri* ise; yüksek maliyetler (yüksek ilk yatırım maliyeti, inşaat maliyeti, işletme maliyeti, bakım maliyeti, test / muayene / kontrol

maliyeti, atık ve bertaraf maliyeti, tasviye maliyeti), inşaat süresi, nükleer atık, nükleer yakıt zenginleştirme şeklindedir.

Türkiye’de nükleer enerji konusunda Nükleer Enerji Uygulama Daire Başkanlığı (NEPUD) tarafından yapılan çalışmalar ışığında GZFT çözümlemesi değerlendirildiğinde, Güçlü Yönler ve Fırsatlar aşağıda açıklandığı şekildedir:

Dünyada az sayıda ülke nükleer enerji teknolojisine sahiptir. İsviçre’de kullanılan yakıtın %100’ü, ABD ve Fransa’da kullanılan yakıtın %30’u Rusya tarafından sağlanmakta olup RF dünya zenginleştirme kapasitesinin %40’ına sahiptir ve dünyada kullanılan nükleer yakıtın %17’sini karşılamaktadır (ETKB, 2013). 2025 yılında bu oranın %25’e çıkarılması hedeflenmektedir. WNA (2014) açıklamasına göre ABD ile Rusya arasındaki 'Megatons to Megawatts' Programı askeri uranyumun ticari nükleer güç santrallerinde ana yakıt kaynağı olarak kullanması üzerine odaklıdır. ABD’de enerji kaynaklarına göre enerji üretim maliyeti Şekil 3.26’da yer almaktadır.

Şekil 3.26: ABD Elektrik Üretim Maliyetleri (1995-2012) Cent/kwh



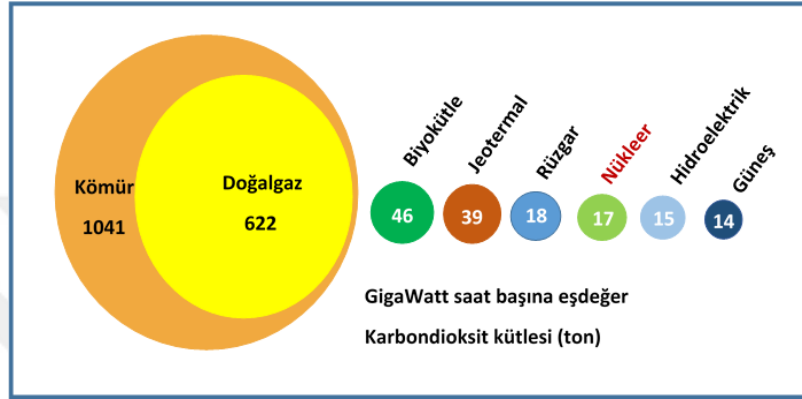
Kaynak:www.nei.org

Çeşitli sosyal ve ekonomik gelişmişlik düzeyinde, yüksek gelirli devletlerden düşük gelirli ülkelere kadar mesafede, temiz enerji ihtiyacı ve iklim değişikliği üzerinde artan endişelere ilave olarak maliyetler ve enerji güvenliği nükleer gücü çekici bir alternatif olarak sunmaktadır. Hızla artan dünya elektrik enerjisi talebi nükleer enerjinin güçlü olmaya devam edeceğini öngörmektedir.

Türkiye 357 milyon ton sera gazı emisyonuyla 2006 yılında dünyada birinci olmuştur (Akbulut, 2008). 30 OECD ülkesinde (Ergün & Polat, 2015) tarafından yapılan Panel Vektör Hata Düzeltme Modeli (VECM) sonuçlarına göre, ülkelerin GSYH düzeyleri arttıkça elektrik enerjisi tüketimlerinin artmakta olduğu, kısa dönemde

GSYH ile CO<sub>2</sub> emisyonu arasında tek yönlü, elektrik tüketimi ile çift yönlü nedensellik ilişkisi olduğu gösterilmektedir. Elektrik enerjisi üretiminden kaynaklanan sera gazı salımında nükleer santraller, yıllık yaklaşık olarak %17 azalmaya sebep olmaktadır (Şekil 3.27). Kyoto Protokolü çerçevesinde 2012 yılına kadar olan dönemde Türkiye'nin emisyon değerlerini azaltma yükümlülüğü bulunmamasına rağmen ülkelerden sonrası döneme ait emisyon değerlerini azaltma eğilimleri beklenmektedir.

Şekil 3.27: Kaynaklara Göre CO<sub>2</sub> Emisyonu

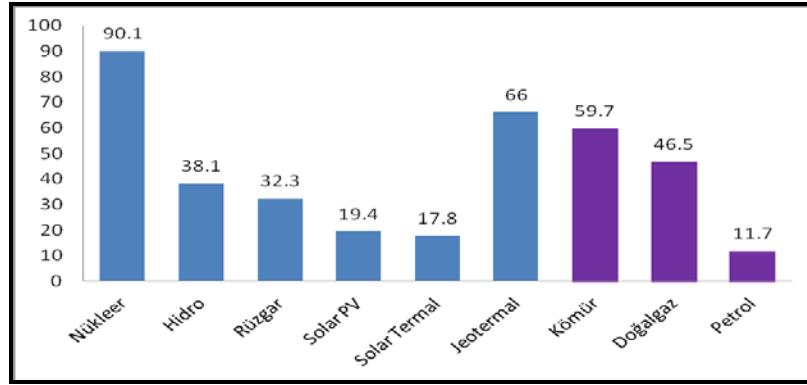


Kaynak: [www.westinghouse.org.us](http://www.westinghouse.org.us)

Yenilenebilir enerji güvenlidir, ancak iklim ve çevre koşullarına bağlı olmaları ve dolayısıyla sürekli değişkenlik göstermeleri nedeniyle güvenilir (sürekli) değildir. Bakım dönemleri çıkarılırsa, yıl içinde hidrolik santralleri ortalama 4000 saat, rüzgarda ortalama 3000 saat, güneşte ortalama 2500 saat elektrik üretilebilecekken bu rakam nükleer santralde yaklaşık 8000 saat gibi oldukça yüksektir. Bu kapsamda *kapasite faktörleri* ve *verimlilik* incelendiğinde, Şekil 3.28’de görüldüğü gibi % 90,1 oranla nükleer santrallerin ilk sırada yer aldığı görülmektedir.

ABD’de işletmede olan 99 nükleer santral ünitesi Ocak 2016 itibarıyla %98.8 kapasite faktörüyle 72.536 milyon kWh net elektrik üretimi gerçekleştirmiştir. Böylece toplam elektrik enerjisi üretimi içinde nükleer payı aylık bazda %20,5 seviyesine yükselmiştir (EIA, 2016).

Şekil 3.28: Enerji Kaynaklarına Göre Kapasite Faktörleri (2013)



Kaynak: US Energy Information Administration

Petrol, doğalgaz ve kömürdeki yüksek ithalat oranına karşılık, Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli yaklaşık 136.600 MWe iken enerjide %72 gibi yüksek ithalat düzeyine rağmen ve kapasite faktörü nedeniyle fiilen kullanabilen kısım yalnızca 22.075 MW'dır. Kapasite faktörü nedeniyle 10.000 MWe NGS karşılığında, 38.000 MWe güneş santrali veya 30.000 MWe rüzgar santrali kurulması gerekmektedir (NEPUD, 2012).

Dünyada elektrik ihtiyacının yaklaşık % 11'i nükleer enerjiden karşılamakta iken Türkiye'de nükleer enerji kullanmamaktadır. Nükleer santrale sahip 30'dan fazla ülkeden 7'si net enerji ihracatçısıdır.

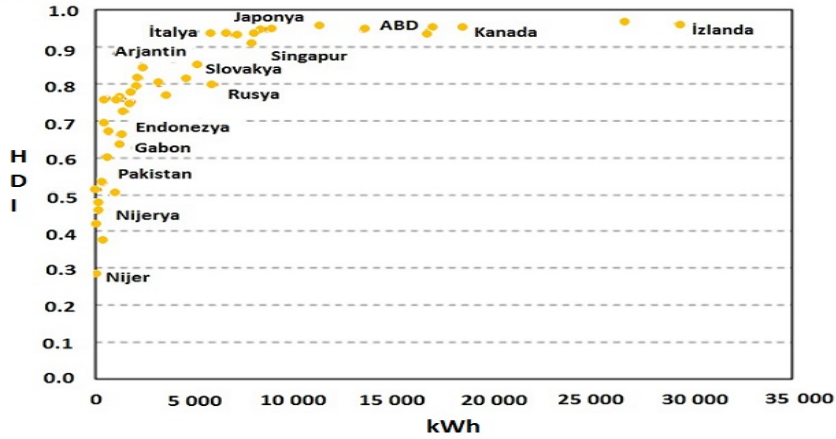
Akkuyu ve Sinop nükleer santrallerinin 2023 yılında işletmeye alınması halinde yılda 73,9 milyar kWh elektrik üretimiyle kurulacak nükleer santraller sayesinde 16 milyar metreküp doğalgaz ithalatına denk gelen 7.2 milyar dolar ödememek *ödemeler bilançosu* üzerindeki olası yükü hafifletecektir.

Çok sayıda malzeme/parçadan oluşan nükleer santral projesi yapacağı çarpan etkisiyle diğer sektörlerle de yeni faaliyet alanları ve iş kolları doğuracak, istihdam ve katmadeger etkisi sağlayacaktır. Yaklaşık 470 Türk firmasının görev alması beklenmekte ve 1 MWe için *istihdam parametresi* 0,8 olarak öngörülmektedir. Daha önemlisi ise *büyük sanayi yatırımcılarının* 50-60 yıllık süreyle ucuz elektrik enerjisi girdisini garanti gördükleri bölgelere tesislerini rahatlıkla kurmaları sonucunda ülkenin endüstriyel kalkınmasına önemli avantajlar sağlayacaktır. Nükleer teknolojiye milli olarak sahip olmak için nükleer teknolojiyi 20 yıllık süre içerisinde yerelleştirmiş ve BAE'ne nükleer santral inşa eden G. Kore örneğinde olduğu gibi belirli zaman geçmesi ve nükleer santral projesine somut olarak başlanması gerekmektedir. Yüzde 98'i milli

kaynaklarla inşa edilen nükleer santral projeleri tasarlayabilen G.Kore’de nükleer endüstrinin gelişiminde başlangıçta yerel katkı oranı %2 düzeyinde gerçekleşmiştir.

Sosyal kaygılar boyutunda ise kişi başına nükleer / enerji kullanımı yüksek olan ülkelerin İnsani Kalkınmışlık Endekslerinin de çok yüksek olduğu görülmektedir. (Şekil 3.29)

Şekil 3.29: İnsani Gelişmişlik Endeksi (HDI) ve Kişi Başı Elektrik Tüketimi



Kaynak: IAEA, “Nuclear Power and Sustainable Development”, 2006

Turizm, tarım, balıkçılık açısından ise; dünyada en fazla nükleer santrale sahip iki ülke konumunda olan ABD ve Fransa’nın tarım ihracatında da dünyada en yüksek iki ülke olması anlamlıdır.

Tablo 3.15: Dünya Tarım İhracatı İlk On Ülke (2008)

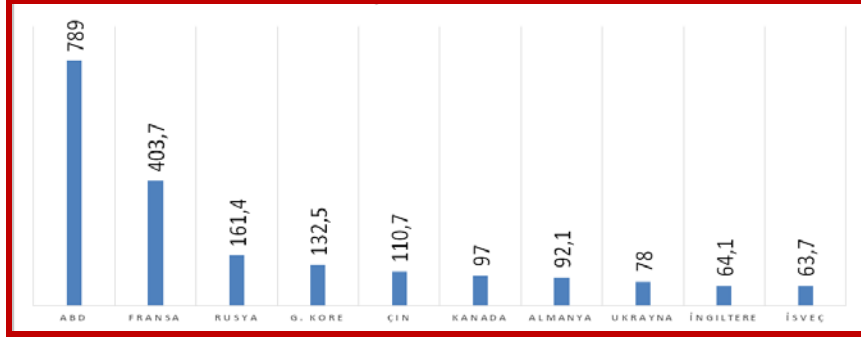
| S/N | ÜLKE       | Tarımsal İhracat (milyar \$) |
|-----|------------|------------------------------|
| 1   | ABD        | 42,826                       |
| 2   | Fransa     | 24,262                       |
| 3   | Hollanda   | 19,780                       |
| 4   | Almanya    | 13,842                       |
| 5   | İngiltere  | 11,613                       |
| 6   | Kanada     | 10,107                       |
| 7   | Avustralya | 9,824                        |
| 8   | İtalya     | 9,446                        |
| 9   | Belçika    | 9,013                        |
| 10  | İspanya    | 6,621                        |

Kaynak: <http://www.mapsofworld.com/world-top-ten/world-top-ten-agricultural-exporters-map.html>

2008 yılında dünyada en fazla tarımsal ürün ihracatı yapan ülke olarak 42,8 milyar dolarla en fazla nükleer santrale (99)sahip olan ABD ilk sırada yer alırken ve elektrik üretiminde nükleer enerjinin payı en fazla olan (%76,9) Fransa ise ikinci sıradaki ülkedir (Şekil 3.30). Dünyada bulunan nükleer reaktörlerin yarısından

fazlasının en fazla tarımsal ürün ihracatı yapan bu ilk 10 ülkede kurulu olduğu Tablo 3.15’de görülebilir.

**Şekil 3.30: Dünya Nükleer Enerji Üretimi (milyar KWh), 2013**



Kaynak: www.nei.org

Dünyada nükleer enerjiden pek çok turizm ülkesi faydalanmaktadır. Akkuyu NGS sahasının Antalya’ya uzaklığı 300 km civarında olduğu değerlendirildiğinde; Cernovoda (Romanya) santrali İstanbul’a 400 km uzaklıkta, 6 nükleer santral Paris’e 200 km uzaklıkta, Nogent (Fransa) santrali Paris’e 70 km uzaklıkta, 4 nükleer santral Madrid’e 200 km uzaklıkta, Jose Cabrerias (İspanya) santrali Madrid’e 50 km uzaklıkta 8 nükleer santral Londra’ya 200 km uzaklıkta, Bradwell (İngiltere) santrali Londra’ya 70 km uzaklıktadır. Bu nedenle, turizm gelirleri bakımından yüksek gelir elde eden ülkelerde turizm bölgelerinin nükleer santrallere yakınlığı göz önüne alındığında Türkiye’de makul düzeydedir. Ayrıca, etrafındaki arazilerde tarımsal faaliyetler yürütülen, bot ile gezinti yapılan ve dünya kültür mirası olan Loire Nehri (Fransa) üzerinde 14 adet NGS bulunmaktadır.

Dünyanın en güçlü on ordusu sıralaması; ABD, Rusya, Çin, Hindistan, İngiltere, Fransa, G.Kore, Almanya, Japonya ve Türkiye şeklindedir (GFP, 2015). Nükleer santrali olmayan tek ülke 2014 sıralamasında 8’inci sırada yer alan ve günümüzde 2 basamak gerileyen Türkiye’dir. Dünyanın en büyük yüzölçümüne sahip ilk dört ülkenin ise nükleer santrale sahip olduğu Tablo 3.16’da görülmektedir.

**Tablo 3.16: Dünyanın En Fazla Yüzölçümüne Sahip 4 Ülkesi**

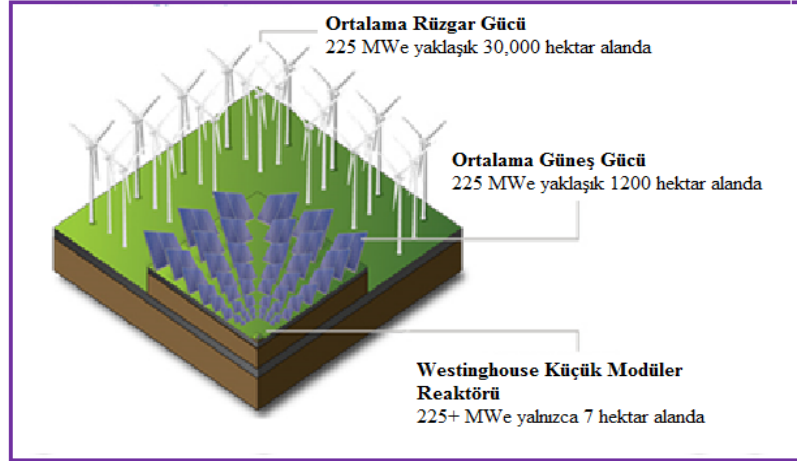
|   |                      |                            |
|---|----------------------|----------------------------|
| 1 | Rusya                | 17.075.800 km <sup>2</sup> |
| 2 | Kanada               | 9.984.670 km <sup>2</sup>  |
| 3 | Çin Halk Cumhuriyeti | 9.634.057 km <sup>2</sup>  |
| 4 | ABD                  | 9.631.420 km <sup>2</sup>  |

Kaynak: www.ulkeler.net/



225 MWe gücündeki bir nükleer santral ile aynı büyüklükteki rüzgar ve güneş santralleri alan mukayesesi yapıldığında; 7 hektar araziye karşılık gelen yaklaşık miktar güneşte 1200 hektar, rüzgarda 30.000 hektardır (Şekil 3.31).

**Şekil 3.31: Temiz Enerji (225 MWe) Alan Mukayesesi**



Kaynak: [www.westinghousenuclear.com/New-Plants/Small-Modular-Reactor](http://www.westinghousenuclear.com/New-Plants/Small-Modular-Reactor)

Çernobil (Rusya) nükleer kazası sonrasında olduğu gibi Fukushima (Japonya) nükleer kazası sonrası da dünyada sıkça tartışılan konu nükleer santrallerin geleceği olmuştur. Fukushima nükleer kazasından sonra ülkelerin durumu incelendiğinde; günümüzde inşa halinde olan 65 nükleer santral bulunmaktadır (PRIS, 2016). Elektrik enerjisi üretiminde nükleerin payının en yüksek olduğu Fransa’da 1 ünite nükleer reaktör yapım aşamasındadır. İngiltere 6 nükleer güç ünitesi inşa etmeyi planlamakta iken Çin’de 22 güç ünitesine sahip nükleer santraller yapım safhasındadır. BAE’de ilk ünitenin 2017 yılında işletmeye alınması planlan dört üniteye sahip olacak nükleer santral inşa aşamasındadır. Almanya 2022 yılında halen işletmede olan sekiz üniteli nükleer güç santrallerini kapatmayı planlamaktadır.

Japonya’da iki nükleer santral ünitesi yapım aşamasında olup kapatılan 2 ünite reaktör tekrar çalıştırılmaya başlanılmıştır. İkinci nesil olan Fukushima Daiichi nükleer santralleri yerine günümüzde güvenlik önlemleri daha da artırılmış derinliğine savunma esasına dayalı beş fiziksel bariyeri baz alan 3+ nesil santraller kurulmakta, dördüncü nesil nükleer santral tasarım çalışmaları ise 2030’lu yıllar hedefinde devam etmektedir.

Nükleer santrallerden çıkan atığın hacim ve miktar olarak çok az olması yer üstü depolarda güvenli depolama imkanı sunmaktadır. Radyoaktif fisyon ürünlerinin %3’ü ve ağır elementler camlaştırılarak depolanabilmekte, plütonyum ve uranyum ihtiva eden

%97'lik kısmından yeni yakıt elementleri üretilebilmektedir. KNY'lerin yeniden işlenerek (reprocessing) enerji üretimi için kullanılabilmesi nükleer santraller için uzun yıllar boyunca gerekli yakıt ihtiyacının karşılanabilmesine olanak sağladığı gibi atık miktarını da azaltmaktadır. Bu nedenle de nükleerin yakıt maliyeti ve fiyatı istikrarlı sayılabilecek düzeydedir. Enerji üretim santrallerinin işletme maliyetlerinde yakıtın payı doğalgazda %90, kömürde %77 olmasına karşın nükleerde bu oran %30'larda olması nedeniyle elektrik üretim maliyetine nükleer yakıt fiyatlarındaki değişimin etkisi fosil yakıtlara oranla çok daha az olacaktır. Yakıt fiyatlarının üretilen elektriğin maliyetine etkisi değerlendirildiğinde yüzde yüzlük bir fiyat artışı doğalgaz için %66, kömür için %31 tesir ederken nükleer için bu etki %9 düzeyinde görülecektir.

Nükleer enerji santralleri ülkede yüksek kalite kültürünün, ileri teknoloji ve güvenlik (safety) bilincinin yerleşmesine ve farkındalığın artırılmasına katkı sağlar.

Güneş enerjisi sistemlerinin yaklaşık ömrü 20 yıl, rüzgâr enerjisi santrallerinin kullanım ömrü 30 yıl civarında ancak ortalama verimli çalışma süresi 20 yıl seviyesinde seyretmekte iken nükleer santrallerin teknoloji/bakım düzeyine göre *işletme ömrü* 40-60 yıl, yeni nesiller 60-80 yıl olup diğer santral türlerine göre daha uzundur. NGS'ler aynı zamanda uzun yıllar boyunca da ihtiyaç duyulacak yakıtları *ekonomik depolamaya* fırsat tanıdığından baz enerji kaynağı olarak arz güvenliğinin sağlanması yanında maliyetleri azaltıcı etkiler de sunmaktadır.

Santralin enerji üretiminde ne kadar verimli kullanıldığının göstergesi *kapasite faktörüdür*. Küresel ısınma dikkate alındığında, hidroelektrik santrallerinin kapasite parametresi iklim koşullarına bağlı olmakla birlikte yağış rejimleri enerji üretimini doğrudan etkilemektedir. Ayrıca bu santraller fazla yer kapladıklarından fauna ve flora etkisi göze çarpmaktadır.

ABD'nin nükleer santral sayısı ve nükleer enerji üretimi bakımından dünyada ilk sırada olduğu ve kabul edilebilir radyasyon dozu sınırının yılda 1 mSv olduğu değerlendirildiğinde, doğal radyasyona ek olarak kişi başına alınan miktar yılda 0,05 mSv'in altındadır.

Deşarjının yapıldığı nükleer santrallerde deniz suyu reaktörden gelen suya karışmadığı için balık ve diğer deniz canlıları yok edebilecek seviyede tehdit oluşturmamaktadır.

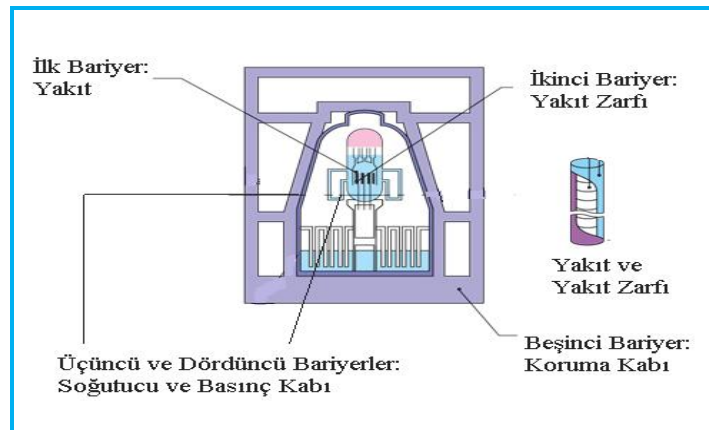
Hali hazırda işletmede olmayan ve III. nesil olarak nitelendirilen VVER-1200 tipi reaktörler (Akkuyuda yapılması planlanan) halen kullanılmakta olan VVER-1000 tipi reaktörlerin gücü, işletme ömrü, güvenlik sistemleri ve termal verimi artırılmış modelleridir. Bu modellere Fransız tasarımı EPR, Güney Kore tasarımı APR1400 ve ABD tasarımı AP1000 örnek olarak verilebilir. Ancak yapımı devam eden 4 ünite AP1000 ise Çin’de, 1’er ünite EPR Finlandiya ve Fransa’da ve 2 ünite APR1400 ise G.Kore’de bulunmaktadır. III.nesil reaktörlerin kurulmaları için yeterli referans bu reaktörlerin geliştirilmelerine model olan ve başarılı işletme deneyimlerine sahip PWR tarafından sağlamaktadır.

*Zayıf Yönler ve Tehditler ve değerlendirildiğinde:*

*Nükleer Santrallerin Güvenliği ve Kazalar:* Nükleer santrallerin güvenliğinde hedef, radyasyonun santral dışına çıkması ve halka ulaşmasının engellenmesidir. Nükleer güvenlik, bu amaçla alınan tüm önlemleri içerir (Ergün, 2014). Nükleer santral güvenliği derinliğine savunma ilkesine dayanır. Bu ilke, sistemdeki radyoaktif maddelerin salımına karşı bariyerler kullanılması ve bu bariyerlerin hem normal işletmede hem de kazalar sırasında sağlam kalmasını sağlayacak güvenlik sistemleri tasarlanması ile ilgilidir.

Nükleer santrallerde bulunan bariyerler Şekil 3.32’de gösterildiği gibi nükleer yakıtın kendisi, yakıt zarfı, basınç kabı ve koruma kabıdır (Ergün, 2007).

**Şekil 3.32: Nükleer Santrallerde Radyoaktif Sıhım Engelleyen Bariyerler**



Derinliğine savunma ilkesi çerçevesinde, bariyerlerin sağlamlığını korumak üzere tasarlanan güvenlik sistemleri yedekli, çeşitli ve güvenilir olmak zorundadır.(Ergün,

2014) “Nükleer santrallerde bu güvenlik sistemleri aktif (reaktör operatörü tarafından ya da otomatik olarak devreye sokulan sistemler) ya da pasif sistemleri (kazanın ciddileşmesini önlemek için kendiliğinden devreye giren sistemler) içermelidir.”

Nükleer santrallerin güvenliğinin önemli bir bileşeni güvenlik kültürüdür. Güvenlik kültürü insan hatalarını önlemek için önemlidir ve güvenliğe gereken öncelik ve önemin verilmesini garantilemeye çalışır.

Nükleer santrallerin güvenliği lisanslama, yüksek kalite standartları, kalite temini ve kontrol, güvenlik anlayışları kabul edilerek ve uygulanarak sağlanır. Bu; nükleer santrallerin, tasarlanması, inşa edilmesi, işletilmesi ve sökülmesi aşamalarının tümünde uygulanır.

Bahsedilen tüm tedbirlere rağmen nükleer santrallerde kaza olması durumunda, gerçekleşen kazalar, salımın büyüklüğü ve ulaştığı sınırlar göz önüne alınarak Uluslararası Nükleer ve Radyolojik Olay Ölçeği'ne (INES) göre sınıflandırılırlar. INES sistemine göre olaylar Toplum ve Çevre, Radyolojik Bariyerler ile Derinliğine Savunma ilkeleri esas alınarak seviye 1'den (anomali) seviye 7'ye (büyük kaza) kadar Şekil 3.33'de gösterildiği gibi ölçeklendirilmektedir.

Şekil 3.33: Uluslararası Nükleer ve Radyolojik Olay Ölçeği (INES)



Kaynak: Ergün ve diğerleri, 2011.

INES ölçeğinde, “Büyük miktarda radyoaktif madde salımı, geniş alanda planlı bir şekilde uzun süreli önlem alınmasını gerektiren sağlık ve çevresel etkiler” seviye 7’yi tanımlamaktadır. Seviye 6 olaylarda etkiler seviye 7 olaylardan hafiftir. Seviye 5 olaylarda ise, sistemdeki radyasyon santralden çıkmaz.

NES ölçeği seviye 1’den başlamaktadır ve “Halktan birinin yıllık izin verilenin üzerinde radyasyon dozu alması; Derinliğine savunmanın önemli miktarda hasar

*görmediği, güvenlik bileşenlerindeki küçük problemler veya Düşük aktiviteli kaynak, cihaz ya da taşıma paketinin kaybolması veya çalınması” demektir(TAEK, 2016). Seviye 2 “Bir çalışma alanında doz hızının 50 mili Sievert/saat’in üzerinde olması veya nükleer tesisin tasarımında beklenmeyen, önemli ölçüde kontaminasyon olması” olarak tanımlanmıştır(TAEK, 2011). Seviye 3 ise “Bir nükleer tesiste alınacak güvenlik önleminin kalmadığı, kazaya yakın durum, Kayıp ya da çalınmış yüksek aktiviteli, zırhlı radyasyon kaynağı veya Gönderildiği adrese ulaşmamış, bulunduğu yerde kaynağı idare etmek için yeterli prosedürlerin olmadığı, yüksek aktiviteli zırhlı radyasyon kaynağı” olarak tanımlanmıştır(TAEK, 2016).*

Nükleer enerjinin elektrik üretiminde kullanıma başlamasından günümüze, seviyesi 5’in üzerinde olan üç kaza olmuştur:

- Three Mile Island kazası, ABD (1979): yakıt ve yakıt zarfı bütünlüğünü kaybetmiştir, Seviye 5 kazadır.
- Çernobil kazası, Ukrayna (1986): yakıt ve yakıt zarfı bütünlüğünü kaybetmiştir; bu tasarımda koruma kabı yoktur, Seviye 7 kazadır.
- Fukushima-Daiichi kazası, Japonya (2011): yakıt, yakıt zarfı ve basınç kabı bütünlüğünü kaybetmiştir, Seviye 7 kazadır.

Bu kazalardan çıkarılan en önemli ortak dersler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Güvenlik sisteminin pasif sistemleri içermesi,
- Olasılığı ne kadar düşük olsa da her türlü tehdidin dikkate alınması,
- Santral çalışanlarının eğitime önem verilmesi,
- Güvenlik kültürünün edinilmesi.

Nükleer santral kazaları ile ilgili önemli bir konu, nükleer reaktörlerin bir atom bombası gibi patlamayacağıdır. Atom bombası için gerekli fisil atom zenginliği nükleer reaktör yakıtından oldukça fazla olduğundan, nükleer reaktörlerin atom bombası gibi patlaması mümkün değildir. Fukushima-Daiichi kazasında görülen patlamalar, yakıt zarfı ile buhar etkileşmelerinden açığa çıkarak ikincil koruma kabında sıkışan hidrojenin patlaması nedeniyle gerçekleşmiştir.

Şekil 3.34, kümülatif çalışma yılına karşılık önemli kazaları göstermektedir. 15,000 yıla yakın olan kümülatif reaktör yılında görülen en önemli kazalar yukarıda bahsedilen üç kazadır.

**Şekil 3.34: Kümülatif Reaktör Çalışma Yılı (X1000) ve Önemli Kazalar**



Kaynak: WNA,2015

Kazaların nedenleri ayrıca, deprem, yangın, tsunami, sel basması, patlama gibi dış etkenler de olabilir. Bu etkilerin santralin yer seçiminden başlayan süreçte değerlendirilmesi ve santral tasarımının böylesi etkiler ve büyüklükleri göz önünde tutularak yapılması gerekir.

Ayrıca, santral işletmedeyken de dış etkiler değerlendirilerek santral sistemlerinde iyileştirmelere gidilebilir. Fukushima-Daiichi kazası sonrası, güvenlik sistemlerinin, büyük doğal afetler durumunda dayanıklılığı incelenerek, Avrupa ülkelerinde "stres testleri" yapılmıştır. ABD'de doğal afetlere karşı dayanıklılığı arttıracak iyileştirmeler için 100 milyon dolar harcanmıştır.

Doğal afetlerin yanı sıra, nükleer santral güvenliğini, terörist saldırıları ya da uçak düşmesi gibi dış etkiler de tehdit edebilir. Özellikle, ABD'de 11 Eylül 2001 saldırılarından sonra, füze ve bomba yüklü savaş uçaklarının yanı sıra yolcu uçaklarının da reaktörün koruma kabının bahsedilen çarpmalar karşısında dayanıklı kalacağı ortaya konmuştur. Bomba yüklü uçak ya da füze çarpmasının ölüme neden olan radyolojik sonuçları olması olasılığı, böylesi bir çarpmanın aynı zamanda diğer radyasyon bariyerlerinin bütünlüğünü kaybedeceği bir kazayla eş zamanlı gerçekleşmesiyle mümkün olduğundan, çok düşüktür. Bu düşük olasılık da dikkate alınarak ABD'de 2 milyar dolar harcanarak ülke genelinde santral sistemlerinde iyileştirmeler yapılmıştır.

Nükleer santral güvenliğini aynı zamanda santral sistemlerinin ya da malzemelerinin yıpranması, aşınması, paslanması, eski teknoloji kalması ya da radyasyon altında sağlamlığını kaybetmesi de tehdit edebilir. Bu nedenle nükleer santrallerde sistem, ekipman ve malzemelerin güvenilirliği sürekli incelenmektedir.

İşletme süresince meydana gelen yaşlanmalar güvenliği tehdit etmediği sürece reaktörlerin işletme süreleri uzatılabilmektedir. Başlangıçta işletme süreleri 40 yıl olarak öngörülen 2. nesil santrallerin çoğunun işletme süreleri "yaşlanma"

değerlendirmeleri sonucu 60 yıla çıkarılmıştır. İşletme süreleri 60 yıl olarak belirlenerek tasarlanan 3. nesil santrallerin ömürlerinin 80 yıla uzatılabileceği öngörülmektedir.

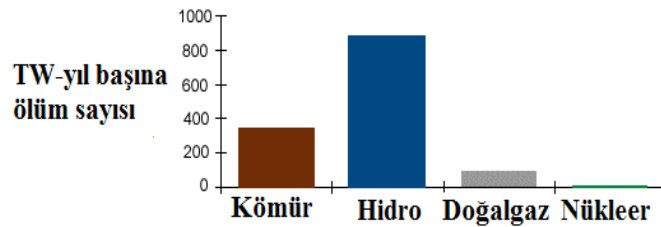
Bir nükleer santralin güvenliğini ölçmenin yolu, bir nükleer santral kazası sonucu kaç kişinin hayatını kaybedeceğini, yani nükleer santral nedeniyle ölüm gerçekleşmesi riskini belirlemektir. Böylesi risk hesapları diğer elektrik sistemleri için de yapılabilir. Şekil 3.35 üretilen birim elektrik enerjisine karşılık gerçekleşmiş olan ölüm sayılarını, kömür, hidro, doğalgaz ve nükleer kaynaklar için göstermektedir; oldukça büyük maddi kayıplara ve radyasyon salımına karşın nükleer santral kazaları nedeniyle hayatını kaybeden kişi sayısı, diğer enerji kaynakları nedeniyle hayatını kaybeden kişi sayısından yok denecek kadar azdır.

Çernobil kazası sırasında ve kazayı takip eden süreçte, 60 civarı can kaybı olmuştur. Fukushima kazasında ise kaza sırasında ve halkın boşaltılması sürecinde 3 kişi hayatını kaybetmiştir.

Nükleer santral kazalarında can kaybı az olsa da, nükleer kazalarla ilgili önemli bir husus, kaza sırasında radyoaktif maddelerin çevreye yayılmasıyla ortaya çıkan uzun vadeli kirlilik ve risklerdir. Kirliliğin yarattığı riskler ve kirlilik süresi ile ilgili kanıtlanmış bilgiler henüz elde edilmemiştir.

Nükleer santral kazalarının bir önemli sonucu da radyoaktif salımın etkisiyle kansere yakalanma olasılığının artmasıdır. Özellikle düşük doz radyasyonun kanser riskini ne kadar arttırdığını kesin olarak söylemek mümkün değildir, yalnızca kansere yakalanma olasılığından bahsedilebilir. Fukushima kazası sonrasında kaza durumunda işçilerin maruz kalmasına izin verilen kadar radyasyona maruz kalmış bir santral çalışanının tüm kanser tiplerine yakalanma olasılığı % 47'den % 47.5'e çıkmıştır. Çernobil kazasından sonra çocuklarda lösemi olma olasılığı 2000'de bir artmıştır.

**Şekil 3.35: Birim Elektrik Başına Enerji İlişkili Kazalara Ait Ölüm**



Kaynak: Paul Scherrer Institute 1998, (Bu değerlendirmede 5'ten fazla ölümle sonuçlanan toplam 1943 kaza değerlendirilmiştir, Bir TW-yıl dünyada toplamda 5 ayda harcanan enerjidir. TW: Terawatt)

Aşağıdaki Tablo 3.17 ve 3.18’de, 1969-2000 yılları arasında farklı elektrik üretim sistemlerinde gerçekleşmiş ve 5'ten fazla ölümle sonuçlanan kazalar ve 1970-1992 yılları arasında farklı elektrik üretim sistemlerinde gerçekleşmiş ve 5'ten fazla ölümle sonuçlanan kazalarla ilgili istatistikler özetlenmiştir.

**Tablo 3.17: 1969-2000 yılları arasında farklı elektrik üretim sistemlerinde gerçekleşmiş ve 5'ten fazla ölümle sonuçlanan kazalar**

| Enerji Üretim Sistemi | OECD    |                | OECD DIŞI |                |
|-----------------------|---------|----------------|-----------|----------------|
|                       | Ölümler | Ölümler/TW-yıl | Ölümler   | Ölümler/TW-yıl |
| Kömür                 | 2259    | 157            | 18,000    | 597            |
| Doğal gaz             | 1043    | 85             | 1000      | 111            |
| Hidro                 | 14      | 3              | 30,000    | 10,285         |
| Nükleer               | 0       | 0              | 31        | 48             |

Kaynak: Paul Scherrer Institute, 2000

**Tablo 3.18: 1970-1992 yılları arasında farklı elektrik üretim sistemlerinde gerçekleşmiş ve 5'ten fazla ölümle sonuçlanan kazalarla ilgili istatistikler**

| Yakıt     | 1970-1992 arasında gerçekleşen ölümler | Kim             | TW-yıl elektrik başına gerçekleşen normalize edilmiş ölüm sayısı* |
|-----------|----------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------|
| Kömür     | 6400                                   | İşçiler         | 342                                                               |
| Doğal gaz | 1200                                   | İşçiler ve Halk | 85                                                                |
| Hidro     | 4000                                   | Halk            | 883                                                               |
| Nükleer   | 31                                     | İşçiler         | 8                                                                 |

\* bir yılda üretilen bir milyon MWe için hesaplanmıştır

Kaynak: Ball, Roberts & Simpson, 1994; Hirschberg et al, Paul Scherrer Institut 1996, in: IAEA 1997; Paul Scherrer Institut, 2001.

Nükleer enerjinin güçlü yönleri açıklanmaya çalışılmıştır. Nükleer enerjinin

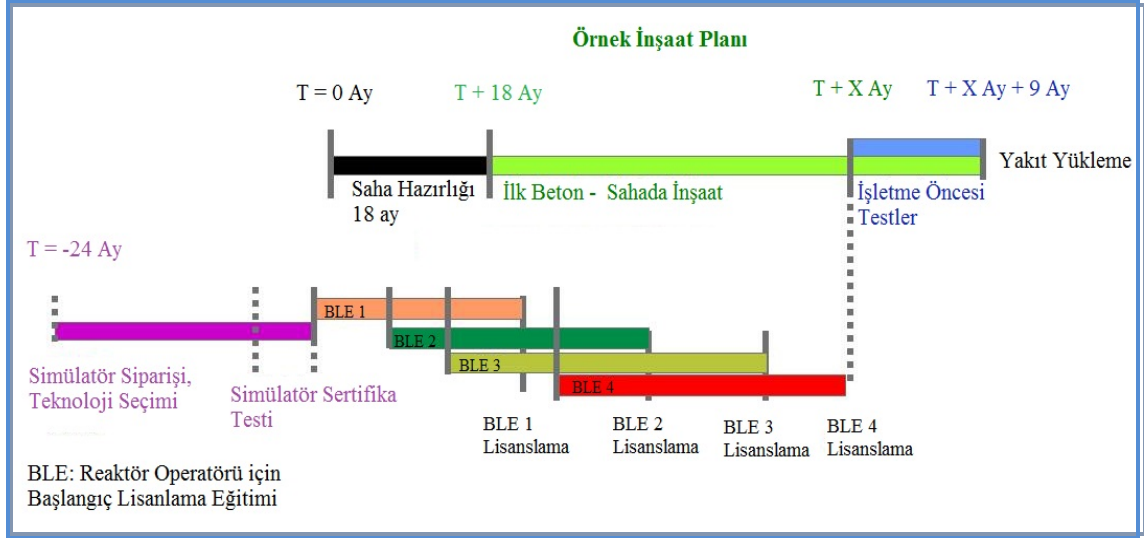
*Zayıf yönleri:*

- ✓ Yüksek yatırım maliyetleri (6-8 milyar \$)
- ✓ İnşaat maliyetleri
- ✓ Çalıştırma ve bakım maliyetleri
- ✓ Test ve kontrol maliyetleri
- ✓ Atık ve bertaraf maliyetleri
- ✓ Hizmetten alma maliyetleri (nükleer santral söküm maliyetleri) (130-477 milyon dolar)



✓ İnşaat süresi (Şekil 3.36) gösterilmiş olup yapım süreleri ile ilgili detaylı bilgiler EK-4'te yer almaktadır.

Şekil 3.36: Nükleer Santral İnşa Süreci

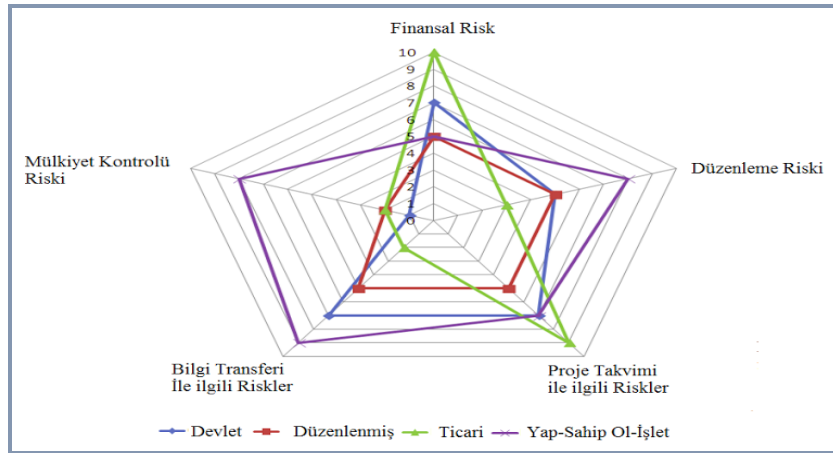


Kaynak: Shahkarami, A., The Global New Nuclear Power Plant Expansion and Challenge, INPPS 2014

Nükleer santral yapımı ortalama 48-60 ay gibi bir süre almaktadır.

Nükleer santral inşa sürecindeki riskler 5 ana başlık altında toplanmış olup analizi Şekil 3.37 'de yer almaktadır.

Şekil 3.37: Nükleer Santral Risk Yönetimi



Kaynak: Shahkarami, A., The Global New Nuclear Power Plant Expansion and Challenge, INPPS 2014

Nükleer enerjinin üstünlüklerinin zayıf yönlerine kıyasla göreceli olarak daha yüksek olduğunu işaret eden GZFT çözümlemesi göstermektedir ki: *risk kabul edilebilir* ve kontrol altına alınırsa, nükleer enerji santralleri iyi tasarlanmış, iyi inşa edilmiş, iyi

yapılandırılmış, iyi işletilebilir ve iyi bakımlanmış ise nükleer enerji sadece *temiz* değil, ama aynı zamanda, *ucuz, emniyetli, güvenilir, dayanıklı ve rekabetçidir*.

Türk Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO, 2011) raporuna göre dünyanın petrol rezervlerinin yaklaşık 46 yıl ve doğal gaz rezervlerinin yaklaşık 58 yıl içinde tükenmiş olacağı tahmin edilmektedir. Bu koşulda, yeni kaynaklara ihtiyaç duyulacağı gelecekte enerji arz güvenliğini sağlamak açısından aşîkârdır. 2035 yılında nükleer enerjiden elektrik üretiminde kurulu kapasitenin % 58 artması beklenmektedir.

Dünya enerji talebi, artan nüfus, değişen ve hızla gelişen teknoloji enerji konusunun önemini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, enerji gelecek talep tahminlerinin sağlamlığı büyük önem taşımaktadır.

Türkiye, jeopolitik ve jeostratejik bakımından son derece önemli bir bölgede yer almaktadır. Yeni dünya düzeninde küresel bir enerji koridoru olarak hizmet vermektedir. Bu kapsamda, yüzde 72 düzeyinde olan enerji bağımlılığın geleceğini şekillendirecek, etkili makroekonomik strateji ve politikalar geliştirilmelidir. Gelişmiş ülkelerde, nükleer enerjinin hem siyasal faaliyetin şeklinde hem de ekonomiye katkıda bulunmada önemli bir rol oynadığı bilinmektedir. Küresel ölçekte bu alanda başarılı olmak birçok yönden avantajlı olacaktır.

Türkiye’de hidroelektrik santraline yapılan yatırımların *geri dönüşüm hızı* Keban’da 5 yıl ve Atatürk barajında 7 yıldır. 1200 MWe gücünde 4 üniteli bir Nükleer santralin geri dönüşüm hızı barajlara göre çok daha yüksek ilk yatırım maliyetine rağmen 2 reaktör için 15 yıl olarak hesaplanmıştır. Diğer 2 reaktör devreye girdiği andan itibaren kar için çalışacaktır.

### **3.3. Optimizasyon**

Hedeflenen bir sonuç olan optimizasyon, en iyileme anlamına gelir ve en iyi çözümü ortaya koymak için kullanılır. Reel bir fonksiyonu maksimizasyon ya da minimizasyon koşullarında çözüm için reel yada tamsayı değerlerini sistematik kullanarak en iyi çözüme ulaşma işlemidir.

Türkiye nükleer enerjiden faydalanmamaktadır. Türkiye’de 2023 hedeflerini gerçekleştirmede en iyi (optimum) çözüm nükleer enerji olarak görülmektedir. Türkiye enerji arz güvenliğini, çevreyi koruyacak, sürdürülebilir büyümeyi destekleyecek ve

enerjide ithalat bağımlılığını %72'den makul düzeye indirecek şekilde minimum maliyetle sağlamak için nükleer enerji tercihi yapmıştır. Türkiye'de 2023 hedeflerine ulaşmak için nükleer enerjinin payı ve santral sayısını tespit etmek enerji strateji ve politikalarının belirlenmesine katkı sağlayacağı gibi sürdürülebilir ekonomik büyümeye ve teknoloji düzeyini artırarak ülkenin sanayileşmesine de destek sağlayacaktır. Bu kapsamda,

- Elektrik talebi artış hızı yıllık yüzde 5,4,
- Nükleer enerjinin ortalama maliyeti 2,40 cent/kWh,
- Diğer enerji tercihlerinin ortalama maliyeti 4,24 cent/kWh,
- Nükleer enerjinin kapasite faktörü % 90,1,
- 2023 yılı elektrik enerjisi talebi 414-440 milyar kWh,
- 2015 yılı elektrik tüketimi 263 milyar 828 milyon kWh,
- Türkiye'nin 2015 yılı kurulu gücü 73.143 MW,
- 2015 yılı elektrik tüketimi 259 milyar 611,5 milyon kWh,
- 2023 yılı öngörülen nüfus 84.247.088 kişi,
- 2023 yılı öngörülen GSMH düzeyi 2 trilyon \$,
- Nükleer enerji elektrik alım (15 yıl alım garantisi) fiyatı
- Elektrik enerjisi abone satış fiyatı
- 15 ülkede Nükleer enerjinin payı yüzde 20 ve üzeri
- Elektrik enerjisi kayıp/kaçak oranı yüzde 17,
- Nükleer santral kullanım ömrü 60 yıl şeklindedir.

Buna göre amaç fonksiyonunu oluşturmak için Kapasite faktörüne ve üretim maliyetlerine/satış fiyatına ihtiyaç duyulacaktır. Kapasite faktörü için 2015 yılı Türkiye geneli değerlendirildiğinde, formülde

$T_K$ : Türkiye Kapasite Faktörü,  $\dot{U}$ : Elektrik Üretimi (kWh),

C: Kurulu güç (MWh), S: 24 saat, G: 365 gün, şeklinde ifade edilmektedir.

$$T_K : \dot{U} / (C * 1000) * S * G * ==> T_K : 259.611.500.000 / (73.143 * 1000) * 24 * 365 ==>$$

$T_K$ : % 40,5 olarak hesaplanmıştır.

2015 yılı EÜAŞ kapasite faktörü hesaplandığında (Tablo 3.19) ,

Tablo 3.19: EÜAŞ Kurulu Güç ve Üretim

| Kaynaklar / Resources        | Kurulu Güç<br>Installed Capacity | %             | Üretim<br>Generation  | %             |
|------------------------------|----------------------------------|---------------|-----------------------|---------------|
|                              | MW                               |               | kWh                   |               |
| Hidrolik / Hydraulic         | 13.006,31                        | 63,99         | 34.952.360.658        | 63,20         |
| Linyit / Lignite             | 3.159,00                         | 15,54         | 6.725.260.510         | 12,16         |
| Doğal Gaz / Natural Gas      | 3.778,90                         | 18,59         | 13.628.622.710        | 24,64         |
| Sıvı Yakıtlar / Liquid Fuels | 381,04                           | 1,87          | 0                     | -             |
| <b>TOPLAM / Total</b>        | <b>20.325,25</b>                 | <b>100,00</b> | <b>55.306.243.878</b> | <b>100,00</b> |
|                              | <b>20.325,25</b>                 |               | <b>55.306.243.878</b> |               |

Kaynak:EÜAŞ, <http://www.euas.gov.tr/Sayfalar/Kurulu-G%C3%BC%C3%A7-ve-%C3%9Cretim2.aspx?did=22>

EÜAŞ<sub>K</sub>:  $\dot{U}/(C \cdot 1000) \cdot S \cdot G \implies T_K : 55.306.243.878 / (20.325,25 \cdot 1000) \cdot 24 \cdot 365$   
 $\implies T_K : \% 31$  şeklinde çözümlenmiştir.

Problemin modeli:

$X_1$  = Nükleer Enerji Payı

$X_2$  = Diğer Enerji Kaynaklarının Payı

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Max NGSs} = \frac{90,1X_1}{2,4} + \frac{40,5X_2}{4,24}$$

Kısıtlar:

$$124\text{GWe} \geq \text{Doğalgazın payı}$$

$$X_2 \geq 260 \text{ GWe}$$

$$154\text{GWe} \geq X_1$$

Excel ile çözüldüğünde, doğalgazın payı yenilenebilir artışıyla kapatılıp maliyetler ve kapasite faktörü nedeniyle tamamının nükleer enerji seçeneğiyle kapatılmasını öngörmektedir. Kısıtları; talep, gelir, nüfus ekseninde değiştirdiğimizde ise; Türkiye'nin 2023 hedefi doğrultusunda 19.511MWe kurulu nükleer güç ile büyüklüğüne ve teknolojisine bağlı olarak en az 1000 MWe olmak üzere 16-19 adet nükleer santral ünitesine ihtiyacı vardır.

### 3.4. İthal İkameci Sanayileşme Politikası

Literatürde kendi öz kaynaklarını kullanarak gelişmek isteyen ülkelerin başvurdukları yöntemdir. ABD 19. yüzyıl boyunca, Almanya 20. yüzyıl ilk yarısında, Japonya 19. yüzyıl sonlarında bu modeli benimseyip başarılı olmuşlardır. Karşılaştırmalı üstünlüklerden ziyade yerli sanayiye geliştirmek amacıyla gelişmekte olan-az gelişmiş ülkelere uygulanmaktadır. Türkiye’de 1930’lu yıllardan itibaren bu yöntemi uygulamaya başlamıştır. Yerel teknoloji görece daha pahalı, gelişmemiş ve kalitesiz de olsa ürün içeride üretilir. Böylece yerli sanayinin kalkınması hedeflenir.

Türkiye’de 1929-1945 ve 1960-1980 arası dönemde uygulanmıştır. İstenilen sonuçların elde edilememesine rağmen ithal ikameci dönemde istihdam artış oranı yıllık %5,7 olarak gerçekleşirken, katma değer ise yıllık ortalama %9,3 seviyesinde büyük bir gelişme katetmiştir. İthal ikameci dönemin 1963-1976 yıllarında kişi başına milli gelir ortalama artış hızının imalat sanayi reel ücret artış hızının gerisinde kalmış fakat sanayide büyüme hızının ortalama %9,7 seviyesine ulaştığı görülmüştür. İthal ikameci sanayileşme stratejisi döneminin en belirgin özelliklerinden birisi de, tüm açmazlara rağmen sanayide ulaşılan gelişme ve ortalama büyüme hızında yüksek ve hızlı artış şeklinde görülmektedir. Makro-ekonomik göstergeler açısından 1963-1970 alt dönemi irdelendiğinde, 1963-1976 dönemi ortalamasının üzerinde bir üretim artışı göstererek yüzde 13,8’lik bir performansa ulaştığı görülmektedir. Sanayide ise ithal ikameci dönemin ortalamasına yakın bir büyüme hızına erişilmiştir (Eşiyok, 2004).

Kriz yılları olarak bilinen 1977-79 alt dönemi değerlendirildiğinde, ithal ikameci sanayileşme stratejisinin sona ermesinin sebebi 1963-1976 döneminde ücretler, kârlar ve verimlilik arasında oluşan hassas dengenin kriz yıllarında bozulması olarak görülmektedir.

Kendi içinde taşıdığı riskler bakımından nükleer enerjiyi kendi kaynaklarımızla üretebilmek için teknoloji transferi sağlanmalı, *ithal enerji bağımlılığını* minimize etmek amacıyla alternatif ve temel enerji kaynağı çeşitliliğine gidilmeli ve sonrasında ihracata yönelik stratejiler uygulanmalıdır. İthal ikameci sanayileşme politikasının nükleer endüstride ülkenin teknoloji, nitelikli işgücü ve yan sanayini artırma potansiyeli olduğu gibi katma değer ve ödemeler dengesine de olumlu katkılar sağlayacaktır.

Toryum maden potansiyeli bakımından dünyada III. sırada yer alan Türkiye’de, rezerv yapısının karmaşıklığı ve ortalama tenör düşüklüğü gibi nedenler toryumun tek başına ekonomik olarak çıkarılabilirliğini zorlaştırmaktadır. Toryumun ayrılma/saflaştırma teknolojisinin geliştirilmesi ile ilgili çalışmalar MTA, ETİ-Holding ve TAEK tarafından ortaklaşa yürütülmektedir. Ancak, toryum’un verimliliği konusunda önümüzdeki elli yıl içinde teknoloji değişimine bağlı olarak mümkün gözükmemektedir (Boyarkin, 2014). İthal ikameci sanayileşme politikası oluşturulması bakımından, toryum kaynaklı yakıt çevriminin halen dünyada kullanılmaması ve Türkiye’nin uranyum kaynaklarının nükleer enerji üretimi için yeterli olmaması değerlendirilse dahi uranyum ve toryum kaynakları gelecekte nükleer enerji kullanımında bir güvence oluşturmakla birlikte enerji arz güvenliğine de katkı sağlayacaktır. Türkiye'nin nükleer hammadde rezervleri şekil 3.38’de gösterilmiştir.

**Şekil 3.38: Türkiye'nin Nükleer Hammadde Rezervleri**



Kaynak: [www.daka.org.tr/panel/files/belgeler/planlama/enerji\\_sektörü.pdf](http://www.daka.org.tr/panel/files/belgeler/planlama/enerji_sektörü.pdf)

Türkiye, toplam 10.000 tonun üzerinde olduğu tahmin edilen uranyum rezerviyle zenginlik bakımından normal-fakir ülkeler sınıflandırmasında yer almaktadır (TKB, 2010).

Günümüzde politik amaçlı enerji kesintileri, ülkelerin hakimiyet doktrinleri ekseninde jeopolitik ve jeostratejik gelişmeler, enerji bölgesi/güvenliği, dünyada enerji arzını ve fiyatlarını hassas ve değişken hale getirmiştir. Enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi yoluyla enerji arz güvenliğini sağlamayı hedefleyen ülkeler,

yenilenebilir enerji kaynaklarına ilave olarak nükleer güvenli yeni nesil NGS kurulması yönünde faaliyetler yürütmektedirler.

Enerjide ithalata bağımlı bir ülke olan Türkiye’de yapılacak enerji yatırımlarının optimal düzeyde planlanmasının önemi daha da artmaktadır. Ulusal Nükleer Teknoloji Politikası’na göre, *“nükleer enerji üretiminin diğer enerji kaynaklarına alternatif olarak değil, temel üretim kaynakları arasında yer alması, enerji arzının güvenli bir şekilde sağlanması amacıyla, yerli kaynakların tam olarak değerlendirilmesi politikasına ilave olarak planlanmakta”* olması nükleer enerji yatırımlarının diğer enerji yatırımları ile birlikte değerlendirilmesi zorunluluğunu ortaya koymaktadır.

G.Kore’deki nükleer endüstrinin gelişimi değerlendirildiğinde, milli kaynaklarla %98 oranında nükleer santral tasarlayabilen ülkede başlangıçta katkı oranı yerel olarak %2 düzeyinde gerçekleşmiştir.

Bu örnekten hareketle enerji sektörüyle ilgili düzenlemeler yapılırken yatırımların, ülke ihtiyaçlarını en uygun maliyetlerle, yeterli ve güvenli şekilde karşılayacak düzeyde, istikrarlı ve sürekli biçimde gerçekleştirilmesi amacıyla, ithal ikameci sanayileşme politikasına yönelik olarak;

✓ Nükleer enerjiyi kendi kaynaklarımızla üretebilmek için ülkenin teknoloji ve nitelikli işgücü düzeyi yükseltilerek yan sanayinin geliştirilmesi yoluyla katma değer sağlanmalı,

✓ *İthal enerji bağımlılığını* minimize etmek amacıyla yapılan analiz neticesinde Türkiye’nin 16-19 nükleer santral ünitesine sahip olması değerlendirildiğinde alternatif ve temel enerji kaynağı çeşitliliğine gidilmeli, tüketici farkındalığı artırılarak enerji verimliliği sağlanmalı,

✓ Türkiye nükleer teknolojiyi transfer ederek ithal ikameci sanayileşme politikası ve stratejisiyle uzun vadede tasarım yapabilecek düzeyde millileştirmeli,

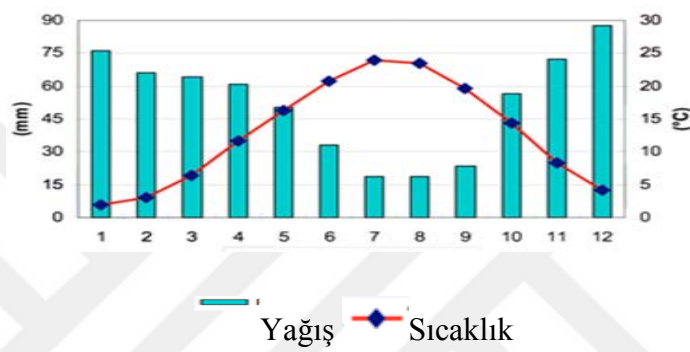
✓ Türkiye nükleer hammadde rezervine zengin olarak sahip olduğu alanda reaktör tasarlayarak enerji elde etmeli, enerjiyi ve teknolojiyi ihraç edecek seviyeye gelmelidir.

### 3.5. Türkiye Örnek Olayı

Coğrafik konumu ile Türkiye, Avrupa ve Asya'yı bağlayan doğal bir köprü olarak düşünülmektedir. Bu yüzden Türkiye başlıca petrol ve doğalgaz üreten/tüketen ülkeler arasında enerji koridoru ve terminali olarak önemli bir rol oynamaktadır.

Kıyı bölgelerinde yumuşak iklim, Anadolu'nun iç platolarında sıcak yaz ve soğuk kış hüküm sürmektedir. Türkiye iklim diyagramı Şekil 3.39'da yer almaktadır.

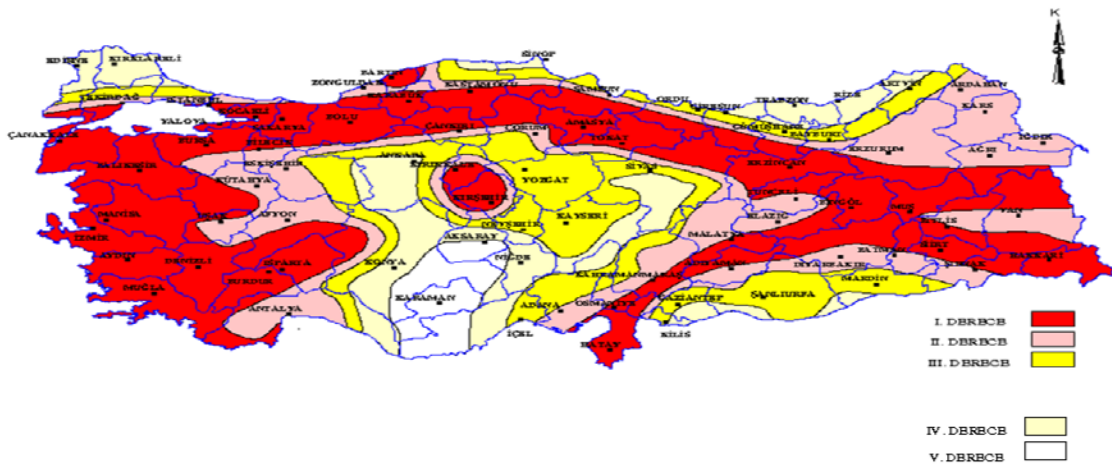
Şekil 3.39: Türkiye İklim Diyagramı



Kaynak: Turkish State Meteorological Service, 2008

Türkiye'de aktif yanardağ bulunmamaktadır; ancak deprem fay hatları mevcuttur. Türkiye deprem bölgeleri incelendiğinde Sinop ve Mersin'in 5'inci derece bölgede beyaz olarak görüldüğü ve deprem riskinin az olduğu anlaşılmaktadır ( Şekil 3.40) .

Şekil 3.40: Türkiye Deprem Haritası



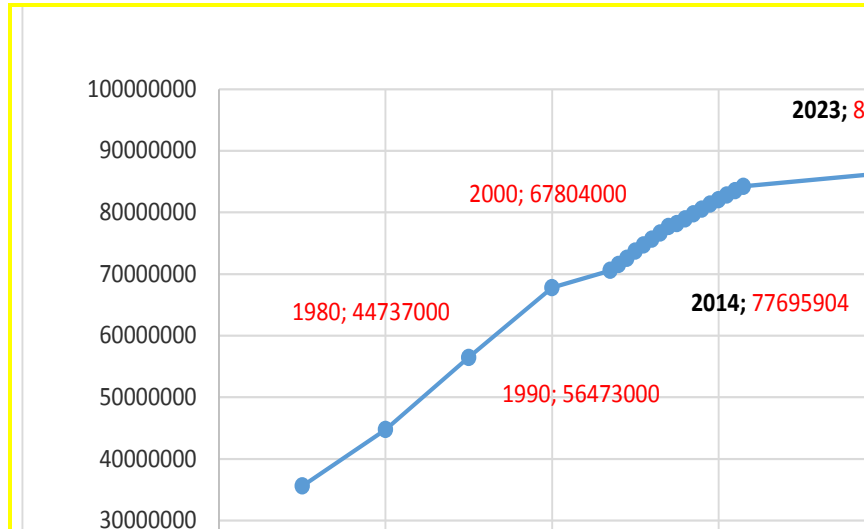
Kaynak: AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı, [www.deprem.gov.tr/sarbis/Shared/DepremHaritalari.aspx](http://www.deprem.gov.tr/sarbis/Shared/DepremHaritalari.aspx)



Bölgesel Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi (BTİM, 2015) tarafından belirtildiği üzere, Türkiye'nin 8300 km'den fazla kıyı şeridinde son 3 milenyum içinde 90'dan fazla tsunami meydana gelmiş olup fay hareketine bağlı modellemelerde İstanbul kıyılarında beklenen dalga yüksekliğinin en fazla 4.71m, 1968 Bartın depreminin yol açtığı tsunaminin neden olduğunu yerel tsunami yüksekliğinin 3m, Girit'de meydana gelen depremin Akdeniz'deki en büyük deprem olduğu düşünülmekte ve yapılan çalışmalar tsunami yüksekliğinin 6m olduğunu göstermektedir.

**Nüfus:** Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK, 2015)'na ait son verilere göre Türkiye'nin nüfusu 78 milyon 741 bin 053 kişidir. Nüfus 2014 yılında 1 milyon 28 bin 40 kişi artarak bir önceki yıla göre % 13,3 olarak artmıştır. 2013 yılında ise nüfus artış hızının %13,7 olduğu görülmektedir. Erkek nüfusun oranı 38.984.302 kişi ile yüzde 50,2 iken bu oran kadınlarda 38.711.602 kişi ile yüzde 49,8 seviyesindedir. İlçeler dahil olmak üzere şehirlerde yaşayan nüfusun oranı 2014 yılında bir önceki yıla göre yüzde 0,5 artarak yüzde 91,8'e yükselmiştir. Buna göre köy ve beldelerde yaşayanların oranı, gerçekleşen düşüşle yüzde 8,2 seviyesine gerilemiştir. Türkiye'de nüfusun gelişimi ve gelecek projeksiyonu Şekil 3.41'de yer almaktadır.

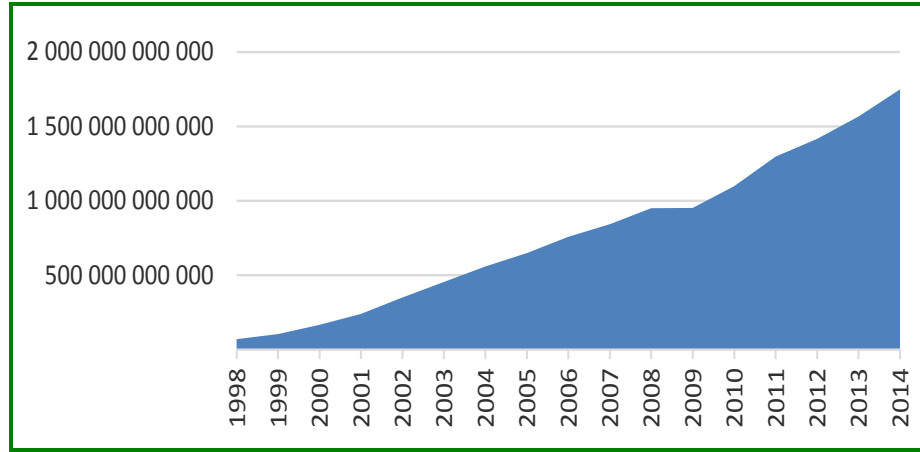
**Şekil 3.41: Türkiye'de Nüfus**



Kaynak: TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu, [www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist](http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist)

Türkiye'de GSYH gelişimi 1998-2014 yılları arasında Şekil 3.42'de gösterildiği gibi olup 2009 yılındaki duraklama dünyada meydana gelen küresel krizden kaynaklanmaktadır.

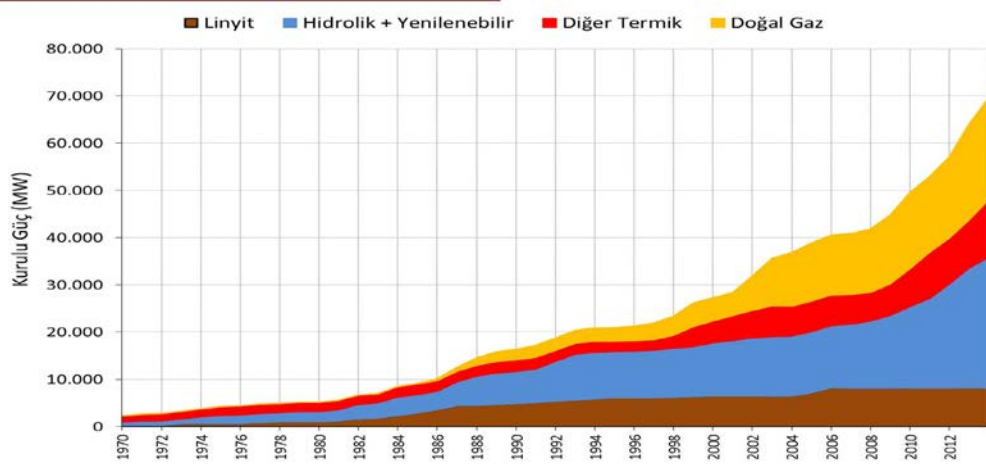
Şekil 3.42: Türkiye GSYH Gelişimi (TL), 1998-2014



Kaynak: TÜİK, 2015

Türkiye’de 1970-2014 yılları arasında kaynaklarına göre elektrik enerjisi kurulu güç değişimi Şekil 3.43’de gösterildiği gibi olup doğalgaz devreye girdikten sonra elektrik üretimindeki payı artmıştır. Türkiye doğalgazı büyük miktarda Rusya’dan ithal etmektedir.

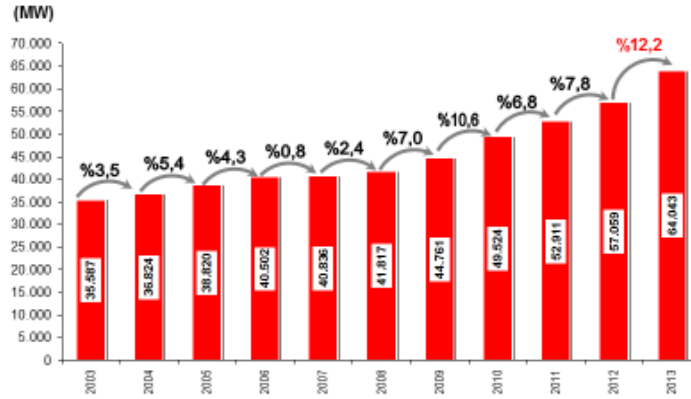
Şekil 3.43: Türkiye’de Elektrik Enerjisi Kurulu Güç Değişimi (1970-2014)



Kaynak: TEİAŞ, 2015

Türkiye’de Kurulu Güç kapasitesinin bir önceki yıla göre artış oranları Şekil 3.44’de gösterilmiştir.

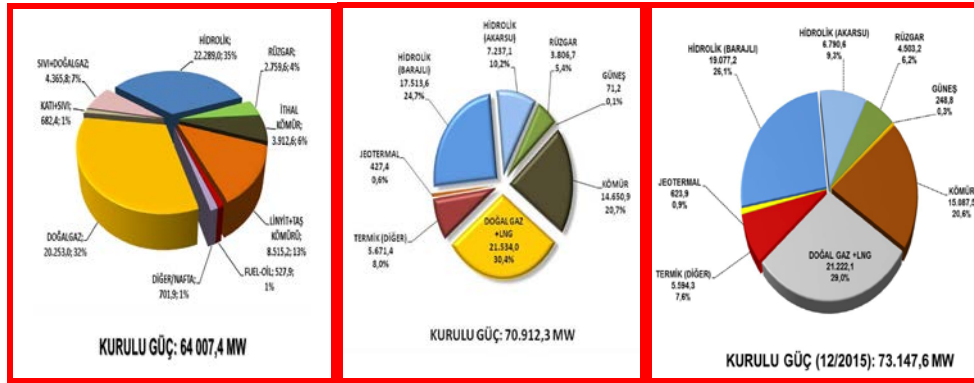
Şekil 3.44: Türkiye Kurulu Güç Kapasitesi Gelişimi (2003-2013)



Kaynak: EÜAŞ, 2014

Türkiye’de elektrik enerjisi kurulu gücü 2013 ve 2014 yıllarına göre mukayese edildiğinde; 2013 yılında kurulu güç 64.007,4 MWe iken 2014 yılında 70.912,3 MWe düzeyinde gerçekleşmiştir. 2015 yılında ise % 5,2 artarak 73.143 MWe olarak gerçekleşmiştir. Kaynaklarına göre kurulu güç miktarı en yüksek olarak doğalgazda gerçekleşmiştir. Doğalgazın toplam kurulu güç içindeki payı 2014 yılında %30,4 olarak gerçekleşmiştir. Hidroliğin payı %24,7 ile ikinci sırada yer alırken üçüncü sırada %20,7’lik payıyla kömür gelmektedir (Şekil 3.45).

Şekil 3.45: Türkiye’de Elektrik Enerjisi Kurulu Güç Mukayesesi (2013-2014-2015)

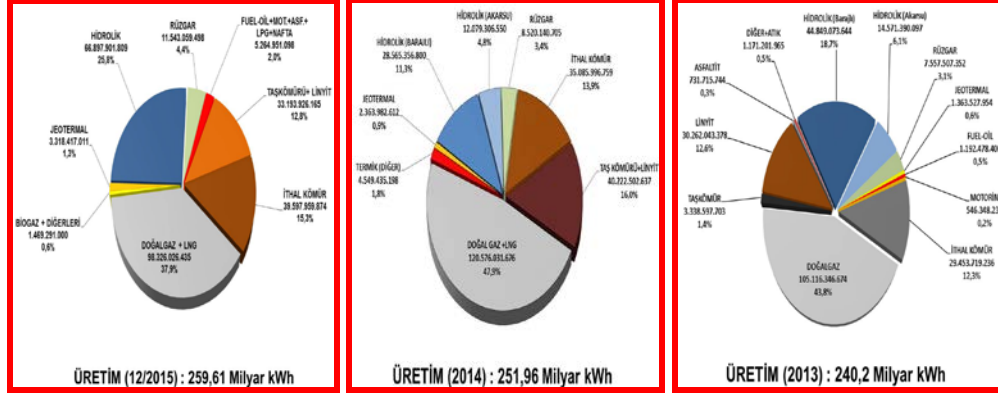


Kaynak: TEİAŞ, 2016

Türkiye Elektrik İletim AŞ (TEİAŞ, 2016) verilerine göre, 2015 sonu itibarıyla Türkiye'nin elektrikteki kurulu gücü bir önceki yıl sonuna göre % 5,2 artarak 73.143 MWe’a ulaşmıştır. Doğalgazın payı % 10 azalmıştır. 2015 yılında Türkiye’de “elektrik üretiminin yüzde 21,3’ünü kamu santrallerinden, kalan kısmı ise özel sektöre ait santrallerden karşılamıştır. Toplamda üretilen 259 milyar 611,5 milyon kWh elektriğin

55,3 milyar kWh'lik kısmı Elektrik Üretim AŞ (EÜAŞ) ve bağlı ortaklıklardan, 204,3 milyar kWh'lik kısmı da özel sektör tarafından sağlanmıştır. Türkiye'de 2015 yılında kullanılan elektriğin yüzde 2,8'i ithalatla karşılanmıştır.

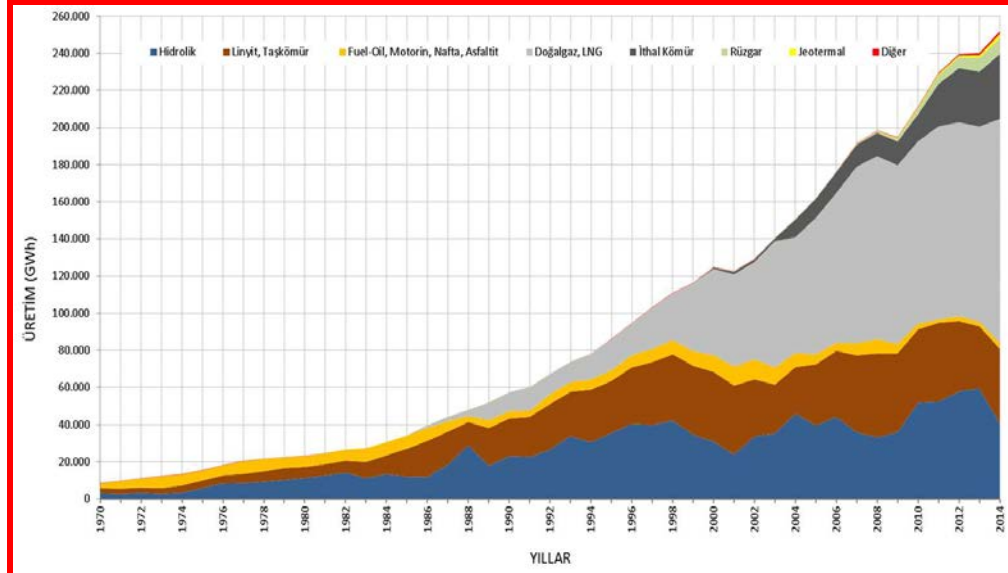
Şekil 3.46: Türkiyede Elektrik Enerjisi Üretimi (2015-2014-2013)



Kaynak: TEİAŞ, 2015

2014 sonu itibarıyla elektrik üretiminde doğalgazın %47,9 olan payı 2015 yılı sonunda %37,9 seviyelerine gerilemiştir. Toplam elektrik üretiminin %25,8'i hidroelektrik santralleri, % 12'si linyit, % 15,2'si ithal kömür, % 4,4'ü rüzgâr ve % 1,3'ü de jeotermal kaynaklardan sağlanmıştır. Türkiye elektrik üretim haritası EK-5'de yer almakta olup elektrik enerjisi üretimindeki değişim ise Şekil 3.46'da gösterilmektedir.

Şekil 3.47: Türkiye'de Elektrik Enerjisi Üretiminde Değişim (1970-2014)

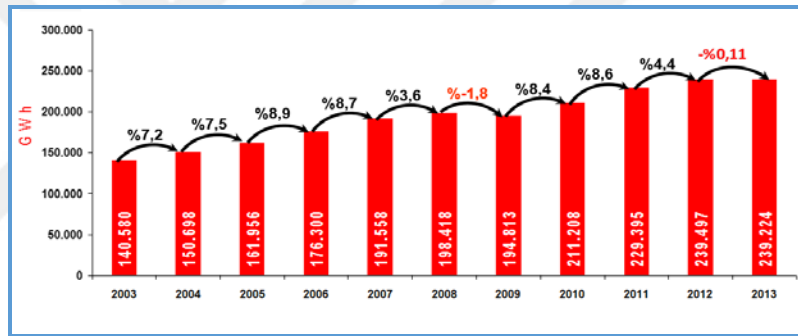


Kaynak: TEİAŞ, 2015

Türkiye'nin yıllık elektrik tüketiminin 1970 yılından günümüze kadar olan süreçte yüzde olarak değişimi incelendiğinde, 1976 yılında %18,4 oranla tüketimdeki en büyük artış gerçekleşirken, en büyük düşüş 2009 yılında %2 seviyesinde olmuştur (Enerji Atlası, 2016). Önceki yıllara göre elektrik tüketimi yalnızca 2001 ve 2009 yıllarında düşmüştür (Şekil 3.47).

2015 sonunda tüketilen elektrik bir önceki yıla göre % 2,6 artarak 263 milyar 828 milyon kWh'e ulaşmıştır. "Yıl içerisinde en fazla elektrik tüketimi 25 milyar 46 milyon kWh ile Ağustos ayında gerçekleşirken, en düşük elektrik tüketimi ise 20 milyar 410 milyon kWh ile Şubat ayında gerçekleşmiştir. Günlük bazda en fazla elektrik tüketimi 867 milyon 551 milyon kWh'le 31 Temmuz 2015'te kaydedilmiştir." Türkiye'nin 2003-2013 yılları arası elektrik enerjisi talebi ve yüzde olarak artış/azalış oranları Şekil 3.48'de yer almaktadır.

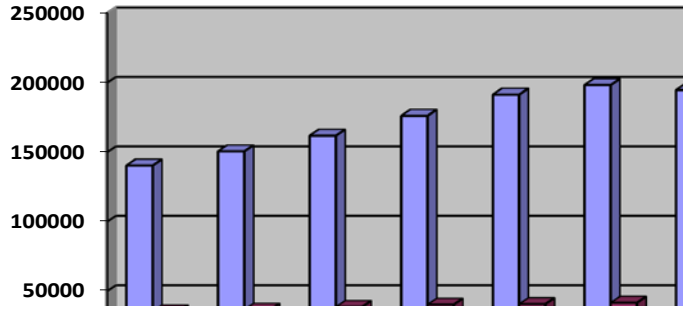
Şekil 3.48: Türkiye Elektrik Talebi (%), 2003-2013



Kaynak: www.enerji.gov.tr

(Enerji Atlası, 2016) Elektrik tüketimi 1971 yılından 2014'e kadar ortalama olarak her yıl %8,1 artmıştır. Ancak, son 10 yıl değerlendirildiğinde tüketimin her yıl %5,5 arttığı, önceki 5 yılın ortalama elektrik tüketimi hesaplandığında ise % 5,78 arttığı görülmektedir. 2030 yılına kadar ulusal hedefler doğrultusunda bu trendin devam etmesi beklenmektedir. Şekil 3.49'da Türkiye'de kurulu güç ve elektrik talebi yer almaktadır. Enerji açığı nedeniyle Türkiye'nin nükleer enerjiye ihtiyacı vardır.

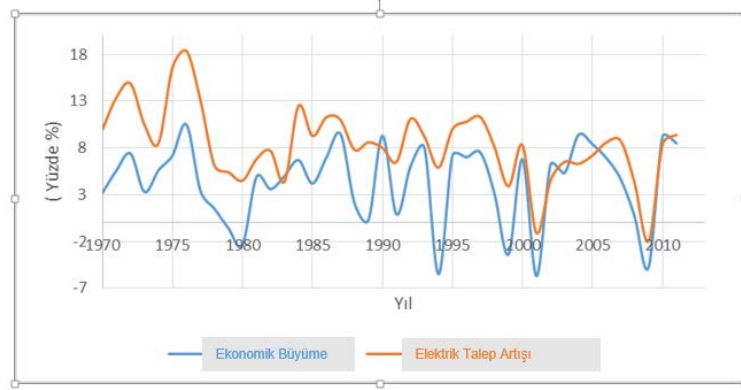
Şekil 3.49: Türkiye’de Kurulu Güç ve Elektrik Talebi (2003-2013)



Kaynak: <http://www.enerji.gov.tr>

Türkiye, 2010 yılında elektrik talep artışında Çin’den sonra dünyada ikinci, Avrupa’da ise ilk sırada yer almıştır. Türkiye’de bir yılda tüketilen elektrik miktarı rekor seviyeye 263 milyar 828 milyon kWh’lik tüketimle 2015 yılında ulaşılmıştır. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerdeki eğilime ve nüfus artışına paralel olarak Türkiye’nin enerji tüketim değerlerinde elektrik enerjisinin payı artmaktadır. Hızla artan nüfus, yükselen elektrik enerjisi ihtiyacını beraberinde getirmektedir. Son 10 yıl içinde Türkiye’nin milli geliri 4 kat, kişi başına gelir 3 kat artarak Türkiye ekonomisi dünyanın 17. büyük ekonomisi olmuştur. Ancak, elektrik tüketim talebindeki büyüme, ekonomik büyümeden yaklaşık % 2 fazla olmuştur (Şekil 3.50).

Şekil 3.50: Türkiye’de Elektrik Talebi ve Ekonomik Büyüme (1970-2010)



Kaynak: [www.enerji.gov.tr](http://www.enerji.gov.tr)

Toplam enerji ihtiyacının % 72’sini ithalatla karşılayan Türkiye, enerjide büyük oranda dışa bağımlıdır. Elektrik üretiminde kullanılan doğalgaz (%98), petrol (%92) ve kömür (%20) gibi fosil enerji kaynakları ithal edilmektedir. 2015 yılında Türkiye’de gerçekleşen elektrik enerjisi tüketimi yıllık yaklaşık 264 milyar kWh iken 2023 yılında yaklaşık 414-440 milyar kWh’a çıkması öngörülmektedir. Fosil yakıtların bilinen

rezervlerinin tahmini bitiş süreleri göz önüne alındığında, Türkiye mevcut enerji potansiyeli ile bu talebin ancak yarısını karşılayabilmektedir. 2023 yılında bu talebi karşılayabilmek için *yıllık 4000-5000 MWe ek kapasite için 10-11 milyar dolar* yatırıma ihtiyaç duyulmaktadır.

Dünyada elektrik üretiminde kömür birinci sıraya yerleşirken, doğalgaz ikinci sırada gelmekte fakat Türkiye’de yabancı kaynak olan doğalgaz birinci sırada yer alırken kömür ise kendine ikinci sırada yer bulmaktadır (NEPUD, 2012).

Uzun ve diğerleri (2013) Türkiye’de ekonomik büyümeden toplam elektrik üretimine doğru işleyen tek yönlü bir nedensellik olduğu ve ekonomik büyümenin daha fazla elektrik üretimini teşvik edeceğini ileri sürerek mevcut trend dikkate alındığında, gelecekte de belirli seviyede ithal kaynaklara bağımlı kalınacağını belirtmişlerdir.

Enerji arz kaynaklarımız dışa bağımlı ve kısıtlı iken petrol, kömür ve doğalgaz gibi fosil ve baz enerji kaynaklarında yüksek ithalat düzeyine ve de elektrik talebinin sürekli artmasına karşılık olarak yenilenebilir enerji potansiyeli yaklaşık 136.600 MWe seviyesindedir. Ancak, kapasite faktörü nedeniyle fiilen kullanılmakta olan 22.075 MW’dır. Bu açığı karşılama hedefinde yıllık 4000-5000 MWe ek yatırım yapılmalıdır. Türkiye, elektrik talep artışında 2010 yılında ön sıralarda yer almakta, 2015 yılında elektrik tüketimi yaklaşık 264 milyar kWh ile rekor seviyede iken ülkemizin kuruluşunun yüzüncü yılında tüketimin 414-440 milyar kWh’a çıkması değerlendirildiğinde Türkiye’nin nükleerden elektrik enerjisi üretme kabiliyetinin millileştirilmesi gereği ortaya çıkmaktadır.

2016 yılında abone gruplarına göre enerji tarifi Tablo 3.20’de görülmekte olup meskenlerde gece elektriğin kilowatsaat tarifi yaklaşık 21,76 kr olarak belirlenmiştir. 2013 yılında ise tarife 17,64 kr olarak gerçekleşmiştir.

**Tablo 3.20: Abone Gruplarına Göre Enerji Tarifi (Kr/kWh)**

| ABONE GRUBU (TEK TERİMLİ) | Tek Zamanlı Aktif Enerji (Kr/kWh) | Üç Zamanlı - Aktif Enerji (kr/kWh) |                |              | Reaktif Enerji Kr/kVARh |
|---------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|----------------|--------------|-------------------------|
|                           |                                   | Gündüz (06-17)                     | Pikant (17-22) | Gece (22-06) |                         |
| Sanayi (Yüksek Gerilim)   | 26,0174                           | 25,8842                            | 41,7977        | 14,4059      | 16,3962                 |
| Sanayi (Alçak Gerilim)    | 29,0698                           | 28,9366                            | 44,8501        | 17,4583      | 16,3962                 |
| Ticarethane               | 33,4763                           | 33,3377                            | 49,8878        | 21,4004      | 16,3962                 |
| Mesken                    | 33,1835                           | 33,0449                            | 49,5950        | 21,1076      | 16,3962                 |
| Tarımsal Sulama           | 29,4478                           | 29,3212                            | 44,4390        | 18,4168      | 16,3962                 |

Kaynak: EPDK, 2016



Elektrik enerjisinin abone sayıları ve tüketim değerleri Tablo 3.21 içinde incelendiğinde; 2013 yılında toplam 35.714.380 abone tarafından 198.045.181 MWh tüketim gerçekleşmiş iken 2014 yılında toplam 38.408.333 abone ile 207.375.078 MWh tüketim gerçekleşmiştir. Abone grupları arasında %81,7 pay ve 31.388.451 abone ile mesken ilk sırada yer almakta iken tüketimde %47,2 payla ve 97.777.468 MWh enerji tüketimiyle sanayi sektörü toplam abone grupları arasındaki %0,5 paya rağmen birinci sırada yer almıştır.

**Tablo 3.21: Elektrik Enerjisinin Abone Gruplarına Göre Dağılımı**

| ABONE GRUBU          | TÜKETİM (2014) |          | ABONE (2014) |          |
|----------------------|----------------|----------|--------------|----------|
|                      | MWh            | Payı (%) | Sayı         | Payı (%) |
| MESKEN               | 46.189.693     | 22,3     | 31.388.451   | 81,7     |
| TİCARET VE KAMU HİZ. | 54.303.872     | 26,2     | 5.905.040    | 15,4     |
| SANAYİ               | 97.777.468     | 47,2     | 203.178      | 0,5      |
| TARIMSAL SULAMA      | 3.919.119      | 1,9      | 561.948      | 1,5      |
| AYDINLATMA           | 3.942.641      | 1,9      | 285.807      | 0,7      |
| DİĞER                | 1.242.285      | 0,6      | 63.909       | 0,2      |
| TOPLAM               | 207.375.078    | 100,0    | 38.408.333   | 100,0    |

Kaynak: TEDAŞ, 2014

2014 yılında elektrik dağıtım şirketlerinin enerji tablosu incelendiğinde; (Tablo 3.22) kayıp kaçak oranının % 17,19 olduğu görülmektedir. En fazla kayıp kaçak oranı %75,07 ile Dicle elektrik dağıtım şirketinde görülmektedir.

**Tablo 3.22: Elektrik Dağıtım Şirketlerine Göre Alınan/Satılan Enerji, 2014**

| ELEKTRİK DAĞITIM ŞİRKETİ | Satın Alınan Enerji (MWh) | Satılan Enerji (MWh) | Kayıp/Kaçak Enerji (MWh) | Kayıp Kaçak Oranı (%) |
|--------------------------|---------------------------|----------------------|--------------------------|-----------------------|
| AKDENİZ                  | 8.119.756                 | 7.429.204            | 690.552                  | 8,50                  |
| ARAS                     | 2.779.022                 | 2.043.143            | 735.879                  | 26,48                 |
| ADM (MENDERES)           | 7.679.467                 | 7.071.170            | 608.297                  | 7,92                  |
| AYEDAŞ                   | 11.063.492                | 10.266.219           | 797.273                  | 7,21                  |
| BAŞKENT                  | 14.261.432                | 13.166.778           | 1.094.654                | 7,68                  |
| BOĞAZİÇİ                 | 24.611.428                | 22.266.786           | 2.344.642                | 9,16                  |
| ÇAMLIBEL                 | 2.536.294                 | 2.340.166            | 196.128                  | 7,73                  |
| ÇORUH                    | 3.501.611                 | 3.184.745            | 316.866                  | 9,05                  |
| DİCLE                    | 20.011.207                | 4.988.364            | 15.022.843               | 75,07                 |
| FRAT                     | 2.971.102                 | 2.688.474            | 282.628                  | 9,51                  |
| GEDİZ                    | 13.899.473                | 12.734.827           | 1.164.646                | 8,38                  |
| AKEDAŞ (GÖKSU)           | 3.637.812                 | 3.389.812            | 248.000                  | 6,82                  |
| KCETAŞ                   | 2.125.530                 | 1.975.789            | 149.741                  | 7,04                  |
| MERAM                    | 7.933.829                 | 7.352.228            | 581.601                  | 7,33                  |
| OSMANGAZİ                | 5.970.328                 | 5.516.536            | 453.792                  | 7,60                  |
| SAKARYA                  | 8.670.014                 | 8.084.226            | 585.788                  | 6,76                  |
| TOROSLAR                 | 14.891.088                | 12.926.106           | 1.964.983                | 13,20                 |
| TRAKYA                   | 6.378.483                 | 6.974.830            | 403.653                  | 6,33                  |
| ULUDAĞ                   | 10.648.121                | 9.917.601            | 730.520                  | 6,86                  |
| VANGÖLÜ                  | 3.845.904                 | 1.499.366            | 2.346.538                | 61,01                 |
| YEŞİLIRMAK               | 5.296.705                 | 4.855.789            | 440.916                  | 8,32                  |
| TOPLAM                   | 180.722.098               | 149.662.168          | 31.059.940               | 17,19                 |

Kaynak: TEDAŞ, 2015

Van Gölü elektrik dağıtım şirketi % 61,01'lik oran ile ikinci sırada yer almaktadır. Trakya %6,33 oran ile en az kayıp kaçak oranına sahiptir. Boğaziçi en fazla elektrik alım/satım yapan şirkettir.

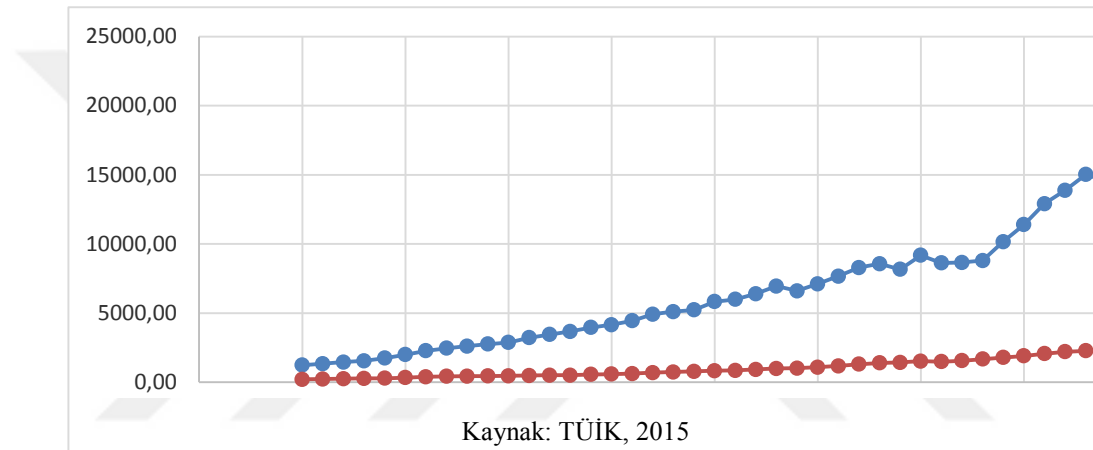


### Regresyon Analizi:

Regresyon analizi kapsamında en küçük kareler metodu (EKKY) verilerin fonksiyona uyum derecesinin ölçülebilmesine olanak sağlamaktadır.

1970 yılı ile 2014 yılları arasında kişi başı yıllık elektrik tüketimi (Şekil 3.51) incelendiğinde, bu tüketimin 2001 ve 2009 yılları hariç olmak üzere her yıl arttığı görülmektedir. Göç idaresi istatistiklerine göre 2014 sonu itibariyle kişi başı tüketim Türkiye'de geçici koruma kapsamında yaşamakta olan kişiler de göz önüne alındığında 3247 kWh olarak hesaplanmıştır.

Şekil 3.51: Kişi Başına GSYH ve Elektrik Tüketimi, 1970-2013



Türkiye’de ekonomik büyüme ile enerji harcamaları arasındaki ilişki yıllık bazda 1971-2014 dönemi incelenmiştir. Enerjide yüksek oranda ithalata bağımlı (%72) olunması nedeniyle enerji harcamalarındaki artış kişi başına GSYH’yı etkilemektedir. Bu varsayım temelinde yapılan çalışmada bağımlı değişken olarak kişi başına GSYH(Y) ile kişi başına enerji tüketimi (X) arasında;

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + e$$

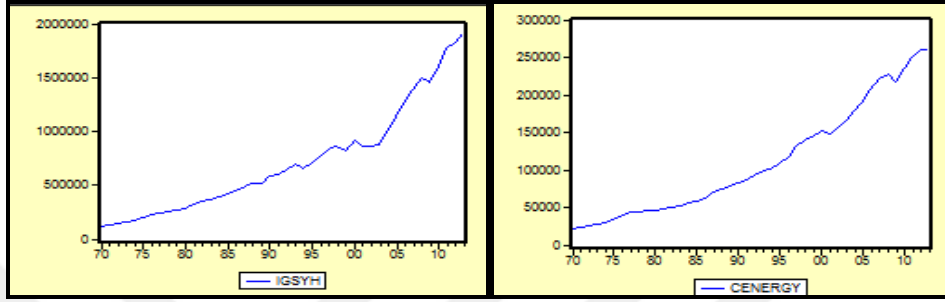
şeklinde bir model kurulmuştur.

Bağımlı değişken olarak; kişi başına reel GSYH (satınalma paritesi \$) serisi kullanılmıştır. Verilerdeki birinci değer 1970 yılına ait kişibaşına GSYH miktarını vermektedir. Kişi başına enerji harcamalarına ait veri ise bağımsız değişken olarak seçilmiş olup ilgili yıla ait kişi başına elektrik enerjisi tüketim miktarını vermektedir. Serilerde eksi (-) değer bulunmamaktadır.

### *Durağanlık ve Birim Kök Testleri:*

Değişkenlere ait serilerin grafiklerine bakılarak durağanlıkları hususunda yorum yapılabileceği gibi daha kesin yorumlar için ise durağanlık testleri yapılmıştır. Serilerin durağanlığının belirlenmesi için grafiğine bakıldığında artan trende sahip olduğu görülmektedir (Şekil 3.52 ).

**Şekil 3.52: Kişi Başına GSYH ve Enerji Kullanımı (1970-2013)**



Bir serinin durağan olup olmadığını tespit etmek gayesiyle genişletilmiş Dickey-Fuller testi uygulandığında; test istatistiğinin mutlak değeri, MacKinnon Kritik Değerleri'nin mutlak değerinden küçükse H0 hipotezi kabul edilir ve bu da serinin durağan olmadığını gösterir. Bu testin kabul-red sınırları % 1, % 5 ve % 10 anlamlılık düzeylerine göre MacKinnon tarafından belirlenmiştir.

Modele ait değişkenlere ham veriler, sabit, trend ve sabit olarak genişletilmiş Dickey-Fuller testi uygulandığında artan bir trend ve p değerinin yüzde 0.05 den büyük olduğu görülmektedir. Birim kök vardır; seriler durağan değildir (EK-6). Seriler düzeylerinde durağan olmadığından yüzde dönüşüm alınmak suretiyle durağan hale getirilmeye çalışılmıştır. Değişkenlerde durağanlık ve birim kök tespit edildiğinden 1970-2013 yılı değişkenlere yüzde dönüşüm uygulanmış ve 1970 yılı verisi değerlendirmeden çıkarılmıştır;

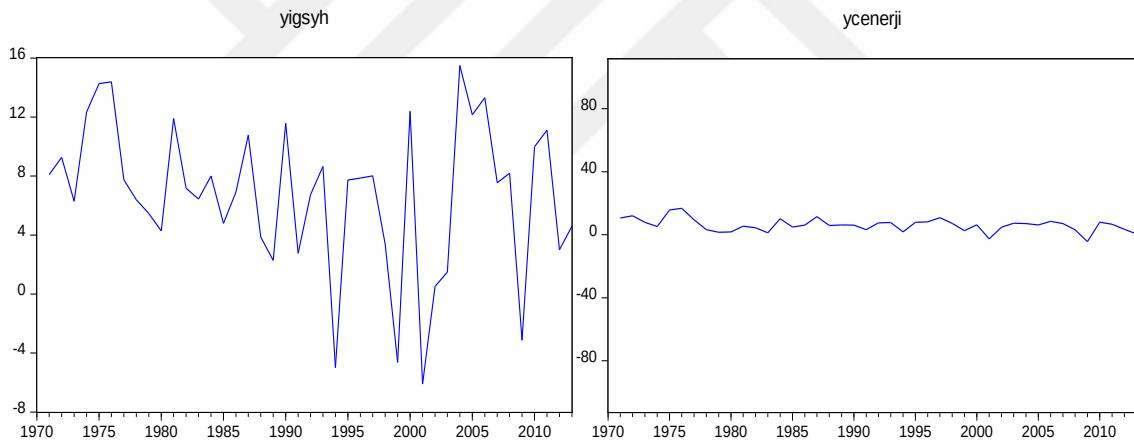
$$y_d = \frac{1971_d - 1970_d}{1970_d} * 100$$

ve yeni veriler 1971-2013 yılları arası bağımlı değişken kişi başına reel GSYH (yigsyh) ve bağımsız değişken kişi başına elektrik enerjisi tüketimi(ycenerji) olarak tekrar genişletilmiş Dickey-Fuller birim kök testi uygulandığında değişkenlere ait Tablo 3.23 ve Şekil 3.53 serilerin durağanlaştığını göstermektedir.

**Tablo 3.23: Yüzde Dönüşümlü ADF Birim Kök Testi**

| Değişkenler     | Sabit Terimli, Trendli |                                               | Olasılık |
|-----------------|------------------------|-----------------------------------------------|----------|
|                 | ADF                    | McKinnon Kritiği                              |          |
| <b>YIGSYH</b>   | -6,300519              | %1 -4,192337<br>%5 -3,520787<br>%10 -3,191277 | 0,0000   |
| <b>YCENERJİ</b> | -5,001829              | %1 -4,192337<br>%5 -3,520787<br>%10 -3,191277 | 0,0011   |

Veriler, ham veri, sabit terim ve trend ve sabit terimli olarak incelenmiştir. Prob değeri 0,05 den küçük olduğu için birim kök yoktur ve seriler durağandır.

**Şekil 3.53: Yüzde Dönüşümlü Kişi Başına GSYH ve Enerji Kullanımı (1971-2013)**

Verilere yüzde dönüşüm uygulandığında durağanlık elde edilmemiş olsa idi; Logaritması alındıktan sonra seri durağan hale gelinceye kadar serinin birinci farkı alınır ve tekrar Dickey-Fuller testi uygulanacak, ikinci farkı alınıp tekrar Dickey-Fuller testi uygulanacak ve bu şekilde devam edecektir. Durağan seri  $I(0)$ , seri birinci farkı  $I(1)$  şeklinde devam edecektir.

Buradan hareketle en küçük kareler yöntemi kullanıldığında; Tablo 3.24'de görüldüğü gibi Prob(F-statistic) 0.000001 olduğundan model genel olarak anlamlıdır.

Tablo 3.24: EKKY Testi

| Değişken                | Katsayı   | Standart Hata                   | t-İstatistiği | Olasılık Değeri |
|-------------------------|-----------|---------------------------------|---------------|-----------------|
| YC ENERJİ               | 0.82248   | 0.145651                        | 5.686513      | 0.0000          |
| C                       | 1.613923  | 1.076358                        | 1.499429      | 0.1414          |
| R-kare                  | 0.440933  | Bağımlı değişkenin ortalaması   |               | 6.704303        |
| Ayarlı R-kare           | 0.427292  | Bağımlı değişkenin Std. Sapması |               | 5.178912        |
| Regresyon Std. Hatası   | 3.919253  | Schwarz kriteri                 |               | 5.696991        |
| Hataların kareleri top. | 629.7823  | F-istatistiği                   |               | 32.33643        |
| Log likelihood          | -118.7241 | Olasılık (F-istatistiği)        |               | 0.000001        |

Diğer değişkenlerin sabit olduğu varsayımı altında kişi başına elektrik enerjisi tüketimindeki % 1’lik bir artış kişi başına reel GSYH’yı % 0,82 artırmaktadır. Model;

şeklinde tahmin edilmiştir.

$$Y_{yigsyh} = 1,613 + 0,828X_{ycenerji}$$

Jarque-Bera *Normallik sınaması* ;

Ho:Modele ilişkin hatalar (e) normal dağılır.

H1: Modele ilişkin hatalar (e) normal dağılmaz.

varsayımları altında yapılmış “e” nin normal dağılıma uygun olduğu,

*Oto Korelesyon testi* ;

Ho: Oto korelasyon yoktur.

H1: Oto korelasyon vardır.

varsayımları altında yapılmış oto korelasyon olmadığı,

Breusch-Pagan-Godfrey *Değişen Varyans testi*

Ho:Değişen varyans yoktur.

H1:Değişen varyans vardır.

varsayımları altında yapılmış ve sabit varyansasahip olduğu görülmüştür (EK-6).

Bu analiz ile ilk olarak Türkiye için 1971-2013 yıllık TÜİK verileri kullanılarak kişi başına elektrik enerjisi tüketimi ve kişi başına reel GSYH arasındaki ilişkiyi bulmaya yönelik bir uygulama yapılmıştır. VAR analizi neticesinde ise tüm yıldızlar “0” da görüldüğü için gecikme tespit edilmemiştir (EK-6).

Bu nedenle ve tek bağımsız değişken olduğu için Granger nedensellik testi uygulamasına gerek kalmamıştır.

#### *Ampirik Sonuçlar:*

Testlerin yapılmasında Eviews 9 programı kullanılmıştır. Çalışmamızın temel hipotezi “*Kişi başına elektrik enerjisi tüketimi kişi başına reel GSYH üzerinde pozitif bir etkiye sahiptir*” şeklindedir. Yapılan test sonucuna göre;

➤ Serilerin durağan olup olmadıkları birim kök testi Genişletilmiş Dickey-Fuller (ADF) tekniği ile araştırılmıştır. Birim kök tespit edilmiştir. Artan trend gözlenmiştir. Seriler durağan değildir.

➤ Yıllık veriler için mevsimsellik analizi söz konusu olmadığından analizde *yüzde dönüşüm* model temel alınarak seriler durağan hale getirilmiştir.

➤ Denkleme En Küçük Kareler Yöntemi (EKKY) sonuçları ve tüm değişkenlere ait veriler Eviews 9 programında değerlendirilmiş olup, önceden tahmin edilen regresyon denklemi elde edilmiştir. Buna göre diğer değişkenlerin sabit olduğu varsayımı altında kişi başına elektrik enerjisi tüketimindeki % 1’lik bir artış kişi başına reel GSYH’yı % 0,82 artırmaktadır. Prob(F-statistic) 0.000001 olduğundan model genel olarak anlamlıdır.

➤ “e” normal dağılıma uygundur.

➤ Oto korelasyon yoktur.

➤ Değişen varyans yoktur, sabit varyansa sahiptir.

#### *Türkiye Ulusal Enerji Politikası:*

Türkiye, jeopolitik ve jeostratejik bakımından son derece önemli bir bölgede yer almaktadır. Yeni dünya düzeninde küresel bir enerji koridoru olarak rol almaktadır (Şekil 3.54). Diğer bir deyişle, Avrupa ile bilinen petrol ve doğal gaz rezervlerinin ¼’üne sahip bölge ülkeleri arasında konumlanan Türkiye, jeo-stratejik doğal bir enerji köprüsüdür. Doğu-Batı / Kuzey-Güney enerji hatlarındaki konumu nedeniyle Türkiye, enerji merkezi olarak küresel ve bölgesel rol oynamalıdır (Dışişleri Bakanlığı, 2016).

Dünya petrolünün %35’i, doğal gazının %75’i boru hatlarıyla taşındığı dikkate alındığında enerji merkezi ve koridoru olma bağlamında güvenliğin güçlendirilmesi bakımından İnsansız Hava Aracı (İHA) ile keşif ve gözetleme faaliyetlerinin sürdürülmesi yüksek teknolojik önlem olarak değerlendirilmektedir (Başdemir ve Çelikpala, 2010).

Şekil 3.54: Türkiye Enerji Koridoru



Kaynak: [http://www.mfa.gov.tr/turkiye\\_nin-enerji-stratejisi.tr.mfa](http://www.mfa.gov.tr/turkiye_nin-enerji-stratejisi.tr.mfa)

Petrol ve doğal gaz hatları/projeleri incelendiğinde;

*Kerkük-Yumurtalık Ham Petrol Boru Hattı:* 986 km uzunluğundaki boru hattı yıllık 70,9 milyon ton taşıma kapasitesine sahiptir.

*Bakü-Tiflis-Ceyhan Ham Petrol Boru Hattı:* 1.076 km'si Türkiye'de bulunan toplam 1.769 km uzunluğundaki boru hattının taşıma kapasitesi yıllık 50 milyon tondur.

*Bakü-Tiflis-Erzurum Doğal Gaz Boru Hattı:* 690 km uzunluğundaki boru hattının kapasitesi yıllık 6,6 milyar metreküptür.

*Türkiye - Yunanistan Doğal Gaz Enterkonektörü:* 300 km uzunluğundaki hattın sadece 81 km'lik kısmı yurt dışında bulunmakta olup Yunanistan'a doğalgaz ihracatı yapılmaktadır.

*Türkiye - Rusya Doğal Gaz Boru Hattı:* Türkiye ve RF arasında doğal gaz sevkiyatı konusunda IGA ile Bulgaristan'dan başkente ulaşan 845 km uzunluğundaki hattın taşıma kapasitesi 14 milyar m<sup>3</sup>/yıl'dır.

*Mavi Akım Boru Hattı:* Türkiye ve Rusya Federasyonu arasında 25 yıl süreli yıllık 16 milyar m<sup>3</sup> doğal gaz alımına yönelik IGA ile gerçekleştirilerek paralel iki boru hattından oluşan enerji alanındaki en büyük proje olan Mavi Akım, 396 km'lik bölümü Karadeniz'de olmak üzere 1.213 km uzunluğa sahiptir.

*İran – Türkiye Doğal Gaz Boru Hattı:* Yaklaşık 1.490 km uzunluğa sahip ve taşıma kapasitesi 10 milyar m<sup>3</sup> /yıl olan hat vasıtasıyla 2014 yılında İran'dan 8,9 milyar

m<sup>3</sup> doğal gaz alımı gerçekleştirilmiştir.

*Trans Anadolu Doğal Gaz Boru Hattı Projesi:* TANAP ile Azeri doğal gazı 16 milyar m<sup>3</sup> yıllık kapasite ile Türkiye'ye, 2018 yılında Avrupa'ya 2020 yılında ulaşması, 2023 ve 2026 yıllarında ise yıllık kapasitenin sırasıyla 23 milyar m<sup>3</sup> ve 31 milyar m<sup>3</sup> düzeylerine ulaşması beklenmektedir. 2015 yılında temeli atılan TANAP ile üretilecek gazın başlangıçta 6 milyar m<sup>3</sup>'lük kısmının Türkiye'ye, diğer 10 milyar m<sup>3</sup>'lük kısmın ise Avrupa'ya ihracatı öngörülmektedir.

*Türkiye – Bulgaristan Enterkonektörü:* Şahdeniz Konsorsiyumu çerçevesinde 25 yıllık gaz alımına yönelik anlaşmaya göre, 2019 yılından itibaren yıllık 1 milyar m<sup>3</sup>'lük alım yapılması kararlaştırılmıştır.

*Türk Boğazları Petrol Transferleri:* 2014 yılında yaklaşık 125 milyon ton petrolün geçtiği Türk Boğazları, dünyada günlük petrol tüketiminin yaklaşık yüzde 3'lük bir kısmını taşıması nedeniyle enerji güvenliği açısından büyük önem arz etmektedir.

*Yenilenebilir ve Nükleer Enerji Projeleri:* Enerjide yüksek oranda ithalata bağımlılığın azaltılabilmesi, artan enerji talebinin yerel kaynakların maksimum düzeyde verimli kullanılarak karşılanması, kaynak çeşitliliğinin sağlanması amacıyla çevresel ve olumlu etkileri sebebiyle enerji üretiminde yenilenebilir potansiyelinin kullanımının artırılması ve nükleer enerji kullanımı hedeflenmiştir.

Yenilenebilir enerjide yüksek potansiyele sahip olan Türkiye jeotermal potansiyel açısından dünyada 7. sıradadır. ETKB (2014) tarafından belirtilen Türkiye Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı'na göre, "2023 itibariyle hidroelektrik kurulu güç kapasitesinin 34.000 MW'a, rüzgar enerjisi kurulu kapasitesinin 20.000 MW'a; güneş enerjisi kapasitesinin 3.000 MW'a, jeotermal enerji kapasitesinin ise 600 MW'a çıkarılarak toplam elektrik üretiminin %30'unun yenilenebilir enerjiden karşılanması" hedeflenmektedir.

Mersin ve Sinop'ta inşa edilecek Çernobil ve Fukushima'ya göre çok daha güvenli 3. nesil reaktör tasarımlarına sahip iki nükleer santral ile elektrik üretiminin yaklaşık %10'unun 2023 yılında NGS'ler tarafından karşılanması amaçlanmıştır.

Bu kapsamda, % 72 düzeyinde olan enerji bağımlılığının geleceğini şekillendirecek, etkili makroekonomik strateji ve politikalar geliştirilmelidir. Gelişmiş ülkelerde, nükleer enerjinin hem siyasal faaliyetin şeklinde hem de toplam ekonomiye katkıda bulunmada önemli bir rol oynadığı bilinmektedir. Küresel ölçekte bu alanda

başarılı olmak birçok yönden avantajlı olacaktır.

ETKB (2013) tarafından ifade edildiği şekliyle *Türkiye enerji politikasının temel amacı; ekonomik büyüme ve sosyal kalkınmayı destekleyecek şekilde, zamanında, güvenilir ve yeterli miktarda enerjiyi çevrenin korunmasına yönelik önlemlerle beraber minimum maliyetle tüketiciye sunmaktır.*”

29 Ekim 1923 Türkiye Cumhuriyeti'nin kuruluşundan bir yüzyıl sonrası için belirlenen ulusal stratejiler (2023 Vizyonu);

- ✓ İlk on dünya ekonomisinden biri olmak
- ✓ 2 trilyon \$ GSYH düzeyine ulaşmak,
- ✓ Türkiye'nin ihracatını yıllık 500 milyar \$'a yükseltmek,
- ✓ Kişi başına düşen geliri 25.000 \$'a çıkarmak,
- ✓ 1 trilyon \$ dış ticaret hacmi sağlamak,
- ✓ İşsizlik oranını yüzde 5 seviyesine düşürmek,
- ✓ Elektrik üretiminde yenilenebilir enerjinin payını yüzde 30'a çıkarmak suretiyle yüzde 43 olan doğalgazın payını % 30'lar seviyesine indirmek,
- ✓ Üç nükleer santral faaliyetini sağlamaktır.

Ülkelerin sürdürülebilir ekonomik gelişimleri açısından temel girdi durumunda olan enerji, bir devlet politikası şeklinde değerlendirilerek politika ve stratejilerin dikkatlice uygulanmasını gerektiren ve yine kaynakların optimal kullanılması zorunlu bir alan olarak önemini gün geçtikçe artırmaktadır. Bu çerçevede enerji arz güvenliği ülkelerin enerji sektörüne ait problemlerin temelini teşkil etmektedir (ETKB, 2013). Günümüzde ekonomideki küresel daralmaya karşın,

- ✓ İklim değişikliği, çevrenin korunması ve küresel ısınma konularındaki hassasiyet,
- ✓ Enerji fiyatlarındaki artış eğilimi,
- ✓ Tükenme eğilimine girmiş fosil yakıtlara bağımlılığın, teknolojik ilerleme ve nüfus artışı paralelinde dünya enerji talebindeki artışa karşın yakın gelecekte de devam edecek olması, enerji arz güvenliği hususundaki endişeleri artırmakta ve ülkeleri yeni ve farklı enerji kaynakları arayışlarına yöneltmektedir.

Türkiye'de refah seviyesinin artması ve ekonomide yaşanan olumlu gelişmeler sonucunda enerji sektörüyle ilgili faaliyet alanlarında hızlı bir talep artışı görülmektedir. Türkiye 2010 yılında elektrik talep artışında Avrupa'da ilk sırada yer alırken dünyada



ise Çin'i takip etmektedir. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerdeki eğilime ve nüfus artışına paralel olarak enerji tüketim değerleri içindeki elektrik enerjisinin payının Türkiye'de arttığı gözlenmektedir. Hızla artan nüfus yükselen elektrik enerjisi ihtiyacını beraberinde getirmektedir. Toplam enerji ihtiyacının % 72'sini ithalatla karşılayan Türkiye enerjide büyük oranda dışa bağımlıdır. Elektrik üretiminde kullanılan doğalgazın, petrolün ve kömürün sırasıyla %98'i, %92'si ve %20'si ithalatla karşılanmaktadır. Türkiye'nin elektrik ihtiyacı 2015 yılı sonunda yıllık yaklaşık 264 milyar kWh iken cumhuriyetin kuruluşunun 100. yılında 414-440 milyar kWh'a çıkması öngörülmektedir. Fosil yakıtların bilinen rezervlerin tahmini bitiş süreleri göz önüne alındığında, Türkiye mevcut enerji potansiyeli ile bu talebin ancak yarısını karşılayabilmektedir. 2023 yılında bu talebi karşılayabilmek için yıllık 4000-5000 MWe ek kapasite için 10-11 milyar \$ yatırıma ihtiyaç duyulmaktadır.

Küresel ve bölgesel enerji eğilimleri ile AB müktesebatına uygun şekilde Türkiye'de enerji potansiyeli dikkate alınarak oluşturulan/oluşturulacak enerji arz güvenliğine yönelik politika ve stratejiler ile sürdürülebilir ekonomik büyüme ve sosyal kalkınma hedefleri değerlendirildiğinde;

- ✓ Enerji üretiminden tüketimine kadar olan bütün aşamalarda verimliliğin artırılması ve kullanımında tüketici farkındalığının sağlanması,
- ✓ Kyoto Protokolü emisyon değerlerine göre çevrenin korunması, iklim değişikliği ve küresel ısınma kriterleri ekseninde temiz enerji teknolojilerinin yaygınlaştırılması ile yeterli ve rekabet edilebilir fiyatlardan enerjinin zamanında elde edilmesi,
- ✓ Enerjide ithalat bağımlılığın asgari seviyeye indirgenmesi,
- ✓ Kaynak ve güzergah çeşitliliği ile yerli potansiyelin azami düzeyde kullanılması ve yenilenebilir kaynaklara önem verilmesi,
- ✓ Serbest piyasa koşullarında enerji güvenilirliğine katkıda bulunacak şekilde yatırımların planlanması ve nükleer enerjide teknoloji transferi yoluyla yan sanayiye ivme kazandırılması,
- ✓ Kritik düzey doğal gaz ve petrol depolama kapasitesinde artışın temini,
- ✓ Yakıt fiyat esnekliğini artırmak için baz enerji kaynakları yanında alternatif enerji seçeneklerinin çoğaltılması,

✓ Jeostratejik konumu nedeniyle Türkiye'nin doğal enerji koridoru olma potansiyelinden optimum seviyede faydalanılması,

✓ Bölgesel ve küresel işbirliği ile enerji üretim projelerine katılımın ve entegrasyonunun sağlanması amacıyla gelişmiş/gelişmekte olan ülkelerde olduğu gibi nükleer odaklı çözüm için gerekli tüm tedbirleri alan başlıca politikaların hayata geçirilmesi zorunluk olarak görülmektedir.

Ekonomik büyüme ve sosyal gelişmeye paralel olarak son 10 yıldan fazla bir sürede elektrik talebi belirgin bir artış göstererek 2015 sonunda yaklaşık 264 TWh'e ulaşmıştır. Enerji talebinin %72'si ithalat ile karşılanmaktadır. Bu bağlamda,

✓ İthal bağımlılığını ve artan talebi çözmek için enerji güvenliği ile ilgili aktivitelere öncelik vermek,

✓ Sürdürülebilir kalkınma çerçevesinde enerji zincirinin her aşamasında çevresel kaygıları dikkate almak,

✓ Rekabeti artırmak, etkinliği ve verimliliği sağlamak için enerji sektöründe faaliyetleri serbest hale getirecek reformları sağlamak,

✓ Enerji teknolojisi ile ilgili Ar-Ge çalışma ve faaliyetlerini yoğunlaştırmak,

✓ Doğu-batı ve kuzey-güney enerji koridoru ve terminali konseptinde hidrokarbon taşıma projesini gerçekleştirmek, enerji politikası olarak belirlenmiştir.

Enerji ile ilgili konulardaki politika Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığının sorumluluğundadır. Enerji planlama çalışmaları kısa-orta-uzun dönem politikaları ve önlemleri yukarıda belirtilen maddeler çerçevesinde yürütülmektedir. Türk enerji sektöründe büyüyen talep ve yatırım ihtiyacına paralel olarak ancak "3E" (energy-economy-environment) yaklaşımında maliyet etkin başarı sağlanabilecektir.

Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı elektrik arz güvenliğini sağlayacak önlemleri almaktan ve izlemekten sorumludur. Elektrik Üretim Anonim Şirketi (EÜAŞ) var olan güç santrallerinin işletilmesinden sorumludur. Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) elektriğin iletilmesinden ve kaçakların minimize edilmesinden sorumludur. Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt AŞ (TETAŞ) elektriğin satım ve alımından sorumludur. Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi (TEDAŞ) elektriğin dağıtım faaliyetlerinden sorumludur. Devlet Su İşleri (DSİ) hidroelektrik santrallerinin inşaatı, tasarımı ve planlanmasından sorumlu olduğu gibi aynı zamanda sel baskını önleme, sulama, drenaj ve büyük şehirlere içme suyu sağlama işlerinden de sorumludur.

Türkiye’de kurulu güç 2000-2012 yılları arasında *yıllık % 7* oranında artarken elektrik tüketimi %5.44 oranında artış göstermektedir (Tablo 3.25).

**Tablo 3.25: Türkiye’de Yıllara Göre Elektrik Üretim ve Tüketim Değerleri**

|                                       | 1970        | 1980         | 1990         | 2000          | 2005          | 2010          | 2012          | Ortalama Yıllık Büyüme Oranı (%)<br>2000 - 2012 |
|---------------------------------------|-------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------------------------------------------|
| <i>Elektrik Santralleri (GWe)</i>     |             |              |              |               |               |               |               |                                                 |
| Termal                                | 1.51        | 2.99         | 9.54         | 16.05         | 25.90         | 32.28         | 35.03         | 6.72                                            |
| Hidro                                 | 0.73        | 2.13         | 6.76         | 11.18         | 12.91         | 15.83         | 17.14         | 4.79                                            |
| Nükleer                               |             |              |              |               |               |               |               |                                                 |
| Rüzgar+Jeotermal                      |             |              | 0.02         | 0.04          | 0.04          | 1.41          | 6.76          | 53.34                                           |
| <b>Toplam</b>                         | <b>2.24</b> | <b>5.12</b>  | <b>16.32</b> | <b>27.27</b>  | <b>38.85</b>  | <b>49.52</b>  | <b>61.39</b>  | <b>7.00</b>                                     |
| <i>Elektrik Üretimi (TWh)</i>         |             |              |              |               |               |               |               |                                                 |
| Termal                                | 5.59        | 11.93        | 34.31        | 93.93         | 122.24        | 155.83        | 174.87        | 5.32                                            |
| Hidro                                 | 3.03        | 11.35        | 23.15        | 30.88         | 39.56         | 51.79         | 57.86         | 5.37                                            |
| Nükleer                               |             |              |              |               |               |               |               |                                                 |
| Rüzgar+Jeotermal                      |             |              | 0.08         | 0.11          | 0.15          | 3.58          | 6.76          | 40.94                                           |
| <b>Toplam</b>                         | <b>8.62</b> | <b>23.28</b> | <b>57.54</b> | <b>124.92</b> | <b>161.95</b> | <b>211.20</b> | <b>239.49</b> | <b>5.57</b>                                     |
| <i>Toplam Elektrik Tüketimi (TWh)</i> | 8.62        | 24.62        | 56.81        | 128.28        | 160.79        | 210.43        | 242.36        | 5.44                                            |

Kaynak: TEIAS (Turkish Electricity Transmission Company)

Türkiye’de elektrik tüketimi 2012 yılında kişi başına 3205 kWh’dır. Enerji üretimindeki elektrik enerjisi üretimi payı %64.4 olarak gerçekleşmiştir (Ertuğrul, 2011). 2012 yılı Türkiye enerji bağımlılığı oranı %74.33’dür (Tablo 3.26).

**Tablo 3.26: Yıllara Göre Türkiye Enerji Tüketimi/Üretimi, 1970-2012**

| <i>Yıl</i>                                   | 1970  | 1980  | 1990  | 2000  | 2005  | 2008  | 2010  | 2012  |
|----------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <i>Kişi Başı Enerji Tüketimi (GJ)</i>        | 22.37 | 30.12 | 39.51 | 49.99 | 52.91 | 62.25 | 62.04 | 65.23 |
| <i>Kişi Başı Elektrik Tüketimi (kWh)</i>     | 244   | 550   | 1006  | 1891  | 2231  | 2770  | 2854  | 3205  |
| <i>Elektrik Tüketimi /Enerji Üretimi (%)</i> | 5.1   | 11.5  | 19.4  | 41.2  | 56.7  | 58.3  | 55.9  | 64.4  |
| <i>Nükleer/Toplam Elektrik (%)</i>           | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| <i>Dışa Bağımlılık Oranı (%)</i>             | 23.1  | 46.1  | 54.4  | 68.0  | 74.5  | 73.5  | 72.41 | 74.33 |

Kaynak: ETKB

#### *Türkiye’de Nükleer Enerji:*

1956 yılında G.Kore ile aynı tarihte nükleer enerji çalışmalarına başlayan Türkiye’de (G.Kore’nin 20 yıllık sürede nükleer teknolojiyi yerelleştirerek günümüzde BAE’ne NGS inşa edebilmesine karşın) nükleer santral projelerine başlanmamasının yarım asırlık nükleer tarihi incelendiğinde;

- 1956 : Atom Enerjisi Komisyonun kurulması,
- 1972 : TEK Nükleer Enerji Dairesinin kurulması,
- 1976 : Akkuyu nükleer santral yer lisansı verilmesi,

- 1977-1979 : Açılan ihalenin iptal edilmesi,
- 1983-1985 : Açılan ihalenin iptal edilmesi,
- 1986 : TEK Nükleer Enerji Dairesinin kapatılması,
- 1996-2000 : Açılan ihaleye ilişkin kararın 8 defa ertelenerek iptal edilmesi,
- 2008-2009 : Açılan yarışmanın iptal edilmesi,
- 2010 : RF ile Akkuyu’da NGS kurulmasına ilişkin IGA imzalanması,

şeklindedir. Ancak, Rusya uçak krizinin bu alanda yeniden nükleer başarısızlığa neden olabileceği hususu değerlendirildiğinde, politik istikrarsızlığın enerji yatırımları üzerindeki en etkin dışsalılığı olduğu göze çarpmaktadır.

Türkiye 1970’den beri NGS kurmayı planlamaktadır. Artan iç enerji talebini karşılamak ve enerji ithal bağımlılığını düşürmek için Türkiye’nin ilk nükleer santralini kurma girişimi geçmişte çok kez denenmiştir. Türkiye’nin nükleer tarihi göz önüne alındığında 1965 yılında nükleer santrali inşaa etmek için çalışmalar başlatılmış sonra 1967 ve 1970 yıllarında 300-400 MWe nükleer güç santrali inşa etmek için yabancı uyruklu firmalarla çalışmalara başlanmıştır. 1977 yılında saha seçimi ve diğer hususlarda çıkan problemler yüzünden proje iptal edilmiştir. 1973 yılında TEK tarafından 80 MWe gücünde prototip santral inşasına karar verilmiş ancak 1974 yılında daha yüksek güçte 600 MWe santral kurulması için proje iptal edilmiştir. 1974-1975 yıllarında Gülpınar Akkuyu mevkiinde ilk nükleer santralin inşaatı için uygun görülmüştür. 1976 yılında lisans verilmiş ancak 1980 yılında İşveç hükümetinin kararıyla proje iptal edilmiştir. 3’üncü deneme 1980 yılında Akkuyu ve Sinop için yapılmıştır. Ancak garanti problemi dolayısıyla proje iptal edilmiştir. 1993 yılında nükleer enerji üretimi ülkenin en büyük 3’üncü önceliği olarak hedeflenmiştir. 3 konsorsiyumlu teklif 1997 yılında verilmiş, Haziran 2000’de bir seri gecikmeler nedeniyle hükümet tarafından projenin ertelenmesine karar verilmiştir. 2008 yılında Türkiye Atom Enerjisi Kurumu yatırımcılar için bir takım genel prensipler ve kuruluş kriterleri belirlemiştir.

Nükleer santral kurulması maksadıyla açılan dört ihalenin iptal edilmesi nedeniyle IGA modeli şeklinde 2010 yılında RF ile yapılan anlaşma neticesinde 2021 yılında Akkuyu’da ilk reaktörün işletmeye alınması planlanmıştır.

Yüksek Planlama Kurulu (YPK, 2009) tarafından kabul gören Elektrik Enerjisi Piyasası ve Arz Güvenliği Strateji Belgesi’nde: “Nükleer güç santrallerinin, elektrik

enerjisi üretimi içerisindeki payının 2020 yılına kadar en az %5 seviyesine ulaşması ve uzun dönemde daha da artırılması hedeflenmektedir.” ifadesine yer verilmektedir.

Türkiye’nin günümüzdeki nükleer enerji projeleri (Tablo 3.27) incelendiğinde; Rusya Federasyonu ile yapılan hükümetler arası anlaşmaya göre, Akkuyu sahasına 4 ünite VVER-1200 santrali kurulmasına karar verilmiştir. Ertelenen proje takvimine göre, 2021 yılında bu santralin ilk ünitesinin işletmeye alınacağı ve her yıl yeni bir ünitenin işletmeye alınmasıyla Akkuyu Santrali’nin kurulumunun 2024 yılında biteceği öngörülebilir. Toplamda 4.800 MWe kurulu güce sahip olacak santralin ünitelerinin ömrü 60 yıl olacaktır.

Sinop Santrali projesi için ise Japonya ile yapılan ev sahibi ülke anlaşmasına göre, Sinop sahasına 4 ünite ATMEA-1 reaktörünün kurulması planlanmaktadır. Her birinin kurulu gücü 1.120 MWe olan reaktörlerin ömrü 60 yıldır. Sinop santrali kurulum projesinin ilk ünitenin inşaatının 2018 yılında başlaması ve dördüncü ünitenin işletmeye alınmasıyla 2029 yılında sonlanması planlanmaktadır.

**Tablo 3.27: Planlı Nükleer Güç Santralleri**

| Proje/Yer İsmi | Tip       | Kapasite | İnşaat Hazırlık Başlangıç | İnşaat Hazırlık Bitiş | İnşaat Başlangıç | İnşaat Bitiş | İşletmeye Alma | Maliyet         | Kullanım Süresi |
|----------------|-----------|----------|---------------------------|-----------------------|------------------|--------------|----------------|-----------------|-----------------|
| Akkuyu NPP – 1 | VVER-1200 | MWe      | 2014                      | 2016                  | 2016 (sonu)      | 2021         | 2021           | 20 Milyar Dolar | 60 Yıl          |
| Akkuyu NPP – 2 | VVER-1200 | MWe      | 2015                      | 2017                  | 2017 (sonu)      | 2022         | 2022           |                 |                 |
| Akkuyu NPP – 3 | VVER-1200 | MWe      | 2016                      | 2018                  | 2018 (sonu)      | 2023         | 2023           |                 |                 |
| Akkuyu NPP – 4 | VVER-1200 | MWe      | 2017                      | 2019                  | 2019 (sonu)      | 2024         | 2024           |                 |                 |
| Sinop NPP - 1  | ATMEA-1   | MWe      | 2016                      | 2018                  | 2018             | 2023         | 2024           | 20 Milyar Dolar | 60 Yıl          |
| Sinop NPP - 2  | ATMEA-1   | MWe      | 2017                      | 2019                  | 2019             | 2024         | 2025           |                 |                 |
| Sinop NPP - 3  | ATMEA-1   | MWe      | 2020                      | 2022                  | 2022             | 2027         | 2028           |                 |                 |
| Sinop NPP - 4  | ATMEA-1   | MWe      | 2021                      | 2023                  | 2023             | 2028         | 2029           |                 |                 |

Kaynak: ETKB, www.enerji.gov.tr ve ERGÜN, Ş

#### *Akkuyu Nükleer Santrali:*

Rusya Federasyonu ile 12 Mayıs 2010 tarihinde dünyada ilk kez Yap-Sahip Ol-İşlet modeliyle Akkuyu’da herbiri 1.200 MWe gücünde VVER 1200 tipi 4 reaktörlü nükleer santral yapımı için hükümetler arası anlaşma (IGA) imzalanmıştır. Anlaşma 4

reaktörün yapımını, işletilmesini, teknoloji transferini ve hizmetten çıkarma sürecini kapsamaktadır. Buna göre;

- ✓ Akkuyu'da 4.800 MWe gücünde dört üniteli NGS kurulmasına ilişkin IGA imzalanmıştır. (Mayıs, 2010)
- ✓ Akkuyu NGS AŞ adı ile T.C. kanunlarına tabi yüzde 100 Rus sermayeli Proje Şirketi kurulmuş ve TAEK tarafından kabul edilmiştir. (Aralık, 2010)
- ✓ Akkuyu sahasının Proje Şirketine tahsisi gerçekleştirilerek saha parametreleri güncellenmiştir. (Mayıs, 2011)
- ✓ Elektrik üretim lisansı alınması amacıyla EPDK'ya müracaat edilmiştir. Takiben Elektrik satış anlaşması TETAŞ'la imzalanacaktır. (Kasım, 2011)
- ✓ Çevre Etkileri Değerlendirme başvurusu yapılmış (Aralık, 2011) ancak 2014 yılında Çevre ve Şehircilik Bakanlığının onayı alınabilmektedir.
- ✓ Kandilli Rasathanesine bağlı 13 deprem istasyonuna, 2 km yüksekliğe kadar sürekli on-line ölçüm yapabilen ilk meteoroloji istasyonuna sahip olan Akkuyu sahasının flora-fauna, jeodezik, zemin-etüt, jeolojik, meteorolojik ve hidrolojik çalışmaları tamamlanmıştır.
- ✓ MEPhİ Üniversitesine gönderilecek 600 Türk öğrencinin 150'den fazlası eğitime başlamıştır.
- ✓ Halk Bilgilendirme Merkezi açılmıştır.
- ✓ Mevcut nükleer altyapı hususunda Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı ile çalışmalar başlatılmış alınacak tedbirler ve atılacak adımlar belirlenmeye çalışılmıştır.
- ✓ İnşaat lisansı için TAEK'e başvuru yapılması beklenmektedir.

IGA'nın gündem maddeleri;

- Proje şirketi olarak Rusya firması başlangıçta 100% oranında santrale sahip olacaktır. Ayrıca, firma nükleer yakıt çevriminden, santral işletme, bakım, test ve kontrolleri ile atıkların nihai bertarafından sorumludur.
- Santral hizmetten çıkarılıncaya kadar Akkuyu sahası ücretsiz olarak Rusya firması tarafından kullanılacaktır. Gerekliği takdirde yeni sahaları aynı şartlarda kullanabilecektir.
- Proje Şirketi asla % 51'den daha az paya sahip olmayacaktır. Türkiye veya diğer bir üçüncü ülke en fazla %49'una sahip olabilecektir.

- Ana Yüklenici JSC Atomstroyexport olacaktır.
- Nükleer Santral kurulumunun fonlaması proje şirketi sorumluluğundadır.
- Proje şirketine 15 yıllık elektrik satın alma garantisi (PPA) verilmiştir.
  - o 1. ve 2. Ünitelerde üretilen elektriğin %70'i
  - o 3. ve 4. Ünitelerde üretilen elektriğin %30'u
- Üretilen elektriğin 12.35 US cents/kWh ortalama fiyattan 15 yıl süreyle alınması garanti edilmiştir.
- Üretimin planlanandan düşük olması durumunda eksik kalan miktarın telafisi proje şirketi tarafından karşılanacaktır.
- Nükleer yakıt tedariği proje şirketi sorumluluğundadır.
- Kullanılmış Rusya kaynaklı nükleer yakıtın yeniden işlenmesi ayrı bir anlaşma sağlanırsa Rusya Federasyonu tarafından yapılabilir.
- Proje şirketi nükleer santralin hizmetten çıkarılması sürecinin tamamından ve atık yönetiminden ve bu çerçevede gerekli fonlamalardan sorumludur.
- PPA süresince;
  - o 0.15 US cent/kWh kullanılmış yakıt ve atık yönetimi,
  - o 0.15 US cent/kWh hizmetten çıkarma, bedellendirilmiştir.
- Türkiye firmaları ve çalışanları mümkün olan en fazla oranda projeye dahil edilebileceklerdir.
- Proje şirketinin Türkiye Cumhuriyeti kanun ve yönetmelikler ile düzenlemelerine uyması zorunludur.

Akkuyu enerji santralinin hisseleri aşağıdaki Tablo 3.28'de yer almaktadır (IEA, 2014).

**Tablo 3.28: Akkuyu Proje Şirketi Hisse Payları**

| <b>Hisseler</b>                   | <b>% payları</b> |
|-----------------------------------|------------------|
| <i>Rosenergoatom Concern OJSC</i> | 92.8478 %        |
| <i>Inter RAO UES JSC</i>          | 3.4719 %         |
| <i>Atomstroyexport JSC</i>        | 3.4719 %         |
| <i>Atomtechenergo JSC</i>         | 0.1042 %         |
| <i>Atomenergoremont OJSC</i>      | 0.1042 %         |
| <b>TOPLAM</b>                     | 100 %            |

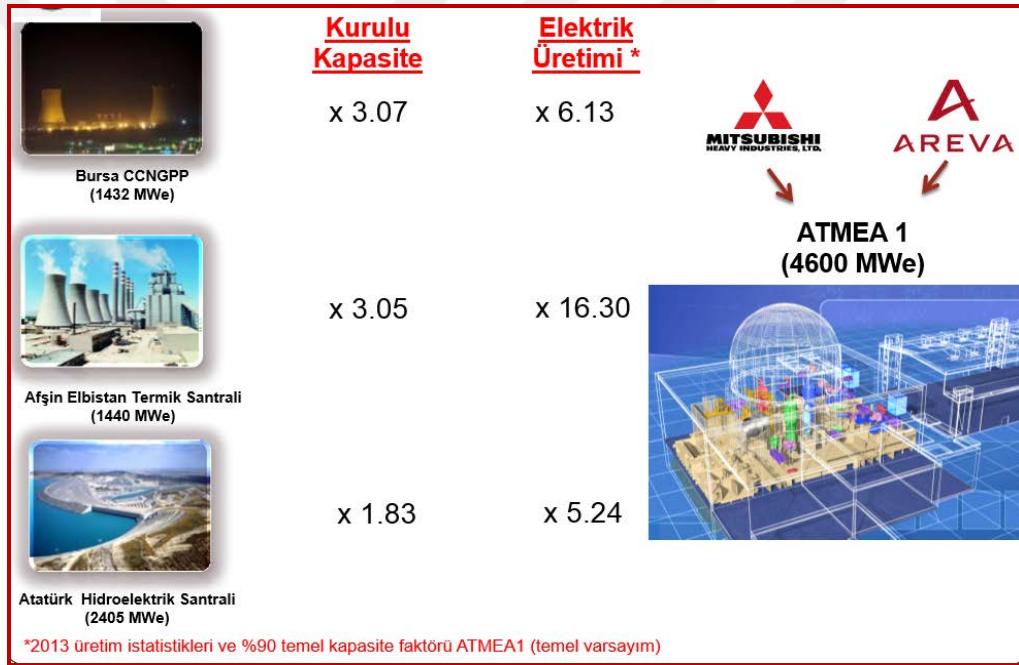
Kaynak: Dilaver, Z., TAEK, 2014

### Sinop Nükleer Santrali:

Türk ve Japon yetkililer arasında IGA onaylandıktan sonra EÜAŞ Sinop NGS için kurulacak olan proje şirketi ortağı olacaktır. Sinop Nükleer Santrali'nin Japonya hükümeti ile yapılan ev sahibi ülke anlaşması uyarınca EÜAŞ, Itochu (Japonya), MHI (Japonya) ve Engie (Belçika) firmalarının ortaklığında kurulması planlanmaktadır.

Bilindiği üzere EÜAŞ, Türkiye'nin en büyük elektrik üreticisidir, aynı zamanda ülkenin en büyük şirketlerinden biridir. EÜAŞ devlete ait bir nükleer santralin işletmecisi olma görevine sahiptir. Türkiye’de Sinop NGS ile enerji üretim kaynakları etkinlikleri Şekil 3.55’de yer almaktadır. Buna göre kurulu kapasite ve elektrik üretimi mukayesesi yapıldığında verimlilik seviyesi açıkça görülmektedir.

Şekil 3.55: Enerji Üretim Kaynak Etkinliklerinin Sinop NGS ile Mukayesesi

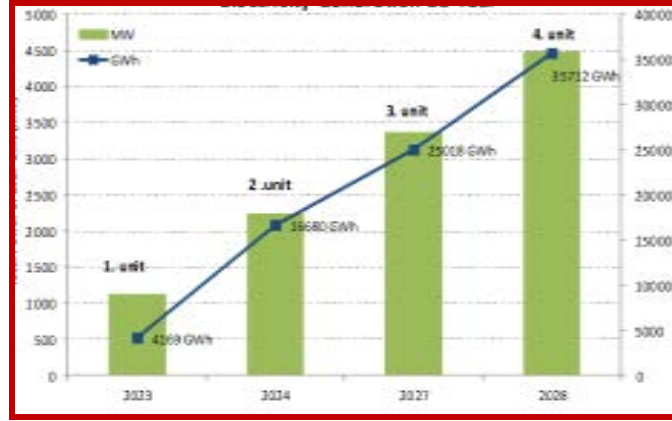


Kaynak: ETBK, enerji.gov.tr

2 Ağustos 2012 yılında EÜAŞ Sinop Santrali'nin sahibi olarak tanınmak üzere TAEK'e başvurmuş, aynı ay içinde bu başvuru TAEK tarafından kabul edilmiştir. Sinop Santrali'nin gelecekteki sahibi olarak EÜAŞ Sinop sahasının lisanslanması için diğer proje ortaklarıyla birlikte çalışmalarına başlamıştır. Öngörülen tarih ve kapasite artış oranları Şekil 3.56’da yer almaktadır.



Şekil 3.56: Sinop NGS Planlı Kapasite ve Yıllar



Kaynak:INPP Summit, 2014

Ev sahibi ülke anlaşmasının TBMM'de onaylanmasının ardından, proje ortakları Sinop Proje Şirketi'nin kurulmasına çalışmaktadırlar. Proje ortakları tarafından imzalanan Paydaşlar Anlaşması'na göre projenin fizibilite çalışmaları EÜAŞ ve Japon firmaları tarafından yürütülecektir.

Sinop ve Akkuyu'da kurulacak NGS'lerin elektrik üretimi dikkate alındığında, 3 yılda doğalgaz ithaline karşılık gelen tutar ile Akkuyu'da 4 üniteli bir nükleer santral kurulabilmesi mümkün olabilecektir. NGS'ler sadece elektrik üretim tesisleri değil aynı zamanda diğer sektörler kazandıracak dinamizm ve istihdam olanaklarıyla yerel sanayinin gelişmesi yoluyla önemli derecede katma değer sağlayacak tesislerdir. Üçüncü nükleer santral için saha seçim çalışmaları sürmektedir. Nükleer çerçevede kurumsal aktörler irdelendiğinde;

- ✓ EPDK 2001 yılında kurulmuş olup liberal elektrik piyasası faaliyetlerinin şeffaf ve adil olarak yürütülmesinden sorumludur.
- ✓ TAEK ülkenin nükleer otoritesidir.
- ✓ Çevre ve Şehircilik Bakanlığı nükleer santrallerin çevresel etkilerinin değerlendirilmesinden sorumludur.
- ✓ TETAŞ elektrik üretiminin toptan satışı ve alımından sorumludur.
- ✓ TEİAŞ elektrik iletim hatları ve işlevlerinden sorumludur.
- ✓ ETKB NEPUĞ Başkanlığı nükleer endüstrinin tüm fonksiyonlarının yürütülmesinden sorumludur.
- ✓ MTA her çeşit kaynağın araştırılmasından ve toryum uranyum gibi madenlerin rezervlerinin belirlenmesinden sorumludur.

✓ Araştırma ve geliştirme faaliyetleri (ARGE) Türkiye'deki üniversitelerin ilgili bölümleri tarafından uygulanmaktadır.

Nükleer veya radyolojik olay emercensi durumlarında IAEA'ye bilgilendirecek otorite TAEK'dir. Türkiyede tüm nükleer aktiviteler TAEK koordinesindedir. Türkiye nükleer emercensi durumlarında erken uyarı için Bulgaristan, Romanya, Ukrayna ve Rusya Federasyonu gibi komşu ülkelerle iki taraflı anlaşma imzalamıştır. Acil durumlarda ulusal koordine yetkisi AFAD'dadır.

1982 tarih ve 2690 sayılı kanunla Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'na nükleer alanda düzenleme yetkisi verilmiştir. TAEK nükleer tesislerin güvenlik ve emniyetinin sağlanması amacıyla lisanslanması denetlenmesi ve ilgili düzenlemelerin yapılması yanında:

- nükleer hammadde, bölünebilir madde ve nükleer alanda stratejik maddelerle ilgili her türlü işlemle ilgili değerlendirmeyi yapmak,
- radyasyon uygulamaları ile ilgili lisanslama ve denetimleri yapmak,
- radyoizotop üretmekle ilgili işlemleri yapmak,
- nükleer enerjinin barışçıl amaçla kullanımıyla ilgili tüm araştırma ve geliştirme etkinliklerinde bulunmak ve bu tip etkinlikleri teşvik ve koordine etmek,
- yakıt çevrimi tesisleri ve radyoaktif atıklar ile ilgili düzenleme ve denetimleri yapmak,
- atom enerjisi ile ilgili yerli ve yabancı kurumlarla bilimsel ve uygulamalara yönelik işbirlikleri yapmak ve temaslar kurmak,
- nükleer alan için insan kaynakları geliştirilmesine katkıda bulunmak,
- nükleer hukuk alanında ulusal ve uluslararası düzeyde çalışmalar yapmak gibi görevlere sahiptir.

Nükleer santralleri lisanslamanın amacı; *sorumlu kurucu veya işleticinin nükleer santralda nükleer güvenliğin tam olarak sağlanması için yer seçimi aşamasından başlayıp tesisin kapatılarak sökülmesine kadar geçen bütün aşamalarda mevzuatın şart koştuğu tüm önlemleri aldığını, kalite ve güvenlik standart ve kurallarına uyduğunu garanti altına almaktır. Lisanslama üç aşamada tamamlanır:*

✓ Yer Lisansı: TAEK nükleer santrali kuracak firmanın (kurucu firma) hazırlayacağı saha raporunu değerlendirerek; saha, çevre ve tesisin çapraz ve karşılıklı muhtemel etkileri ile acil durum planları ve nüfus dağılımının uygulanabilirliği hususlarında bir olumsuzluğa rastlanmaması durumunda yer lisansı vermektedir.

✓ İnşaat Lisansı: Yer lisansı alındıktan sonra tasarımın güvenli olduğunu gösteren analiz raporunun TAEK tarafından uygun bulunması durumunda kurucuya Sınırlı Çalışma İzni verilir. Bu izin aşamasından sonra ikinci aşama olan inşaat lisansı ile santral ve çevre güvenliğine ilişkin bina ve diğer sistemlerin yapımına başlanabilir. Ayrıca, TAEK ek koşullar belirleyebilmektedir.

✓ İşletme Lisansı: Hizmete Sokma İzni, Yakıt Yükleme ve Deneme İşletmelerine Başlama İzni ile Tam Güçte Çalışma İzni gibi üç aşama kaydedildikten sonra İşletme Lisansı verilir. İlk aşamada, nükleer ve çevre güvenliği açısından büyük öneme sahip sistem ve bileşenlerin uygun bulunması durumunda TAEK tarafından Hizmete Sokma İzni verilmekte ve sıkı bir şekilde denetlenmektedir. İkinci aşamada, Yakıt Yükleme ve Deneme İşletmelerine Başlama İzni ile nükleer reaktöre yakıt yükleme ve deneme işlemlerine başlanır ve yine proses TAEK tarafından sıkı bir şekilde denetlenir. Son aşamada, santralin ticari işletmeye alınması için yapılan müracaat sonucu TAEK tarafından olumlu olarak değerlendirildiğinde Tam Güçte Çalışma İzni ve İşletme Lisansı verilmektedir.

TAEK, lisanslama ile ilgili bilgi ve dokümanların inceleme ve değerlendirilmesine ilave olarak denetimler ve öngördüğü testleri de yapabilmektedir.

#### *Türkiye Enerji Politikasında Nükleerin Yeri:*

Türkiye enerji politikasının temel amacı; daha önce de belirtildiği üzere sosyal kalkınma ve sürdürülebilir ekonomik büyümeyi sağlayacak şekilde, güvenilir ve yeterli miktarda enerjiyi iklim değişikliği, küresel ısınma ve Kyoto Protokolü eksenlerinde çevrenin korunmasına yönelik önlemlerle birlikte minimum maliyetle zamanında tüketiciye sunmaktır (EÜAŞ, 2008).

Türkiye, enerjide dışa bağımlılığı azaltmak, enerji arz güvenliğini sağlamak, ödemeler dengesi üzerindeki olası yükü azaltmak, bütçe açıklarını telafi etmek, enerji yoğunluğunu düşürmek, verimliliği artırmak, istihdam sağlamak, endüstri için minimum maliyetle enerji girdisi sağlamak, enerji arz ve talebini dengelemek gibi çeşitli nedenlerle "3-E" yaklaşımında bir radikal seçim yapmıştır.

Bu çalışmanın gerekçeli ana sebebi, toplam enerji gereksiniminin yaklaşık % 72'sini ithalatla karşılayan Türkiye'nin büyük oranda dışa bağımlı olmasıdır. Kaynak çeşitliliğinin sağlanması bakımından Türkiye, Vizyon 2023 hedefinde sosyal ve ekonomik olarak nükleer enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Çünkü, enerjiyi sürdürülebilir, kaliteli, ucuz ve temiz olarak elde eden ülkeler, küresel ticaret ve kalkınmada öncü rol oynamaktadır; ABD, Kanada, Rusya, Meksika ve İran gibi petrol/doğal gaz zengini ülkeler bile elektrik üretim portföyüne nükleer enerjiyi dâhil etmişlerdir. Fukushima Daiichi nükleer kazasından sonra dahi ülkeler, NGS inşa etmeye devam etmiştir.

Türkiye, jeopolitik ve jeostratejik bakımından son derece önemli bir bölgede yer almaktadır. Yeni dünya düzeninde küresel bir enerji koridoru olarak hizmet vermektedir. Bu kapsamda, yüzde 72 düzeyinde olan enerji bağımlılığın geleceğini şekillendirecek, etkili makroekonomik strateji ve enerji politikaları geliştirilmelidir. Gelişmiş ülkelerde, nükleer enerjinin hem siyasal faaliyet şeklinde hem de toplam ekonomiye katkıda bulunmada önemli bir rol oynadığı bilinmektedir. Küresel ölçekte bu alanda başarılı olmak birçok yönden avantajlı olacaktır.

Sosyal kaygılar boyutunda ise kişi başına nükleer/enerji kullanımı yüksek olan ülkelerin İnsani Kalkınmışlık Endekslerinin (HDI) çok yüksek olduğu Tablo 3.29'da görülmektedir.

**Tablo 3.29 İnsani Gelişmişlik Endeksi ve Nükleer Santral Zengini İlk 3 Ülke ile Türkiye Mukayesesi, 2014**

|                                    | <i>ABD</i> | <i>Fransa</i> | <i>Japonya</i> | <i>Türkiye</i> |
|------------------------------------|------------|---------------|----------------|----------------|
| <i>İnsani Gelişmişlik Endeksi</i>  | 0,914      | 0,884         | 0,89           | 0,759          |
| <i>Kişi Başına Milli Gelir(\$)</i> | 52.308     | 36.629        | 36.747         | 18.391         |
| <i>Ortalama Ölümler Yaşı</i>       | 78,9       | 81,8          | 83,6           | 75,3           |
| <i>Yaşam Memnuniyet Endeksi</i>    | 7          | 6             | 6              | 5,3            |
| <i>Teknoloji (Ar-Ge)</i>           | 2,9        | 2,3           | 3,4            | 0,8            |
| <i>İstihdam (25 Yaş ve Üzeri)</i>  | 61         | 54,4          | 58,5           | 48,5           |
| <i>Eğitim</i>                      | 64         | 67            | 55             | 55             |
| <i>Sağlık</i>                      | 73         | 78            | 75             | 60             |
| <i>Yaşam Standartları</i>          | 72         | 83            | 71             | 55             |
| <i>İş</i>                          | 85         | 81            | 79             | 71             |
| <i>Güvenlik</i>                    | 74         | 67            | 77             | 55             |
| <i>Nükleer Santral Sayısı</i>      | 99         | 58            | 43             | 0              |

Kaynak:UNDP, 2014

Fukushima nükleer kazasından alınan dersler kapsamında günümüzde kurulmakta olan nükleer santraller güvenlik önlemleri artırılmış 3'üncü nesil santrallerdir ve 2030'lu yıllar hedefinde 4'üncü nesil nükleer santral tasarımı bazı ülkeler tarafından

yürütülmektedir. Nükleer güvenlikle ilgili ayrıntılara tezin ilerleyen kısımlarında yer verilmektedir.

G.Kore 1956 yılında Türkiye ile aynı tarihte nükleer enerji çalışmalarına başlamış ve 20 yıllık süre içerisinde nükleer teknolojiyi yerelleştirilerek günümüzde BAE'ne NGS inşa edebilmektedir. G.Kore'deki nükleer endüstrinin gelişimi değerlendirildiğinde, milli kaynaklarla %98 oranında nükleer santral tasarlayabilen ülkede başlangıçta katkı oranı yerel olarak %2 düzeyinde gerçekleşmiştir. G.Kore'de 25 nükleer reaktör çalıştırılmaktadır.

Tüm riskler Rusya tarafından alınmak suretiyle yaklaşık 20 milyar \$ yabancı sermaye yatırımı Akkuyu nükleer santral projesi ile Türkiye'ye aktarılmaktadır. Bu kapsamda yaklaşık 4.800 MWe kurulu güçle yıllık 40 milyar kWh elektrik üretim kapasitesi sayesinde 3,6 milyar \$ civarında ödemeler dengesine katkı sağlanacaktır. Böylece, yüksek orandaki ithalat bağımlılığında azaltan etki oluşturulacaktır.

Japonya, enerji ihtiyacının yaklaşık % 84'ünü ithal etmek zorundadır (WNA, 2014). Artan yakıt ithalatı yılda yaklaşık 40 milyar dolar maliyet getirmektedir. Bu rakam Türkiye'nin nükleer santral proje bedellerini yansıtmaktadır. Nisan 2011 tarihinden itibaren Mart 2014 sonuna kadar toplam ticaret açığı 227 milyar \$ olarak gerçekleşmiştir. Elektrik üretim maliyetlerinde % 56 artış gözlemlenmiş ve Japon enerji şirketleri Fukushima kazasından beri ithal fosil yakıtlara 93 milyar \$ ek kaynak harcamıştır.

İnşaatin en yoğun olduğu dönemde Akkuyu Nükleer Santralinde çoğunluğu Türk işçi olmak üzere yaklaşık 10.000 kişinin çalışacağı öngörülmektedir. Bu proje sayesinde firmalar, yaklaşık 8 milyar dolarlık yalnız inşaat malzemeleri değil aynı zamanda kritik teknoloji dışı makine-ekipman üretimi sürecine de dahil olacaklardır.

Türkiye, 2010 yılında elektrik talep artışında Avrupa'da ilk sırada yer alırken dünya sıralamasında ise birinci olan Çin'den sonra yer almaktadır . Tüm bu nedenlerle, Türkiye için nükleer enerji bir seçenek değil gereklilik olarak görünmektedir.

Bu bağlamda, enerji sorunsalı odaklı 2013-2015 dönemine ait Program hedefleri arasında; NGS'lerin kurulmasına hız kazandırılması, elektrik enerjisi üretiminde milli olarak elde edilen kaynak kullanımının artırılması suretiyle ithal kömür ve doğal gazın oranının düşürülmesi, Türkiye'nin enerji koridoru/terminali ekseninde bölgesel enerji

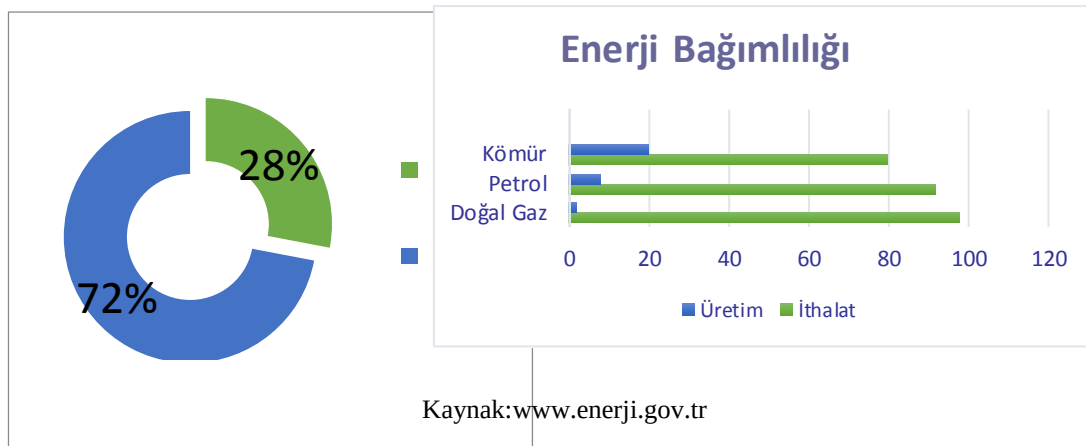
merkezine dönüştürülmesi, özelleştirmenin tamamlanması yer almıştır (Türkyılmaz, 2014). Enerji Politikaları ve Stratejik hedefleri arasında ise; 2023 yılına kadar, taşkömürü ve linyit kaynaklarının tamamının elektrik enerjisi üretiminde kullanılması, tüm hidroelektrik potansiyelin teknik ve ekonomik etkin düzeyde değerlendirilerek elektrik enerjisi üretilmesi, rüzgar enerjisi kurulu gücünün 20.000 MWe seviyesine çıkarılması ve elektrik üretiminde güneş enerjisi kullanımının yaygınlaştırılması yer almaktadır.

### 3.5.1. Japonya'nın Enerji Bağımlılığı, Türkiye Özdeşliği

Türkiye, enerji arz güvenliğine yönelik kaynak ve güzergah çeşitliliğini esas alan enerji politikası uygulamaktadır. Politika önceliği milli enerji kaynak potansiyelini azami düzeyde elektrik enerjisi üretiminde kullanmaktır. Yerli ve yenilenebilir kaynaklardan elektrik enerjisi üretimi dikkate alındığında dışa bağımlılığın % 72 gibi yüksek düzeyde seyrettiği görülmektedir (Şekil 3.57). Japonya'da ise bu oran % 84 düzeyindedir. 2002 yılında Japonya tükettiği petrolünün %99.8'ini ithal etmektedir.

Toplam enerji ihtiyacının % 72'sini ithalatla karşılayan Türkiye, enerjide büyük oranda dışa bağımlıdır. Elektrik üretiminde kullanılan doğalgazın, petrolün ve kömürün sırasıyla % 98'i, % 92'si ve % 20'si ithal edilmektedir.

Şekil 3.57: Türkiye'de Enerji Bağımlılığı



2015 yılı sonunda Türkiye'nin elektrik enerjisi tüketimi yaklaşık yıllık 264 milyar kWh iken bu ihtiyacın 2023 yılında 414-440 milyar kWh düzeyine çıkması tahmin edilmektedir. Fosil yakıtların bilinen rezervlerin tahmini bitiş süreleri göz önüne alındığında, Türkiye mevcut enerji potansiyeli ile bu talebin ancak yarısını

karşılayabilmektedir. 2023 yılında bu talebi karşılayabilmek için yıllık 4000-5000 MWe ek kapasite için 10-11 milyar dolar yatırıma ihtiyaç duyulmaktadır.

### **3.5.2. Japonya Nükleer Kazanımlarının Türkiye'ye Transferi**

Türkiye'de kurulacak olan santrallerin Rusya ve Japonya tarafından yapılması nükleer güvenlik tecrübelerinin aktarılması bakımından büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda, Fukushima kazasından sonra nükleer santrallerde aşağıda sıralanan tedbirler alınmıştır:

- ✓ Doğal afetler gibi harici olaylara karşı erken uyarı sistemleri kurulması ve acil durum eylem planları yapılması,
- ✓ Tsunami savunma duvarlarının yapılması, su baskınlarına karşı tedbirlerin artırılması,
- ✓ Deprem risklerinin ve yapıların depremsel dayanıklılığının değerlendirilmesi,
- ✓ Deprem ve tsunaminin santraller üzerindeki etkisinin incelenmesi,
- ✓ KNY havuzları kontrol sistemleri ve su temizleme sistemlerinin değerlendirilmesi,
- ✓ Portatif güç kaynakları ve mobil pompa sistemleri, Hidrojen bağlayıcı sistemlerin iyileştirilmesi ya da kurulması,
- ✓ Ciddi kaza analizi yönetimi kılavuzlarının hazırlanması,
- ✓ Stress testlerinin yapılması,
- ✓ Asimetrik ve terörist eylemlere karşı güvenlik ve dayanıklılığın değerlendirilmesi.

### **3.5.3. Fukushima Sonrası Ülkelerin Nükleer Enerji Politikaları**

Daichii Fukushima kazası deprem nedeniyle meydana gelen tsunamide dalga yüksekliğinin standartların çok üzerinde olmasından kaynaklanmaktadır. Kazaların nedenleri ayrıca, deprem, yangın, sel basması, patlama gibi dış etkenler de olabilir. Bu etkilerin santralin yer seçiminden başlayan süreçte değerlendirilmesi ve santral tasarımının böylesi etkiler ve büyüklükleri göz önünde tutularak yapılması gerekir.

Fukushima-Daiichi kazası sonrası güvenlik sistemlerinin büyük doğal afetler durumunda dayanıklılığı incelenerek Avrupa ülkelerinde "stres testleri" yapılmıştır. ABD'de doğal afetlere karşı dayanıklılığı arttıracak iyileştirmeler için 100 milyon \$ harcanmıştır.

Doğal afetlerin yanı sıra, nükleer santral güvenliğini terörist saldırılar veya uçak düşmesi gibi dış etkiler de tehdit edebilir. Özellikle, ABD'de 11 Eylül 2001 saldırılarından sonra füze ve bomba yüklü savaş uçaklarının yanı sıra yolcu uçaklarının da reaktörün koruma kabının bahsedilen çarpmalar karşısında dayanıklı kalacağı ortaya konmuştur. Bomba yüklü uçak ya da füze çarpmasının ölüme neden olan radyolojik sonuçları olması olasılığı, böylesi bir çarpmanın aynı zamanda diğer radyasyon bariyerlerinin bütünlüğünü kaybedeceği bir kazayla eş zamanlı gerçekleşmesiyle mümkün olduğundan, çok düşüktür. Bu düşük olasılık da dikkate alınarak ABD'de 2 milyar \$ harcanarak ülke genelinde santral sistemlerinde iyileştirmeler yapılmıştır.

Nükleer santral güvenliğini aynı zamanda santral sistemlerinin veya malzemelerinin yıpranması, aşınması, paslanması, eski teknoloji kalması veya radyasyon altında sağlamlığını kaybetmesi de tehdit edebilir. Bu nedenle nükleer santrallerde sistem, ekipman ve malzemelerin güvenilirliği sürekli incelenmektedir.

İşletme süresince meydana gelen yaşlanmalar güvenliğini tehdit etmediği sürece reaktörlerin işletme süreleri uzatılabilmektedir. Başlangıçta işletme süreleri 40 yıl olarak öngörülen 2. nesil santrallerin çoğunun işletme süreleri "yaşlanma" değerlendirmeleri sonucu 60 yıla çıkarılmıştır. İşletme süreleri 60 yıl olarak belirlenerek tasarlanan 3. nesil santrallerinin ömürlerinin 80 yıla uzatılabileceği öngörülmektedir.

Bir nükleer santralin güvenliğini ölçmenin yolu, bir nükleer santral kazası sonucu kaç kişinin hayatını kaybedeceğini, yani nükleer santral nedeniyle ölüm gerçekleşmesi riskini belirlemektir.

*Derinliğine Savunma* kapsamında, Nükleer yakıt, Yakıt zarfı, Reaktör Kabı ve Soğutucu, İç ve dış koruma kabı şeklinde anılan fiziksel bariyerlerin dayanıklılığının korunması için güvenlik sistemleri tasarlanmıştır;

*Yedeklilik:* Birbirinden bağımsız ve farklı konumlarda sistemde diğerinin yerini alabilen ve aynı işlevi yerine getiren, birden fazla cihazın/ekipmanın kullanımına olanak sağlanabilmesidir.



*Pasif Sistemler:* Reaktörlerin kendi kendini durdurabilmesi veya soğutabilmesi amacıyla harici enerji kaynağı kullanılmayan sistemlerdir. Fukushima Daiichi nükleer kazasında santrale güç sağlamak ve reaktörleri soğutmak için bulundurulmuş dizel jeneratörlerin sel altında kalması nedeniyle çalıştırılmadığından soğutma suyu pompalanamaması sonucunda aşırı ısınan yakıt, zarfını eritmiştir.

*Çift koruma kabı:* Birincisi 1.2m, diğeri 1m kalınlığa sahip çift koruma kabı, ilk koruma kabını aşacak radyolojik maddelerin filtresi ve muhafazası amacıyla boşluk oluşturarak insan ve çevreyi koruduğu gibi dayanıklı yapısıyla su baskınları, uçak/füze çarpması ve dış kaynaklı patlamalar, şiddetli fırtınalar ve deprem darbeleri gibi dış etkilere karşı da reaktörü korumaktadır (Şekil 3.58).

2030 yılına kadar kullanım ömrünü tamamlayan birçok nükleer reaktörün kapatılması veya testlerinin/bakımlarının yapılarak yeniden işletmeye alınması planlanmaktadır. ABD, Çin, RF, Hindistan gibi ülkeler ile öncesinde nükleer enerji

kullanmayan 45’den fazla ülkenin elektrik enerjisi üretiminde nükleer güç tercih edecekleri öngörülmektedir.

Deprem nedeniyle oluşan tsunamide dalga yüksekliğinin beklenenin çok üzerinde olması nedeniyle meydana gelen Fukushima nükleer kazası sonrasında ülkelerin nükleer enerji odaklı politikalardan özetle bahsedilmiştir.

Avrupa Birliği ülkeleri, nükleer enerji santrellerine süreç iyileştirme kapsamında Stres Testleri başlığında güvenlik ve risk değerlendirmesini uygulamaya koymuşlardır. Komşu ülkelerin anılan stres testlerine katılması amacıyla Avrupa Komisyonu tarafından girişim başlatılmıştır.

Nükleer reaktör kazalarının ülkelerin sınırlarını aşma potansiyeli olması nedeniyle IAEA’nın dahil olduğu uluslararası nükleer güvenlik standartları ve gözden geçirme konularında tutarlı ve şeffaf bir yaklaşımın belirlenmesi ile çok taraflı müzakereler yapılması konularında nükleer enerjiden faydalanan bütün ülkeler ortak mutabakata varmışlardır.

2011 nükleer kazası sonrasında nükleer santrallerin geleceği hususunda kısaca ülkelerin nükleer politikaları değerlendirildiğinde;

*ABD:* 99 üniteli nükleer enerji santraline sahip ABD’de öğrenilen dersler ve alınacak önlemler NRC tarafından yayımlanmış olup beş nükleer santral ünitesi daha yapım aşamasındadır. Ayrıca, doğal afetlere karşı dayanıklılığı arttıracak iyileştirmeler için 100 milyon dolar ile eş zamanlı gerçekleştirilecek asimetrik tehdit/eylemler dikkate alınarak 2 milyar dolar harcanarak ülke genelinde santral sistemlerinde iyileştirmeler yapılmıştır.

*Fransa:* 416.800 GWh ile toplam elektrik üretiminin % 76,34’ünü nükleerden karşılayan Fransa elli sekiz üniteye sahip nükleer santralleri için AB’nin kararlarına uyacağını ve yenilenebilir enerji kullanımında artırıma gideceğini açıklamıştır. Birincil enerjide yüksek düzeyde ithalata bağımlı olan Fransa elektrik ihracatçısı olup 1 nükleer santral ünitesi yapım aşamasındadır.

*Japonya:* Japonya 54 reaktörlük nükleer reaktör filosunu Eylül 2013’e kadar geçici/tamamen kapatmıştır. Japonya nükleer kaynaklı elektrik üretimi 2015 yılı 4346,49 GWh (% 0,52) olup 43 nükleer santral ünitesi çalışabilir durumda ve 2 santral ünitesi yapım aşamasındadır. Japonya yeni nükleer güvenlik kuralları altında 846 MWe ilk nükleer reaktörünü yeniden çalıştırmıştır. Japonya uzun dönem enerji politikasına

göre 2030 yılına kadar toplam elektrik üretimi içinde nükleerin payının %20–22 düzeyine çıkarılması planlanmıştır. Reaktörlerin yeniden çalıştırılmaya başlaması ünite başına reaktör büyüklüğü ve yaşına bağlı olarak 700 milyon ile 1 milyar \$ arasında maliyet doğurmaktadır. 2014 Mart ayına kadar 12,3 milyar \$ harcanmıştır. Tsunami savunma duvarları uygulamasına başlanmıştır.

*Rusya:* FTP çerçevesinde nükleer enerjiden elektrik üretiminin toplam üretimde 2030 yılına dek %25-30, 2050 yılına dek %45-50, yüzyılın sonunda %70-80 pay alması hedeflenmiştir. FTP programı 2030 yılına dek VVER teknolojisinin kullanımını içermektedir. Fukushima kazasından sonra 15 milyar Ruble (530 milyon \$) bütçe ile santrallerin güvenlik kontrolleri ve iyileştirmeleri yapılmıştır. İşletmede olan 35 nükleer santral ünitesine sahip Rusya’da halen 8 ünite inşa aşamasında olup yeni NGS’ler kurmaya devam edeceğini deklare etmiştir.

*Çin:* 33 ünite nükleer güç santrali işletmede olan Çin nükleer gücü desteklediklerini açıklamıştır. Halen Çin’de 22 nükleer santral ünitesi inşa aşamasındadır. Çin’in 2020 yılında nükleer enerji üretim kapasitesine göre G.Kore, Rusya ve Japonya’yı geçerek dünyanın üçüncü büyük nükleer enerji üreticisi olacağı öngörülmektedir. Çin’de yürürlüğe konan nükleer güç planları 2020 yılına dek 58 GWe gücünde nükleer santral ünitesi yapılmasını içermektedir, bunun 30 GW’lık kısmını oluşturacak ünitelerin kurulumu sürmektedir.

*Güney Kore:* 25 ünite nükleer güç santrali işletmede olan G.Kore’de 3 nükleer santral ünitesi inşa aşamasındadır. Toplam elektrik üretiminde nükleerin payını % 31,73 düzeyine çıkaran Güney Kore nükleer enerjiyi kullanmaya ve nükleer güvenliğe verdiği önemi artırarak NGS kurmaya devam edeceğini ilan etmiştir.

*Hindistan:* 2032 yılına kadar 63.000 MWe gücünde nükleer enerji santrali kuracağını ve santrallerin güvenlik sistem kontrollerini yapacağını açıklayan Hindistan büyük miktarda toryum rezervlerine sahip olup toryum yakıt çevrimini uygulamaya çalışmaktadır. 21 ünite nükleer güç santrali işletmede olan ülkede 6 nükleer santral ünitesi inşa aşamasındadır.

*İngiltere:* 15 ünite santrali işletmede olan İngiltere 2025 yılına kadar 8 nükleer santral ünitesi daha kurmayı amaçlamaktadır.

*İran:* İlk nükleer santralini işletmeye alan ülkede 20 yıl içinde 20.000 MWe gücünde yaklaşık 19 nükleer santral ünitesi kurulması planlamaktadır.

*Endonezya:* Dünya nüfusunun yarısından fazlasına sahip 5 ülke (Çin, Hindistan, ABD, Endonezya ve Brezilya) arasında 4'üncü sırada bulunan ve nükleerden faydalanmayan ülke olan Endonezya 2 üniteli nükleer santralini 2022 yılında işletmeye almayı ve ilave 4 ünite daha kurmayı hedeflemektedirler.

2022 yılına kadar Almanya nükleer güç santrallerinin tümünü, İsviçre 2034 yılına kadar 5 üniteyi kapatma kararı alırken İtalya NGS kurmama kararı almıştır. 2020 yılına kadar Polonya ve Vietnam ilk NGS'sini hizmete almayı amaçlamaktadır. BAE, Ürdün, Malezya, Tayland, Çek Cumhuriyeti gibi bazı ülkeler nükleer enerjiden faydalanmayı planlamaktadırlar.

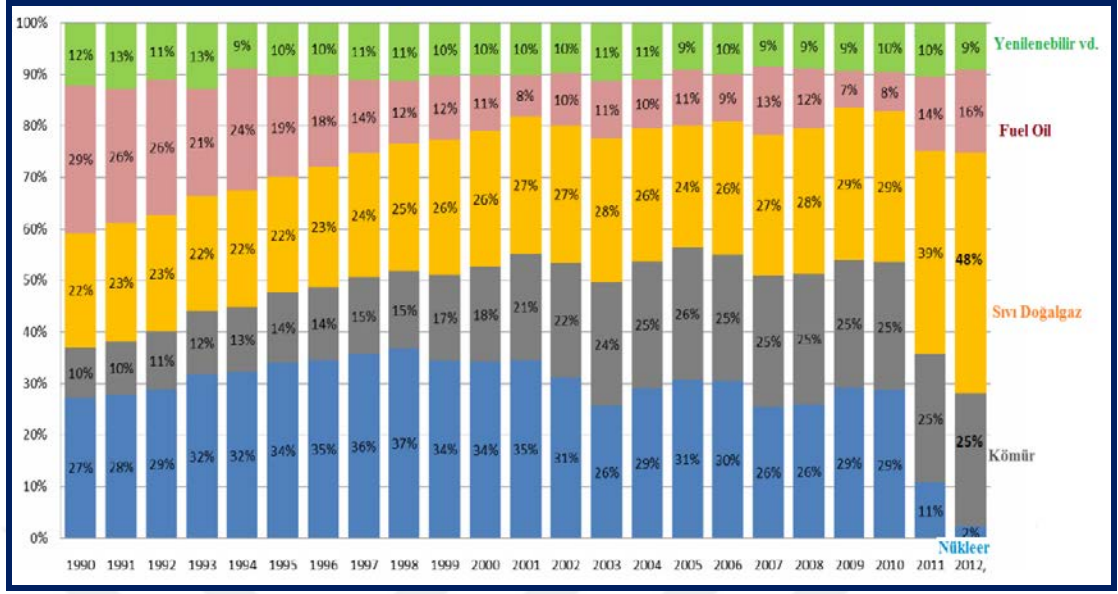
Dünyada 444 nükleer reaktör “386 276 MWe” ile işletmede bulunmakta ve yapım aşamasında 65 nükleer santral ünitesi bulunmaktadır. Elektrik enerjisi üretiminde nükleerin payı en fazla olan ülke Fransa, en fazla nükleer santral ünitesine sahip ve nükleer enerji üretiminin en fazla olduğu ülke ise ABD'dir.

Japonya 2 nükleer santral ünitesini tekrar işletmeye alırken, dördüncü nesil nükleer santraller 2030'lu yıllar için tasarlanmakta, İstanbul'un nüfusundan daha küçük ülkede dahi nükleer enerjiden faydalanılmakta, Suudi Arabistan petrol zengini ülke olarak 16 nükleer santral ünitesi inşa etmeyi planlamakta, doğalgaz ve petrol zengini Rusya, ABD, Meksika ve Kanada gibi ülkeler ile kömür zengini Çin'de nükleer santrallerden büyük ölçüde istifade etmektedirler.

#### **3.5.4. Japonya Modeli: Türkiye'nin Ulusal Enerji Stratejisinin Tahlili**

Japonya'da elektrik enerjisi üretimi kaynaklarına göre irdelendiğinde 1990-2012 yılları arasında sıvı doğalgazın payının giderek arttığı Fukushima sonrası nükleerin payının belirgin şekilde düştüğü görülmektedir. 2012 yılında elektrik üretiminde yenilenebilir ve diğer enerjilerin payı %9, fuel oil'in payı %16 ve kömürün payı ise %25 seviyelerinde gerçekleşmiştir (Şekil 3.59).

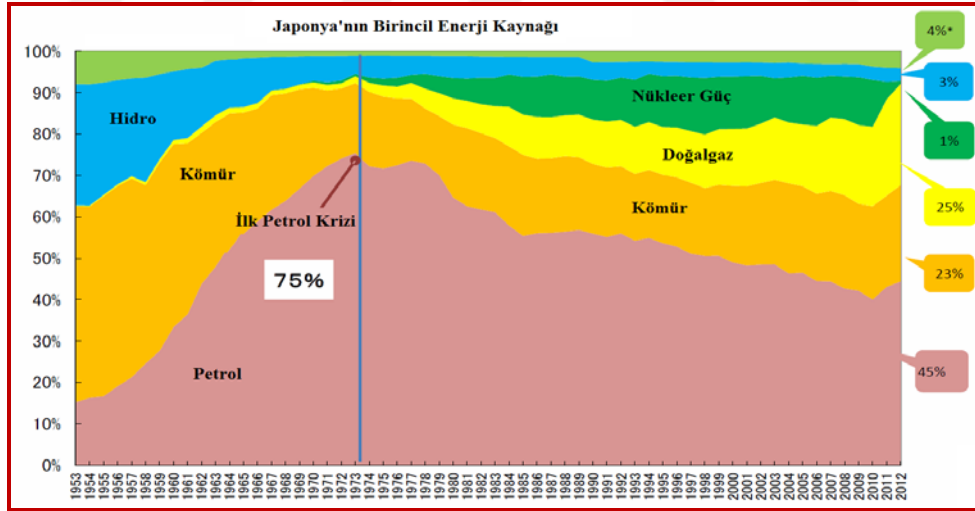
Şekil 3.59: Japonya Enerji Üretim Kaynakları 1990-2012 (%)



Kaynak: TOMOKO, S(e-mail), METI, 2014

Japonya'da kapatılan nükleer reaktörlerden kaynaklanan enerji düşüşünün LNG ithali ile telafi edildiği Şekil 3.60'da görülmektedir.

Şekil 3.60: Japonya Birincil Enerji Arz Yapısı

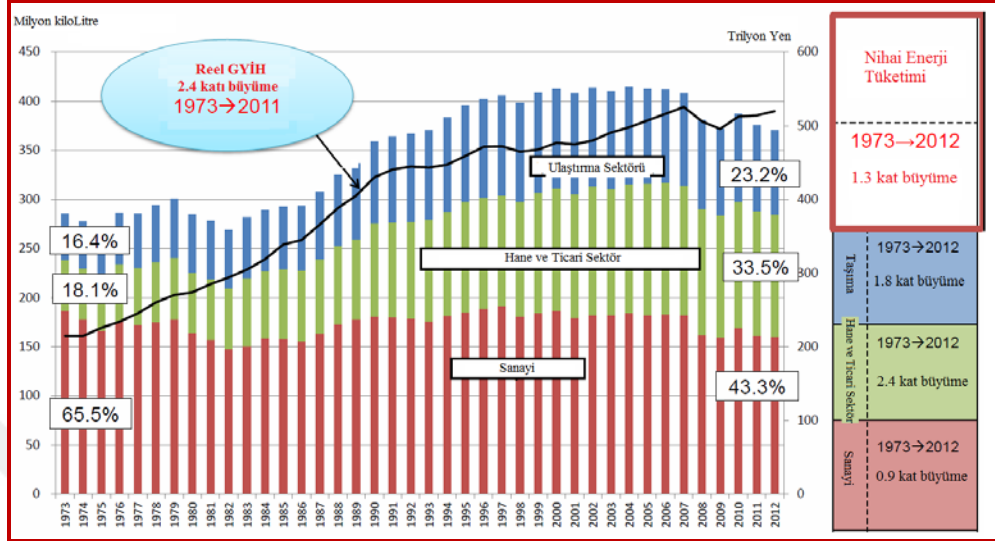


Kaynak: TOMOKO, S(e-mail), METI, 2014

Japonya 1973 yılında meydana gelen ilk petrol krizinden sonra nükleer enerjiye büyük oranda yatırım yapmaya başlamıştır. 1973 ve 1979 yılındaki iki petrol krizi Japonya'nın hassas enerji yapısını ve Japonya ekonomisini hasara uğratacak şekilde direkt etkilemiştir. İlk enerji krizi Japonya enerji politikasını temelden değiştirmiştir.

Fukushima sonrası stres testleri ve yeniden değerlendirme sürecinde nükleer santral projeleri belirli bir süre ertelenmek zorunda kalmıştır.

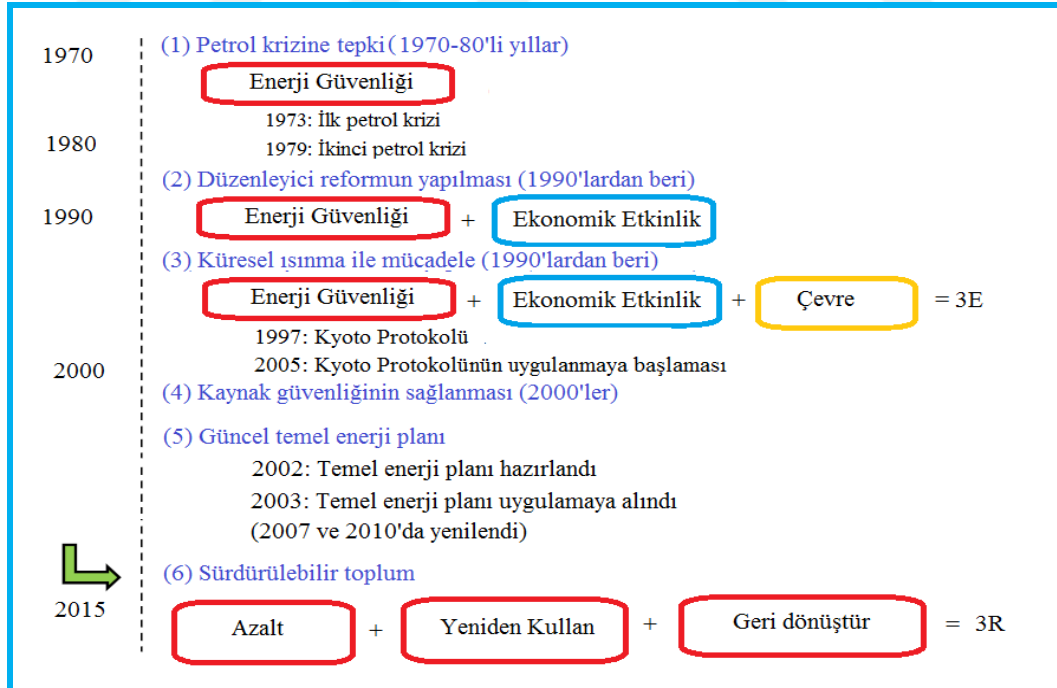
Şekil 3.61: Japonya Nihai Enerji Tüketim Trendi



Kaynak: TOMOKO, S(e-mail), METI, 2014

Japonya'da nihai enerji tüketimi 1973-2012 yılları arasında 1.3 kat artış gösterirken bu oran reel GSYH'nın 2,4 katı olarak gerçekleşmiştir (Şekil 3.61) .

Şekil 3.62: Japonya'nın Enerji Politikası Gelişimi



Kaynak: TOMOKO, S(e-mail), METI, 2014

Japonya'nın doğal kaynaklarının olmaması enerji arz güvenliğinin sağlanması, ekonomik etkinlik ve çevrenin korunması için Japonya'nın enerji politikasını sürekli yenilenmesine neden olmaktadır. Japonya enerji politikasının gelişimi Şekil 3.62'de yer almaktadır.

Japonya'da 2015 yılında sürdürülebilir toplum için 3R planı uygulanmaya konmuştur. Bunun amacı çevre ve ekonomi arasında denge kurulmasıdır. Burada 3R, Azalt (Reduce, atık miktarını azaltmak), Yeniden Kullan (Reuse: geri dönüştürülür kaynaklar kullan), Geri dönüştür (Recycle: geri dönüştürülen kaynakları hammadde olarak kullan) anlamına gelmektedir (METI, 2016).

Japonya yeni enerji politikası Şekil 3.63'de yer almaktadır. Buna göre, üretim, dağıtım ve tüketim sektörünü ihtiva eden bir takım önlemler ve programlar uygulamaya konulmuştur.

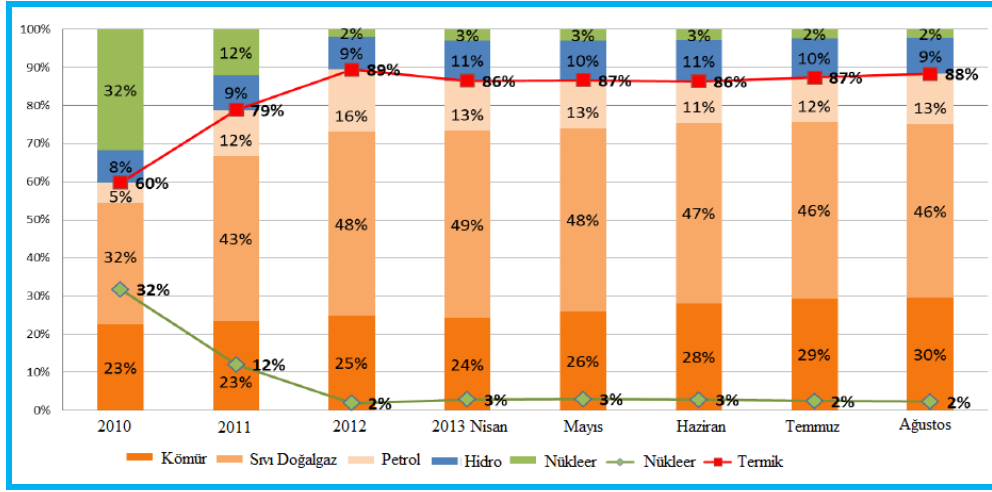
Şekil 3.63: Japonya'nın Yeni Enerji Politikası



Kaynak: TOMOKO, S(e-mail), METI, 2014

Japonya'da nükleer gücün elektrik üretimindeki payı Büyük Doğu Japonya Depremi sonrasında, nükleer santrallerin uzun süreli kapatılmasından sonra düşmüştür.

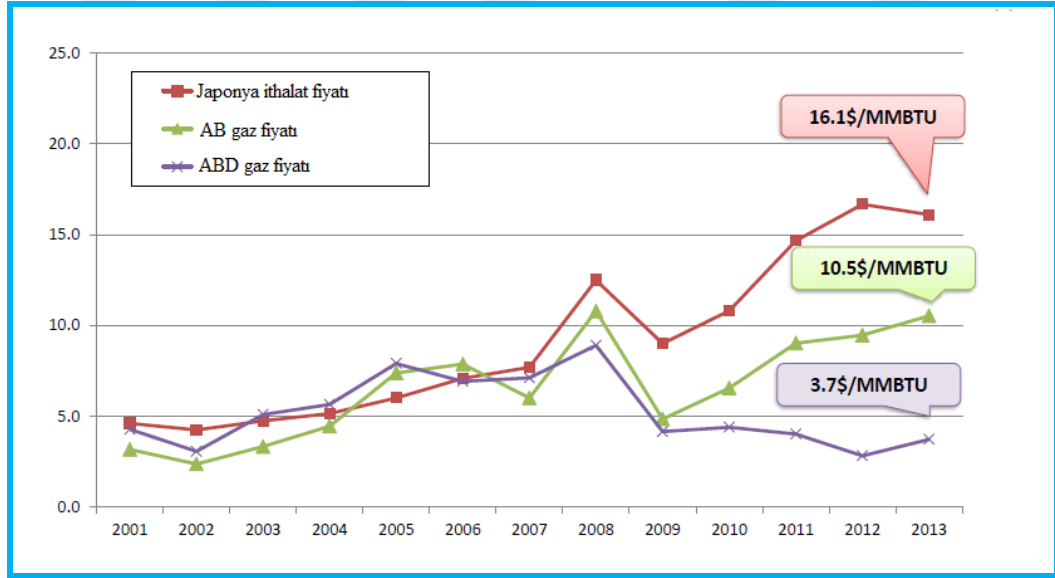
Şekil 3.64: Japonya'da Güç Üretim Payında Değişim



Kaynak: TOMOKO, S(e-mail), METI, 2014

Diğer yandan fosil yakıtlı santrallerin oranı %90'a çıkmıştır. Sıvı doğalgaz santrallerin payı %50'dir. Japonya'da LNG ithali yaklaşık %30 seviyelerinde artmıştır. (Şekil 3.64) Japonya'da büyük doğu depremi Japonya'nın LNG talebini arttırmıştır. Bunda en büyük etken nükleer güç santrallerinin kapatılmasıdır.

Şekil 3.65: Sıvı Doğalgaz/Doğalgaz Fiyat Değişimi (\$/Mmbtu)



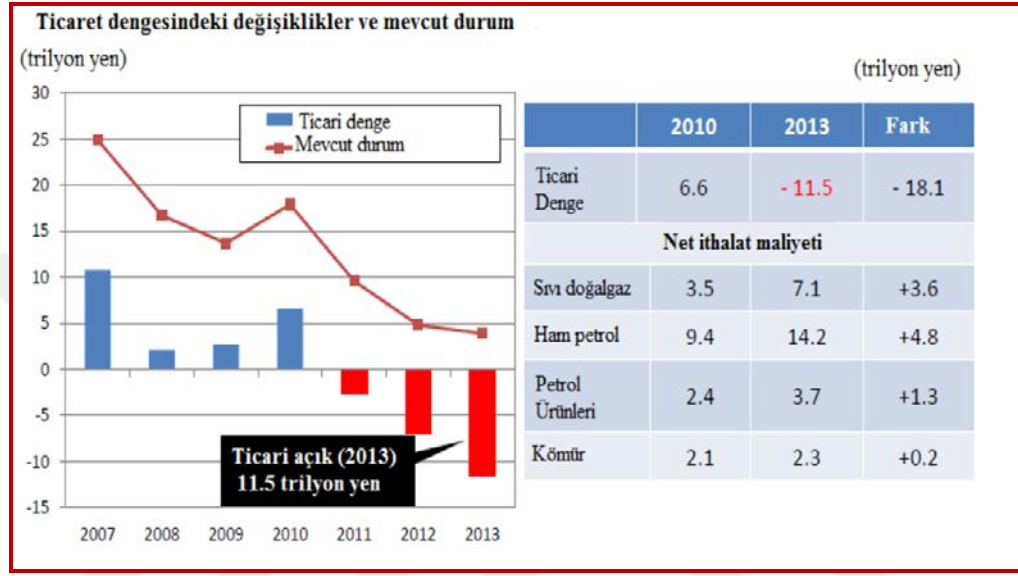
Kaynak: TOMOKO, S(e-mail), METI, 2014

Sıvı doğalgaz için fiyatlandırma bölgelere göre değişmektedir. MMBTU başına fiyat 2014 yılında Asya piyasasında 16-18 \$, Avrupa piyasasında, 10-12 \$ ve ABD piyasasında 3-5 \$ olmuştur (Şekil 3.65).



Japonya’da 2011 yılında, artan yakıt ithalatı maliyeti yüzünden 31 yıl içinde ilk kez Japonya’da ticari açık olmuştur. 2013 yılında ticari açık 11,5 trilyon ¥ olarak gerçekleşmiştir. Yakıt ithalat maliyetini düşürmek Japonya’nın temel önceliğidir. Ham petrol net ithalat maliyetinde artış Şekil 3.66’da en yüksek görünse de göreceli artış sıvı doğalgazda görülmektedir.

**Şekil 3.66: Yakıt İthalatının Japonya Ekonomisine Etkileri**



Kaynak: TOMOKO, S(e-mail), METI, 2014

Japonya’nın enerji stratejisi çoğunlukla gaz üzerine odaklanmıştır.

Japonya arz taraflı stratejiler:

1. ABD’den LNG ithalatının erken farkındalığı,
2. Arz kaynağı çeşitliliği
  - a) Kanada
  - b) Rusya
  - c) Mozambik
3. Japon firmaları tarafından işletilmekte olan projelerin hızlandırılması,

Talep Taraflı Stratejiler:

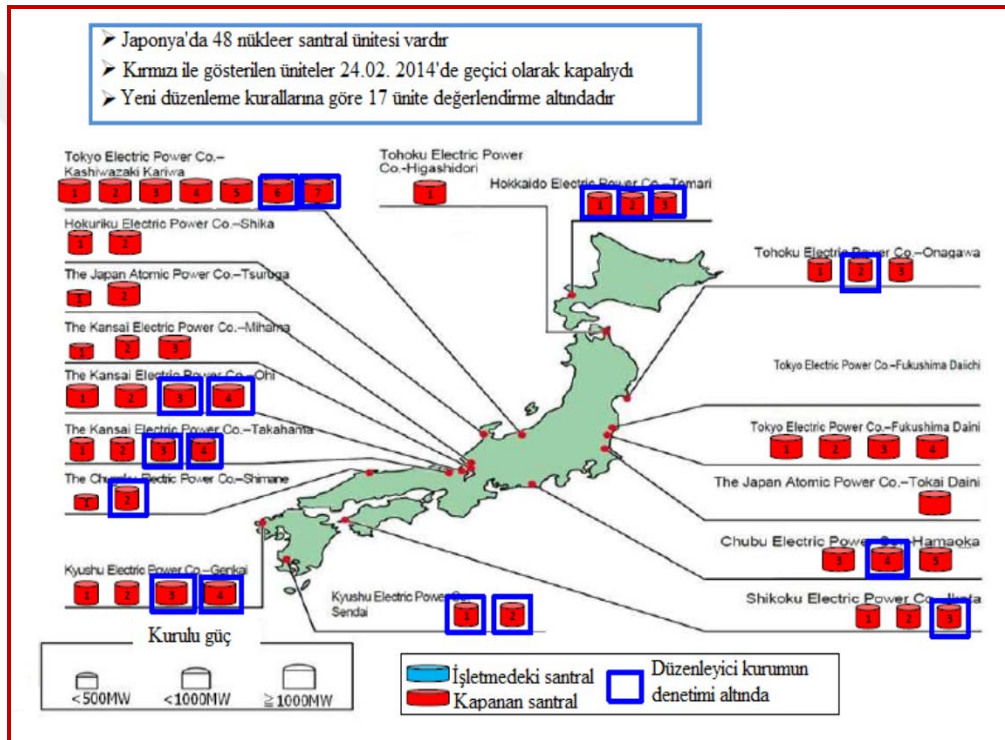
1. Nükleer güç santrallerinin tekrar çalıştırılması uygulamalarının gözden geçirilmesi,
2. Yükselen elektrik tarifelerinin dikkatlice değerlendirilmesi (tavan yaklaşım)
3. Kömür santrallerinin yeniden değerlendirilmesi,
4. Yerli kaynakların geliştirilmesine hız verilmesi

- (Derin Metan Hidrat Araştırmaları)
  - Günlük ortalama 20.000 m<sup>3</sup> üretim,
- (Sığ Metan Hidrat Araştırmaları)
  - 225 metan hidrat bacası keşfi,

5. Nihai çözümün kararlaştırılması, şeklindedir.

Enerji stratejisi kapsamında Japonya nükleer güç santrallerinin yeniden uygulamaya konulma süreci değerlendirildiğinde stres testleri sonrası nükleer santraller işletmeye alınmıştır.

**Şekil 3.67: Japonya Nükleer Güç Santralleri**

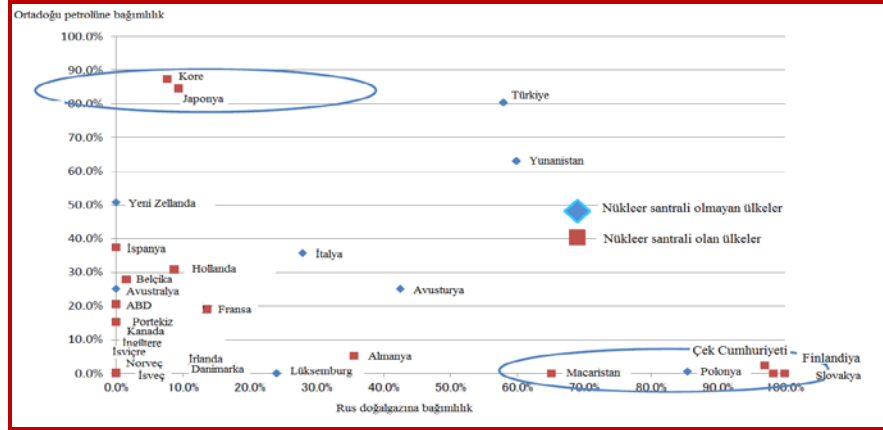


Kaynak: TOMOKO, S(e-mail), METI, 2014

Japonya'da işletilebilir 43 nükleer santral ünitesi vardır. 24 Şubat 2014 tarihinde (Şekil 3.67'de kırmızı ile gösterilen) santraller geçici olarak kapatılmıştır. Ancak, 17 santral ünitesi yeniden değerlendirilmeye alınmıştır.

Ortadoğu petrolüne ve Rusya doğalgazına olan bağımlılık yüzde olarak Şekil 3.68'de yer almaktadır. Nükleer santrale henüz sahip olmayan Türkiye'nin ciddi oranda Ortadoğu petrolüne ve Rusya doğalgazına bağımlı olduğu görülmektedir.

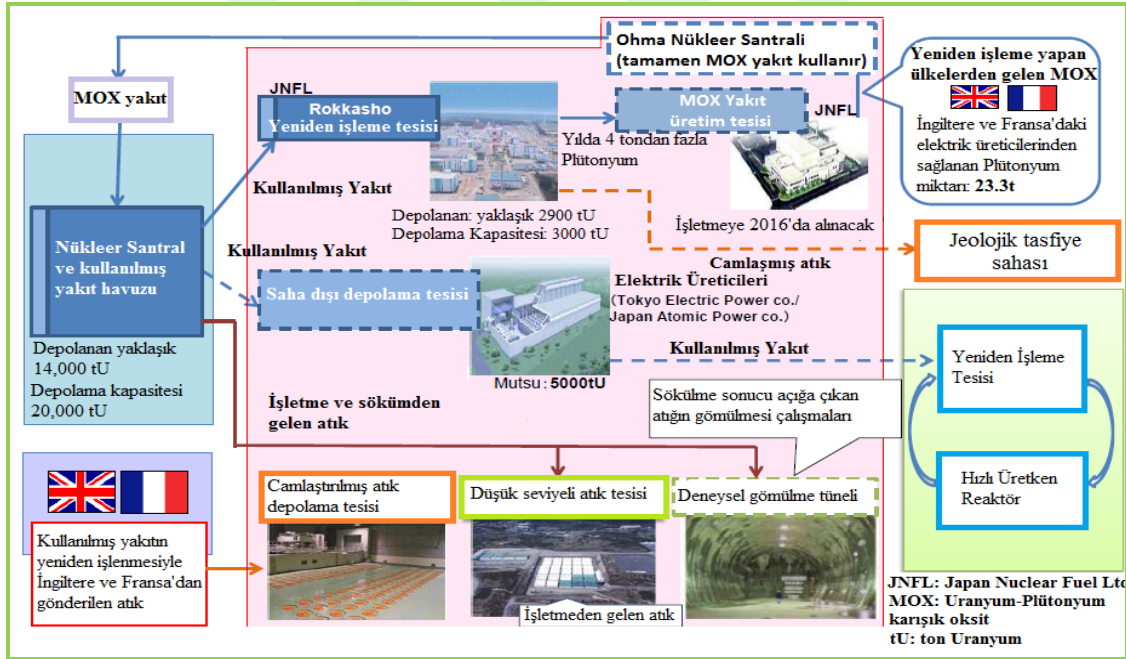
Şekil 3.68: Nükleer Enerji Kullanımı ve Fosil Yakıt İthalatı



Kaynak: TOMOKO, S(e-mail), METI, 2014

Japonya'da yeni nükleer güvenlik düzenlemesi uygulamaya konulmuştur. Nükleer yakıt çevrimi Şekil 3.69'da yer almakta olup yılda 16 ile 18 reaktörde 5,5-6,5 ton Plütonyum, MOX yakıt kullanılmaktadır. Ohma santralinde bir yılda 1,1 ton plütonyum kullanılmaktadır.

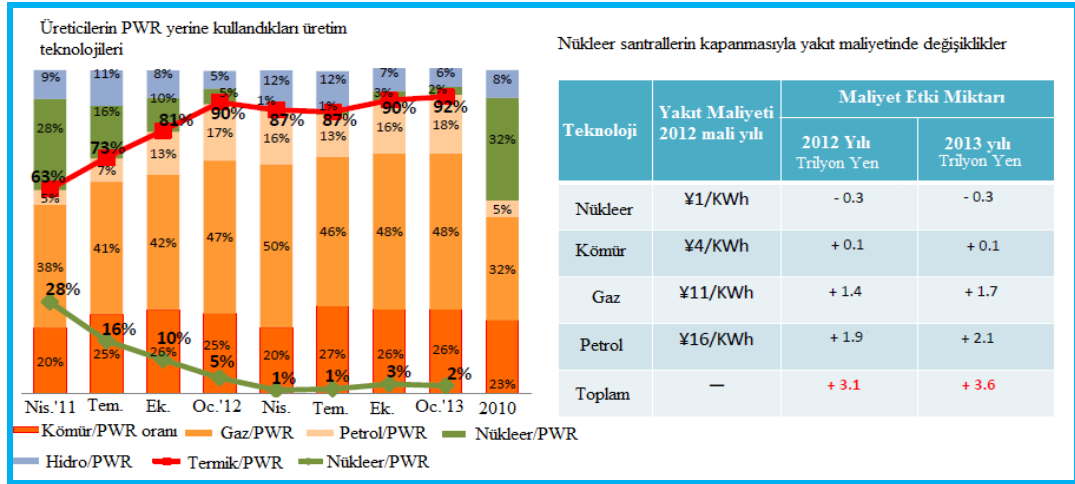
Şekil 3.69: Japonya Nükleer Yakıt Çevrimi



Kaynak: TOMOKO, S(e-mail), METI, 2014

Nükleer santrallerin kapatılmasıyla fosil yakıtlı santrallerin yakıt maliyeti 2010-2012 yılları arasında 3,1 trilyon ¥ artmıştır. Bu artış 2013 yılında 3,6 trilyon ¥ olarak gerçekleşmiştir (Şekil 3.70).

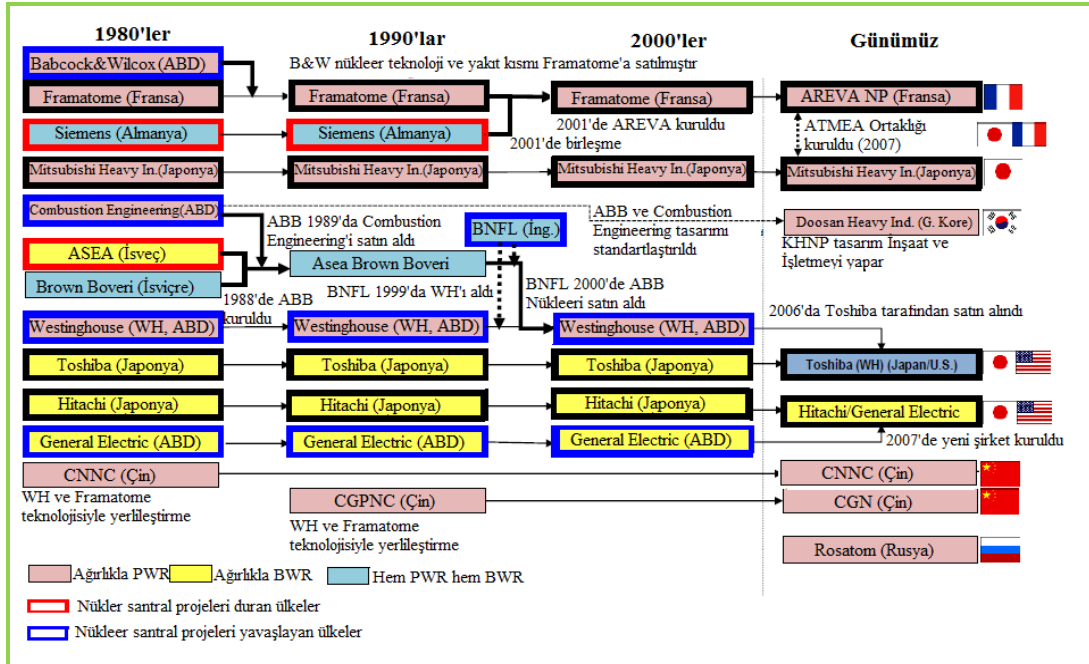
Şekil 3.70: Fukushima Sonrası Yakıt Maliyetleri ve Güç Formasyon Değişikliği



Kaynak: TOMOKO, S(e-mail), METI, 2014

1980-2015 yılları arasında ve günümüzde sektörde yer alan büyük nükleer santral üreticileri Şekil 3.71'de gösterilmektedir. 1980'lerden itibaren nükleer sektörde, üreticiler arasında uluslararası yeniden yapılanmalar ve şirket birleşmeleri gerçekleşmeye başlamıştır. Son yıllarda Japon ve Amerikan üretici şirketleri (Toshiba ile Westinghouse ve Hitachi ile General Electric) birleşmiş, ABD ve Japonya arasındaki iş ilişkileri artmıştır. Mitsubishi ve AREVA orta büyüklükte reaktörler için ortaklık anlaşması yapmıştır.

Şekil 3.71: Dünyada Büyük Nükleer Güç Üreticileri

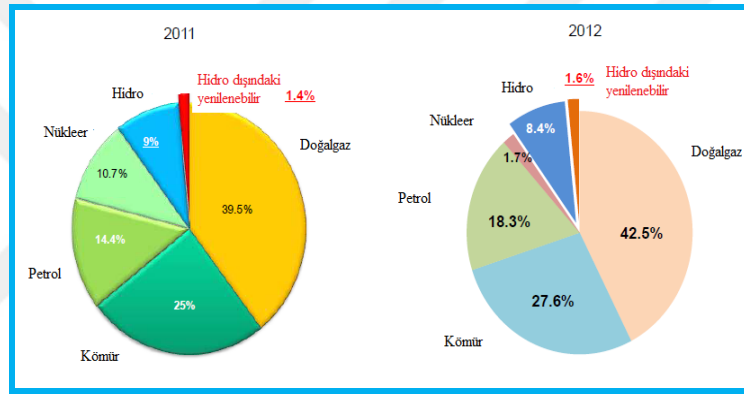


Kaynak: TOMOKO, S(e-mail), METI, 2014

Japonya’da 2011 yılı elektrik fiyatları ortalama 16,8 ¥’dir. Bu fiyat meskenlerde 21,3 ¥ ve sanayide 14,6 ¥ olarak gerçekleşmiştir (Tomoko, 2014). Nükleer güç üretim kurulu kapasitesinin 2030 yılına kadar 1,25-2,0 katı artacağı, yıllık 4-20 ünite olmak üzere yaklaşık 80-370 ünite kurulu kapasiteye ilaveler olacağı öngörülmektedir. Büyük artışın Asya’da olacağı beklenmektedir (IAEA, 2013).

Japonya’da güç kaynakları kompozisyonu incelendiğinde toplam elektrik enerjisi üretiminde 2012 yılında nükleer enerji yaklaşık %14 civarında olup bunun %8,4’ü hidrolik güç üretiminden oluşmaktadır. 2011 yılında doğalgaz %39,5 iken 2012 yılında %42,5’e, petrol %14,4’den %18,3’e ve kömür de %25’den %26’ya yükselmiştir (Şekil 3.72).

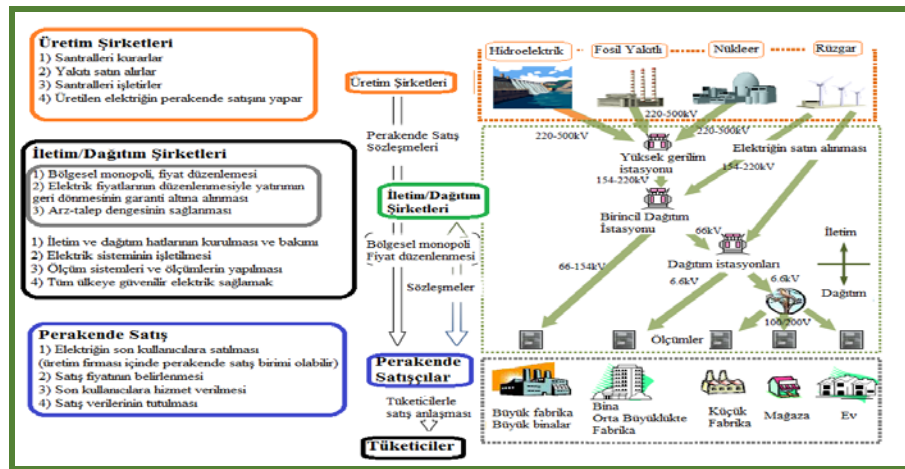
Şekil 3.72: Fukushima Öncesi ve Sonrası Japonya'da Güç Üretim Kompozisyonu



Kaynak: TOMOKO, S(e-mail), METI, 2014

Japonya’da reform sonrası elektrik piyasası enerji üretim ve dağıtım firmaları durumu Şekil 3.73’de yer almaktadır.

Şekil 3.73: Japonya'da Reform Sonrası Elektrik Piyasası



Kaynak: TOMOKO, S(e-mail), METI, 2014

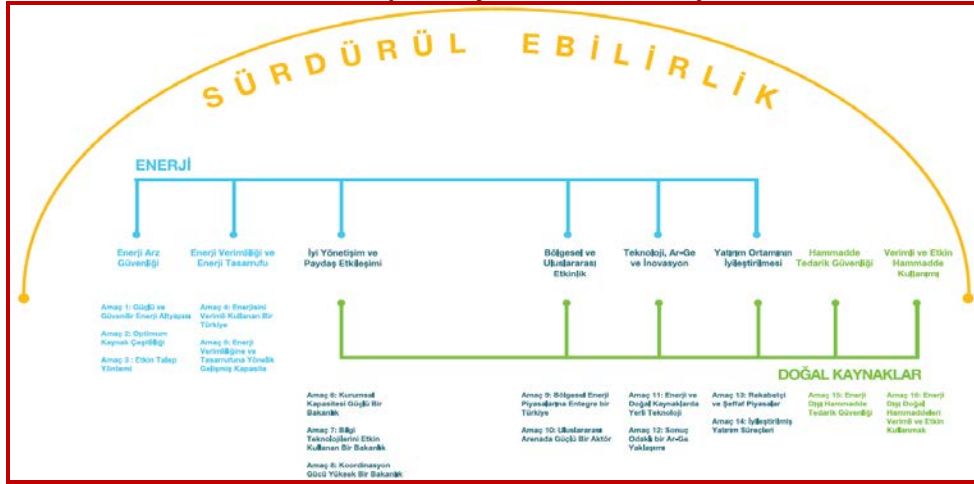
Japonya modeli kapsamında Türkiye enerji politikası değerlendirildiğinde, Türkiye'nin özellikle enerji arz güvenliğine yönelik kaynak ve güzergah çeşitliliğini esas alan enerji politikası uygulamakta olduğu görülmektedir. Politika önceliği, milli enerji kaynak potansiyelini azami düzeyde elektrik enerjisi üretiminde kullanmaktır. Sosyal kalkınma ve sürdürülebilir ekonomik büyümeyi sağlayacak şekilde, güvenilir ve yeterli miktarda enerjiyi iklim değişikliği, küresel ısınma ve Kyoto Protokolü eksenlerinde çevrenin korunmasına yönelik önlemlerle birlikte minimum maliyetle zamanında tüketiciye sunmak politika önceliğinde yer almaktadır.

Türkiye'de elektrik tüketimi ile GSYH arasındaki, 2003 yılından itibaren giderek artan, 2009 yılından itibaren küresel krizin etkisiyle azalan ilişkinin 2011 yılından itibaren yeniden artmaya başladığı görülmektedir. Elektrik enerjisi uzun süreli depolanamamaktadır. Bu nedenle, Türkiye'de enerjide ithalat bağımlılığı da dikkate alındığında, yüksek üretim kapasitesi dolayısıyla nükleer enerji, bol miktarda linyit rezervi bulunduğu için linyite dayalı termik santraller ve yüksek potansiyeli nedeniyle yenilenebilir enerji tercihi gibi uygun seçenekler arasında ön planda değerlendirilmektedir (Ertuğrul, 2011).

Türkiye'de belirlenen hedeflerin gerçekleştirilmesi amacıyla oluşturulan 2015-2019 Stratejik Planı, enerji üretimi ile doğal kaynaklar arasında sektörel ihtiyaçlar ve beklentileri karşılayacak politika ve stratejilerin geliştirilmesi gereken hususları temel almaktadır. 8 adet ana tema, 16 adet amaç ve 62 adet hedeften teşkil edilen bu planda genel olarak (Şekil 3.74) *Enerji tarafında* enerji güvenliği, verimliliği ve güvenilirliği gibi gelişim ihtiyaçları üzerinde durulurken, *Enerji ve Doğal Kaynaklar alanında*, teknolojik yenilikler, küresel etkinlik, yatırımların optimum planlanması ve bilişim ve yönetim hususlarına odaklanılmış, *Doğal Kaynaklar tarafında ise* hammaddenin tedarik edilebilirliği, etkin ve verimli şekilde kullanılabilirliği ana gündemi oluşturmuştur (ETKB, 2015).



Şekil 3.74: Türkiye Enerji 2015–2019 Stratejik Planı



Kaynak: ETKB, <http://sp.enerji.gov.tr/sp-2015-2019.html>

Doğal kaynakların optimum seviyede enerji üretiminde kullanılması ve tüketilmesi vasıtasıyla ekonomik değer kazandırılması sürecinde sürdürülebilirlik yaklaşımı tüm temaların evrensel kümesidir (ETKB, 2014) . Planda yer alan tüm amaç, hedef ve stratejilerin 3E konsepti nirengi tutularak uygulanmasına yönelik maliyetler Tablo 3.30’da yer almaktadır.

Tablo 3.30: 2015-2019 Stratejik Plan Yıllık Maliyetler

| AMAÇLAR                                                                       | YILLIK MALİYETLER (TL) |                    |                    |                    |                    |                      |
|-------------------------------------------------------------------------------|------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------|
|                                                                               | 2015                   | 2016               | 2017               | 2018               | 2019               | Toplam               |
| <b>Amaç 1</b> : Güçlü ve Güvenilir Enerji Altyapısı                           | 6,940,265              | 7,518,815          | 7,802,844          | 8,192,987          | 8,602,636          | 39,057,547           |
| <b>Amaç 2</b> : Optimum Kaynak Çeşitliliği                                    | 35,380,472             | 38,055,896         | 39,337,194         | 41,046,431         | 43,013,179         | 196,833,172          |
| <b>Amaç 3</b> : Etkin Talep Yönetimi                                          | 7,782,408              | 7,696,903          | 7,802,844          | 8,192,987          | 8,602,636          | 40,077,778           |
| <b>Amaç 4</b> : Enerjisini Verimli Kullanan Bir Türkiye                       | 24,659,306             | 26,539,346         | 27,731,157         | 28,675,453         | 30,109,226         | 137,714,487          |
| <b>Amaç 5</b> : Enerji Verimliliğine ve Tasarrufuna Yönelik Gelişmiş Kapasite | 20,822,366             | 21,725,423         | 22,654,333         | 20,482,466         | 21,506,590         | 107,191,179          |
| <b>Amaç 6</b> : Kurumsal Kapasitesi Güçlü Bir Bakanlık                        | 19,176,893             | 15,387,306         | 16,067,254         | 16,771,072         | 17,205,272         | 84,607,797           |
| <b>Amaç 7</b> : Bilgi Teknolojilerini Etkin Kullanan Bir Bakanlık             | 17,927,812             | 12,414,664         | 11,704,267         | 12,289,480         | 12,903,954         | 67,240,176           |
| <b>Amaç 8</b> : Koordinasyon Gücü Yüksek Bir Bakanlık                         | 6,852,730              | 7,431,280          | 7,802,844          | 8,192,987          | 8,602,636          | 38,882,477           |
| <b>Amaç 9</b> : Bölgesel Enerji Piyasalarına Entegre Bir Türkiye              | 19,133,107             | 20,579,483         | 21,508,393         | 20,482,466         | 21,506,590         | 103,210,039          |
| <b>Amaç 10</b> : Uluslararası Arenada Güçlü Bir Aktör                         | 10,544,560             | 11,364,248         | 11,704,267         | 12,289,480         | 12,903,954         | 58,806,508           |
| <b>Amaç 11</b> : Enerji ve Doğal Kaynaklarda Yerli Teknoloji                  | 6,852,730              | 7,431,280          | 7,802,844          | 8,192,987          | 8,602,636          | 38,882,477           |
| <b>Amaç 12</b> : Sonuç Odaklı bir Ar-Ge Yaklaşımı                             | 6,968,260              | 7,546,810          | 7,840,151          | 8,230,293          | 8,639,942          | 39,225,456           |
| <b>Amaç 13</b> : Rekabetçi ve Şeffaf Piyasalar                                | 13,862,419             | 15,019,519         | 15,605,689         | 16,385,973         | 17,205,272         | 78,078,872           |
| <b>Amaç 14</b> : İyileştirilmiş Yatırım Süreçleri                             | 6,911,397              | 7,471,896          | 7,802,844          | 8,192,987          | 8,602,636          | 38,981,760           |
| <b>Amaç 15</b> : Enerji Dışı Ham madde Tedarik Güvenliği                      | 17,766,800             | 17,755,570         | 16,694,704         | 16,385,973         | 17,205,272         | 84,808,318           |
| <b>Amaç 16</b> : Enerji Dışı Doğal Hammaddeleri Verimli ve Etkin Kullanmak    | 13,758,313             | 14,915,414         | 15,658,542         | 16,385,973         | 17,205,272         | 77,923,514           |
| <b>GENEL TOPLAM</b>                                                           | <b>235,339,839</b>     | <b>238,853,853</b> | <b>244,520,172</b> | <b>250,389,993</b> | <b>262,417,701</b> | <b>1,231,521,557</b> |

Kaynak: ETKB, <http://sp.enerji.gov.tr/sp-2015-2019.html>

2019 yılı sonunda yerli kömürden yıllık elektrik enerjisi üretiminin 60 milyar kWh seviyelerine çıkarılması, yenilenebilir enerji kaynaklarında kurulu gücün hidrolik

32.000 MWe, rüzgar 10.000MWe, jeotermal 700 MWe, güneş 3000 MWe ve biyokütle 700MWe olarak elektrik enerjisi arzı içindeki payının arttırılması sağlanacaktır (ETKB, 2014).

Elektrik ve doğal gazda en fazla talep artış hızını Çin'den sonra yakalayan ikinci büyük ekonomi olan Türkiye'de orta ve uzun vadede bu eğilimin süreceğini yapılan projeksiyonlar işaret etmektedir. Türkiye'nin enerji profili ve stratejisi;

- ✓ Enerji güvenliği bakımından ülke ve güzergâh bazında kaynak çeşitliliğini,
- ✓ Enerji bileşimine nükleer enerjinin dahil edilerek yenilenebilir enerjinin payının artırılmasını,
- ✓ Enerji güvenilirliğinin ve verimliliğinin artırılmasını,
- ✓ Küresel enerji merkezine dönüşümün sağlanarak Avrupa enerji güvenliğinin sağlanmasını hedeflemektedir.

Enerji kaynaklarımız yüksek oranda ithalata bağımlı ve düşük kullanım potansiyeline sahip iken yıllık olarak ortalama % 5,4 oranında olan elektrik tüketim talebimiz devamlı yükselmektedir. Bu ihtiyacın karşılanması amacıyla Türkiye'nin kurulu gücüne yıllık 4000-5000 MWe ilave yapılması gerekmektedir. 2015 yılında elektrik enerjisi tüketimi yaklaşık 264 milyar kWh olarak gerçekleşmiş olup ülkemizin kuruluşunun yüzüncü yılında tüketim seviyenin 414-440 milyar kWh'a çıkması tahmin edilmektedir. Fakat, 2023 yılına ait hedeflere yenilenebilir enerjide ulaşıldığında bile öngörülen elektrik tüketim talebinin ancak yarısı karşılanabilecektir. 2014 yılında yaklaşık 125 milyon tep olarak gerçekleşen enerji talebinin 2023 yılında yıllık 210 milyon tep'e çıkacağı tahmin edilmektedir.

Son 10 yıl içinde Çin'den sonra doğal gaz talebinin en fazla arttığı ülkemizin elektrik enerjisi üretiminde en önemli kaynak olan doğal gaz tüketiminin yaklaşık %98'i ithalatla karşılanmakta olup 2014 yılında tüketilen 49 milyar metreküp'lük doğal gazın ülkelere göre yüzde dağılımı; Rusya(55), İran(18,2), Azerbaycan(12), Cezayir(8) ve Nijerya(2,8) şeklindedir. (EPDK, 2015).

2014 yılında hidrolik, doğal gaz, taş kömürü-linyit ve ithal kömür yakıt santralleri payı yüzde olarak sırasıyla 16,1, 47,9, 16 ve 13,9 olarak gerçekleşmiştir. Birincil enerji talebinin yüzde olarak 35'i doğal gaz, 8,5'i kömür, 27'si petrol, 7'si hidro ve 2,5'i diğer yenilenebilir enerji kaynakları tarafından sağlanmaktadır.



2023 yılına kadar büyümesi devam eden ülkemizde hızla artan elektrik enerjisi talebini karşılamak ve yüksek düzeyde olan dışa bağımlılıktan kaynaklı riskleri asgari seviyeye düşürmek amacıyla iki NGS'nin işletmeye alınması ve üçüncü nükleer enerji santralının inşası planlanmaktadır. Ancak, dördüncüsü için veya santrallerdeki reaktör/ünite sayılarının ve büyüklüklerinin optimum tesis ölçeğinde çalışılmasına ve en az 2030 yılı projeksiyonlarının sağlamlığı ekseninde politika oluşturulmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

2020 yılına kadar elektrik enerjisi arz ve talep projeksiyonları dikkate alınarak elektrik enerjisi üretimi içindeki NGS'lerin payının en az yüzde 5 seviyesine çıkarılması amacıyla 5710 sayılı NGS'lerin Kurulması ve İşletilmesi ile Enerji Satışına İlişkin Kanun çıkarılmıştır.

Türkiye'nin neden nükleer enerjiye ihtiyacı olduğu; gerekçe ve olası sonuçları ile Tablo 3.31'de gösterilmiştir.

**Tablo 3.31: Türkiye'nin Neden Nükleer Enerjiye İhtiyacı Vardır: Gerekçe ve Olası Sonuçları**

| Gerekçeler                              | Beklenen Sonuç                              |
|-----------------------------------------|---------------------------------------------|
| Enerjide Yüksek Düzeyde Dışa Bağımlılık | Enerji Çeşitliliği ve Arz Güvenliği         |
| Küresel Isınma ve Sera gazı Salımı      | Temiz Enerji                                |
| Dalgalandan Yakıt Fiyatları             | Yakıt maliyeti stabilitesi, Fiyat istikrarı |
| Cari Açık                               | Döviz Girdisi                               |
| İşsizlik                                | İstihdam                                    |
| Enerji Üretim Maliyetleri               | Ucuz Girdi                                  |
| Fosil Yakıtların Tükenme Süreleri       | Nükleer İtke Sistemleri                     |
| Uzun Dönem Enerji Planlama Yetersizliği | 2060 Projeksiyonu                           |
| Yabancı Yatırımların Azlığı             | Doğrudan Dış Yatırımlar                     |
| Yüksek Teknoloji Düzeyi                 | Yan Sanayinin Gelişmesi / Katma Değer       |
| Kapasite Faktörü                        | % 90 düzeyi ve Enerji Güvenilirliği         |
| Elektrik talebindeki artış              | Arz/ Talep Dengesi                          |

Kaynak: ETKB, WNA, PRIS, IAEA, NEI, METI, TAEK

## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

### GENEL DEĞERLENDİRME

#### 4. BULGULAR, ÖNERİLER VE SONUÇ

Genel değerlendirmenin yapıldığı bu bölümde, elde edilen bulgular ışığında öneriler sunulmuş ve sonuç kısmıyla “Nükleer Enerji Optimizasyonu: Türkiye İçin İthal İkameci Enerji Politikasının Geliştirilmesi” başlıklı çalışma tamamlanmıştır.

##### 4.1. Bulgular ve Öneriler

*Bulgu 1.* Dünyada elektrik üretiminde kömür birinci sıraya yerleşirken, doğalgaz ikinci sırada gelmekte fakat Türkiye’de yabancı kaynak olan doğalgaz birinci sırada yer alırken kömür ise kendine ikinci sırada yer bulmaktadır. Ülkemizin yüksek potansiyeline rağmen yenilenebilir kaynaklardan elektrik enerjisi üretim oranı dünya ortalaması olan % 3,1 seviyesinin % 0,6 altında gerçekleşmiştir. Denence 6’yı desteklemektedir. Türkiye’de, elektrik üretiminde kullanılan doğalgazın, petrolün ve kömürün sırasıyla % 98’i, % 92’si ve % 20’si ithalatla karşılanmaktadır. Bu kapsamda, yerli ve yenilenebilir kaynaklardan elektrik enerjisi üretimi değerlendirildiğinde, enerjide ithalat bağımlılığının % 72 gibi oldukça yüksek seviyede seyrettiği görülmektedir. Enerjide dışa bağımlılık oranının yüksekliğine ve yenilenebilir enerji kaynaklarında milli potansiyelin yüksek olmasına karşın, kapasite faktörü nedeniyle fiilen kullanılabilen kapasite 22.075 MWe düzeyinde gerçekleşen çok az bir kısımdır. Denence 1’i desteklemektedir.

*Öneri 1.* Stratejik plana uygun olarak 2019 yılı sonuna kadar yerli kömürden yıllık elektrik enerjisi üretiminin 60 milyar kWh seviyelerine çıkarılması, yenilenebilir enerji kaynaklarında kurulu gücün hidrolik 32.000 MWe, rüzgar 10.000MWe, jeotermal 700 MWe, güneş 3000 MWe ve biyokütle 700MWe olarak elektrik enerjisi arzı içindeki payının artırılması sağlanmalıdır.

*Bulgu 2.* Dünya elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanmasında NGS’lerin payı yaklaşık % 11 seviyelerindedir. NGS’nin elektrik enerjisi üretimindeki payı 15 ülkede % 20’nin üzerindedir. Nükleer santrale sahip 30’dan fazla ülkeden 7’si net enerji

ihracatçısıdır. Denence 3'ü desteklemektedir. Örnek olarak Fransa, dünyanın en büyük elektrik ihracatçısıdır. Toplam elektrik üretimi içinde nükleerin payı %76,93 seviyesindedir. Denence 5'i desteklemektedir. Doğalgaz, kömür ve petrol gibi fosil enerji kaynakları bakımından dışa bağımlı ülkemizde, nükleer enerjiden faydalanılmamakta iken petrol ve doğalgaz zengini Rusya, ABD, Kanada ve Meksika gibi ülkeler ile akarsu ve kömür zengini Çin ve Hindistan gibi ülkelerde bile nükleer santrallerin bulunması önemli ve anlamlıdır. Fukushima Daiichi nükleer felaketinden sonra dahi ülkeler, NGS inşa etmeye devam etmiştir. Denence 3'ü desteklemektedir. 2040 yılında dünyada nükleer enerji üretim payının %12 olacağı öngörülmektedir. Nükleer enerji kapasitesinin ise %60 artarak 624GW olacağı tahmin edilmektedir. Bu artış büyük oranda Çin, Hindistan, G.Kore ve Rusya tarafından gerçekleştirilecektir. 132 GW ile Çin'in gerçekleştireceği artış günümüzde Rusya ve ABD'nin toplamından fazla olacaktır. 2040'a kadar 380 GW ilaveye karşın 148 GW hizmetten çıkarılacaktır. Bertaraf maliyetlerinin 100 milyar dolardan fazla olacağı tahmin edilmektedir. Denence 4'ü desteklemektedir.

Öneri 2. Dünyada 2035 yılında elektrik enerjisi üretiminde kurulu güç olarak nükleer santrallerde yüzde 58 oranında artış beklenmesi nedeniyle ülkemizde ekonomik etki analizi yapılmalıdır.

*Bulgu 3.* Enerji tercihinde kapasite faktörü önemli bir etkidir. Bakım dönemleri çıkarılırsa, yıl içinde hidrolik santralleri ortalama 4000 saat, rüzgarda ortalama 3000 saat, güneşte ortalama 2500 saat elektrik üretilebilecekken bu rakam nükleer santralde yaklaşık 8000 saat gibi oldukça yüksektir. Nükleer santrallerin kapasite faktörü %90.1 ve üzeridir. Bu oran doğalgaz için %47.8, kömürde %60.9 ve rüzgarda %33.9 düzeyindedir. Denence 2'yi desteklemektedir. Türkiye'nin enerji kaynakları yüksek oranda ithalata bağımlı ve düşük kullanım potansiyeline sahip iken yıllık olarak ortalama % 5,4 oranında olan elektrik tüketim talebimiz devamlı yükselmektedir. Bu ihtiyacın karşılanması amacıyla Türkiye'nin kurulu gücüne yıllık 4000-5000 MWe ilave yapılması gerekmektedir. 2015 yılında elektrik enerjisi tüketimi yaklaşık 264 milyar kWh olarak gerçekleşmiş olup ülkemizin kuruluşunun yüzüncü yılında tüketim seviyesinin 414-440 milyar kWh'a çıkması tahmin edilmektedir. Fakat, 2023 yılına ait hedeflere yenilenebilir enerjide ulaşıldığında bile öngörülen elektrik tüketim talebinin ancak yarısını karşılayabilecektir. Denence 1'i desteklemektedir. Türkiye'nin uzun

dönem talep projeksiyonlarının sağlam yapılması gerekmektedir. Vizyon 2023 için öngörülen enerji tüketim talebi 500 milyar kWh olarak öngörülmüş, ancak tarafımızdan yapılan çalışmada azalarak arttığı öngörülmüş ve bu durum 414-440 milyar kWh olarak ETKB tarafından da düzeltilmiştir. Bu fark, en az 8 reaktörlü iki nükleer santral kapasitesine denk gelmektedir.

Öneri 3. Türkiye’de 2023 yılı enerji projeksiyonları diğer ülkelerle mukayese edildiğinde oldukça kısa dönemlidir; projeksiyonlar ABD’de 2040, Rusya’da 2100, Japonya’da 2080, İngiltere’de 2050, G.Kore’de 2030 gibi yıllara odaklanmıştır. Türkiye petrolde bilinen rezervlerin tahmini tükenme sürelerini de göz önüne alarak 2060 yılı öngörüsünü yapmalıdır.

*Bulgu 4.* Nükleer santraller, sadece elektrik üretim tesisleri değil aynı zamanda diğer sektörler kazandıracakları dinamizm ve istihdam olanaklarıyla yerel sanayinin ve teknoloji düzeyinin gelişmesi yoluyla önemli derecede katma değer sağlayacak, çoğaltan etkisi gösterecektir. Türkiye’de 1MWe başına istihdam parametresi 0,8 olarak öngörülmüştür. 23 nükleer santraldeki 41 reaktör için yapılan analiz nükleer santraller için harcanan her \$’ın yerel ekonomide 1,04 \$, eyalet ekonomisinde 1,18 \$ ve ABD ekonomisinde 1,87 \$ yaratılmasına yol açtığını göstermektedir. Ücretlerin ise yerel ortalamanın %36 oranında yukarıda olduğu sonucuna varılmıştır. ABD’de nükleer santrallerde inşa aşamasında 3,500 kişi ve işletme esnasında 400 ile 700 kişilik istihdam yaratılmaktadır. 1000 MWe gücünde yeni bir santral için bu sayı kömür santrallerinde 190, rüzgar ve doğalgaz santrallerinde 50 kişidir. Ayrıca, 22.500’den fazla firma ABD nükleer endüstrisine her yıl 14,2 milyar \$’lık mal ve hizmet sağlamaktadır. Denence 2’yi desteklemektedir.

Öneri 4. Uluslararası anlaşmalarla yerli üretimin teşvik edilmesine ilişkin sanayi kapasitesi de göz önünde bulundurularak offset yükümlülüğü konulmalı, yerleştirilecek ekipmanlarda katma değeri yüksek üretim analizleri yapılmalıdır.

*Bulgu 5.* Dünyada yüzölçümü, nüfusu ve askeri gücü fazla olan ülkelerin nükleer enerjiden faydalanmakta ve nükleer enerji elde etme gayreti içinde olduğu görülmektedir. Dünyada turizm geliri yüksek ve yüksek tarım ihracatı yapan ülkeler nükleer enerjiden faydalanmaktadır. Turizm gelirleri yüksek olan birçok ülkede nükleer reaktörler turizm merkezlerine Akkuyu’dan yakın olduğundan Türkiye’de bu mesafe makul düzeydedir. 2008 yılında 42,8 milyar \$ tarımsal ürün ihracatında en fazla nükleer

santrale (99) sahip olan ABD ilk sırada yer alırken ve elektrik üretiminde nükleer enerjinin payı en fazla olan (%76,9) Fransa ise ikinci sıradaki ülkedir. Denence 5'i desteklemektedir. Nükleer enerji kullanan ve kişi başına enerji tüketimi yüksek olan ülkelerin İnsani Kalkınmışlık Endeksi'nin de yüksek olduğu görülmektedir.

*Öneri 5.* Sosyal kaygılar boyutunda yapılan risk değerlendirmeleri neticesinde dahi Türkiye nükleer enerjiyi üretim portföyüne en kısa zamanda dahil etmelidir.

*Bulgu 6.* Ülkemizde elektrik üretimi için doğal gaz kullanımında çok yüksek düzeylere ulaşılması önemli bir risk taşıdığından, doğal gazdan elektrik üretimindeki kaynak ülkelerin çeşitlendirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Elektrik enerjisi üretiminde ithal/dış bir kaynağın ilk sıraya yerleşmesinin yüksek riskleri ve çeşitli sakıncaları vardır. Ayrıca, doğal gaz depolama kapasitesinin artırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Rusya'da doğal gazın payı elektrik enerjisi üretiminde % 40'ın altındadır. Temel güç üretiminde çeşitlilik sağlanması yoluyla arz güvenliği tesis edilecekse, termik santrallerin yanında nükleer enerji santrallerini işletmeye almaktan başka rasyonel bir seçenek günümüzde mümkün gözükmemektedir. NGS'ler güvenli- çevreci - güvenilir - rekabetçidir. Çevreci ve güvenli olmayan elektrik enerjisi üretim seçeneği prensipte düşünülmemelidir. Denence 1'i desteklemektedir.

*Öneri 6.* Alternatif kaynak ülkeler titizlikle araştırılmalı, yurt dışında ve yurtiçinde aktif petrol ve doğal gaz aramaları ve işletme yapacak Türk şirketleri teşvik edilmelidir. Girdi maliyetlerinin yüksekliği ve teknolojik kısıtlar, işlenmemiş cevher ihracatının katma değeri düşük olacak şekilde yapılmasına yol açmaktadır. Daha fazla geri dönüşüm sağlamak için şirketlerin kapasitesi geliştirilmeli ve uluslararası standartta hammadde firmalarının sayısı artırılmalıdır.

*Bulgu 7.* Türkiye'nin nükleer enerji üretme kabiliyeti yoktur. Bu ekseninde nükleer yakıt işleme santrali de yoktur. Bertaraf ve yeniden işleme hususları enerji arz güvenliği kapsamında değerlendirilmelidir. G.Kore nükleer enerji kullanmaya başladıktan itibaren fon oluşturmuştur. Denence 2'yi desteklemektedir.

*Öneri 7.* Kritik teknolojiler için kritik hammaddeler belirlenmelidir. Yerel teknoloji geliştirilmeli (ithal ikame) sonrasında ihracata yönlendirilmelidir. Vizyon 2023 hedefinde yapımı planlanan uçak gemisi nükleer güç reaktörüne sahip olacak şekilde imal edilmelidir. Petrolün bitiş süresi göz önüne alındığında nükleer itki sistemlerinin geleceği mercek altına alınmalıdır. İhtiyaç duyulacağı öngörülen nükleer

reaktör ve nükleer itki sistemleri için gerekli yakıt miktarına cevap verecek sayıda santrale sahip olunduğunda enerji güvenliği bakımından Nükleer Yakıt çevrim santrali kurulmalı ve/veya bertaraf seçeneği önceden planlanmalıdır. Bertaraf seçeneğinde G.Kore’de olduğu gibi Fon biriktirme yoluna gidilmelidir.

*Bulgu 8.* Japonya’da 2011 Nisan ayından 2014 Mart ayına kadar toplam ticaret açığı 23.25 trilyon ¥ (227 milyar dolar) olarak gerçekleşmiştir. Yakıt ithalatının maliyeti yılda 3.8 ile 4.0 trilyon ¥ (40 milyar dolar) olarak gerçekleşmiştir. Denence 4’ü desteklemektedir. Dünyada nükleer enerji üretiminde uluslararası şirket birleşmelerine gidildiği görülmektedir. ABD için nükleer endüstride ölçek ekonomileri, ve petrolde endüstri içi ticaret görülmektedir. Nükleer endüstride, teknoloji açığı, ürün dönemleri ve nitelikli işgücü teorileri geçerliliğini korumaktadır. Dünyada ilk kez Yap-Sahip Ol-İşlet modeliyle 1200 MWe güçlerinde Akkuyu’da VVER 1200 tipi 4 reaktörlü nükleer santral yapımı için IGA imzalanmıştır.

*Öneri 8.* Enerji ve madencilik alanında güçlü ve deneyimli uluslararası etkinlikte milli şirketlerin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Büyük projelerde (savunma sanayinde Joint Strike Fighter projesinde) olduğu gibi uluslararası konsorsiyumla nükleer projelere (Horowitz Research reaktörü gibi) dahil olunmalı ve teknoloji transferi sağlanmalıdır. Demir çelik sektörü nükleer enerji santralleri için Japonya örneğinde olduğu tali yatırımların odağı haline getirilmelidir. Türk firmalarının uzun vadede nükleer santral projelerinde tedarikçi olabilmeleri amacıyla mevcut kabiliyetler bakımından bilgi, teknoloji, sanayi, kalite ve işgücü düzeyleri çok iyi şekilde tahlil edilmeli, hangi koşullarda ve seviyede Akkuyu NGS projesinde yer alarak tecrübe kazanacakları çok iyi (gerçekçi) şekilde belirlenmelidir. Bilgi ve teknoloji üretimde tekrarları önlemek ve yeterli düzeyde olmayan Kamu – üniversite – araştırma kuruluşlarının ve sanayi sektörünün katılımıyla kritik teknolojiler belirlemek politika geliştirme sürecine dahil edilmeli ve makul sürede hayata geçirilmelidir. Sinop ve Akkuyu’da nükleer teknoloji bölümüne sahip Teknik ve Anadolu Meslek Lisesi ile yüksekokul açılmalıdır. Bu kapsamda eğitim merkezleri kurulmalıdır.

*Bulgu 9.* Küresel ısınma ve Kyoto Protokolü çerçevesinde; nükleer enerji ucuz ve temizdir. ABD’de nükleer enerji üretim maliyeti kömür ve doğal gazla mukayese edildiğinde sırasıyla nükleerde 2,40 cent/kWh, kömürde 3,27 cent /kWh ve doğal gazda 3,40 cent /kWh şeklindedir. Nükleer santrallerin ABD’de 1971 yılından beri 56 Gt CO<sub>2</sub>

salımını engellediği öngörülmektedir. 1000 MWe gücünde bir nükleer santral yılda yaklaşık 20 ton atık üretmektedir. Bir adet uranyum peletinden elde edilen enerji, 1 ton kömür ve 17,000 feet<sup>3</sup> doğalgazdan elde edilen enerjiye denk gelmektedir. ABD’de KNY 74.258 ton olup kapladığı alan 8 yarda derinliğinde bir futbol sahası büyüklüğündedir. Nükleer güç santralleri ABD için 2014 yılında 595 milyon ton CO<sub>2</sub> salımını engellemiştir. Bu rakam 135 milyon otomobil CO<sub>2</sub> salım miktarına eşittir. Denence 5’i desteklemektedir.

*Öneri 9.* Ülkemizde nükleer enerji ve/veya teknoloji edinme aşamasında uluslararası standartlara göre güçlü ve bağımsız bir denetim kurumu tarafından denetim ve değerlendirme yapılmalıdır. Madenlerde/santrallerde iş sağlığı ve güvenliğinin artırılmasına yönelik uluslararası standartlarda etkin denetim mekanizmaları hayata geçirilmelidir.

*Bulgu 10.* Türkiye enerji kaynakları bakımından önemli bir coğrafi konuma sahiptir.

*Öneri 10.* Avrupa ile bilinen petrol ve doğal gaz rezervlerinin  $\frac{3}{4}$ ’üne sahip bölge ülkeleri arasında konumlanan Türkiye, jeo-stratejik doğal bir enerji köprüsüdür. Doğu-Batı / Kuzey-Güney enerji hatlarındaki konumu nedeniyle Türkiye, enerji merkezi olarak küresel ve bölgesel rol oynamalıdır.

*Bulgu 11.* Halihazırda enerji sistemine aktarılamamış oldukça yüksek bir enerji verimliliği potansiyelinin değerlendirilebilmesi maksadıyla, teknik ve finansal desteğin artırılması gerekmektedir. Elektrik enerjisi dağıtımında kayıp kaçak oranı %17 düzeyinde çok yüksek olarak seyretmektedir.

*Öneri 11.* Elektrik enerjisi dağıtımında kayıp kaçak oranının kabul edilebilir seviyeye düşürülmesi sağlanmalıdır. Enerji üretiminde geri dönüşüm hızları dikkatli değerlendirilmelidir.

#### 4.2. Genel Sonuç

Dünyada nükleer enerji kullanımı giderek yaygınlaşmakta ve artmaktadır. Önümüzdeki on yıl içinde elektrik talebindeki hızlı artış, nükleer enerjiye olan talebin güçlü olmaya devam edeceğini öngörmektedir. Vizyon 2023 amaçlarını gerçekleştirmek için Türkiye’de nükleer enerji kullanılması zorunluluktur. 2015 den 2040’a kadar dünya enerji sektörü yatırımları toplamının 68 trilyon \$ olacağı öngörülmektedir 2030 yılına kadar Nükleer Enerji piyasası toplam hacminin ise 2 trilyon \$ olacağı öngörülmektedir. Ayrıca, nükleer itki sistemleri araştırmacılar için önemli bir alan olarak değerlendirilmektedir.

2003’den itibaren ekonomik kriz dönemleri dışında Türkiye’de elektrik talebindeki artış yıllık % 5,4 oranındadır. Bu eğilimin en az 2030 yılına kadar, bu yönde devam edeceği beklenmektedir.

ABD, Kanada, Rusya, Meksika ve İran gibi petrol / doğal gaz zengini ülkeler ile Çin ve Hindistan gibi akarsu ve kömür zengini ülkeler dahi elektrik üretim portföyüne nükleer enerjiyi dâhil etmişlerdir. Ayrıca, petrol rezervi bakımından dünyada beşinci, doğal gaz rezervleri bakımından dünyada dokuzuncu sırada yer alan Birleşik Arap Emirlikleri, ilk ünitenin yapımı devam etmekte olan dört ünite 5.600 MWe kurulu güç için Güney Kore ile bir sözleşme imzalamıştır.

Rusya’da 2009 yılında Federal Hedef Programı (FTP) çerçevesinde bir federal fonlama oluşturulmuştur. FTP çerçevesinde nükleer enerjiden elektrik üretiminin, toplam üretimde 2030 yılına dek %25-30, 2050 yılına dek % 45-50, yüzyılın sonunda %70-80 pay alması hedeflenmiştir. FTP programı 2030 yılına dek VVER teknolojisinin kullanımını içermektedir. Rusya ve Fransa gibi ülkeler araştırmacılar için model olarak cazip konumdadır.

Fukushima Daiichi nükleer felaketinden sonra dahi ülkeler, Nükleer Güç Santrali inşa etmeye devam etmiştir. Almanya, 17 NGS’den ömrünü tamamlamış 8 NGS’yi kapatmış ancak Fransa ve Çek Cumhuriyeti’nden elektrik ithal etmiştir. Fukushima nükleer felaketinden sonra kapattığı NGS’lerden dolayı ortaya çıkan elektrik enerjisi açığını telafi için Japonya her yıl yaklaşık 40 milyar dolar kaynak ithal etmiş ve sonuçta 17 NGS’yi açmak için süreci yeniden başlatmıştır. Fukushima’nın maliyeti 100 Milyar \$ tutarında olacaktır (Omoto, 2014).



Enerji üretmek için tek yakıt veya teknoloji yoktur. Her enerji üretim seçeneğinin negatif dışsallığı vardır. Tüketicilerin istediği miktarda ve zamanda elektrik enerjisine uygun ve maliyet etkin olarak sağlamak enerji kaynak çeşitliliği gerektirir.

Belirlenen yakıt fiyatlarına uygun olarak performanslarına ve talebe göre alternatif enerji teknolojileri önem taşımaktadır. En iyi bileşeni (optimum düzeyi) üretim portföyüne katmak enerji çeşitliliği ile mümkündür.

Ekonomik büyüme ile enerji tüketimi arasındaki ilişki enerji politika ve stratejilerinin oluşturulmasında büyük önem taşımaktadır. Milli gelir artışı, enerji talebine ve tüketimine yol açması nedeniyle enerji sektörü üzerinde etkili olurken, enerjideki darboğazlar ise ekonomik gelişme üzerinde olumsuz etkilere sebep olabilmektedir.

Elektrik enerjisi depolanamamaktadır. Bu özelliği nedeniyle bireylerin gelir düzeylerine bakılmaksızın enerji harcamaları zaruridir. Türkiye'nin son yıllarda artan nüfus, sosyo-ekonomik kalkınma alanında yaşanan gelişmelerin enerji tüketimini etkilemesi merkezinde yapılan arz ve talep projeksiyonları, artan enerji talebinin mevcut bilinen yerli kaynaklar ile karşılanamayacağını açık bir şekilde ortaya koymakta; İthal kaynaklara bağımlılığımız giderek artmaktadır. Bu nedenle enerji sektöründe temel strateji; güvenilir ve yeterli miktarda enerjiyi çevreyi korumaya yönelik önlemlerle beraber ekonomik büyüme ve sosyal gelişmeyi destekleyecek en ekonomik ve sürdürülebilir şekilde tüketime sunmaktır.

Risk kabul edilebilir ve kontrol altına alınırsa, nükleer enerji santralleri iyi tasarlanmış, iyi inşa edilmiş, iyi yapılandırılmış, iyi işletilebilir ve iyi bakımlanmış ise nükleer enerji sadece temiz değil, ama aynı zamanda, ucuz, emniyetli, güvenilir, dayanıklı ve rekabetçidir.

Enerjiyi kaliteli, temiz, sürdürülebilir ve ucuz olarak elde eden ülkeler, küresel ticaret ve kalkınmada öncü rol almışlardır. Kişi başına enerji kullanımı yüksek olan ülkelerin İnsani Kalkınmışlık Endekslerinin çok yüksek olduğu görülmektedir.

Türkiye için nükleer enerji bir seçenek değil gerekliliktir ve mümkün olan en kısa zamanda üçüncü ve dördüncü NGS projeleri başlatılmalı reaktör sayısı artış değerlendirilmesi tekrar çalışılmalıdır. Ülkemizde yapımı planlanan uçak gemisi için nükleer güç reaktörleri düşünülmelidir. Türkiye sosyal ve ekonomik olarak nükleer enerjiye ihtiyaç duymaktadır.

Özetle; Yenilenebilir enerji baz enerji olmadığından Türkiye nükleer teknolojiyi, transfer ederek ithal ikameci sanayileşme politikası ve stratejisiyle uzun vadede tasarım yapabilecek düzeyde millileştirmeli, nükleer hammadde rezervine zengin olarak sahip olduğu alanda reaktör tasarlayarak enerji elde etmeli ve enerjiyi ve teknolojiyi ihraç edecek seviyeye gelmelidir. Türkiye’de kişi başına elektrik enerjisi tüketimindeki % 1’lik bir artış kişi başına reel GSYH’yı % 0,82 artırmaktadır. Türkiye’nin 2023 hedefi doğrultusunda 19.511MWe ile büyüklüğüne ve teknolojisine bağlı olarak 16-19 adet nükleer santral ünitesine ihtiyacı vardır. Toryum yakıt çevrimi verimli olarak sağlandığında ise Yakıt/yeniden işleme teknolojisine ihtiyacı olacaktır. 2023 yılı için yakıt çevrim santrali ekonomik değildir. Ayrıca, petrolün bitiş süresi dikkate alındığında nükleer itki sistemleri büyük önem taşıyacaktır.

## KAYNAKÇA

### A

- Abe, Shinzo. *Japan restarts reactor in test of Abe's nuclear policy*, <http://www.reuters.com/article/us-japan-nuclear-restarts-idUSKCN0QF0YW20150811> (11.08.2015)
- AEC-Atomic Energy Commission, [www.aec.jst.go.jp](http://www.aec.jst.go.jp)
- AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı,  
[www.deprem.gov.tr/sarbis/Shared/DepremHaritalari.aspx](http://www.deprem.gov.tr/sarbis/Shared/DepremHaritalari.aspx)
- Akbaş, Y. E., & Şentürk, M. (2013). MENA Ülkelerinde Elektrik Tüketimi ile Ekonomik Büyüme Arasındaki Karşılıklı İlişkinin Analizi. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 45-67. [http://uvt.ulakbim.gov.tr/uvt/index.php?cwid=9&vtadi=TSOS&c=iparadigms&ano=171589\\_3eced65cda1846f2cf4ee83284f69414](http://uvt.ulakbim.gov.tr/uvt/index.php?cwid=9&vtadi=TSOS&c=iparadigms&ano=171589_3eced65cda1846f2cf4ee83284f69414)
- Akbulut, G. (2008). Küresel Değişimler Bağlamında Dünya Enerji Kaynakları, Sorunlar ve Türkiye. *C.Ü. Sosyal Bilimler Dergisi Cilt : 32*, 117-137.
- Akkuyu Nükleer AŞ, *Nükleer santrale karşı lobi faaliyetleri iddiası*. <http://www.akkunpp.com/nukleer-santrale-karsi-lobi-faaliyetleri-iddiası>. (29.12.2013)
- ANDRA-Agence Nationale pour la Gestion des Déchets Radioactifs, [www.andra.fr/](http://www.andra.fr/)
- AREVA NC, [www.areva-nc.com](http://www.areva-nc.com)
- AREVA NP, [www.areva-np.com](http://www.areva-np.com)
- AREVA SA, [www.arevagroup.com](http://www.arevagroup.com)
- ASN-Autorité de Sûreté Nucléaire, [www.asn.gouv.fr/](http://www.asn.gouv.fr/)
- Apergis, N., & Payne, J. E. (2010). A panel study of nuclear energy consumption and economic growth. *Energy Economics* , 32 (3), 545-549.
- Apergis, N., Payne, J. E., Menyah, K., & Wolde-Rufael, Y. (2010). On the causal dynamics between emissions, nuclear energy, renewable energy, and economic growth. *Ecological Economics* , 69 (11), 2255-2260.
- Aydın, F.F.(2010). “Energy Consumption And Economic Growth”, *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi* (35), 317-340.
- Ayres, R. U. (2010). *The economic growth engine: how energy and work drive material prosperity*. Edward Elgar Publishing.

## B

- Barkatullah, N. (2016). *Major Risks to be Considered in Financial Risk Management of Nuclear Power Projects?* [http://www.nuclearbusiness-platform.com/asia/wp-content/uploads/2016/05/Session-2\\_Nadira-Barkatullah.pdf](http://www.nuclearbusiness-platform.com/asia/wp-content/uploads/2016/05/Session-2_Nadira-Barkatullah.pdf)
- Başdemir, M., & Çelikpala, M. (2010). Türkiye'de petrol ve doğal gaz boru hatlarının güvenliği: Uygulanan politikalar ve öneriler. *Stratejik Araştırmalar*, 8(14 ), 97-128.
- Baumier, J., Bertel, E., & Charles, J. (1986). Nuclear energy economics.
- Beniston, M. (2011). "Advances In Global Change Research". Cenevre: Springer. <http://link.springer.com/bookseries/5588>
- BKK-Bakanlar Kurulu Kararı. (2012). *2013 Programı: Makroekonomik Amaç ve Politikaları*. <http://ymm.net/pdf/2013PROGRAMI.pdf>
- Bodansky, D. (2007). Nuclear energy: principles, practices, and prospects. Springer.
- Boyarkin, S. (2014). Today and Future Russian Nuclear Technology. Istanbul.
- Brazilian Ministry of Mines and Energy. (2012). *Brazilian Energy Balance of the Ministry of Mines and Energy and 2012 Statistical Yearbook of Electric Energy of the Ministry of Mines and Energy*.
- BP-British Petroleum. (2015). *BP Statistical Review of World Energy*. 64th edition. [www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2015/bp-statistical-review-of-world-energy-2015-full-report.pdf](http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2015/bp-statistical-review-of-world-energy-2015-full-report.pdf)
- BTİM-Bölgesel Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi. (2015). *Türkiye ve Tsunami Riski*. Bölgesel Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi: BTİM, "Türkiye ve Tsunami Riski", [www.koeri.boun.edu.tr/tsunami/Turkiye\\_ve\\_Tsunami\\_Riski.html](http://www.koeri.boun.edu.tr/tsunami/Turkiye_ve_Tsunami_Riski.html)

## C

- Chontanawat, J., Hunt, L. C., & Pierse, R. (2008). Does energy consumption cause economic growth?: Evidence from a systematic study of over 100 countries. *Journal of Policy Modeling*, 30 (2), 209-220.
- Cognet, G. (2014). *French Expertise and Developments in Nuclear Energy*. İstanbul:INPPS.
- Census Bureau, U.S. *Population Division*. <http://www.census.gov/>
- CGDD-Commissariat général au Développement Durable. [http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/spipwwwmedad/pdf/Commissariat\\_general\\_au\\_Developpement\\_durable\\_cle2e4f45.pdf](http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/spipwwwmedad/pdf/Commissariat_general_au_Developpement_durable_cle2e4f45.pdf)
- CRU Strategies. <http://www.bnamericas.com/company-profile/en/cru-strategies-ltd-cru-strategies>

China Atomic Energy Authority (CAEA), [www.caea.gov.cn/english/](http://www.caea.gov.cn/english/)  
CEA-Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, [www.cea.fr/](http://www.cea.fr/)

## D

DAKA-Doğu Anadolu Kalkınma Ajansı.  
[www.daka.org.tr/panel/files/belgeler/planlama/enerji\\_sektoru.pdf](http://www.daka.org.tr/panel/files/belgeler/planlama/enerji_sektoru.pdf)

Dışişleri Bakanlığı, *T.C. Türkiye'nin Enerji Profili ve Stratejisi*.  
<[http://www.mfa.gov.tr/turkiye\\_nin-enerji-stratejisi.tr.mfa](http://www.mfa.gov.tr/turkiye_nin-enerji-stratejisi.tr.mfa)> (03.03.2016)

Dilaver, Z., & Hunt, L. C. (2011). Turkish aggregate electricity demand: an outlook to 2020. *Energy*, 36(11), 6686-6696.

Deutch, J., Moniz, E., Ansolabehere, S., Driscoll, M., Gray, P., Holdren, J., ... & Todreas, N. (2003, 07 29). The future of nuclear power. an MIT Interdisciplinary Study.<http://web.mit.edu/nuclearpower> (22.12. 2014)

Dods, H. (2014). *Energy Choices and Consequences*. İstanbul.

DSİ-Devlet Su İşleri. [www.dsi.gov.tr](http://www.dsi.gov.tr)

Dunn, C. (2014). [http://www.gov.cn/gjgg/2005-08/28/content\\_27083.htm](http://www.gov.cn/gjgg/2005-08/28/content_27083.htm)

Duke Energy, [www.duke-energy.com](http://www.duke-energy.com)

DGEC-Direction Générale de l'Energie et du Climat, [www.developpement-durable.gouv.fr/](http://www.developpement-durable.gouv.fr/)

## E

EDF-Electricité de Fransa, [www.edf.fr/](http://www.edf.fr/)

EIA-US Energy Information Administration. [www.eia.gov](http://www.eia.gov)

EIA. Annual Energy Outlook 2013 Early Release

EIA. Form EIA-860, *Annual Electric Generator Report*.

EIA. Form EIA-923, *Power Plant Operations Report*.

EIA. (2013). *Uranium Marketing Annual Report*.  
<http://www.eia.gov/uranium/marketing/> (25.04.2016)

EIA. (2013), <[www.eia.gov/reports/](http://www.eia.gov/reports/)>(25.04.2016)  
, <[www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=23592](http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=23592)> (25.04.2016)  
, <<http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=1049>>  
, <[http://www.eia.gov/forecasts/aeo/er/pdf/electricity\\_generation.pdf](http://www.eia.gov/forecasts/aeo/er/pdf/electricity_generation.pdf)>  
, <[www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=22132](http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=22132)>

EIA. (2015). <http://www.eia.gov/cabs/Japonya/pdf.pdf>

EIA. (2016). *Monthly Energy Review*. Washington: Department of Energy.

- EIA. (2016). *Monthly Energy Review*. EIA: [www.eia.gov/mer](http://www.eia.gov/mer)
- El-Wakil, M.M. (1971). *Nuclear Energy Conversion*.
- Energy Gov, (2013), < <http://energy.gov/downloads/strategy-management-and-disposal-used-nuclear-fuel-and-high-level-radioactive-waste>> (21.06.2015)
- En Büyük Sorun: Nükleer Atık.  
[www.cmo.org.tr/yayin/rapor/rapornukleer.php?altm=nukleer](http://www.cmo.org.tr/yayin/rapor/rapornukleer.php?altm=nukleer)
- EPDK-Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (Energy Market Regulatory Authority).  
[www.epdk.gov.tr](http://www.epdk.gov.tr)
- Ergün, S., & Polat, M. A. (2015). OECD ülkelerinde CO2 emisyonu, elektrik tüketimi ve Büyüme İlişkisi. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 15-141.  
[http://uvt.ulakbim.gov.tr/uvt/index.php?cwid=9&vtadi=TSOS&c=iparadigms&ano=196356\\_84240449ad15054e39ba1a22fef14d55](http://uvt.ulakbim.gov.tr/uvt/index.php?cwid=9&vtadi=TSOS&c=iparadigms&ano=196356_84240449ad15054e39ba1a22fef14d55)
- Ergün, Ş. (2007). Türkiye Kazaların Çevresel ve Teknik Araştırması Ulusal Çalıştayı. Ankara.
- Ergün, Ş. (2014). Nükleer Santrallerin Güvenliği ve Kazalar. *ODTÜ'lüler Bülteni*, s. 38.
- Ergün, Ş., Kayrın, K. ve Duman, V. (2011). Fukushima Daiichi Santrali'nde Son Durum ve Radyolojik Sonuçlar, *EkoEnerji Dergisi*, Mayıs.
- Ertuğrul, H. M. (2011). Türkiye'de Elektrik Tüketimi Büyüme İlişkisi: Dinamik Analiz. *Enerji, Piyasa ve Düzenleme*, 49-73.
- Eşiyok, B. (2004). *Türkiye Ekonomisinde Kalkınma Stratejileri ve Sanayileşme*. Türkiye Kalkınma Bankası: [http://www.tkb.com.tr/data/file/raporlar/ESA/GA/2004-GA/GA-04-02-09\\_Turkiyede\\_Kalkinma\\_Stratejileri\\_ve\\_Sanayilesme.pdf](http://www.tkb.com.tr/data/file/raporlar/ESA/GA/2004-GA/GA-04-02-09_Turkiyede_Kalkinma_Stratejileri_ve_Sanayilesme.pdf)
- ETKB-T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. [www.enerji.gov.tr](http://www.enerji.gov.tr)
- ETKB. *Türkiye'de Nükleer Enerji*. <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Anasayfa> (22.12.2014)
- ETKB. *2015–2019 Stratejik Planı*. <http://sp.enerji.gov.tr/sp-2015-2019.html>
- ETKB.[http://www.enerji-dunyasi.com/yayin/0/etkb-2015-2019-stratejik-plani\\_6869.html](http://www.enerji-dunyasi.com/yayin/0/etkb-2015-2019-stratejik-plani_6869.html) (12.03.2016)
- ETKB. <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Yerli-Sanayi-Katilimi> (14.03.2016)
- ETKB. [http://www.enerji.gov.tr/tr/inc\\_nukleerenerji.php](http://www.enerji.gov.tr/tr/inc_nukleerenerji.php) (16.06.2014)
- Europe. [www.edf.fr/html/en/decouvertes/voyage/barrage/d11m/d11m-01.html](http://www.edf.fr/html/en/decouvertes/voyage/barrage/d11m/d11m-01.html) EÜAŞ- Elektrik Üretim A.Ş. [www.euas.gov.tr](http://www.euas.gov.tr)

EÜAŞ. *Kurulu Güç ve Üretim*.

<http://www.euas.gov.tr/Sayfalar/KuruluGucveUretim.aspx> (22.12. 2014)

EÜAŞ. (2008). *Elektrik Üretim Sektör Raporu*.

EÜAŞ. <http://www.euas.gov.tr/Sayfalar/HaberDetay.aspx?rid=263&lst=HaberlerListesi>  
(30.08.2013)

EÜAŞ. (2014). <http://www.euas.gov.tr/Sayfalar/Kurulu-G%C3%BC%C3%A7-ve-%C3%9Cretim2.aspx?did=22>

EÜAŞ. [http://topraksuenerji.org/kutuphane/EUAS\\_Sektor\\_Raporu\\_2008.pdf](http://topraksuenerji.org/kutuphane/EUAS_Sektor_Raporu_2008.pdf)  
(24.08.2012)

EÜAŞ, <http://www.euas.gov.tr/Sayfalar/Kurulu-G%C3%BC%C3%A7-ve-%C3%9Cretim2.aspx?did=22>

## F

FSSS-Federal State Statistic Service, Russia.

[http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/en/main/](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/en/main/)

Fei, L., Xue, S., Liang, L., Yang, Q., & Wangzhou. (2011). Energy consumption-economic growth relationship and carbon dioxide emissions in China. *Energy Policy* , 39 (2), 568-574.

## G

GE Nuclear Energy, [www.gepower.com/home/index.htm](http://www.gepower.com/home/index.htm)

GFP-Global Fire Power. (2015). Global Fire Power: [www.globalfirepower.com/](http://www.globalfirepower.com/)

Global H2 Energy Group. *Unlocking the Global Potential*.

<http://www.slideshare.net/energytechnologies/global-h2-energy-group-ct> (22.04.2016)

## H

Hacettepe Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü, [www.nukbilimler.hacettepe.edu.tr](http://www.nukbilimler.hacettepe.edu.tr)

[https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_companies\\_in\\_the\\_nuclear\\_sector](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_companies_in_the_nuclear_sector)

<http://slideplayer.biz.tr/slide/3632020/> (11.03.2016)

<http://world-nuclear.org/info/inf06.html> (27.06.2015)

<http://www.dpt.gov.tr/dptweb/ekutup96/o487/o487-oku.html>

<http://www.dtm.gov.tr/dtmweb/index.cfm?action=detayrk&yayininid=995&icerikid=1103>

[http://www.engineers.getintoenergy.com/engineer\\_nuclear.php](http://www.engineers.getintoenergy.com/engineer_nuclear.php)

<http://www.euractiv.com/en/energy/coal-clean-energy-source-future/article>  
<http://www.globalenerji.com.tr/hab-23000201-4,31@2300.html>  
<http://www.globalresearch.ca/in-the-wake-of-fukushima-japans-energy-policy-impasse/5376899>  
<http://www.icold-cigb.org/>  
<http://www.mapsofworld.com/world-top-ten/world-top-ten-agricultural-exporters-map.html>  
<http://www.radiationworks.com/nuclearships.htm>  
[http://www.rosatom.ru/en/about/nuclear\\_industry/Industry\\_structure/](http://www.rosatom.ru/en/about/nuclear_industry/Industry_structure/)  
[http://www.sce.com/NR/rdonlyres/A050B788-F86C-448A-9A66-8FABD9F302B4/0/NuclearEnergy\\_process.jpg](http://www.sce.com/NR/rdonlyres/A050B788-F86C-448A-9A66-8FABD9F302B4/0/NuclearEnergy_process.jpg)  
[http://www.taek.gov.tr/bilgi/bilgi\\_maddeler/gorusler.html](http://www.taek.gov.tr/bilgi/bilgi_maddeler/gorusler.html)  
[http://www.taek.gov.tr/bilgi/yakit/toryum/toryum\\_bilgi.html](http://www.taek.gov.tr/bilgi/yakit/toryum/toryum_bilgi.html)  
<http://www.taek.gov.tr/component/content/article/128-isinlama-teknolojisi/443-gida-isinlama-teknolojisi-nedir-.html>  
<http://www.ulkeler.net/>  
<http://www.uraniumresources.com/>  
<http://www.westinghouse.org.us>  
<http://www.westinghousenuclear.com/New-Plants/Small-Modular-Reactor>  
<http://www.world-nuclear.org/info/Economic-Aspects/Economics-of-Nuclear-Power>  
<http://www.world-nuclear.org/information-library/economic-aspects/economics-of-nuclear-power.aspx>  
<http://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/uranium-resources/uranium-markets.aspx>

## I

IAEA-International Atomic Energy Agency, [www.iaea.org](http://www.iaea.org)  
 IAEA. (2006). *Nuclear Power and Sustainable Development*.  
 IAEA. (2009). *Energy and Economic Databank*.  
 IAEA. (2014). *Fukushima Daiichi Status Updates*.  
<http://www.iaea.org/newscenter/focus/fukushima/status-update> (22.12.2014)  
 IAEA. (2014). *Operational & Long-Term Shutdown Reactors*.  
<http://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalReactorsByCountry.aspx>  
 (12.12.2014)



IAEA.(2014).[www.pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/CNPP2014CD/pages/index.htm](http://www.pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/CNPP2014CD/pages/index.htm)

IAEA.(2014).  
<http://pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/cnpp2014cd/countryprofiles/Turkey/Turkey.htm>

IAEA,  
<https://cnpp.iaea.org/countryprofiles/UnitedStatesofAmerica/UnitedStatesofAmerica.htm> (22.03.2016)

IAEA,  
[http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/CNPP2011\\_CD/pages/countryprofiles.htm](http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/CNPP2011_CD/pages/countryprofiles.htm) (08.02.2015)

IAEA,[http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/CNPP2011\\_CD/countryprofiles/Japan/Japan2011.htm](http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/CNPP2011_CD/countryprofiles/Japan/Japan2011.htm)

IAEA, <https://cnpp.iaea.org/countryprofiles/Russia/Russia.htm>IAEA. (2015).  
[http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/CNPP2015\\_CD/countryprofiles/countryprofiles.htm](http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/CNPP2015_CD/countryprofiles/countryprofiles.htm)

IAEA, <http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/Pess/index.html>

IAEA, <https://cnpp.iaea.org/countryprofiles/KoreaRepublicof/KoreaRepublicof.htm>

IAEA, <https://cnpp.iaea.org/countryprofiles/Canada/Canada.htm>

IAEA, <https://cnpp.iaea.org/countryprofiles/China/China.htm>

IAEA, <https://cnpp.iaea.org/countryprofiles/UnitedKingdom/UnitedKingdom.htm>

IAEA, <https://cnpp.iaea.org/countryprofiles/Germany/Germany.htm>

IAEA, <https://cnpp.iaea.org/countryprofiles/Argentina/Argentina.htm>

IAEA, [http://wds.iaea.org/wds/pdf/IEA\\_RDD\\_Factsheet\\_2015.pdf](http://wds.iaea.org/wds/pdf/IEA_RDD_Factsheet_2015.pdf)

IAEA, <http://www.iaea.org/programmes/a2/index.html>

IAEA, <https://cnpp.iaea.org/countryprofiles/France/France.htm>

IEA-International Energy Agency, [www.iea.org](http://www.iea.org)

IEA. (2003). Energy to 2050: Scenarios for a Sustainable Future, Paris, Fransa.

IEA. (2014). World Energy Outlook. <http://www.worldenergyoutlook.org/>(22.12.2014)

INPPS-İstanbul Nuclear Power Plants Summit. (2014).  
[www.nukleersantrallerzirvesi.com/](http://www.nukleersantrallerzirvesi.com/)

IRSN-Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (Nuclear Safety and Radioprotection Institute), [www.irsn.fr/](http://www.irsn.fr/)

## I

İşeri, E., & Özen, C. (2012). Türkiye'de Sürdürülebilir Enerji Politikaları Kapsamında Nükleer Enerjinin Konumu. *İ.Ü. Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi* , 161-180. [http://uvt.ulakbim.gov.tr/uvt/index.php?cwid=9&vtadi=TSOS&c=iparadigms&ano=158150\\_406dc2ea758591cf2d5f2e400f656143](http://uvt.ulakbim.gov.tr/uvt/index.php?cwid=9&vtadi=TSOS&c=iparadigms&ano=158150_406dc2ea758591cf2d5f2e400f656143)

## J

JAEA-Japan Atomic Energy Agency. (2013). [www.jaea.go.jp](http://www.jaea.go.jp)

JAERI-Japan Atomic Energy Research Institute, [www.jaeri.go.jp](http://www.jaeri.go.jp)

JAIF-Japan Atomic Industrial Forum Inc., [www.jaif.or.jp](http://www.jaif.or.jp)

JAIF. (2014). *JAIF summary of 4th Strategic Energy Plan April 2014*.

JAPCO-Japan Atomic Power Co., Inc., [www.japc.co.jp](http://www.japc.co.jp)

JNC-Japan Nuclear Cycle Development Institute, [www.jnc.go.jp](http://www.jnc.go.jp)

JNES-Japan Nuclear Energy Safety Organization, [www.jnes.go.jp](http://www.jnes.go.jp)

J. C., Hunt, L. C., & Pierse, R. (2008). Does energy consumption cause economic growth?: Evidence from a systematic study of over 100 countries. *Journal of Policy Modeling* , 30 (2), 209-220.

Joskow, P. L., & Baughman, M. L. (1976). The future of the US nuclear energy industry. *The Bell Journal of Economics* , 3-32.

Joskow, P. L., & Parsons, J. E. (2009). The economic future of nuclear power. *Daedalus*, 138(4), 45-59.

JSC Atomenergoprom, [atomenergoprom.ru/en/nuclear/rus/](http://atomenergoprom.ru/en/nuclear/rus/)

## K

Kalkınma Bakanlığı,T.C. <http://www.kalkinma.gov.tr/>

Kaya, K. ve Koç, E. (2015). “Enerji Üretim Santralleri Maliyet Analizi,” Mühendis ve Makina, cilt 56, sayı 660, s. 61-68 <http://docplayer.biz.tr/5877207-Enerji-uretim-santralleri-maliyet-analizi.html> (22.02.2016)

Kınalı, M.Y. (2014). Global Nuclear Energy, İstanbul:INPPS.

KEPCO-Kansai Electric Power Co, [www.kepc.co.jp](http://www.kepc.co.jp)

KEPCO-Korea Electric Power Corporation, [www.kepcoco.co.kr/eng](http://www.kepcoco.co.kr/eng)  
KHNP-Korea Hydro & Nuclear Power Co, [www.khnp.co.kr](http://www.khnp.co.kr)  
Korea Energy Economics Institute, (2010),<http://www.kesis.net/>)  
Korea Meteorological Administration. [www.kma.go.kr](http://www.kma.go.kr))  
Korean Nuclear Society, [www.nuclear.or.kr](http://www.nuclear.or.kr)

## M

Magnox Limited, [www.magnoxsites.co.uk](http://www.magnoxsites.co.uk)

Mahadevan, R., & Asafu-Adjaye, J. (2007). Energy consumption, economic growth and prices: A reassessment using panel VECM for developed and developing countries. *Energy Policy* , 35 (4), 2481-2490.

MENR-Ministry of Energy and Natural Resources, [www.enerji.gov.tr/](http://www.enerji.gov.tr/)

METI- Ministry of Economy, Trade and Industry. [www.meti.go.jp](http://www.meti.go.jp)

METI-Ministry of Economy, Trade and Industry. (2016). *3R Policies*. METI:  
[http://www.meti.go.jp/english/policy/energy\\_environment/3r/index.html](http://www.meti.go.jp/english/policy/energy_environment/3r/index.html)

METI. (2004). *Nuclear Data*.

MEXT-Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology.  
[www.mext.go.jp](http://www.mext.go.jp)

MIT-Massachusetts Institute of Technology.(2009). *The Future of Nuclear Power* .  
<http://web.mit.edu/nuclearpower> (22.12. 2014)

MMO-Makine Mühendisleri Odası. Türkiye’de Termik Santraller.  
[http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya\\_ekler/a9393ba5ea45a12\\_ek.pdf](http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/a9393ba5ea45a12_ek.pdf)  
(02.03.2015)

MoW-Maps of World. (2008). *Top Ten Countries by Agricultural Exports*.  
<http://www.mapsofworld.com/world-top-ten/world-top-ten-agricultural-exporters-map.html> (22.12.2014)

MOTIE- Ministry of Trade, Industry and Energy, [www.motie.go.kr](http://www.motie.go.kr)

Moyner, G. (1987). Nuclear power economics.

MTA-Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. [www.mta.gov.tr](http://www.mta.gov.tr)

Mu Xuequan, Xinhua. (2006). *Dam construction costs to be returned within 10 years*.  
[www.gov.cn/english/2006-05/17/content\\_283262.htm](http://www.gov.cn/english/2006-05/17/content_283262.htm)

## N

- Nancy Slater-Thompson (2015). *Japan restarts first nuclear reactor under new safety rules*. EIA: <http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=22472>)
- Naser, H. (2015). Can Nuclear Energy Stimulates Economic Growth? Evidence from Highly Industrialised Countries. *International Journal of Energy Economics and Policy* , 164-173.
- Navarro, P. (1988). Comparative Energy Policy: The Economics of Nuclear Power in Japan and the United States. *The Energy Journal* , 9 (4), 1-15.
- Navy. (2016). *Aircraft Carriers*.  
[http://www.navy.mil/navydata/fact\\_display.asp?cid=4200&tid=200&ct=4](http://www.navy.mil/navydata/fact_display.asp?cid=4200&tid=200&ct=4)
- NEA-Nuclear Energy Agency. (2002). *Organisation for economic co-operation and development: nuclear energy and the Kyoto Protocol*.  
<http://www.nea.fr/html/ndd/reports/2002/nea3808-kyoto.pdf>2002.
- NEI-Nuclear Energy Institute. [www.nei.org/](http://www.nei.org/)
- NEI. (2014). *Why Nuclear Energy*. <http://www.nei.org/Why-Nuclear-Energy>
- NEI, <http://www.nei.org/Master-Document-Folder/Backgrounders/Fact-Sheets/Quick-Facts-Nuclear-Energy-In-America>
- NEPUD-Nükleer Enerji Proje Uygulama Dairesi Başkanlığı, [www.nukleer.gov.tr](http://www.nukleer.gov.tr).
- NEPUD. *Nükleer Enerji ve Türkiye*.  
[http://www.nukleer.gov.tr/files/yayinlarimiz/Nukleer\\_Enerji\\_ve\\_Turkiye.pdf](http://www.nukleer.gov.tr/files/yayinlarimiz/Nukleer_Enerji_ve_Turkiye.pdf)  
(15.12.2014)
- NEPUD. (2013). *Nuclear Power Program and NPP Projects in Turkey*.  
<http://www.nukleer.gov.tr/index.php/>
- NEPUD. (2012). *Nükleer Güç Santralleri ve Türkiye*. Ankara: Nükleer Enerji Proje Uygulama Daire Başkanlığı, Yayın No: 2.
- NEPUD. (2011). *Nükleer Santraller ve Ülkemizde Kurulacak Nükleer Santrale İlişkin Bilgiler*. Ankara: Nükleer Enerji Proje Uygulama Daire Başkanlığı, Yayın No: 1.  
[http://www.enerji.gov.tr/yayinlar\\_raporlar/Nukleer\\_Santraller\\_ve\\_Ulkemizde\\_Kurulacak\\_Nukleer\\_Santrale\\_Iliskin\\_Bilgiler.pdf](http://www.enerji.gov.tr/yayinlar_raporlar/Nukleer_Santraller_ve_Ulkemizde_Kurulacak_Nukleer_Santrale_Iliskin_Bilgiler.pdf) (09.06.2014)
- NSC-Nuclear Safety Commission. [www.nsc.go.jp](http://www.nsc.go.jp)
- Nükleer Atıkların Depolanması ABD'de Sorun Oluyor*. (2002).  
[www.voanews.com/turkish/archive/2002-03/a-2002-03-16-1-1.cfm](http://www.voanews.com/turkish/archive/2002-03/a-2002-03-16-1-1.cfm)
- Nuclear Decommissioning Authority, [www.nda.gov.uk](http://www.nda.gov.uk)

Nuclear Energy Agency of the OECD (NEA), [www.nea.fr/](http://www.nea.fr/)

Nuclear Engineering International Handbook 2011

*Nuclear Power Economics*. [www.world-nuclear.org](http://www.world-nuclear.org)

*Nükleer Enerji Dosyası*.(2006).

[www.alomaliye.com/ekonomi/nukleer\\_enerji\\_060506.html](http://www.alomaliye.com/ekonomi/nukleer_enerji_060506.html)

*Nükleer Enerji Ekonomisi*.

[www.taek.gov.tr/bilgi/elkitabi\\_brosur/brosurler/genel/3.html](http://www.taek.gov.tr/bilgi/elkitabi_brosur/brosurler/genel/3.html)

NükTe-Nükleer Teknoloji Bilgi Platformu. *Nükleer Gemiler*.[www.nukte.org/node/144](http://www.nukte.org/node/144)  
(01.12.2013)

## O

Obninsk Institute for Physics and Power Engineering, [www.ippe.obninsk.ru/](http://www.ippe.obninsk.ru/)

ODTÜ'lüler Bülteni, <http://78.187.137.50/bulten/240/haz2014.pdf> (21.10.2014)

OECD-Organization for Economic Co-operation and Development, [www.oecd.org/](http://www.oecd.org/)

OECD/IEA-NEA. (2010). *Projected Costs of Generating Electricity*

Omoto, A. (2014). *The Accident at TEPCO's Fukushima Daiichi NPS: Current Status and Changes Based on Lessons Learned*. İstanbul:INPPS

OSPAR Commission. (2016). *Protecting and Conserving The North-East Atlantic and Its Resources*. <http://www.ospar.org/>

## Ö

Özdemir, Ö. (2015). *Enerji Üretim Santrallar Maliyet Analizi*. <http://www.tuv-sud.com.tr/uploads/images/1442389240385922640268/3-oemer-oezdemir.pdf>

## P

Palmer, K. G. (2009). Energy Efficiency Economics and Policy. *Annual Review of Resource Economics* , 1 (1), 597-620.

Parsons, W. (2011). *White Paper on Nuclear Energy in Jordan "Final Report"*. <http://www.jaec.gov.jo/cms/uploadedfiles/c18cbcac-92e9-481b-a781-498ca0bf7e9c.pdf> (17.06.2015)

Payne, J. E., & Taylor, J. P. (2010). Nuclear energy consumption and economic growth in the US: an empirical note. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy* , 5 (3), 301-307.

PRIS-Power Reactor Information System. <https://www.iaea.org/pris/>

PRIS.[www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/10903/Nuclear-Power-Reactors-in-the-World-2015-Edition](http://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/10903/Nuclear-Power-Reactors-in-the-World-2015-Edition)

PRIS. <https://www.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/CountryStatisticsLandingPage.aspx>  
PRIS. <https://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalReactorsByCountry.aspx>  
PRIS. [www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/UnderConstructionReactorsByCountry.aspx](http://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/UnderConstructionReactorsByCountry.aspx)  
PRIS. [www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/ShutdownReactorsByCountry.aspx](http://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/ShutdownReactorsByCountry.aspx)  
PRIS. <https://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalReactorsByCountry.aspx>  
PRIS. [www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/NuclearShareofElectricityGeneration.aspx](http://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/NuclearShareofElectricityGeneration.aspx)  
PRIS. [www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/WorldTrendNuclearPowerCapacity.aspx](http://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/WorldTrendNuclearPowerCapacity.aspx)  
PSI-Paul Scherrer Institute. <https://www.psi.ch/>  
Portal, E. E. (2014). Energy Price Report. <https://www.energy.eu/> (22.12.2014)

## R

Rising, A. (2014). *Nuclear Outlook: A Global Perspective*. İstanbul:INPPS  
Rosatomenergo-Consortium of Rusyan Nuclear Power Plants, [www.rosatom.ru/](http://www.rosatom.ru/)

## S

Shahkarami, A.(2014).The Global New Nuclear Power Plant Expansion and Challenge, INPPS  
Schneider, M., Froggatt, A., Ayukawa, Y., Burnie, S., Piria, R., Thomas, S., & Hazemann, J. (2014). *The World Nuclear Industry Status Report 2014*. Paris, London, Washington: Heinrich Böll Stiftung.  
Stern, D. I. (1993). Energy and economic growth in the USA: a multivariate approach. *Energy Economics* , 15 (2), 137-150.

## T

TAEK-Türkiye Atom Enerjisi Kurumu.( Turkish Atomic Energy Authority)  
[www.taek.gov.tr](http://www.taek.gov.tr)  
TAEK. (2009). *Nükleer Enerji Nedir?*. <http://www.taek.gov.tr/nukleer-guvenlik/nukleer-enerji-ve-reaktorler/169-nukleer-enerji/457-nukleer-enerji-nedir.html>  
TAEK, (2009). *Nükleer Santrallara Lisans Verilmesi*.  
<http://taek.gov.tr/component/content/article/130-malzeme-teknolojisi/478-elektron-spin-rezonansesr-nedir-esr-sistemi-nelerden-olusur.html> ( 23.05.2013)  
TAEK. (2009). <http://www.taek.gov.tr/component/content/article/128-isinlama-teknolojisi/443-gida-isinlama-teknolojisi-nedir-.html> (11.06.2014)

- TAEK. (2011). <http://www.taek.gov.tr/bilgi-kosesi/kaza-ve-tehlike-durumu/115-kaza-ve-tehlike-durumu/297-uluslararası-nukleer-olay-olcegi-ines.html> (03.03.2011)
- TAEK. (2012). <http://taek.gov.tr/bilgi-kosesi/nukleer-enerji-ve-reaktorler/193-gunumuzde-nukleer-enerji-rapor/812-bolum-09-nukleer-enerji-ve-surdurulebilir-kalkinma.html> (23.04.2016)
- TAEK. (2014). *Nükleer Enerji ve Reaktörler*. <http://www.taek.gov.tr/nukleer-guvenlik/nukleer-enerji-ve-reaktorler.html> (22.12. 2014)
- TAEK. (2016). *Nükleer Enerji Nasıl Üretilir?*. <http://www.taek.gov.tr/component/content/archive.html> (02.2.2016)
- Takahashi, Hiroshi. Nuclear power economics. (1982).
- Tarjanne R. (2004) *The New Nuclear Power Plant In Finland* [http://www.lei.lt/\\_img/\\_up/File/atvir/nato\\_2004/presentations/Day\\_2/Tarjanne.pdf](http://www.lei.lt/_img/_up/File/atvir/nato_2004/presentations/Day_2/Tarjanne.pdf)
- TCMB-Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası, [www.tcmb.gov.tr/](http://www.tcmb.gov.tr/)
- TEDAŞ-Türkiye Elektrik Dağıtım AŞ. <http://www.tedas.gov.tr/>
- TEİAŞ-Türkiye Elektrik İletim AŞ. (Turkish Electricity Transmission Company) <http://www.teias.gov.tr/>
- TETAŞ-Türkiye Türk Elektrik Ticaret ve Taahhüt AŞ. (Turkish Electricity Trading and Contracting Company) <http://www.tetas.gov.tr/>
- The Japan Times. (2014). *Trade deficit grows to record ¥13.7 trillion*. <http://www.japantimes.co.jp/news/2014/04/21/business/economy-business/trade-deficit-grows-record-%C2%A513-7-trillion/>
- Thomas, S., Bradford, P., Froggatt, A., & Milborrow, D. (2007). The economics of nuclear power.
- Thomas, S.(2010). The Economics of Nuclear Power: An Update. *Heinrich Böll Stiftung Ecology*. Brussels. [http://boell.org/downloads/Thomas UK-web.pdf](http://boell.org/downloads/Thomas%20UK-web.pdf)
- Tokyo Electric Power Co., Inc. (TEPCO), [www.tepco.co.jp](http://www.tepco.co.jp)
- Tomoko, Sewada.(2014). METI, e-mail, Tokyo:Japan
- TPAO-Türk Petrolleri Anonim Ortaklığı. (2011). 2010 Yılı Ham Petrol ve Doğal Gaz Sektör Raporu. Ankara: TPAO.
- TRC-Thorium Report Committee. (2008). *Thorium as an Energy Source - Opportunities for Norway*. Oslo. , p.15
- Turkish State Meteorological Service. (2008). <http://www.mgm.gov.tr/en-us/about.aspx>

TUTEV. <http://www.tutev.org.tr/index.php/makale-ve-paneller/makaleler/621-nabuccoya-kim-gaz-verecek> (09.09.2010)

TÜBİTAK-Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu. <http://www.tubitak.gov.tr/>

TÜBİTAK. *Vizyon 2023*. [www.tubitak.gov.tr/tr/kurumsal/politikalar/icerik-vizyon-2023](http://www.tubitak.gov.tr/tr/kurumsal/politikalar/icerik-vizyon-2023) (22.12.2014)

TÜİK-Türkiye İstatistik Kurumu, [www.tuik.gov.tr/](http://www.tuik.gov.tr/)

TÜİK. (2007). İstatistik Bülteni, sayı:44, [www.tuik.gov.tr](http://www.tuik.gov.tr)

TÜİK, (2013), <http://www.tuik.gov.tr/HbPrint.do?id=16124> (24.03.2015)

TÜİK. [www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist](http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist)

Enerji Atlası. (2016). *Türkiye'de Elektrik Tüketimi*. <http://www.enerjiatlası.com/elektrik-tuketimi/> (20.01.2016)

Türkyılmaz, O. (2014). *Türkiyenin Enerji Görünümü ve Geleceği*. <http://esiad.org.tr/wp-content/uploads/2014/02/O%C4%9Fuz-T%C3%BCrky%C4%B1lmaz-T%C3%BCrkiyenin-Enerji-G%C3%B6r%C3%BCn%C3%BCm%C3%BC-ve-Gelece%C4%9Fi.pdf> (04.12.2015)

## U

UNDP-United Nations Development Programme. (2014). <http://www.undp.org/>

UNDP.(2015). *Sustainable Development Goals*. <http://www.undp.org/content/undp/en/home/sdgoverview/post-2015-development-agenda.html> (26.04.2016)

U.S. Department of Energy, [www.energy.gov](http://www.energy.gov)

Uzun, A., Emsen, Ö. S., Yalçıkaya, Ö., & Hüseyini, İ. (2013). Toplam Elektrik Üretimi ve Ekonomik Büyüme İlişkisi:Türkiye Örneği (1980-2010). *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 327-344. [http://uvt.ulakbim.gov.tr/uvt/index.php?cwid=9&vtadi=TSOS&c=iparadigms&ano=171589\\_3eced65cda1846f2cf4ee83284f69414](http://uvt.ulakbim.gov.tr/uvt/index.php?cwid=9&vtadi=TSOS&c=iparadigms&ano=171589_3eced65cda1846f2cf4ee83284f69414)

## W

WANO-World Association of Nuclear Operators, [www.wano-tc.or.jp](http://www.wano-tc.or.jp)

Warr, B. A. (2010). Energy use and economic development: A comparative analysis of useful work supply in Austria, Japan, the United Kingdom and the US during 100years of economic growth. *Ecological Economics* , 69 (10), 1904-1917.

Warr, B., Ayres, R., Eisenmenger, N., Krausmann, F., & Schandl, H. (2010). Energy use and economic development: A comparative analysis of useful work supply



in Austria, Japan, the United Kingdom and the US during 100years of economic growth. *Ecological Economics* , 69 (10), 1904-1917.

WEO-World Energy Outlook. (2014).

<http://www.worldenergyoutlook.org/media/weoweb site/2014/WEO2014FactSheets.pdf>

WEO. (2015). *Global energy trends to 2040*. World Energy Outlook:

<http://www.worldenergyoutlook.org/media/weoweb site/2015/WEO2015FactSheets.pdf>

Westinghouse Electric, [www.westinghousenuclear.com](http://www.westinghousenuclear.com)

Westinghouse Electric Corporation, [www.westinghouse.com](http://www.westinghouse.com)

WNA-World Nuclear Association, [www.world-nuclear.org/](http://www.world-nuclear.org/)

WNA. (2014). *Economic impact of shutdowns*. <http://www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Countries-G-N/Japan/> (17.10.2014)

WNA. (2014). *Military Warheads as a Source of Nuclear Fuel*. <http://www.world-nuclear.org/info/nuclear-fuel-cycle/uranium-resources/military-warheads-as-a-source-of-nuclear-fuel/> (19.12.2014)

WNA. (2015). *Nuclear Power Reactors*. <http://www.world-nuclear.org/info/Nuclear-Fuel-Cycle/Power-Reactors/Nuclear-Power-Reactors/>

WNA. (2016) *Global Nuclear Fuel Market Reports:Global Scenarios for Demand and Supply Availability 2015-2035*. <http://www.world-nuclear.org/our-association/publications/publications-for-sale/nuclear-fuel-report.aspx>

WNA. (2016). *Nuclear Power in Canada*. [world-nuclear.org: http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/canada-nuclear-power.aspx](http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/canada-nuclear-power.aspx)

WNA. (2016). *Nuclear-Powered Ships*. <http://www.world-nuclear.org/information-library/non-power-nuclear-applications/transport/nuclear-powered-ships.aspx>

WNA. (2016). *The Economics of Nuclear Power*. World Nuclear Association: <http://www.world-nuclear.org/information-library/economic-aspects/economics-of-nuclear-power.aspx>

WNA. (2016). *World Nuclear Power Reactors & Uranium Requirements*. <http://www.world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/world-nuclear-power-reactors-and-uranium-requireme.aspx>

WNA. (2016). <http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-g-n/japan-nuclear-fuel-cycle.aspx> (25.03.2016)

WNA. (2016). <http://www.world-nuclear.org/information-library/economic-aspects/economics-of-nuclear-power.aspx> (25.03.2016)

- WNA. (2016). [www.world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/world-nuclear-power-reactors-and-uranium-requireme.aspx](http://www.world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/world-nuclear-power-reactors-and-uranium-requireme.aspx) (03.04.2016)
- WNA. (2016). <http://www.world-nuclear.org/information-library/economic-aspects/economics-of-nuclear-power.aspx>
- WNA. [www.world-nuclear.org/info/Economic-Aspects/Energy-Subsides-and-External-Costs/](http://www.world-nuclear.org/info/Economic-Aspects/Energy-Subsides-and-External-Costs/)
- Wolde-Rufael, Y. (2010). Bounds test approach to cointegration and causality between nuclear energy consumption and economic growth in India. *Energy Policy* , 38 (1), 52-58.
- Wolde-Rufael, Y., & Menyah, K. (2010). Nuclear energy consumption and economic growth in nine developed countries. *Energy Economics* , 32 (3), 550-556.
- World Bank. (2015). *World Development Indicators & Global Development Finance*. <http://databank.worldbank.org/>
- World Nuclear News, Nucleonics and Other Publications, (2008-2014), [www.ans.org](http://www.ans.org).
- World Nuclear University, [www.world-nuclear-university.org/](http://www.world-nuclear-university.org/)

## Y

- Bilim ve Teknik* . (2004).“Yeni Ufuklara: Nükleer Enerji” Ağustos 2004,
- Yoo, S.-H., & Jung, K.-O. (2005). Nuclear energy consumption and economic growth in Korea. *Progress in Nuclear Energy* , 46 (2), 101-109.
- Yoo, S.-H., & Ku, S.-J. (2009). Causal relationship between nuclear energy consumption and economic growth: a multi-country analysis. *Energy Policy* , 37 (5), 1905-1913.
- YPK-Yüksek Planlama Kurulu. (2009). *Elektrik Enerjisi Piyasası ve Arz Güvenliği Stratejisi Belgesi*. [http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FBelge%2FArz\\_Guvenligi\\_Strateji\\_Belgesi.pdf](http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FBelge%2FArz_Guvenligi_Strateji_Belgesi.pdf)
- Yu N, Zhang Y, Wang J, Cao X, Fan X, Xu X, Wang F. (2012). Knowledge of and Attitude to Nuclear Power among Residents around Tianwan Nuclear Power Plant in Jiangsu of China. . *Int J Med Sci* , 9(5):361-369. <http://www.medsci.org/v09p0361.htm>).

## Z

- Zabunoğlu, O. (2012). *Nükleer Enerji: Nedir? Nasıl üretilir? İlgili meseleler*. < [http://www.nuke.hacettepe.edu.tr/tr/webfiles/Announcements/NE\\_ne\\_nasil\\_meseler.pdf](http://www.nuke.hacettepe.edu.tr/tr/webfiles/Announcements/NE_ne_nasil_meseler.pdf) > (21.05.2015)

## EKLER

### EK-1: Dünya Enerji Tüketimi (Mtep)

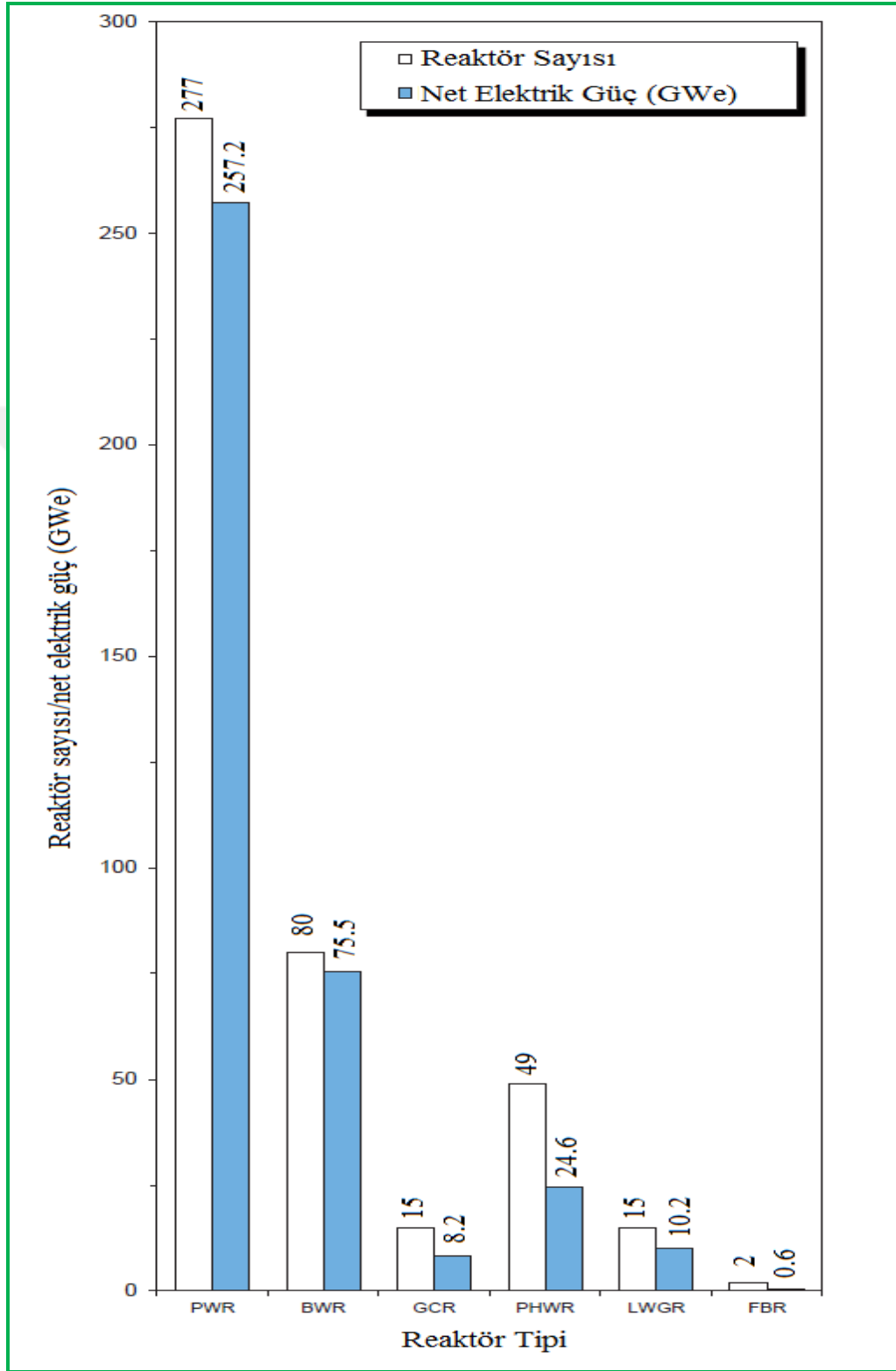
| Milyon ton petrol eşdeğeri            | 2013          |               |               |                |                |               |                | 2014          |               |               |                |                |               |                |
|---------------------------------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|----------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|----------------|
|                                       | Petrol        | Doğal gaz     | Kömür         | Nükleer Enerji | Hidro-elektrik | Yenilenebilir | Toplam         | Petrol        | Doğal gaz     | Kömür         | Nükleer Enerji | Hidro-elektrik | Yenilenebilir | Toplam         |
| ABD                                   | 832.1         | 675.8         | 454.6         | 187.9          | 61.4           | 58.7          | 2270.5         | 836.1         | 695.3         | 453.4         | 189.8          | 59.1           | 65            | 2298.7         |
| Kanada                                | 103.5         | 93.5          | 20.8          | 23.1           | 88.5           | 4.8           | 334.3          | 103           | 93.8          | 21.2          | 24             | 85.7           | 4.9           | 332.7          |
| Meksika                               | 89.7          | 76.2          | 13.4          | 2.7            | 6.2            | 3.4           | 191.5          | 85.2          | 77.2          | 14.4          | 2.2            | 8.6            | 3.7           | 191.4          |
| <b>Toplam Kuzey Amerika</b>           | <b>1025.3</b> | <b>845.5</b>  | <b>488.8</b>  | <b>213.7</b>   | <b>156.1</b>   | <b>66.9</b>   | <b>2796.3</b>  | <b>1024.4</b> | <b>866.3</b>  | <b>488.9</b>  | <b>216.1</b>   | <b>153.5</b>   | <b>73.6</b>   | <b>2822.8</b>  |
| Arjantin                              | 31.2          | 42.9          | 1.3           | 1.4            | 9.2            | 0.7           | 86.6           | 30.9          | 42.4          | 1.3           | 1.3            | 9.3            | 0.7           | 85.8           |
| Brezilya                              | 135.2         | 33.6          | 16.5          | 3.3            | 88.5           | 11.9          | 288.9          | 142.5         | 35.7          | 15.3          | 3.5            | 83.6           | 15.4          | 296            |
| Sili                                  | 16.8          | 4.4           | 7.5           | -              | 4.5            | 1.3           | 34.5           | 16.7          | 4.3           | 6.8           | -              | 5.4            | 1.9           | 35             |
| Kolombiya                             | 13.9          | 9             | 4.3           | -              | 10             | 0.1           | 37.4           | 14.5          | 9.8           | 4.2           | -              | 10.1           | 0.2           | 38.8           |
| Ekvador                               | 11.6          | 0.5           | -             | -              | 2.5            | 0.1           | 14.7           | 12.1          | 0.6           | -             | -              | 2.6            | 0.1           | 15.4           |
| Peru                                  | 10.2          | 5.9           | 1             | -              | 4.9            | 0.2           | 22.3           | 10.4          | 6.5           | 1             | -              | 4.9            | 0.3           | 23             |
| Trinidad ve Tobago                    | 1.6           | 20.2          | -             | -              | -              | †             | 21.8           | 1.6           | 19.8          | -             | -              | -              | †             | 21.4           |
| Venezuela                             | 38.6          | 27.9          | 0.2           | -              | 19†            | -             | 85.7           | 38.5          | 26.8          | 0.2           | -              | 18.7†          | -             | 84.3           |
| <b>Diğer Güney ve Merkez Amerika</b>  | <b>58.6</b>   | <b>7.1</b>    | <b>2.8</b>    | -              | <b>21.8</b>    | <b>2.6</b>    | <b>92.9</b>    | <b>59.3</b>   | <b>7.1</b>    | <b>2.9</b>    | -              | <b>20.8</b>    | <b>2.9</b>    | <b>93.1</b>    |
| <b>Toplam Güney ve Merkez Amerika</b> | <b>317.8</b>  | <b>151.6</b>  | <b>33.6</b>   | <b>4.7</b>     | <b>160.4</b>   | <b>16.9</b>   | <b>684.9</b>   | <b>326.5</b>  | <b>153.1</b>  | <b>31.6</b>   | <b>4.7</b>     | <b>155.4</b>   | <b>21.5</b>   | <b>692.8</b>   |
| Avusturya                             | 12.7          | 7.6           | 3.3           | -              | 8.4            | 1.9           | 34             | 12.6          | 7             | 2.7           | -              | 8.1            | 2.1           | 32.5           |
| Azerbaycan                            | 4.5           | 7.7†          | -             | -              | 0.3†           | -             | 12.6           | 4.6           | 8.3†          | -             | -              | 0.3†           | -             | 13.1           |
| Belarus                               | 10.7          | 16.7          | 0.9           | -              | †              | †             | 28.3           | 11            | 16.5          | 1             | -              | †              | †             | 28.6           |
| Belçika                               | 30.1          | 15.1          | 3.2           | 9.6            | 0.1            | 2.8           | 61             | 30            | 13.3          | 3.0           | 7.6            | 0.1            | 3.1           | 57.7           |
| Bulgaristan                           | 3.6           | 2.4           | 5.9           | 3.2            | 0.9            | 0.6           | 16.7           | 3.8           | 2.4           | 6.5           | 3.6            | 1              | 0.7           | 17.9           |
| Cek Cumhuriyeti                       | 8.5           | 7.6           | 16.4          | †              | 0.7            | 1.5           | 41.6           | 9.2           | 6.8           | 16            | 6.9            | 0.4            | 1.7           | 40.9           |
| Danimarka                             | 7.7           | 3.4           | 3.2           | -              | †              | 3.6           | 17.9           | 7.7           | 2.8           | 2.6           | -              | †              | -             | 4.1            |
| Finlandiya                            | 8.9           | 2.6           | 4.5           | 5.4            | 2.9            | 2.9           | 27.1           | 8.6           | 2.2           | 4.1           | 5.4            | 3              | 2.9           | 26.1           |
| Fransa                                | 79.3          | 38.6          | 11.8          | 95.9           | 15.8           | 5.9           | 247.2          | 76.9          | 32.3          | 9             | 98.6           | 14.2           | 6.5           | 237.5          |
| Almanya                               | 113.4         | 74.2          | 81.7          | 22             | 5.2            | 29.3          | 325.8          | 111.5         | 63.8          | 77.4          | 22             | 4.6            | 31.7          | 311            |
| Yunanistan                            | 14.5          | 3.2           | 7             | -              | 1.5            | 1.8           | 28             | 14.2          | 2.5           | 6.5           | -              | 1              | 2             | 26.1           |
| Macaristan                            | 5.8           | 8.3           | 2.3           | 3.5†           | -              | 0.6           | 20.6           | 6             | 7.5           | 2.2           | 3.5            | 0.1            | 0.6           | 20             |
| İrlanda Cumhuriyeti                   | 6.5           | 3.9           | 2             | -              | 0.1            | 1.1           | 13.7           | 6.6           | 3.7           | 2             | -              | 0.2            | 1.3           | 13.7           |
| İtalya                                | 60.8          | 57.8          | 14            | -              | 11.9           | 13.4          | 157.9          | 56.6          | 51.1          | 13.5          | -              | 12.9           | 14.8          | 148.9          |
| Kazakistan                            | 12.9          | 4.1           | 35.9          | -              | 1.7†           | -             | 54.7           | 13            | 5.1           | 34.5          | -              | 1.7†           | -             | 54.3           |
| Litvanya                              | 2.6           | 2.4           | 0.3           | -              | 0.1            | 0.2           | 5.7            | 2.5           | 2.3           | 0.2           | -              | 0.1            | 0.3           | 5.4            |
| Hollanda                              | 41.4          | 33.3          | 8.2           | 0.7†           | -              | 2.7           | 86.4           | 39.6          | 28.9          | 9             | 0.9†           | -              | 2.6           | 81.1           |
| Norveç                                | 10.8          | 4             | 0.7           | -              | 29.2           | 0.5           | 45.1           | 10.3          | 4.2           | 0.7           | -              | 30.9           | 0.6           | 46.7           |
| Polonya                               | 23.8          | 15            | 55.8          | -              | 0.6            | 3.3           | 98.4           | 23.8          | 14.7          | 52.9          | -              | 0.5            | 3.9           | 95.7           |
| Portekiz                              | 11.5          | 3.8           | 2.7           | -              | 3.3            | 3.6           | 24.9           | 11.4          | 3.4           | 2.5           | -              | 3.7            | 3.6           | 24.6           |
| Romanya                               | 8.4           | 11.3          | 5.8           | 2.6            | 3.3            | 1.2           | 32.6           | 9             | 10.6          | 5.8           | 2.6            | 4.2            | 1.4           | 33.7           |
| Rusya Federasyonu                     | 146.8         | 372.1         | 90.5          | 39             | 41.3           | 0.1           | 689.9          | 148.1         | 368.3         | 85.2          | 40.9           | 39.3           | 0.1           | 681.9          |
| Slovakya                              | 3.6           | 4.8           | 3.5           | 3.6            | 1.1            | 0.3           | 16.9           | 3.5           | 3.3           | 3.4           | 3.5            | 1              | 0.3           | 15             |
| İspanya                               | 59            | 26.1          | 11.4          | 12.8           | 8.3            | 16.3          | 133.9          | 59.5          | 23.7          | 12            | 13             | 8.9            | 16            | 133            |
| İsviçre                               | 14.4          | 1             | 2.1           | 15.1           | 13.9           | 4.8           | 51.3           | 14.4          | 0.8           | 2             | 14.8           | 14.6           | 5             | 51.6           |
| İsviçre                               | 11.8          | 3.1           | 0.1           | 5.9            | 8.6            | 0.5           | 30             | 10.6          | 2.7           | 0.1           | 6.3            | 8.5            | 0.6           | 28.7           |
| <b>Avrupa Birliği</b>                 | <b>33.6</b>   | <b>41.1</b>   | <b>31.6</b>   | -              | <b>13.4</b>    | <b>2.3</b>    | <b>112</b>     | <b>33.8</b>   | <b>43.7</b>   | <b>35.5</b>   | -              | <b>9.1</b>     | <b>2.8</b>    | <b>125.3</b>   |
| Türkmenistan                          | 6.2           | 20.6          | -             | -              | †              | †             | 26.8           | 6.4           | 24.9          | -             | -              | †              | †             | 31.3           |
| Ukrayna                               | 11.9          | 41            | 41.4          | 18.8           | 3.1            | 0.3           | 116.6          | 10.2          | 34.6          | 33            | 20             | 1.5            | 0.4           | 100.1          |
| İngiltere                             | 69.3          | 66.1          | 37.1          | 16             | 1.1            | 11.1          | 200.6          | 69.3          | 60            | 29.5          | 14.4           | 1.3            | 13.2          | 187.9          |
| Özbekistan                            | 3             | 42.2          | 2.6           | -              | 2.4†           | -             | 50.1           | 3.1           | 43.9          | 2             | -              | 2.4†           | -             | 51.3           |
| <b>Diğer Avrupa &amp; Avrasya</b>     | <b>31.1</b>   | <b>13.7</b>   | <b>22.5</b>   | <b>1.7</b>     | <b>22.4</b>    | <b>2</b>      | <b>93.5</b>    | <b>31.3</b>   | <b>13.4</b>   | <b>20.4</b>   | <b>2</b>       | <b>21.7</b>    | <b>2.1</b>    | <b>91</b>      |
| <b>Toplam Avrupa &amp; Avrasya</b>    | <b>869.3</b>  | <b>954.7</b>  | <b>508.2</b>  | <b>262.9</b>   | <b>201.9</b>   | <b>114.7</b>  | <b>2911.7</b>  | <b>858.9</b>  | <b>908.7</b>  | <b>476.5</b>  | <b>266.1</b>   | <b>195.7</b>   | <b>124.4</b>  | <b>2830.3</b>  |
| İran                                  | 95.1          | 143.4         | 1.1           | 0.9            | 3.4            | 0.1           | 244            | 93.2          | 153.2         | 1.1           | 1              | 3.4            | 0.1           | 252            |
| İsrail                                | 10.3          | 6.3           | 7.4           | -              | †              | 0.2           | 24.1           | 10.1          | 6.8           | 6.9           | -              | †              | 0.2           | 24             |
| Kuveyt                                | 22.3          | 16.7          | -             | -              | -              | †             | 39             | 22.2          | 18.1          | -             | -              | -              | †             | 40.3           |
| Katar                                 | 9.3           | 36.9          | -             | -              | -              | †             | 46.2           | 10.1          | 40.3          | -             | -              | -              | †             | 50.5           |
| Saudi Arabistan                       | 132.4         | 90            | 0.1           | -              | -              | †             | 222.5          | 142           | 97.4          | 0.1           | -              | -              | †             | 239.5          |
| Birleşik Arap Emirlikleri             | 36.2          | 60.1          | 1.5           | -              | -              | †             | 97.9           | 39.3          | 62.4          | 1.5           | -              | -              | †             | 103.2          |
| <b>Diğer Orta Doğu</b>                | <b>76.8</b>   | <b>40.5</b>   | <b>0.1</b>    | -              | <b>2†</b>      | -             | <b>119.5</b>   | <b>76</b>     | <b>40.4</b>   | <b>0.1</b>    | -              | <b>1.8†</b>    | -             | <b>118.3</b>   |
| <b>Toplam Orta Doğu</b>               | <b>382.5</b>  | <b>393.9</b>  | <b>10.3</b>   | <b>0.9</b>     | <b>5.4</b>     | <b>0.2</b>    | <b>793.3</b>   | <b>393</b>    | <b>418.6</b>  | <b>9.7</b>    | <b>1</b>       | <b>5.2</b>     | <b>0.3</b>    | <b>827.9</b>   |
| Cezayir                               | 17.7          | 30            | 0.2           | -              | †              | 0.1           | 48             | 18            | 33.7          | 0.2           | -              | †              | 0.1           | 52             |
| Mısır                                 | 35.7          | 46.3          | 0.2           | -              | 2.9            | 0.4           | 85.5           | 38.7          | 43.2          | 0.7           | -              | 3.1            | 0.4           | 86.2           |
| Güney Afrika                          | 27.8          | 3.5           | 88.7          | 3.4            | 0.3            | 0.1           | 123.6          | 29.1          | 3.7           | 89.4          | 3.6            | 0.3            | 0.6           | 126.7          |
| <b>Diğer Afrika</b>                   | <b>91</b>     | <b>28.5</b>   | <b>7.6</b>    | -              | <b>23.2</b>    | <b>1.3</b>    | <b>151.5</b>   | <b>93.6</b>   | <b>27.4</b>   | <b>8.2</b>    | -              | <b>24.2</b>    | <b>1.8</b>    | <b>155.3</b>   |
| <b>Toplam Afrika</b>                  | <b>172.2</b>  | <b>108.2</b>  | <b>96.6</b>   | <b>3.4</b>     | <b>26.4</b>    | <b>1.8</b>    | <b>408.6</b>   | <b>179.4</b>  | <b>108.1</b>  | <b>98.6</b>   | <b>3.6</b>     | <b>27.5</b>    | <b>2.9</b>    | <b>420.1</b>   |
| Avustralya                            | 46.9          | 26.3          | 44.9          | -              | 4.4            | 3.7           | 126.2          | 45.5          | 26.3          | 43.8          | -              | 3.3            | 4.1           | 122.9          |
| Bangladeş                             | 5.3           | 20.4          | 1             | -              | 0.2†           | -             | 26.9           | 5.7           | 21.2          | 1             | -              | 0.1            | 0.1           | 28.2           |
| Çin                                   | 503.5         | 153.7         | 1961.2        | 25.3           | 208.2          | 46.1          | 2898.1         | 520.3         | 166.9         | 1962.4        | 26.6           | 240.8          | 53.1          | 2972.1         |
| Hong Kong                             | 18            | 2.4           | 7.8           | -              | -              | †             | 28.1           | 17            | 2.3           | 8.1           | -              | -              | †             | 27.5           |
| Hindistan                             | 175.3         | 46.3          | 324.3         | 7.5            | 29.8           | 12.5          | 595.7          | 180.7         | 45.6          | 360.2         | 7.8            | 29.6           | 13.9          | 637.8          |
| Endonezya                             | 73.1          | 32.8          | 57.6          | -              | 3.8            | 2.2           | 169.6          | 73.9          | 34.5          | 60.8          | -              | 3.4            | 2.2           | 174.8          |
| Japonya                               | 207.5         | 102.2         | 128.6         | 3.3            | 19             | 9.5           | 470.1          | 196.8         | 101.2         | 126.5         | -              | 19.8           | 11.6          | 456.1          |
| Malezya                               | 34.5          | 36.3          | 17            | -              | 2.7            | 0.3           | 90.7           | 35.2          | 36.9          | 15.9          | -              | 2.7            | 0.3           | 91             |
| Yeni Zelanda                          | 7             | 4             | 1.5           | -              | 5.2            | 2             | 19.9           | 7.2           | 4.3           | 1.5           | -              | 5.5            | 2.3           | 20.8           |
| Pakistan                              | 21.8          | 38.4          | 3.5           | 1.2            | 7†             | -             | 71.9           | 22.6          | 37.8          | 4.9           | 1.1            | 7.2            | 0.1           | 73.6           |
| Filipinler                            | 13.6          | 3             | 11            | -              | 2.3            | 2.2           | 32.2           | 14.3          | 3.2           | 11.7          | -              | 2.1            | 2.3           | 33.6           |
| Singapur                              | 64.7          | 9.5†          | -             | -              | -              | 0.2           | 74.3           | 66.2          | 9.7†          | -             | -              | -              | 0.2           | 76.1           |
| Güney Kore                            | 108.3         | 47.3          | 81.9          | 31.4           | 1              | 0.9           | 270.8          | 108           | 43            | 84.8          | 35.4           | 0.8            | 1.1           | 273.2          |
| Tayvan                                | 43.4          | 14.7          | 41            | 9.4            | 1.2            | 1.2           | 111            | 43.9          | 15.5          | 40.9          | 9.6            | 0.9            | 1.3           | 112            |
| Tayland                               | 52.2          | 47            | 16.2          | -              | 1.3            | 1.3           | 118            | 53            | 47.4          | 18.4          | -              | 1.2            | 1.5           | 121.5          |
| Vietnam                               | 17.7          | 8.8           | 15.8          | -              | 12.1           | 0.1           | 54.5           | 18.7          | 9.2           | 19.1          | -              | 12.3           | 0.1           | 59.3           |
| <b>Diğer Asya Pasifik</b>             | <b>19</b>     | <b>5.7</b>    | <b>16.3</b>   | -              | <b>13.2</b>    | <b>0.2</b>    | <b>54.4</b>    | <b>19.7</b>   | <b>5.6</b>    | <b>16.7</b>   | -              | <b>12</b>      | <b>0.2</b>    | <b>54.2</b>    |
| <b>Toplam Asya Pasifik</b>            | <b>1412.1</b> | <b>598.8</b>  | <b>2729.5</b> | <b>78.1</b>    | <b>311.4</b>   | <b>82.5</b>   | <b>5212.3</b>  | <b>1428.9</b> | <b>610.7</b>  | <b>2776.6</b> | <b>82.5</b>    | <b>341.6</b>   | <b>94.2</b>   | <b>5334.6</b>  |
| <b>Toplam Dünya</b>                   | <b>4179.1</b> | <b>3052.8</b> | <b>3867</b>   | <b>563.7</b>   | <b>861.6</b>   | <b>283</b>    | <b>12807.1</b> | <b>4211.1</b> | <b>3065.5</b> | <b>3881.8</b> | <b>574</b>     | <b>879</b>     | <b>316.9</b>  | <b>12928.4</b> |
| OECD                                  | 2057.1        | 1458.6        | 1069.1        | 447.1          | 320.3          | 196.3         | 5548.5         | 2032.3        | 1432.6        | 1052.5        | 449.8          | 315.7          | 215.9         | 5498.8         |
| OECD olmayan                          | 2122.1        | 1594.1        | 2797.9        | 116.6          | 541.3          | 86.7          | 7258.7         | 2178.9        | 1632.9        | 2829.3        | 124.2          | 563.3          | 101.1         | 7429.6         |
| Avrupa Birliği                        | 601.8         | 394.1         | 288.6         | 198.6          | 83             | 109.7         | 1675.9         | 592.5         | 348.2         | 269.8         | 198.3          | 83.8           | 118.7         | 1611.4         |
| Eski Sovyetler Birliği                | 206.4         | 514.2         | 177.8         | 58.4           | 58.9           | 1.1           | 1016.9         | 207           | 511.6         | 162.6         | 61.5           | 55.4           | 1.3           | 999.3          |

Kaynak: BP, "BP Statistical Review of World Energy", [www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2015/bp-statistical-review-of-world-energy-2015-full-report.pdf](http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2015/bp-statistical-review-of-world-energy-2015-full-report.pdf)

\*Bu değerlendirilmede, primer enerji, ticari olarak değerlendirilen yakıtları göstermektedir. Buna modern yenilenebilir enerji kaynakları da dahildir.

†0.05'den küçük. Not: Petrol tüketimi milyon ton, diğer yakıtlar milyon ton petrol eşdeğeri olarak ölçülmüştür

## EK-2: Reaktör Tiplerine Göre İşletmedeki Nükleer Santral Sayı ve Kapasiteleri



Kaynak: PRIS, [www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/10903/Nuclear-Power-Reactors-in-the-World-2015-Edition](http://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/10903/Nuclear-Power-Reactors-in-the-World-2015-Edition)

### EK-3: Yıllara Göre Dünya Nükleer Reaktör Sayı ve Kapasiteleri, 1954-2014

| Yıl  | Başlayan İnşaatlar |                          | İletim Hattına Bağlanma |                          | İşletmedeki Reaktörler |                          |
|------|--------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|
|      | Ünite Sayısı       | Tasarım Kapasitesi (MWe) | Ünite Sayısı            | Tasarım Kapasitesi (MWe) | Ünite Sayısı           | Tasarım Kapasitesi (MWe) |
| 1954 | 1                  | 60                       | 1                       | 5                        | 1                      | 5                        |
| 1955 | 8                  | 260                      |                         |                          | 1                      | 5                        |
| 1956 | 5                  | 577                      | 1                       | 35                       | 2                      | 65                       |
| 1957 | 13                 | 1836                     | 3                       | 119                      | 5                      | 209                      |
| 1958 | 6                  | 476                      | 1                       | 35                       | 6                      | 269                      |
| 1959 | 7                  | 976                      | 5                       | 176                      | 11                     | 548                      |
| 1960 | 11                 | 1010                     | 4                       | 438                      | 15                     | 1087                     |
| 1961 | 7                  | 1529                     | 1                       | 15                       | 16                     | 1104                     |
| 1962 | 8                  | 1379                     | 9                       | 955                      | 25                     | 2223                     |
| 1963 | 5                  | 1722                     | 9                       | 500                      | 33                     | 2677                     |
| 1964 | 9                  | 2932                     | 8                       | 1022                     | 40                     | 3686                     |
| 1965 | 9                  | 3291                     | 8                       | 1879                     | 48                     | 5910                     |
| 1966 | 15                 | 7052                     | 8                       | 1528                     | 55                     | 7539                     |
| 1967 | 25                 | 16287                    | 11                      | 2165                     | 64                     | 9595                     |
| 1968 | 37                 | 26859                    | 7                       | 1086                     | 69                     | 10648                    |
| 1969 | 13                 | 9277                     | 10                      | 3670                     | 78                     | 14121                    |
| 1970 | 37                 | 254539                   | 6                       | 3410                     | 84                     | 17656                    |
| 1971 | 18                 | 12623                    | 16                      | 7711                     | 99                     | 24320                    |
| 1972 | 29                 | 22328                    | 16                      | 8880                     | 113                    | 32797                    |
| 1973 | 29                 | 23492                    | 20                      | 12727                    | 132                    | 43761                    |
| 1974 | 38                 | 35222                    | 26                      | 17149                    | 154                    | 61021                    |
| 1975 | 38                 | 36437                    | 15                      | 10236                    | 169                    | 70414                    |
| 1976 | 43                 | 41762                    | 19                      | 14196                    | 186                    | 83992                    |
| 1977 | 23                 | 21893                    | 18                      | 13199                    | 199                    | 96202                    |
| 1978 | 23                 | 21735                    | 20                      | 15782                    | 218                    | 111740                   |
| 1979 | 27                 | 23007                    | 8                       | 6909                     | 225                    | 117814                   |
| 1980 | 20                 | 19084                    | 21                      | 15088                    | 245                    | 133037                   |
| 1981 | 17                 | 16029                    | 23                      | 20355                    | 267                    | 153832                   |
| 1982 | 19                 | 19765                    | 19                      | 15330                    | 284                    | 168317                   |
| 1983 | 14                 | 11286                    | 23                      | 19266                    | 306                    | 187756                   |
| 1984 | 13                 | 11332                    | 33                      | 30980                    | 336                    | 218452                   |
| 1985 | 19                 | 15336                    | 33                      | 31061                    | 363                    | 245779                   |
| 1986 | 8                  | 7201                     | 27                      | 27134                    | 389                    | 272074                   |
| 1987 | 13                 | 11117                    | 22                      | 22191                    | 407                    | 295812                   |
| 1988 | 7                  | 7722                     | 14                      | 13574                    | 416                    | 305212                   |
| 1989 | 6                  | 4018                     | 12                      | 10566                    | 420                    | 311942                   |
| 1990 | 5                  | 3267                     | 10                      | 10543                    | 416                    | 318253                   |
| 1991 | 2                  | 2246                     | 4                       | 3668                     | 415                    | 321924                   |
| 1992 | 3                  | 3094                     | 6                       | 4809                     | 418                    | 325261                   |
| 1993 | 4                  | 3515                     | 9                       | 9012                     | 427                    | 333914                   |
| 1994 | 2                  | 1334                     | 5                       | 4332                     | 429                    | 336904                   |
| 1995 |                    |                          | 5                       | 3536                     | 434                    | 341387                   |
| 1996 | 1                  | 610                      | 6                       | 7080                     | 438                    | 347281                   |
| 1997 | 5                  | 4410                     | 3                       | 3557                     | 434                    | 347880                   |
| 1998 | 3                  | 2150                     | 4                       | 2973                     | 430                    | 344900                   |
| 1999 | 4                  | 4540                     | 4                       | 2729                     | 432                    | 347353                   |
| 2000 | 7                  | 5356                     | 6                       | 3063                     | 435                    | 349984                   |
| 2001 | 1                  | 1304                     | 3                       | 2696                     | 438                    | 352715                   |
| 2002 | 6                  | 3440                     | 6                       | 5049                     | 439                    | 357481                   |
| 2003 | 1                  | 202                      | 2                       | 1627                     | 437                    | 359827                   |
| 2004 | 2                  | 1336                     | 5                       | 4785                     | 438                    | 364673                   |
| 2005 | 3                  | 2907                     | 4                       | 3823                     | 441                    | 368125                   |
| 2006 | 4                  | 3413                     | 2                       | 1492                     | 435                    | 369581                   |
| 2007 | 8                  | 6644                     | 3                       | 1842                     | 439                    | 371707                   |
| 2008 | 10                 | 10667                    |                         |                          | 438                    | 371557                   |
| 2009 | 12                 | 13125                    | 2                       | 1068                     | 437                    | 370702                   |
| 2010 | 16                 | 15842                    | 5                       | 3776                     | 441                    | 375277                   |
| 2011 | 4                  | 1890                     | 7                       | 4013                     | 435                    | 368921                   |
| 2012 | 7                  | 6984                     | 3                       | 2963                     | 437                    | 373263                   |
| 2013 | 10                 | 11252                    | 4                       | 4060                     | 434                    | 371736                   |
| 2014 | 3                  | 2479                     | 5                       | 4721                     | 438                    | 376216                   |

Kaynak: PRIS, [www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/10903/Nuclear-Power-Reactors-in-the-World-2015-Edition](http://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/10903/Nuclear-Power-Reactors-in-the-World-2015-Edition)

#### EK-4: Yıllara Göre Nükleer Santral Yapım Aylık Süreleri

| Ülke            | 1981-1985 |     | 1986-1990 |     | 1991-1995 |     | 1996-2000 |     | 2001-2005 |     | 2006-2010 |     | 2011-2013 |     | 2014 |     |
|-----------------|-----------|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----------|-----|------|-----|
|                 | Sayı      | Ay  | Sayı      | Ay  | Sayı      | Ay  | Sayı      | Ay  | Sayı      | Ay  | Sayı      | Ay  | Sayı      | Ay  | Sayı | Ay  |
| Arjantin        | 1         | 109 |           |     |           |     |           |     |           |     |           |     |           |     | 1    | 396 |
| Belçika         | 4         | 80  |           |     |           |     |           |     |           |     |           |     |           |     |      |     |
| Brezilya        | 1         | 132 |           |     |           |     | 1         | 176 |           |     |           |     |           |     |      |     |
| Bulgaristan     | 1         | 104 | 1         | 89  | 1         | 113 |           |     |           |     |           |     |           |     |      |     |
| Kanada          | 7         | 98  | 5         | 101 | 2         | 97  |           |     |           |     |           |     |           |     |      |     |
| Çin             |           |     |           |     | 3         | 73  |           |     | 6         | 59  | 4         | 68  | 7         | 61  | 3    | 70  |
| Çek Cumhuriyeti | 1         | 74  | 3         | 93  |           |     | 1         | 167 | 1         | 191 |           |     |           |     |      |     |
| Fransa          | 24        | 68  | 15        | 86  | 3         | 93  | 4         | 124 |           |     |           |     |           |     |      |     |
| Almanya         | 7         | 100 | 6         | 103 |           |     |           |     |           |     |           |     |           |     |      |     |
| Macaristan      | 2         | 112 | 2         | 90  |           |     |           |     |           |     |           |     |           |     |      |     |
| Hindistan       | 2         | 154 | 1         | 152 | 3         | 120 | 4         | 122 | 1         | 64  | 4         | 81  | 2         | 123 |      |     |
| İran            |           |     |           |     |           |     |           |     |           |     |           |     | 1         | 222 |      |     |
| Japonya         | 10        | 46  | 8         | 49  | 10        | 46  | 3         | 42  | 4         | 47  | 1         | 53  |           |     |      |     |
| Güney Kore      | 4         | 65  | 4         | 62  | 2         | 61  | 5         | 59  | 4         | 54  | 1         | 51  | 2         | 54  |      |     |
| Litvanya        | 1         | 80  | 1         | 116 |           |     |           |     |           |     |           |     |           |     |      |     |
| Meksika         |           |     | 1         | 151 | 1         | 210 |           |     |           |     |           |     |           |     |      |     |
| Pakistan        |           |     |           |     |           |     | 1         | 83  |           |     |           |     | 1         | 64  |      |     |
| Romanya         |           |     |           |     |           |     | 1         | 169 |           |     | 1         | 161 |           |     |      |     |
| Rusya           | 9         | 73  | 4         | 72  | 1         | 109 |           |     | 2         | 233 | 1         | 323 | 1         | 108 | 1    | 64  |
| Slovakya        | 2         | 99  |           |     |           |     | 2         | 150 |           |     |           |     |           |     |      |     |
| Slovenya        | 1         | 80  |           |     |           |     |           |     |           |     |           |     |           |     |      |     |
| Güney Afrika    | 2         | 102 |           |     |           |     |           |     |           |     |           |     |           |     |      |     |
| İspanya         | 5         | 112 | 2         | 96  |           |     |           |     |           |     |           |     |           |     |      |     |
| İsveç           | 4         | 74  |           |     |           |     |           |     |           |     |           |     |           |     |      |     |
| İsviçre         | 1         | 125 |           |     |           |     |           |     |           |     |           |     |           |     |      |     |
| İngiltere       | 6         | 186 | 4         | 98  | 1         | 80  |           |     |           |     |           |     |           |     |      |     |
| Ukrayna         | 7         | 57  | 6         | 58  | 1         | 113 |           |     | 2         | 227 |           |     |           |     |      |     |
| ABD             | 25        | 126 | 22        | 146 | 1         | 221 | 1         | 278 |           |     |           |     |           |     |      |     |
| Toplam          | 131       | 84  | 85        | 93  | 29        | 82  | 23        | 121 | 20        | 59  | 12        | 77  | 14        | 66  | 5    | 70  |

Kaynak: PRIS, [www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/10903/Nuclear-Power-Reactors-in-the-World-2015-Edition](http://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/10903/Nuclear-Power-Reactors-in-the-World-2015-Edition)

## EK-5: Türkiye Elektrik Üretim Haritası



Kaynak: EÜAŞ, 2014

## EK-6: Regresyon Analizi Test Sonuçları

### ADF Birim Kök Testi

| Augmented Dickey-Fuller Unit Root Test on IGSYH                                                                                                                                                             |             |                       |             |        | Augmented Dickey-Fuller Unit Root Test on CENERJI                                                                                                                                                             |             |                       |             |        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------------|-------------|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------------|-------------|--------|
| Null Hypothesis: IGSYH has a unit root<br>Exogenous: Constant, Linear Trend<br>Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=9)                                                                           |             |                       |             |        | Null Hypothesis: CENERJI has a unit root<br>Exogenous: Constant, Linear Trend<br>Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=9)                                                                           |             |                       |             |        |
|                                                                                                                                                                                                             |             |                       | t-Statistic | Prob.* |                                                                                                                                                                                                               |             |                       | t-Statistic | Prob.* |
| Augmented Dickey-Fuller test statistic                                                                                                                                                                      |             |                       |             |        | Augmented Dickey-Fuller test statistic                                                                                                                                                                        |             |                       |             |        |
| Test critical values:                                                                                                                                                                                       |             |                       |             |        | Test critical values:                                                                                                                                                                                         |             |                       |             |        |
| 1% level                                                                                                                                                                                                    |             |                       |             |        | 1% level                                                                                                                                                                                                      |             |                       |             |        |
| 5% level                                                                                                                                                                                                    |             |                       |             |        | 5% level                                                                                                                                                                                                      |             |                       |             |        |
| 10% level                                                                                                                                                                                                   |             |                       |             |        | 10% level                                                                                                                                                                                                     |             |                       |             |        |
| *Mackinnon (1996) one-sided p-values.                                                                                                                                                                       |             |                       |             |        | *Mackinnon (1996) one-sided p-values.                                                                                                                                                                         |             |                       |             |        |
| Augmented Dickey-Fuller Test Equation<br>Dependent Variable: D(IGSYH)<br>Method: Least Squares<br>Date: 01/21/16 Time: 18:56<br>Sample (adjusted): 1971 2013<br>Included observations: 43 after adjustments |             |                       |             |        | Augmented Dickey-Fuller Test Equation<br>Dependent Variable: D(CENERJI)<br>Method: Least Squares<br>Date: 01/21/16 Time: 18:57<br>Sample (adjusted): 1971 2013<br>Included observations: 43 after adjustments |             |                       |             |        |
| Variable                                                                                                                                                                                                    | Coefficient | Std. Error            | t-Statistic | Prob.  | Variable                                                                                                                                                                                                      | Coefficient | Std. Error            | t-Statistic | Prob.  |
| IGSYH(-1)                                                                                                                                                                                                   | 0.025441    | 0.051077              | 0.498091    | 0.6211 | CENERJI(-1)                                                                                                                                                                                                   | -0.041868   | 0.042465              | -0.985941   | 0.3301 |
| C                                                                                                                                                                                                           | 160.6114    | 15320.97              | 0.010483    | 0.9917 | C                                                                                                                                                                                                             | 764.5115    | 1615.864              | 0.473129    | 0.6387 |
| @TREND("1970")                                                                                                                                                                                              | 1087.159    | 1912.582              | 0.568425    | 0.5729 | @TREND("1970")                                                                                                                                                                                                | 424.2948    | 242.2694              | 1.751335    | 0.0876 |
| R-squared                                                                                                                                                                                                   | 0.234470    | Mean dependent var    | 41671.12    |        | R-squared                                                                                                                                                                                                     | 0.221488    | Mean dependent var    | 5574.581    |        |
| Adjusted R-squared                                                                                                                                                                                          | 0.196193    | S.D. dependent var    | 52280.09    |        | Adjusted R-squared                                                                                                                                                                                            | 0.182562    | S.D. dependent var    | 5379.263    |        |
| S.E. of regression                                                                                                                                                                                          | 46871.86    | Akaike info criterion | 24.41544    |        | S.E. of regression                                                                                                                                                                                            | 4863.514    | Akaike info criterion | 19.88412    |        |
| Sum squared resid                                                                                                                                                                                           | 8.79E+10    | Schwarz criterion     | 24.53831    |        | Sum squared resid                                                                                                                                                                                             | 9.46E+08    | Schwarz criterion     | 20.00700    |        |
| Log likelihood                                                                                                                                                                                              | -521.9319   | Hannan-Quinn criter.  | 24.46075    |        | Log likelihood                                                                                                                                                                                                | -424.5087   | Hannan-Quinn criter.  | 19.92944    |        |
| F-statistic                                                                                                                                                                                                 | 6.125682    | Durbin-Watson stat    | 2.064133    |        | F-statistic                                                                                                                                                                                                   | 5.690021    | Durbin-Watson stat    | 1.835353    |        |
| Prob(F-statistic)                                                                                                                                                                                           | 0.004778    |                       |             |        | Prob(F-statistic)                                                                                                                                                                                             | 0.006688    |                       |             |        |

### Yüzde Dönüümlü ADF Birim Kök Testi

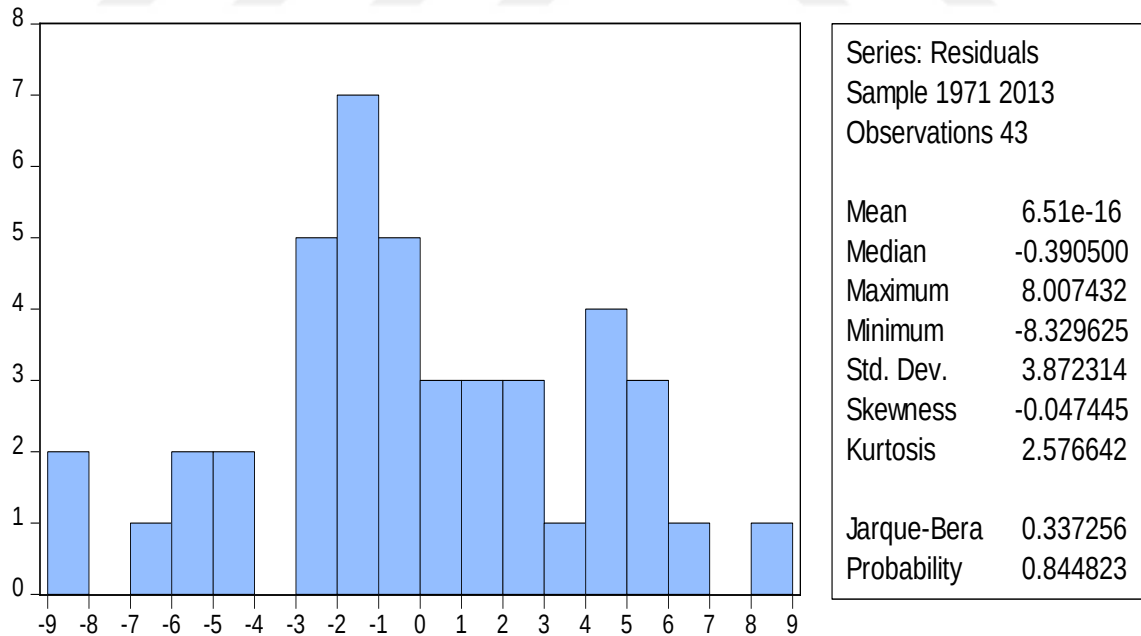
| Augmented Dickey-Fuller Unit Root Test on YIGSYH                                                                                                                                                             |             |                       |             |        | Augmented Dickey-Fuller Unit Root Test on YCENERJI                                                                                                                                                             |             |                       |             |        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------------|-------------|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------------|-------------|--------|
| Null Hypothesis: YIGSYH has a unit root<br>Exogenous: Constant, Linear Trend<br>Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=9)                                                                           |             |                       |             |        | Null Hypothesis: YCENERJI has a unit root<br>Exogenous: Constant, Linear Trend<br>Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=9)                                                                           |             |                       |             |        |
|                                                                                                                                                                                                              |             |                       | t-Statistic | Prob.* |                                                                                                                                                                                                                |             |                       | t-Statistic | Prob.* |
| Augmented Dickey-Fuller test statistic                                                                                                                                                                       |             |                       |             |        | Augmented Dickey-Fuller test statistic                                                                                                                                                                         |             |                       |             |        |
| Test critical values:                                                                                                                                                                                        |             |                       |             |        | Test critical values:                                                                                                                                                                                          |             |                       |             |        |
| 1% level                                                                                                                                                                                                     |             |                       |             |        | 1% level                                                                                                                                                                                                       |             |                       |             |        |
| 5% level                                                                                                                                                                                                     |             |                       |             |        | 5% level                                                                                                                                                                                                       |             |                       |             |        |
| 10% level                                                                                                                                                                                                    |             |                       |             |        | 10% level                                                                                                                                                                                                      |             |                       |             |        |
| *Mackinnon (1996) one-sided p-values.                                                                                                                                                                        |             |                       |             |        | *Mackinnon (1996) one-sided p-values.                                                                                                                                                                          |             |                       |             |        |
| Augmented Dickey-Fuller Test Equation<br>Dependent Variable: D(YIGSYH)<br>Method: Least Squares<br>Date: 01/21/16 Time: 19:54<br>Sample (adjusted): 1972 2013<br>Included observations: 42 after adjustments |             |                       |             |        | Augmented Dickey-Fuller Test Equation<br>Dependent Variable: D(YCENERJI)<br>Method: Least Squares<br>Date: 01/21/16 Time: 19:55<br>Sample (adjusted): 1972 2013<br>Included observations: 42 after adjustments |             |                       |             |        |
| Variable                                                                                                                                                                                                     | Coefficient | Std. Error            | t-Statistic | Prob.  | Variable                                                                                                                                                                                                       | Coefficient | Std. Error            | t-Statistic | Prob.  |
| YIGSYH(-1)                                                                                                                                                                                                   | -1.008792   | 0.160110              | -6.300619   | 0.0000 | YCENERJI(-1)                                                                                                                                                                                                   | -0.787187   | 0.157380              | -5.001829   | 0.0000 |
| C                                                                                                                                                                                                            | 8.769096    | 2.205842              | 3.975397    | 0.0003 | C                                                                                                                                                                                                              | 6.754893    | 1.875320              | 3.601996    | 0.0009 |
| @TREND("1970")                                                                                                                                                                                               | -0.090602   | 0.068272              | -1.327077   | 0.1922 | @TREND("1970")                                                                                                                                                                                                 | -0.091226   | 0.052650              | -1.732684   | 0.0911 |
| R-squared                                                                                                                                                                                                    | 0.504442    | Mean dependent var    | -0.083391   |        | R-squared                                                                                                                                                                                                      | 0.390871    | Mean dependent var    | -0.242881   |        |
| Adjusted R-squared                                                                                                                                                                                           | 0.479029    | S.D. dependent var    | 7.272596    |        | Adjusted R-squared                                                                                                                                                                                             | 0.359633    | S.D. dependent var    | 4.878625    |        |
| S.E. of regression                                                                                                                                                                                           | 5.249237    | Akaike info criterion | 6.222792    |        | S.E. of regression                                                                                                                                                                                             | 3.904018    | Akaike info criterion | 5.630639    |        |
| Sum squared resid                                                                                                                                                                                            | 1074.625    | Schwarz criterion     | 6.346911    |        | Sum squared resid                                                                                                                                                                                              | 594.4129    | Schwarz criterion     | 5.754758    |        |
| Log likelihood                                                                                                                                                                                               | -127.6786   | Hannan-Quinn criter.  | 6.268286    |        | Log likelihood                                                                                                                                                                                                 | -115.2434   | Hannan-Quinn criter.  | 5.676133    |        |
| F-statistic                                                                                                                                                                                                  | 19.84961    | Durbin-Watson stat    | 1.998174    |        | F-statistic                                                                                                                                                                                                    | 12.51290    | Durbin-Watson stat    | 1.909453    |        |
| Prob(F-statistic)                                                                                                                                                                                            | 0.000001    |                       |             |        | Prob(F-statistic)                                                                                                                                                                                              | 0.000063    |                       |             |        |



### EKKY Testi

| Dependent Variable: YIGSYH                  |             |                       |             |          |
|---------------------------------------------|-------------|-----------------------|-------------|----------|
| Method: Least Squares                       |             |                       |             |          |
| Date: 01/21/16 Time: 15:24                  |             |                       |             |          |
| Sample (adjusted): 1971 2013                |             |                       |             |          |
| Included observations: 43 after adjustments |             |                       |             |          |
| Variable                                    | Coefficient | Std. Error            | t-Statistic | Prob.    |
| YCENERJI                                    | 0.828248    | 0.145651              | 5.686513    | 0.0000   |
| C                                           | 1.613923    | 1.076358              | 1.499429    | 0.1414   |
| R-squared                                   | 0.440933    | Mean dependent var    |             | 6.704303 |
| Adjusted R-squared                          | 0.427297    | S.D. dependent var    |             | 5.178912 |
| S.E. of regression                          | 3.919253    | Akaike info criterion |             | 5.615074 |
| Sum squared resid                           | 629.7823    | Schwarz criterion     |             | 5.696991 |
| Log likelihood                              | -118.7241   | Hannan-Quinn criter.  |             | 5.645283 |
| F-statistic                                 | 32.33643    | Durbin-Watson stat    |             | 1.846698 |
| Prob(F-statistic)                           | 0.000001    |                       |             |          |

### Jarque-Bera Normallik Sinamasi



### Breusch-Godfrey Oto Korelasyon Testi

| Breusch-Godfrey Serial Correlation LM Test:           |             |                       |             |        |
|-------------------------------------------------------|-------------|-----------------------|-------------|--------|
| F-statistic                                           | 0.255332    | Prob. F(2,39)         | 0.7759      |        |
| Obs*R-squared                                         | 0.555763    | Prob. Chi-Square(2)   | 0.7574      |        |
| Test Equation:                                        |             |                       |             |        |
| Dependent Variable: RESID                             |             |                       |             |        |
| Method: Least Squares                                 |             |                       |             |        |
| Date: 01/21/16 Time: 21:30                            |             |                       |             |        |
| Sample: 1971 2013                                     |             |                       |             |        |
| Included observations: 43                             |             |                       |             |        |
| Presample missing value lagged residuals set to zero. |             |                       |             |        |
| Variable                                              | Coefficient | Std. Error            | t-Statistic | Prob.  |
| YCENERJI                                              | -0.001753   | 0.150612              | -0.011638   | 0.9908 |
| C                                                     | 0.017030    | 1.107284              | 0.015380    | 0.9878 |
| RESID(-1)                                             | 0.060588    | 0.161958              | 0.374099    | 0.7104 |
| RESID(-2)                                             | 0.092754    | 0.161753              | 0.573428    | 0.5696 |
| R-squared                                             | 0.012925    | Mean dependent var    | 6.51E-16    |        |
| Adjusted R-squared                                    | -0.063004   | S.D. dependent var    | 3.872314    |        |
| S.E. of regression                                    | 3.992437    | Akaike info criterion | 5.695089    |        |
| Sum squared resid                                     | 621.6426    | Schwarz criterion     | 5.858921    |        |
| Log likelihood                                        | -118.4444   | Hannan-Quinn criter.  | 5.755505    |        |
| F-statistic                                           | 0.170222    | Durbin-Watson stat    | 1.976987    |        |
| Prob(F-statistic)                                     | 0.915854    |                       |             |        |
|                                                       |             |                       |             |        |

### Breusch-Pagan-Godfrey Değişen Varyans Testi

| Heteroskedasticity Test: Breusch-Pagan-Godfrey                                                                                                         |             |                       |             |        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------------|-------------|--------|
| F-statistic                                                                                                                                            | 2.844775    | Prob. F(1,41)         | 0.0993      |        |
| Obs*R-squared                                                                                                                                          | 2.789963    | Prob. Chi-Square(1)   | 0.0949      |        |
| Scaled explained SS                                                                                                                                    | 1.999551    | Prob. Chi-Square(1)   | 0.1573      |        |
| Test Equation:<br>Dependent Variable: RESID^2<br>Method: Least Squares<br>Date: 01/21/16 Time: 21:41<br>Sample: 1971 2013<br>Included observations: 43 |             |                       |             |        |
| Variable                                                                                                                                               | Coefficient | Std. Error            | t-Statistic | Prob.  |
| C                                                                                                                                                      | 21.66209    | 5.001696              | 4.330948    | 0.0001 |
| YCENERJI                                                                                                                                               | -1.141561   | 0.676823              | -1.686646   | 0.0993 |
| R-squared                                                                                                                                              | 0.064883    | Mean dependent var    | 14.64610    |        |
| Adjusted R-squared                                                                                                                                     | 0.042075    | S.D. dependent var    | 18.60793    |        |
| S.E. of regression                                                                                                                                     | 18.21226    | Akaike info criterion | 8.687462    |        |
| Sum squared resid                                                                                                                                      | 13599.15    | Schwarz criterion     | 8.769379    |        |
| Log likelihood                                                                                                                                         | -184.7804   | Hannan-Quinn criter.  | 8.717671    |        |
| F-statistic                                                                                                                                            | 2.844775    | Durbin-Watson stat    | 1.489746    |        |
| Prob(F-statistic)                                                                                                                                      | 0.099267    |                       |             |        |

## VAR Analizi

### VAR Lag Order Selection Criteria

Endogenous variables: YIGSYH YCENERJI

Exogenous variables: C

Date: 01/21/16 Time: 22:04

Sample: 1970 2013

Included observations: 40

| Lag | LogL      | LR       | FPE       | AIC       | SC        | HQ        |
|-----|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 0   | -224.2484 | NA*      | 280.5314* | 11.31242* | 11.39686* | 11.34295* |
| 1   | -222.0619 | 4.045054 | 307.3242  | 11.40309  | 11.65643  | 11.49469  |
| 2   | -220.9229 | 1.993203 | 355.3201  | 11.54614  | 11.96836  | 11.69881  |
| 3   | -219.8242 | 1.812847 | 412.7061  | 11.69121  | 12.28232  | 11.90494  |

\* indicates lag order selected by the criterion

LR: sequential modified LR test statistic (each test at 5% level)

FPE: Final prediction error

AIC: Akaike information criterion

SC: Schwarz information criterion

HQ: Hannan-Quinn information criterion