

**TMMOB**  
**FİZİK MÜHENDİSLERİ ODASI**



**NÜKLEER ENERJİ RAPORU**  
**2011**

**Aralık 2011**  
**ANKARA**

## **RAPORU HAZIRLAYANLAR**

Mehmet Tombakoğlu (Koordinatör) Yrd. Doç Dr. Şule Ergün	Prof. Dr. Yrd. Doç. Dr.
Haluk Atak	Nükleer Enerji Yük. Müh
Osman Őahin Çelikten	Nükleer Enerji Yük. Müh
Veda Duman	Nükleer Enerji Yük. Müh
Korcan Kayrın	Nükleer Enerji Yük. Müh
Ali Tiftikçi	Nükleer Enerji Yük. Müh
Mehmet Türkmen	Nükleer Enerji Yük. Müh
Hüseyin Ayhan	Nükleer Enerji Yük. Müh
Burak Aksoy	Nükleer Enerji Müh.
Muhammet Ayanoğlu	Nükleer Enerji Müh.
AŞkın Güler	Nükleer Enerji Müh.
Berkin Pınarbaşı	Nükleer Enerji Müh.
Fatma Burcu Taş	Nükleer Enerji Müh.
B.Nazım Bayraktar	Nükleer Enerji Yük. Müh

Raporun hazırlanmasına katkı koyan tüm arkadaşlarımıza teşekkür ederiz.

**FMO**  
**27. Dönem Yönetim Kurulu**

## ÖNSÖZ

Yirminci yüzyılda bilimin insanlığın hizmetine sunduğu nükleer teknoloji, bugün yaşamımızın her alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Nükleer teknolojinin başlangıcı olan atom çekirdeğinin parçalanması ve bunun sonucu ortaya çıkan büyük enerjinin, elektrik enerjisi üretiminde kullanılmasının gündeme gelmesiyle nükleer güç santralleri enerji üretiminde yerini almıştır.

Türkiye’de nükleer güç santrallerine yönelik faaliyetler 1956 yılında Başbakanlık Atom Enerjisi Komisyonu’nun kurulması sonrası, 1965 yılında başlatılmış ve dünyada nükleer enerji alanında çalışmaları başlatan ilk ülkeler arasında yer almıştır. Ancak geçen 50 yıldır kararlı, ciddi ve uzun vadeli bir nükleer enerji programını tam olarak oluşturulamamıştır. Uygulanan enerji politikalarının bir sonucu olarak ülkemiz gittikçe daha çok dışa bağımlı hale gelmiş ve enerji güvenliği neredeyse ortadan kalkmıştır. Bu durumun en önemli göstergelerinden birisi elektrik enerjisi üretiminde doğal gazla olan bağımlılığımızın artmış olmasıdır.

Alternatif enerji arayışları kapsamında nükleer enerjiden yararlanma niyeti bugünkü hükümet tarafından başlatılan bir program çerçevesinde, Akkuyu sahası imzalanan ikili hükümetlerarası anlaşma sonucunda Rus kamu şirketi **Atomstroyexport’a** (ROSATOM’a Atomenergoprom’un *alt şirketi*) bedelsiz olarak devredilmiştir. 1200 MWe’lik dört üniteden oluşacak olan santral ve 4800 MWe’lik kurulu gücü ile tek başına Türkiye’nin elektrik üretiminin yaklaşık %6’sını karşılayabilecektir.

Nükleer enerjiyi elektrik enerjisine çeviren nükleer güç santralleri; yüksek teknolojiye sahip, tasarlanmasından işletmeden çıkarılmasına kadar tüm safhalarda sürdürülen faaliyetlerde özel uygulamalar gerektiren, sadece bu enerji üretimine ait bir uygulama olarak bağımsız bir düzenleme kuruluşu denetiminde işletilen tesislerdir.

Ülkemizin enerji ihtiyacının bir kısmını yaptıracığı nükleer santrallerle karşılaşması düşünülen bu dönemde Fizik Mühendisleri Odası olarak Nükleer Enerji İhtisas Komisyonu marifetiyle Sn. Prof. Dr. Mehmet TOMBAKOĞLU’nun koordinasyonunda Hacettepe Üniversitesi Nükleer Enerji Mühendisliği öğretim elemanları ve Yüksek Lisans öğrencileri tarafından hazırlanan bu rapor ile nükleer enerji ve nükleer santraller konusunda bilgi verilmesinin yanında;

-nükleer enerji teknolojisinin, çok hassas, disiplinli ve birçok meslek branının konularını kapsayan bir özelliğinin olduğu,

-nükleer güç tesislerinin ilk yatırım maliyetinin çok yüksek olması ve projenin belli bir aşamasından sonraki herhangi bir gecikme durumunda ekonomik ve teknik yönden büyük sorunlar yaratabileceği,

-Şayet elektrik enerjisi gereksiniminin nükleer güç santrallerinden karşılanması benimsenmise, bunun “devlet politikası” olarak kabul edilmesi ve öncelikle bir “nükleer güç programının oluşturulması ve bu programın teknoloji transferi programını da kapsaması gerekliliği,

vurgulanmıştır.

Bu çalışmanın başlatılması kararını alan FMO 27. dönem Yönetim Kurulu yelerine ve raporu hazırlayan Hacettepe Üniversitesi Nükleer Enerji Mühendisliği elemanlarına ve Nükleer Enerji Mühendisliği Derneği yelerine ve Odamız Basın ve Yayın Komisyonu yelerine teşekkür ederim.

Dr. Abdullah ZARARSIZ  
FMO Yönetim Kurulu Başkanı

## İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	V
Giriş.....	9
<b>1. Nükleer Enerji ve Nükleer Teknoloji, Geleceğin Enerji Politikalarında Nükleer Enerjinin Yeri ve Önemi.....</b>	<b>9</b>
<i>Nükleer Enerji Nedir?</i> .....	9
<i>Nükleer Reaktörler</i> .....	11
<i>Nükleer Reaktörlerin Sınıflandırılması</i> .....	12
<i>Nükleer Yakıtlar</i> .....	14
<i>Nükleer Atıklar</i> .....	166
<i>Nükleer Santral Teknolojileri</i> .....	177
<i>Mevcut Santral Teknolojileri</i> .....	17
<i>Hafif Su Reaktörleri (LWR)</i> .....	18
<i>PWR ve Gelişmiş PWR Tasarımları</i> .....	19
<i>BWR ve Gelişmiş BWR Tasarımları</i> .....	21
<i>Rus Tipi Reaktör Tasarımları: VVER ve RBMK Reaktörleri</i> .....	22
<i>Ağır Su Reaktörleri (HWR)</i> .....	24
<i>Diğer Reaktör Tasarımları ve IV. Nesil Tasarımlar</i> .....	26
<i>Ülkelerin Enerji Politikaları</i> .....	28
<i>Uygulanan ve Uygulanması Düşünülen Planlanlamalar</i> .....	29
ABD.....	29
FRANSA.....	31
FİNLANDİYA.....	33

<i>Nükleer Santral Kurulumunun Ekonomik Etkileri</i> .....	35
<i>Nükleer Teknolojinin Farklı Kullanım Alanları</i> .....	38
<i>Sağlık Sektörü</i> .....	38
<i>Endüstri Sektörü</i> .....	38
<i>Araştırmalar</i> .....	39
<i>Hızlandırıcılar</i> .....	39
<i>Araştırma Reaktörleri</i> .....	39
<i>Tarım Endüstrisi</i> .....	40
<i>Hayvancılık Sektörü</i> .....	40
<b>2. Nükleer Güç Konumundaki Ülkelerin Nükleer Çalışmaları</b> .....	<b>41</b>
<i>Amerika Birleşik Devletleri (ABD)</i> .....	41
<i>Kanada</i> .....	44
<i>Fransa</i> .....	46
<i>Güney Kore</i> .....	47
<i>Rusya</i> .....	49
<i>Hindistan</i> .....	51
<i>Japonya</i> .....	52
<b>3. Nükleer Santral Güvenliği ve Çevre ve Halk Sağlığına Etkileri</b> .....	<b>54</b>
<i>Nükleer Santral Güvenliği</i> .....	54
<i>Nükleer Santrallerin Çevre ve Halk Sağlığına Etkileri</i> .....	56
<b>4. Nükleer Santral Kazaları</b> .....	<b>61</b>
<i>Uluslararası Nükleer ve Radyolojik Olay Ölçeği (INES)</i> .....	62
<i>Three Mile Island Kazası</i> .....	64
<i>Three Mile Island Kazası Sonunda Çıkarılan Dersler</i> .....	66

<i>Çernobil Kazası</i> .....	67
<i>Kazanın Etkileri ve Çıkarılan Dersler</i> .....	71
<i>Fukushima Daiichi Santrali'nde Meydana Gelenler</i> .....	74
<i>11 Mart 2011'deki Deprem ve Tsunami'nin Ardından Fukushima Daiichi Nükleer Santralinde Neler Oldu?</i> .....	76
<i>Fukushima Daiichi Santralinde Olanların Işığında Nükleer Güvenlik Anlayışında Meydana Gelebilecek Değişiklikler</i> .....	78
<b>5. Nükleer Hukuk</b> .....	<b>82</b>
<i>Nükleer Hukuk Gereksinimi</i> .....	82
<i>Nükleer Hukukun Kapsamı</i> .....	82
<i>Nükleer Hukukun Prensipleri</i> .....	83
<i>Nükleer Hukukta Anahtar Oyuncular</i> .....	83
<i>Nükleer Hukukun Gelişimi</i> .....	84
<i>Uluslararası Nükleer Hukuk</i> .....	87
<i>Nükleer Güvenlik Sözleşmeleri Ailesi</i> .....	87
<i>Nükleer Silahların Yayılmasının Önlenmesi</i> .....	89
<i>Nükleer Enerji Sahasında Hukukî mesuliyet</i> .....	92
<i>Türkiye'de Nükleer Hukuk</i> .....	99
<i>Anayasal Yapı</i> .....	99
<i>Milletlerarası Anlaşmalar/Sözleşmeler</i> .....	99
<i>TAEK Mevzuatı</i> .....	102
<i>Sonuç</i> .....	103
<i>İkili ve Çok Taraflı Anlaşmalar</i> .....	104
<b>6. Nükleer Santraller ve Nükleer Silahsızlanma</b> .....	<b>108</b>
<b>7. Türkiye'nin Nükleer Teknoloji İhtiyacı</b> .....	<b>112</b>

<i>Nükleer Santral Kurulumu'nun Türkiye Elektrik piyasasına Etkilerinin İncelenmesi</i> .....	112
<i>EMCAS Türkiye Elektrik Piyasası Modeli</i> .....	115
<i>Analizler</i> .....	118
<i>Sonuçlar</i> .....	122
<b>8. Türkiye'nin Nükleer Enerji Çalışmaları</b> .....	<b>123</b>
<b>9. Türkiye'nin Nükleer Enerji Çalışmalarına AB, ABD ve Rusya'nın Etkisi, Olası rtaklıklar</b> .....	<b>133</b>
<b>10. Sonuç</b> .....	<b>138</b>

## **Giriş**

Ülkemizin hızlı gelişmesi dolayısıyla elektriğe talebin artması, elektrik üretiminde güvenli, ucuz ve sürekli elektrik üretimi artışı zorunlu hale getirmiştir. Elektrik üretiminde genişleme ve çeşitlendirme planlanırken, nükleer santrallerin de üretim sistemleri arasına katılması düşünülmektedir.

Bu raporda, nükleer santrallerin çalışma prensipleri, nükleer santral tipleri ve nükleer güvenlik sistemleri anlatılmıştır. Nükleer santral kurulumuna Türkiye'nin ihtiyacı olup olmadığı ve nükleer santrale sahip olmanın olası etkileri de bu raporda tartışmaya açılmıştır. Ayrıca, nükleer santral kurulumu ile nükleer teknolojiye sahip olmanın ilişkisi ve dünyada nükleer teknolojiye sahip olan ülkelerin durumu da raporda açıklanmıştır.

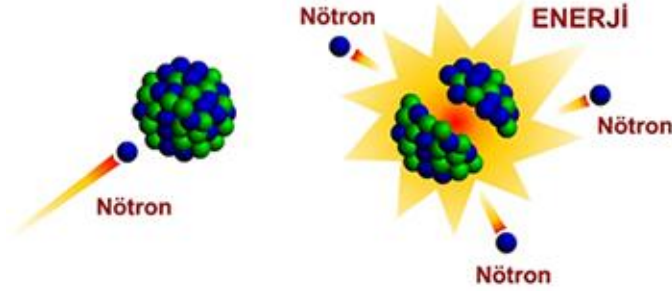
### **1. Nükleer Enerji ve Nükleer Teknoloji, Geleceğin Enerji Politikalarında Nükleer Enerjinin Yeri ve Önemi**

Raporun bu kısmında, öncelikle, nükleer enerji ve bu enerji kullanılarak elektrik üreten nükleer santraller tanıtılmıştır. Gelişmiş ve gelişmekte olan nükleer santral tipleri de bu kısımda açıklanmıştır. Ayrıca, bu kısımda, nükleer santral sahibi ülkelerin enerji politikaları ve nükleer santrallerin ekonomik etkileri ile nükleer teknolojinin farklı kullanım alanları da anlatılmıştır.

#### **Nükleer Enerji Nedir?**

Doğada bulunan maddelerin özelliklerini, atomlarının merkezindeki çekirdeğin karakteri belirler. Çekirdek, nötron ve proton adı verilen parçacıklardan oluşmuş bir enerji paketine benzetilebilir. Doğa, bu enerji paketini, en az enerji kullanarak oluşturmaya çalışır. Başlangıçta gereğinden fazla enerji ile oluşmuş bazı atom çekirdekleri, zamanla bu aşırı enerjilerini radyasyon ya da parçacık şeklinde yayabilirler. Bu tür çekirdeklere radyoaktif (ışınletkin) denir. Genelde, kurşundan daha ağır elementler radyoaktiftir ve zamanla bozularak kurşun ya da daha hafif elementlere dönüşürler. Bazıları da o kadar kararsızdır ki, küçük bir yardımla (örn. nötron yutarak), kısa sürede, başka çekirdeklere dönüşebilir.

Atom enerjisi veya nükleer enerji, atom çekirdeğinin bölünmesi, parçalara ayrılması (filyon) veya iki atom çekirdeğinin birleşmesi, kaynaşması (füzyon) neticesinde açığa çıkan enerji olarak tanımlanabilir. Günümüzde yaygın olarak nükleer güç santraller, filyon, yani Uranyum-235 (U-235) atomunun çekirdeğinin bir nötron ile parçalanması sonucu ortaya çıkan enerjiyi elektriğe çeviren tesislerdir (Şekil 1).



Şekil 1. Nükleer Filyon

Filyon bir nötronun, uranyum gibi ağır bir element atomunun çekirdeğine çarparak yutulması, bunun sonucunda bu atomun kararsız hale gelerek daha küçük iki veya daha fazla farklı çekirdeğe bölünmesi reaksiyonudur. Dolayısıyla filyon, bir çekirdek tepkimesidir. Doğadaki uranyum atomu çekirdeklerinin binde yedisi (U-235), bölünebilir yeteneğine sahiptir. Nükleer enerji üretimi sırasında, reaktörlerde nötronların U-235 çekirdekleri tarafından yutulması sonucu çok kararsız olan Uranyum-236 çekirdekleri oluşur. Bu çekirdekler hemen daha kararlı iki veya üç çekirdeğe bölünür. Bu olay sonucunda ortaya yeni nötronlar ve enerji de açığa çıkar. Açığa çıkan bu enerjiye “nükleer enerji” denir. Yeni ortaya çıkan nötronlar başka U-235 çekirdeklerine çarparak onların da bölünmesine sebep olur. Böylece sürekli bir şekilde enerji üretilmesi sağlanabilir ve bu olaya “zincirleme tepkime” denir.

Bir nükleer reaktörde ise bu zincirleme reaksiyon, çok daha yavaş ve kontrollü olarak gerçekleşir. Bu kontrolün kaybedilerek nükleer yakıtın bir bomba haline dönüşmesi fiziksel olarak olanaksızdır. Reaktörün yapısı biraz daha karmaşıktır ve uranyum haricinde, bazı destek unsurları da barındırır. Örneğin, filyon sonucu açığa çıkan nötronlar hızlıdır. Halbuki yavaş hareket eden nötronlar, U-235 çekirdeklerini daha kolay parçalayabilir. Dolayısıyla hızlı nötronların bir yavaşlatıcı (moderator) malzeme kullanılarak yavaşlatılması gerekir ve bunu da, reaktör kalbine konulan sudaki hidrojen atomları sağlar. Hidrojenlerle çarpışan hızlı nötronlar yavaşlar. Bu durumda, filyondan yeni çıkmış olan hızlı nötronun, yavaşlamak için hidrojen atomlarıyla çarpışması, bunun için de içinde doğduğu uranyumdan çıkıp, bir süre için su içerisinde dolaşması gerekir. Bu amaçla uranyum metal veya oksidi, çubuklar halinde imal edilip, aralarından su geçirilir ve hidrojen içeren suyun bir yavaşlatıcı görevi görmesi sağlanır. Hem, filyon sonucu açığa çıkan enerjiyi taşımak için zaten bir de soğutucuya ihtiyaç vardır ve su,

bu görevi de üstlenir. Su ile iki önemli işlem gerçekleştirilir; hem nötronlar yavaşlatılmış, hem de reaktör kalbi soğutulmuş olur<sup>1</sup>.

Nötron yavaşlatıcı olarak hafif sudan ( $H_2O$ ) başka ağır su ( $D_2O$ ) ve katı grafit nükleer santral reaktörlerinde en çok kullanılan malzemelerdir. Berilyum-oksit ( $BeO$ ) ve biphenyl/terphenyl gibi hidrokarbon malzemeler de içeriğinde hidrojen ve karbon bulundurması sebebiyle bazı araştırma reaktörlerinde moderatör olarak kullanılır.

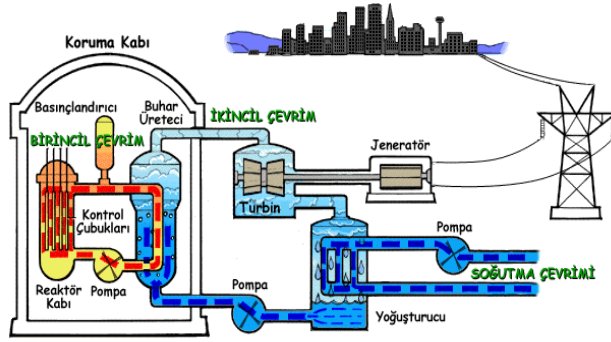
### **Nükleer Reaktörler**

Nükleer reaktörler bahsedildiği gibi nükleer enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Filyon sonucu açığa çıkan nükleer enerji nükleer yakıt ve diğer malzemeler içerisinde ısı enerjisine dönüşür. Bu ısı enerjisi bir soğutucu vasıtasıyla bazı sistemlerde doğrudan bazı sistemlerde ise ısı enerjisini başka bir taşıyıcı ortama aktararak türbin sisteminde kinetik enerjiye ve daha sonra da jeneratör sisteminde elektrik enerjisine dönüştürülür.

Tipik bir su soğutmalı nükleer reaktör santralının iç yapısına baktığımızda (Şekil 2), filyon reaksiyonu sonucunda oluşan büyük ısının, yakıtın bulunduğu ortamdan taşınması gerekir. Bunun için ise birincil çevrimdeki soğutucu suyun bir pompa ile dolaştırılması sağlanır. Yaklaşık  $300^{\circ}C$ 'de olan sıcak su borular yardımı ile soğuk su içeren bir haznedan geçirilir. Bu esnada ısı transferi ile soğuk su ısınarak buhar oluşur. Elde edilen buhar bir buhar türbininden geçirilerek ısı enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülür. Yüksek sıcaklıktaki bu buhar, elektrik jeneratörüne bağlı olan türbinlere verilir. Türbin kanatçıklarına çarpan yüksek enerjili buhar, bilinen şekilde türbin shaftını çevirir ve jeneratörün elektrik enerjisi üretmesi sağlanır. Jeneratörde oluşan elektrik ise iletim hatları ile kullanılacağı yere gönderilir. Türbinden çıkan basınç ve sıcaklığı düşmüş buhar, tekrar kullanılmak üzere yoğunlaştırıcıya gider ve su haline geldikten sonra tekrar filyon ile açığa çıkan enerji ile ısıtılıp buhar haline getirilir ve döngü devam eder.

---

<sup>1</sup> Bilim Teknik – Yeni Ufuklara Ağustos 2004 eki



Şekil 2. Nükleer enerjinin elektrik enerjisine çevrimi

Bunların yanında, acil durumlar için çekirdek bölünmesinden ve radyoaktif kaynaktan açığa çıkan enerjinin alınması amacıyla, çeşitli yardımcı sistemler vardır. Bu sistemlerin temel amacı yakıt çubuklarında üretilen ısının güvenli olarak alınması, böylece yakıtın, reaktörün özelliklerinin korunmasıdır.

### Nükleer Reaktörlerin Sınıflandırılması

Nükleer reaktörler 1950'li yılların başından bu yana dünyada elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Dünyada elektrik enerjisinin yaklaşık %14'ü nükleer enerji ile üretilmektedir. 2011 yılı şubat ayı itibariyle dünyada toplam olarak 370 GW kapasitede 443 reaktör işletilmektedir. Buna ek olarak, dünyada toplam elektrik gücü 64,370 MW olan 62 adet nükleer güç reaktörü inşa halindedir<sup>2</sup>. Son dönemlerde enerji piyasasındaki gelişmeler, dünyada nükleer enerjiye yönelimi hızlandırmıştır. Avrupa ülkelerinin yanısıra özellikle gelişmekte olan ülkelerde nükleer enerjiye yeni yatırımlar planlanmaktadır.

Günümüzde en yaygın olarak kullanılan nükleer reaktör tipleri;

- Basınçlı Su Reaktörleri (PWR) (Şekil 3, Şekil 6)
- Basınçlı Ağır Su Reaktörleri (PHWR) (Şekil 4)
- Kaynar Sulu Reaktörler (BWR) (Şekil 5)

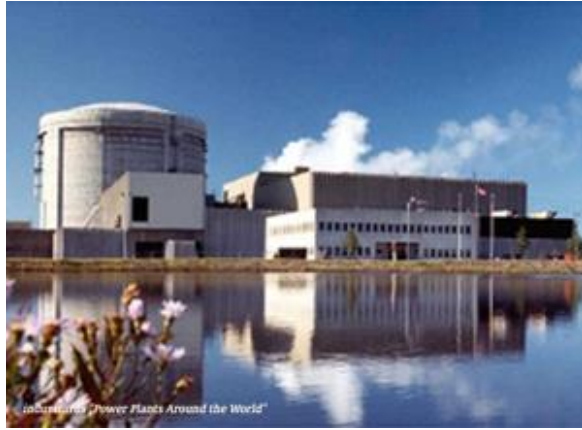
Bunlara ek olarak; Gaz soğutmalı reaktörler (Gas Cooled Reactor - GCR), Hızlı Üretken Reaktörler (Fast Breeder Reactor - FBR) ve Grafit Yavaşlatıcılı Su Soğutmalı Reaktörler (Light Water Cooled Graphite Moderated Reactor - LWGR) de bazı ülkeler tarafından kullanılmaktadır.

<sup>2</sup> <http://world-nuclear.org>

Şekil 7'de, bir araştırma reaktörü çalışırken kalbin görünümü gösterilmektedir.



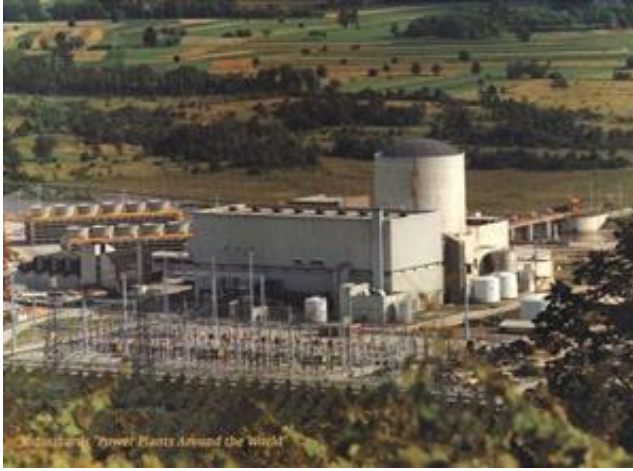
Şekil 3. Fransa St-Laurent Nükleer Santrali (PWR)



Şekil 4. Kanada Point Lepreau Nükleer Santrali (CANDU-PHWR)



Şekil 5. İspanya Confrentes Nükleer Santrali (BWR)

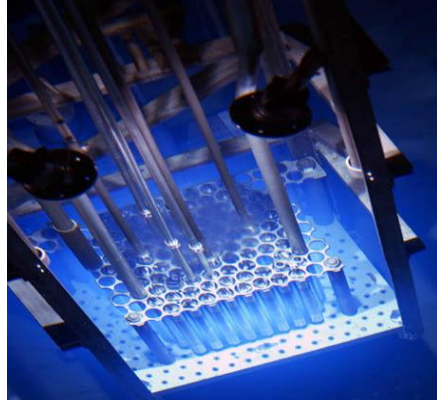


Şekil 6. Slovenya Krsko Nükleer Santrali (PWR)

### **Nükleer Yakıtlar**

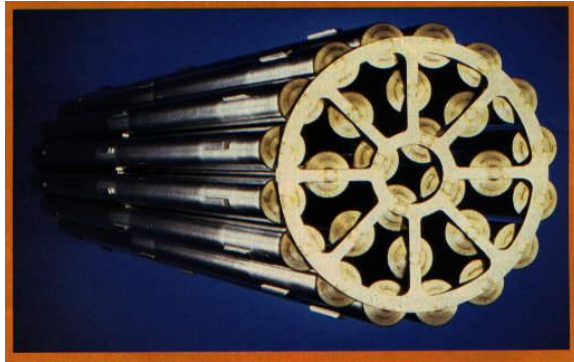
Günümüzde kullanılan ticari NGS da, uranyum temel nükleer yakıt hammaddesidir. Doğada bulunan uranyumun ağırlıkça binde yedisi (% 0.71) fisil U-235 izotopundan oluşmaktadır. Nükleer reaktör yakıtı da bu tür malzemeden oluşur. Yakıtlar reaktör tipine göre değişim gösterip, her reaktör tipinin tasarımına göre ağırlıkça değişik zenginliklerde ve değişik geometrilere olabilir. Doğal uranyumlu yakıt ağır su ile soğutulan reaktörlerde kullanılmaktadır. Hafif su ile soğutulan reaktörlerde ise

zenginleştirilmiş uranyum yakıt olarak kullanılmaktadır. Zenginleştirilmiş uranyum elde etmek için, doğal uranyum içindeki U-235 izotopu oranı arttırılır. Bu adeta, bir parça doğal uranyum alıp, içindeki U-238 çekirdeklerini ayıklayıp atmaya ve geride, U-238'lere oranla daha fazla sayıda U-235 çekirdeği bırakmaya benzer. Fakat söz konusu 'izotop zenginleştirme' işlemi, o kadar da basit olmayıp, yavaş çalışan pahalı işlemler gerektirir.



Şekil 7. Bir araştırma reaktörü çalışırken kalbin görünümü

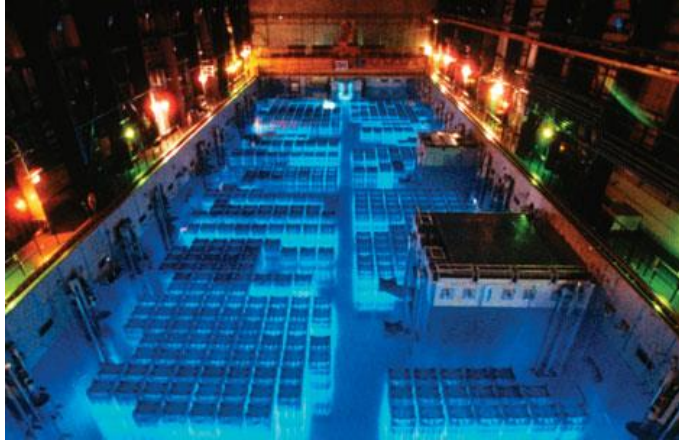
Toryum (Th) fisil bir madde olmadığı için tek başına nükleer yakıt olarak kullanılamaz ve fisil bir izotop olan U-233'e dönüşebilmesi için de Th-232 izotopunun, nötronla reaksiyona girmesi gerekir. Bu nedenle toryumun nükleer yakıt olarak kullanılabilmesi için fisil izotoplar olan U-235 veya Plutonyum-239 (Pu-239) ile birlikte kullanılmalıdır. Şekil 8'de, CANDU tipi reaktörlerde kullanılan yakıt elemanı gösterilmektedir



Şekil 8. CANDU yakıt elemanı

## Nükleer Atıklar

İçerdiği U-235 oranındaki azalma nedeniyle artık fisyon zincir reaksiyonunu gerçekleştiremeyen, yani reaktördeki ömrünü (yaklaşık 6 yıl) dolduran yakıt demetleri reaktörden alınır ve “kullanılmış yakıt” diye adlandırılır. 1000 megavat-elektrik (MW) gücündeki bir nükleer santralden çıkan kullanılmış yakıtın yaklaşık %95.5’i Uranyum-dioksit (orjinal yakıt malzemesi), % 3.5’i fisyon ürünü hafif izotoplar, % 0.9’u Plutonyum ve % 0.1’i diğer ağır izotoplardan (Uranyumdan da büyük) oluşur (Havuzda depolanan kullanılmış yakıtlar, Şekil 9’da gösterilmiştir). Kullanılmış yakıtı kimyasal metotlarla (solvent ekstraksiyonu) işleme tabi tutarak içerdiği Uranyum ve Plütonyumu geri kazanmak mümkündür. Bu durumda geriye %3.6’lık kısım olan ve fisyon ürünü hafif izotoplar ile Uranyum-ötesi ağır izotoplardan oluşan bir karışım kalır. Kullanılmış nükleer yakıttaki hemen hemen tüm radyoaktiviteden sorumlu olan bu karışım “yüksek aktiviteli nükleer atık” olarak adlandırılır.



Şekil 9. Havuzda depolanan kullanılmış yakıtların görünümü

Nükleer santraller, termik santrallerde olduğu gibi dışarı  $CO_2$  ve  $SO_2$  gibi gazlar salmazlar, kül bırakmazlar. Bundan dolayı çevreyi kirletmedikleri söylenebilir. Ancak, nükleer reaktörden çıkan kullanılmış yakıt yüksek radyoaktiviteye sahip bir çok madde içerir. Yüksek aktiviteli bu nükleer atıkların çevreye ve insana zarar vermeden tasfiye edilmesi çok önemli bir problemdir. Bu atıkların dış ortamlarla irtibatı telafisi mümkün olmayan sorunlara yol açabilir. Atıkların bertarafı için en popüler yöntem nükleer atıkların yeryüzünün 500 ile 1200 m altında inşa edilen özel depolara gömülmesidir. Yer altında gömülü olan nükleer atıkların yeryüzüne çıkmasını sağlayacak tek mekanizma yeraltı suyu ile teması olacaktır. Bunun

için, atıkların gömüleceği yer seçiminde jeolojik ve çevresel faktörler dikkate alınır. Ayrıca, bu atıklar yüksek sıcaklıkta cam eriyiği ile karıştırılıp metal silindirlere içine boşaltılır ve soğuduğunda camsı bir yapı oluşturur. Cam suda çözünmeyen, uygun mekanik özelliklere sahip bir malzeme olduğundan yer altındaki nükleer atıkların yeryüzüne çıkma ihtimalini daha da azaltmaktadır. Aslında nükleer atıkların tehlikesi, kurşun, civa ve arsenik gibi zehirli atıklara kıyasla daha azdır. Çünkü nükleer atıkların radyoaktivitesi zamanla azalırken, zehirli atıklar çevreye atıldıkları ilk günkü gibi kalırlar<sup>3</sup>.

## Nükleer Santral Teknolojileri

### Mevcut Santral Teknolojileri

Bir önceki bölümde anlatılan nükleer reaktörlerin çalışma yöntemi kullanılarak nükleer enerjiden elektrik enerjisi elde etmek için çok farklı tasarımlar geliştirilmiştir. Nükleer güç reaktör sistemlerinde temelde 6 farklı tip reaktör tasarımı görülmektedir: i) günümüzde en çok elektrik enerjisi üretimde kullanılan güç reaktör tasarımı olan ve II. Nesil olarak adlandırılan basınçlı su reaktörleri ve kaynar su reaktörleri, ii) 1970 ve 80'lerde kurulmuş reaktör tasarımlarının yerini alan, ve III. Nesil ve III+. Nesil olarak adlandırılan ileri tasarım basınçlı su reaktörleri, iii) ileri tasarım III. Nesil ve III+. Nesil kaynar su reaktörleri, iv) ağır su yavaşlatıcılı reaktörler (HWR), v) gaz soğutmalı reaktörler (GCR) ve vi) hızlı nötron reaktörleri gibi diğer reaktör tasarımları.

Basınçlı su ve kaynar su reaktörleri genel olarak *hafif su reaktörleri* (LWR) olarak adlandırılır. Bunun sebebi, reaktörde soğutucu ve yavaşlatıcı olarak normal su kullanılmasıdır. Ağır su reaktör tasarımlarında ise yavaşlatıcı olarak ağır su (D<sub>2</sub>O)<sup>4</sup> kullanılmaktadır. Benzer olarak, gaz soğutmalı reaktör tasarımlarının soğutucusu helyum gibi gazlar, yavaşlatıcısı ise grafit gibi karbon tabanlı katı bileşiklerdir.

World Nuclear Association'ın (WNA) 6 Şubat 2011 tarihli raporunda belirtildiği üzere, 1 Şubat 2011 itibariyle dünyada işletmede olan 443, inşaat halinde bulunan 62, ülkelerin enerji taleplerini karşılamak amacıyla 8-10 yıl

---

<sup>3</sup> <http://www.genbilim.com>

<sup>4</sup> Doğada su molekülleri iki farklı bileşik halinde bulunur; H<sub>2</sub>O (hafif su molekülü) ve D<sub>2</sub>O (ağır su molekülü). Burada, hidrojen (<sup>1</sup>H) 1 atom ağırlığına, döteryum (<sup>2</sup>H) 2 atom ağırlığına sahiptir. Döteryum, hidrojeninden daha ağır olduğu için "ağır" ismini almıştır. Bunların normal suda bulunma yüzdeleri: ~%98 H<sub>2</sub>O ve ~%2 D<sub>2</sub>O. Bu değerler, ağır su reaktörlerinde ~%99 D<sub>2</sub>O ve ~%1 H<sub>2</sub>O dur.

içerisinde kurulacak ve işletmeye alınacak 156 ve 15-20 yıl içerisinde planlanan 322<sup>5</sup> nükleer reaktör vardır.

Nükleer Mühendislik Uluslararası Elkitabı 2010<sup>6</sup> baskısına göre, dünyada ticari olarak çalışan 443 reaktörün; 265 tanesi PWR tipi, 94 tanesi BWR tipi, 44 tanesi HWR (CANDU&PHWR), 18 tanesi GCR (AGR&Magnox), 12 tanesi Hafif Su Grafüt Reaktörü (RBMK), 2 tanesi Hızlı Nötron Reaktörü (FBR) ve 4 tanesi diğer reaktör tasarımlarıdır. 1996 ile 2010 yılları arasında toplam 43 reaktör çalışma sürelerinin dolması sebebiyle kapatılmış, buna karşın 54 yeni reaktör işletmeye alınmıştır.

Mevcut kurulu nükleer reaktörlerin çalışma ömrü 25 ile 40 yıl arasında değişmektedir. Bununla birlikte, bu reaktörlerin çalışma sürelerinin mühendislik hesaplamaları çok daha uzun olacak şekilde yapılmakta ve bu hesaplamalara göre kurulmaktadır. Nitekim sadece ABD’de işletilen reaktörlerden 60 tanesinin çalışma lisansları yenilenerek ömrü 40 seneden 60 seneye uzatılmıştır. Benzer olarak, çalışma süreleri diğer ülkelerde<sup>7</sup> de uzatılmaktadır.

Reaktörlerin çalışma sürelerinin sonunda kapatılabileceği gibi, elektrik üretim maliyetinin yeterince ekonomik olmaması, uluslararası antlaşmaların öngördüğü güvenlik kriterlerini yerine getirememesi ve reaktörün kurulu bulunduğu ülkenin düzenleyici kuruluşunun yeni çalışma lisansı vermemesi gibi sebeplerden dolayı da erken kapatılabilir.

### **Hafif Su Reaktörleri (LWR)**

Dünyada ticari –elektrik üretmek amacıyla- ve araştırma amaçlı kurulan reaktörlerin en başında hafif su reaktörleri gelmektedir. Yavaşlatıcı, yansıtıcı ve soğutucu olarak kullanılan suyun ısı, nötronik ve hidrolik özellikleri nedeniyle bu reaktörlerin yakıtları düşük düzeyde zenginleştirmeye -yaklaşık %3 ile 5 arasında- ihtiyaç duyar. Şu anda kullanımda olan iki tip temel reaktör vardır: Basınçlı su reaktörü (PWR) ve kaynar su reaktörü (BWR). Daha çok ABD, Fransa, Rusya’da Ar&Ge faaliyetleri yapılmakta, kurulmakta ve işletmeye alınmaktadır.

---

<sup>5</sup> Global Nuclear Fuel Market report 2009 (reference scenario) - for Uranyum

<sup>6</sup> Nuclear Engineering International Handbook 2010

<sup>7</sup>Japonya, mevcut kurulu reaktörleri için çalışma sürelerini 40 seneden 70 seneye çıkarmayı planlamaktadır.

Son yıllarda, ekonomik kaygılar ve daha fazla güvenlik ilkesinden dolayı yeni ileri-reaktör tasarımları geliştirilme aşamasındadır. Özellikle, hafif sulu reaktör tasarımlarında ciddi iyileştirmelere gidilmiştir. İleri tasarımlar, basitleştirilmiş birincil sisteme ve pasif acil kor soğutma sistemlerine sahiptirler.

### **PWR ve Gelişmiş PWR Tasarımları**

Basınçlı su reaktörlerinin (Şekil 10) gelişimi nükleer denizaltı reaktör teknolojisi ile başlar. İlk sivil PWR, ABD’de Shippingport’da kuruldu ve 1957 de işletmeye alındı. Takip eden ilerici tasarımlarında, kapasite faktörleri arttırılmış, reaktör bileşenlerinin ve parçalarının (buhar üretici, kor hacmi) boyutları küçültülmüş, buhar ureteç sayısı birden dörde çıkarılmış ve reaktörün enerji üretim verimliliği arttırılmıştır. 60 MW elektrik gücü ile başlayan ilk PWR lar, günümüzde 1300 MW net elektrik gücüne kadar çıkabilmektedir.

Bütün PWR’lerde ortak olan bileşenler; koru ve kor varilini içeren reaktör basınç kabı, buhar ureteçlerine ısıyı taşıyan 4 kollu birincil soğutucu döngüsü, turbine buhar taşıyan ikincil döngü ve, kontrol ve güvenlik sistemleri gibi sistemlerdir. Birincil soğutucu sistemin basıncı, birincil soğutucu döngüsündeki kollardan birinin üzerine yerleştirilmiş bir “basınçlandırıcı” tarafından kontrol edilmektedir. Reaktörde herhangi bir kaza durumunda çevreye radyoaktif sızıntıyı önlemek için birincil döngüyü tamamen örten koruma kabuğu mevcuttur.

Dünya çapında önde gelen PWR üretici firmalar arasında, ABD’de Westinghouse, Babcock ve Willcox, ve Combution Engineering; Fransa’da Framatome; Almanya’da Kraftwerk Union (KWU) yer almıştır.

Modern PWR tasarımları, yakıt çubuklarını ve yutucu çubuklarını içeren dikey yakıt demetlerini de içine alan daha büyük yakıt demetlerinden oluşmaktadır. Ortalama yakıt zenginliği ~%3 civarında olup, yakıtın dışını saran zarf malzemesi Zirkaloy-4 malzemesinden oluşmaktadır. Reaktör basınç kabı, kaynamayı önleyecek şekilde yeterince yüksek basınçta (15.7 MPa) hafif su taşımaktadır. Suyun kora giriş sıcaklığı 296 °C, çıkış sıcaklığı ise 320 °C dir. Reaktörün güç kontrolü, korun üstüne yerleştirilen kontrol çubukları ile ve soğutucuya verilen boron miktarının ayarlanması ile gerçekleştirilmektedir. Reaktör korunda üretilen ısı, birinci döngüdeki soğutucu vasıtasıyla buhar ureteçlerine gönderilmekte, bir ısı değıştiricisi ile ısı, ikinci kısma aktarılmaktadır. Burada üretilen buhar, turbine gönderilmeden önce buhar ayırıcısına ve kurutucusuna gönderilerek yüksek kalitede buhar elde edilmektedir.

PWR reaktörlerine yakıt yüklenebilmesi için reaktörün kapatılıp uygun yakıt yükleme lisansının alınması gerekmektedir. Yakıt yükleme esnasında, kullanılmış yakıtın üçte biri kullanılmış yakıt depolama tesislerine gönderilmekte, geri kalan üçte ikilik bölümün yeri değiştirilip çıkarılan yakıt yerine taze yakıt yüklenmektedir. Yakıt yüklemesi, reaktör performansını en üst düzeye getirecek şekilde tasarlanmaktadır. Yakıt yükleme süresi 4-6 hafta arasında değişmekte olup, bu esnada reaktör kapalı olacağından elektrik enerjisi üretilmemektedir. Devredışı konumda iken reaktör bileşenlerinin tamirat, tadilat, yedek parça değişimi gibi işlemleri yapılmaktadır. Her üç yılda bir kere kor tamamen çıkartılarak reaktör kabı ve ekipmanları gözden geçirilmektedir. Bu inceleme 3 ay kadar sürebilmektedir.

PWR'ler, soğutucu kaybı, akışkan kaybı, ani güç yükselmesi gibi ciddi kazaların olmasını önleyecek, kazaların gerçekleşmesi durumunda ise kazanın oluşturacağı hasarı en aza indireyecek özel güvenlik sistemleri<sup>8</sup> ile donatılmıştır.

III. ve III+. Nesil PWR tipi reaktörlerin iki farklı tasarımı vardır; orta ve büyük ölçekli güç üretenler. 600 MW elektrik gücü üreten AP600 ve AC-600 tasarımlar orta ölçekli tasarımlardır. 1000 ve 1000+ MW elektrik gücü üreten EPR, APWR, System 80+, KNGR, AP1000 ve EP1000 tasarımlar büyük ölçekli tasarımlardır. Bu tasarımlar, II. Nesil PWR'lerin reaktör işletme deneyimlerine dayanan<sup>9</sup> evrimselleşmiş reaktör tasarımlarıdır. Reaktör çalışma süreleri 60 yıldır.

Avrupa Basınçlı Su Reaktörünün (EPR), Gelişmiş Basınçlı Su Reaktörünün (APWR) ve Kore Gelecek Nesil Reaktörünün (KNGR<sup>10</sup>) geliştirilmesinin asıl amacı, mevcut reaktörlerin güvenlik sistemlerinin basitleştirilmek istenmesi, aktif güvenlik sistemlerinde meydana gelen ortak hata tiplerinin ortadan kaldırılmak istenmesi, evrimsel tasarımla uyumlu çeşitli yedek sistemlerin denenmek istenmesidir. Avrupa ve Japonya, halen işletmede olan PWR'lerden elde ettikleri deneyimlere dayanarak bu tasarımları geliştirmişlerdir. Temel tasarım özellikleri arasında, uranyum kullanım verimini artırmak, reaktörün iç yapısında dayanıklılığı artırmak ve

---

<sup>8</sup> Nükleer enerji santrallerinin ilk yatırım maliyetinin yüksek olmasının temel sebebi, yüksek teknoloji gerektiren güvenlik sistemlerine ihtiyaç duymasıdır.

<sup>9</sup> Özellikle bugüne kadar meydana gelen kazaların yönetiminden ve mevcut reaktörlerin tasarım sorunlarından yararlanılarak.

<sup>10</sup> Kore Nükleer Endüstrisi ve KEPCO tarafından geliştirilen yeni nesil reaktördür.

geliştirilmiş güvenlik sistemleri vardır. Daha yüksek verimliliğe ve kapasite faktörüne sahip olmasından dolayı düşük maliyetle elektrik üretmesi, arttırılmış güvenlik sınırı ve bakım süresindeki kısalma diğer önemli ilerlemelerdir.

AP1000, AP600, AC-600<sup>11</sup> tasarımları, hemen hemen tamamı pasif güvenlik sistemleri ile yerçekimine dayalı doğal dolaşımli soğutma üzerine kurulmuştur. Üç önemli güvenlik sistemine sahiptir: i) pasif atık ısı atma, ii) pasif güvenlik enjeksiyonu ve iii) pasif koruma kabuğu soğutması. PWR'lerden farkı, buhar üreticilerinde ve soğutucu pompa hacminde değişikliğe gidilmiştir. Reaktör inşaa süresi 36 aya indirilmiştir.

### **BWR ve Gelişmiş BWR Tasarımları**

Dünyada elektrik enerjisi üreten reaktör tipleri arasında basınçlı su reaktörlerinden sonra en yaygın olarak kullanılan Kaynar Sulu Reaktörlerinin (BWR) (Şekil 11) ticari amaçlı ilk örneği olan 180 MW gücündeki Dresden-1 reaktörünün yapımına, General Electric firması tarafından 1957 yılında başlanmış ve bu reaktör 1961 yılında işletmeye alınmıştır. Daha sonrasında Siemens (KWU,Almanya), ABB-Atom (İsviçre/İsveç), Toshiba ve Hithachi (Japan) gibi birçok BWR tedarikçisi şirket kurulmuştur<sup>12</sup>. BWR hafif su soğutmalı su yavaşlatıcılı nükleer reaktör tipidir. Reaktör % 3 civarında zenginleştirilmiş UO<sub>2</sub> yakıt kullanmakta ve termal nötron spektrumunda çalışmaktadır. Reaktöre giren soğutucu 7.6 MPa basınçta 275 °C'de girip 290°C sıcaklıkta kaynar durumda reaktör korunu terk etmektedir. BWR reaktörlerinde buhar üretici bulunmamaktadır. Reaktörde üretilen su buharı reaktör korunun üzerinde bulunan buhar kurutuculardan geçirilerek direk türbine gönderilerek elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Türbinden geçen su yoğuşturucudan geçirilerek sıvı fazına dönüştürülür, sonra tekrar reaktör kazanına pompalanır.

PWR reaktörlerinden farklı olarak reaktörü kontrol etmeye ve durdurmaya yarayan haç biçiminde kontrol çubukları bulunmaktadır. Kontrol çubukları haricinde BWR'leri kontrol etmek için sisteme pompalanan su miktarının değiştirerek de sistem kontrolü yapılır. BWR'lerde herhangi bir kaza durumunda kor kısmını soğutmak için geliştirilmiş, kor soğutucu ve ısı atma sistemleri ile vardır.

---

<sup>11</sup> Çin Nükleer Güç Enstitüsü tarafından geliştirilen yeni nesil reaktördür.

<sup>12</sup> <http://www.ansn-jp.org/jneslibrary/npp2.pdf>

BWR reaktör tasarımlarının elektrik çıkışları yaklaşık olarak 350 ile 1350 MW arasında değişim göstermektedir. İleri tasarımlar olarak adlandırılan, İleri BWR (ABWR) tipi reaktörler ise III. Nesil nükleer reaktör tasarımlarındandır. Güvenlik sistemleri ve ürettikleri güç miktarları bakımından BWR'lerden farklıdır. ABWR tasarımlarında BWR tasarımlarından belirli olarak değiştirilen bazı mekanizmalar bulunmaktadır. Bunlar; reaktör soğutucu suyu pompa tasarımları değiştirilerek, devir daim pompaları ve jet pompalarının yerine reaktör içerisine yerleştirilmiş bu iki pompa tipi kombinasyonu olan dahili pompalar olarak tasarlanmıştır. Eskiden hidrolik sistemlerle çalışan kontrol çubuğu sürme mekanizmaları hem hidrolik hem de motor-güdümlü sistemlerle hareket edecek biçimde tasarlanmıştır. Reaktör koruma kabı ön-gerilmeli beton şekline dönüştürülmüştür. Güvenlik sistemlerinde kullanılan aktif sistemler olabildiğince basitleştirilmiştir. Örneğin, herhangi bir yangın sel ve güç kaybı gibi durumlarda her bir bölümü fiziksel olarak birbirinden ayıran bölme duvarları ve her bir bölümün kendine ait dizel jeneratörleri bulunmaktadır.

Basitleştirilmiş BWR (SBWR) 600 MW gücündeki pasif güvenlik prensibine göre tasarlanmış reaktörlerdir. Ekonomik Basitleştirilmiş BWR (ESBWR) reaktörleri ise III+. Nesil reaktörler olup ABWR teknolojisinin üzerine inşa edilmiştir. 1560 MW çıkış gücüne sahip ESBWR tasarımları herhangi bir devir daim pompası kullanmamakta, reaktör koru doğal taşınım ile soğutulmaktadır. Doğal taşınım ile soğutulduğu için işletim ve bakım maliyetleri düşmekte böylece genel maliyet miktarı da azalmaktadır. ESBWR reaktörlerinde, BWR ve ABWR tasarımlarından temel alınarak geliştirilmiş yüksek pasif güvenlik sistemleri ile vardır.

### **Rus Tipi Reaktör Tasarımları: VVER ve RBMK Reaktörleri**

VVER reaktörleri (Şekil 12) ilk olarak VVER-440 modeli ile 1960'lı yıllarda işletmeye alınmıştır. Çalışma süreleri uzatılmış olarak işletilen ya da halen işletim halinde olan 18 tane VVER-440 bulunmaktadır. Dünyada, Bulgaristan, Ermenistan, Çek Cumhuriyeti ve Finlandiya gibi ülkeler bu reaktör tasarımını enerji elde etmek için kullanmaktadır. 1975-1985 yılları arasında artan enerji ve güvenlik ihtiyacından dolayı VVER-1000 modeli tasarlanmıştır. Rus tipi nükleer reaktör teknolojisi batılı anlamda hafif sulu nükleer reaktör teknolojisidir.

VVER reaktörleri su soğutmalı su yavaşlatıcılı reaktörlerdir. VVER reaktörleri termal nötron spektrumunda çalışmaktadırlar. Elektrik üretmek amacıyla tasarlanmışlardır. Silindirik yakıt çubuklarının dizilimleri altıgen kafes şeklinde, prizmatik yakıt demetleri biçimindedir. Buhar üreteçleri ise PWR tipi reaktörlerden farklı olarak yatay biçimde tasarlanmıştır. Reaktör

korundan ~12MPa basıncındaki su 269°C'de girip 310°C'de çıkmaktadır. Reaktör koruna bağlı toplam altı adet yatay buhar üretici bulunmaktadır.

İki ısıl çevrimden oluşan VVER'ler, ilk çevrimde nükleer reaktör korunda nükleer reaksiyonlar sonucu ortaya çıkan ısı enerjisini yatay buhar üreticileri ile ikincil çevrime aktarmaktadırlar. İkincil çevrime aktarılan ısı enerjisi türbinler ile elektrik enerjisine dönüştürülmektedir.

VVER-440 ile VVER-1000 arasındaki en büyük farklılıklar, güç seviyelerindeki artış ve VVER-440'larda bulunmayan herhangi bir ciddi kaza durumunda reaktör korundan radyasyon sızıntısını önleyici koruma kabuğunun VVER-1000 reaktörlerinde bulunmasıdır. VVER-1000 reaktör koruna 15.8 MPa'da giren su 288°C'de girip 317°C'ye ulaşmaktadır. Reaktördeki buhar üreticileri azaltılarak sayısı dörde indirilmiş, böylece olası bir soğutucu kaybı kazası olasılığı düşürülmüştür. Çalışma süreleri uzatılmış olarak işletilen ya da halen işletme durumunda olan 29 tane VVER-1000 reaktörü vardır<sup>13</sup>.

III. Nesil nükleer reaktör teknolojisi içerisinde yer alan VVER-1200 modeli, VVER-1000 reaktörlerinin geliştirilmiş bir versiyonu olarak karşımıza çıkmaktadır. Reaktör kor içeriği ile fisil madde miktarı artırılarak yakıttan elde edilen yanma oranı artırılmıştır. ~16MPa basıncına sahip reaktör soğutma suyu 298°C'de girip 330°C'de çıkmaktadır. Reaktör kuru, kazanı ve ısı değiştiricileri tasarım parametreleri değiştirilerek, hem reaktör ömründe hem de reaktörden elde edilen verimde artış sağlanmıştır. VVER-1200 reaktörlerinde kontrol demetlerinin sayıları artırılmış böylece Karışık Oksit Yakıtlarının (MOX: Mixed Oxide Fuel)<sup>14</sup> mevcut kor tasarımında değişiklik yapılmaksızın kullanımı da dahil yeni yakıt çevrimlerine imkan sağlamıştır.

VVER-1200 reaktör modelinin V491 ve V392M şeklinde adlandırılan iki farklı versiyonu bulunmaktadır. V491 versiyonu V392M'e göre VVER-1000 reaktörlerinden kazanılan pozitif deneyimle, güvenlik sistemleri bakımından aktif sistemlerin baskın olduğu reaktörlerdir. Şu anda 2 adet V392M Novovoronezh'de ve 2 adet Leningrad-2'de V491 reaktörleri kurulum aşamasındadır. Türkiye'ye de kurulması planlanan versiyonu V491'dir.

VVER ve RBMK reaktörleri arasında hem yapısal olarak hem de amaçları bakımından farklılıklar göstermektedir. RBMK reaktörleri ise su soğutmalı

---

<sup>13</sup> V.A. Mokhov 2010 Advanced Designs of VVER Reactor Plant VVER-2010. Experience & Perspectives, 01-03 November 2010. Prague. Czech Republic

<sup>14</sup>Uranium ve Plütonyumu birlikte içeren yakıtlardır.

grafit yavaşlatıcılı kaynar sulu reaktörlerdir. RBMK'lar esas olarak plütonyum üretmek amacıyla tasarlandıkları için basınç kazanı<sup>15</sup> içermemektedirler. Dünyada halen Litvanya, Ukrayna ve Rusya gibi eski doğu bloğu ülkeri tarafından kullanılmaktadır. Düşük zenginlikte (2-2.4 %) uranyum kullanılmaktadır. Basınç tüplerinden geçirilen soğutucu, reaktör koruna 270<sup>0</sup>C'de girip 284<sup>0</sup>C'ye çıkmakta ve buhar ayırıcılardan geçirilerek türbine gönderilip yüksek güçte (1000-1500 MW) elektrik enerjisi elde edilmektedir. Kaynar sulu reaktör olmalarına rağmen kor çalışır durumda iken yakıt değiştirilebilecek şekilde tasarlanmıştır. RBMK reaktörlerinin kontrolü, çoğunluğu yukarıdan reaktör koruna sokulan kontrol çubuklarıyla yapılmaktadır. Reaktör boyutlarının büyük olması nedeniyle koruma kabı bulunmamaktadır. Çernobil kazasının gerçekleştiği reaktör RBMK tipinde bir reaktördür.

Halen dünyada 11<sup>16</sup> adet RBMK işletim durumda olup Rusya'nın nükleer enerjiden elde ettiği elektirik enerjisinin % 48'ini karşılamaktadır. 2006 yılında ROSATOM tarafından bu 11 santral için yenilemeler yapılarak (Çernobil kazasının ardından yapılan tasarım değişiklikleriyle) işletim zamanlarını uzatmıştır.

### **Ağır Su Reaktörleri (HWR)**

Ticari reaktörler arasında ikinci sırada ağır su reaktör tasarımları (Şekil 13) gelmektedir. Bu reaktörlerin tasarımlarının geliştirildiği ve işletmeye alındığı önder ülkeler arasında Kanada, Japonya ve Hindistan<sup>17</sup> gösterilebilir. Temelde HWR'ler LWR'e göre çok önemli avantajlara sahiptir. Bu üstünlükleri arasında, yakıt zenginleşirmesine ihtiyaç duymaması, reaktör çalışır durumda iken yakıt yüklemesi yapılabilmesi ve oldukça basit bir yakıt çevrimine sahip olması gösterilebilir. Buna karşın dezavantajları, kor bölgesinin LWR ile kıyaslandığında bir hayli büyük olması, ağır su üretmek için tesis kurulması, ağır su üretim maliyetinin pahalı olması ve termodinamik verimliliğin düşük olmasıdır.

---

<sup>15</sup>Batılı anlamda "KorumaKabuğu"olarak adlandırılan ikincil bir bariyer bulunmamaktadır.

<sup>16</sup> <http://www.world-nuclear.org/info/inf31.html>

<sup>17</sup>Ağır su reaktör teknolojisinde oldukça ileride olan Hindistan, bu reaktörü daha çok üretken toryum izotopunu (Th-232) fisil uranyum (U-233) izotopuna dönüştürerek kendi yakıtını üretmek için kullanmaktadır. Bu amaçla mevcut HWR tasarımlarında değişikliğe gitmişler ve gelişmiş basınçlı ağır su reaktörünü (APHWR) geliştirmişlerdir.

İlk tasarım temellerine Kanada, CANDU (*CAN*ada *D*euterium *U*ranium) reaktör tasarımını yaparak başlamıştır. CANDU-600/9 gibi dünyada kurulu ticari ağır su reaktörlerinin tamamı bu tasarıma dayanmaktadır. Yakıt olarak doğal uranyum<sup>18</sup> içeren yakıt çubukları kullanılmaktadır. Yakıt demetleri, merkezde bir yakıt çubuğu olmak üzere merkez yakıt çubuğu etrafında sıralanmış üç halka şeklinde üretilmektedir. Yatay silindir basınç tüpü – *calandria* olarak adlandırılır- yüzlerce yatay yakıt kanallarına bölünmüştür. Bu yakıt kanallarını yakıt demetleri çevrelemektedir. 10 MPa basınçlı ağır su, yakıt kanalları arasından geçerek akmaktadır. Bu akış sırasında herhangi bir kaynama olmamaktadır. Ağır su kora yaklaşık 266 °C de girer, yaklaşık 310 °C de çıkar.

Bu reaktörlerin gelişmiş tasarımları, ACR-700/1000<sup>19</sup> (Advanced Candu Reaktörü), yavaşlatıcı olarak ağır su (D<sub>2</sub>O), soğutucu olarak hafif su (H<sub>2</sub>O) kullanacak şekilde evrimleştirilmiştir. Bunun haricinde, CANDU tasarımından farklı olarak, ileri pasif güvenlik sistemleri etkin hale getirilmiştir. Reaktör kor tasarımında, değişikliğe gidilerek kor hacmi üçte birine indirilmiştir. Yakıtta düşük düzeyde ~%2.1- 2.4 arasında zenginleştirmeye gidilmiştir. Yakıt demeti halka sayısında üçten dörde çıkartılmıştır.

Doğal uranyum yakıt çevriminin uygulanabilirliği gibi önemli bir avantajı haricinde, mevcut LWR'lerden çıkan kullanılmış yakıtları doğrudan kullanabilme<sup>20</sup> gibi çok önemli bir avantajı da vardır. Bu ise, depolanacak kullanılmış yakıt miktarında ve gömülecek yüksek aktiviteli atık miktarında ciddi oranlarda azalma sağlamaktadır. Özellikle, hafif su güç reaktör teknolojisine sahip ülkeler için bu reaktör teknolojisi önemli bir kazanç sağlayacağı düşünülmektedir.

---

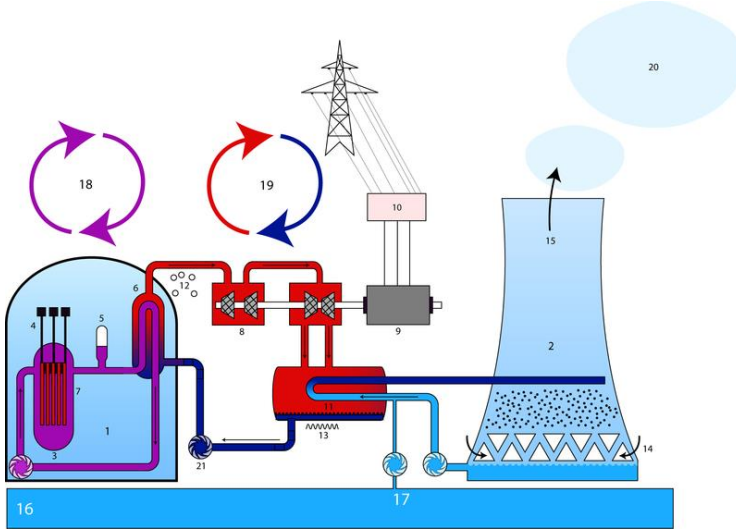
<sup>18</sup>Doğal uranyum içeriği ağırlıkça: %0.0053 U-234, %0.711 U-235, %99.284 U-238 dir.

<sup>19</sup>Nesil III+ olan ACR reaktörleri Atomic Energy of Canada Limited (AECL) tarafından geliştirilmektedir.

<sup>20</sup> DUPIC (*D*irect *U*se of spent *P*WR fuel *I*n *C*ANDU) olarak adlandırılan bu yakıt çevrimi seçeneği Güney Kore, Hindistan gibi her iki reaktör teknolojisinde sahip ülkeler tarafından ilgi görmekte ve ArGe faaliyetleri yürütülmektedir.

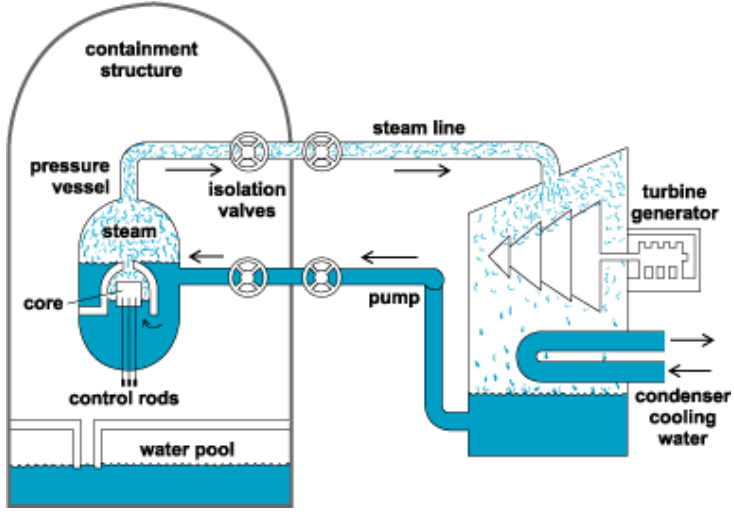
## Diğer Reaktör Tasarımları ve IV. Nesil Tasarımlar

Daha önce bahsedildiği gibi, Gaz Soğutmalı Reaktörler (Gas Cooled Reactor - GCR), Hızlı Üretken Reaktörler (Fast Breeder Reactor - FBR) ve Grafit Yavaşlatıcılı Su Soğutmalı Reaktörler (Light Water Cooled Graphite Moderated Reactor - LWGR) de bazı ülkeler tarafından kullanılmaktadır. Ayrıca, uluslararası işbirlikleri ile IV. Nesil reaktörler, farklı ülkelerde tasarlanmaktadır. Ancak bu kısımda bahsi geçen tüm tasarımlar, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu tarafından belirlenen, Türkiye'ye kurulacak nükleer santrallerin teknik ölçütlerine uyumlu olmadığından bu raporda bu tasarımların anlatılmasına yer verilmemiştir.



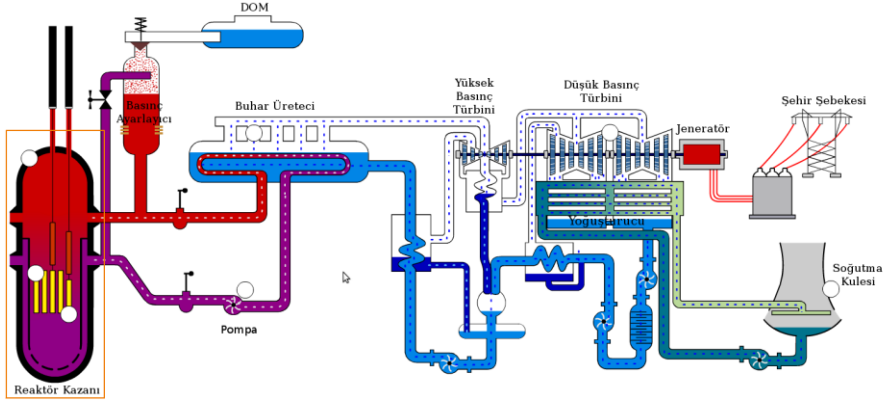
1. Reaktör Binası, 2. Soğutma Kulesi, 3. Reaktör Kori, 4. Kontrol Çubukları, 5. Basınçlandırıcı, 6. Buhar Üretici, 7. Yakıt Demetleri, 8. Türbin, 9. Elektrik Üretici, 10. Dönüştürücü, 11. Yoğunlaştırıcı, 12. Buhar Fazındaki Su, 13. Sıvı Fazdaki Su, 14. Soğuk Hava, 15. Isınmış Hava, 16. Su Kaynağı (Nehir ya da Deniz) 17. Soğutma Suyu Çevrimi, 18. Birincil Çevrim, 19. İkincil Çevrim, 20. Su Buharı, 21. Pompa

Şekil 10. PWR Reaktörünün Şematik Gösterimi

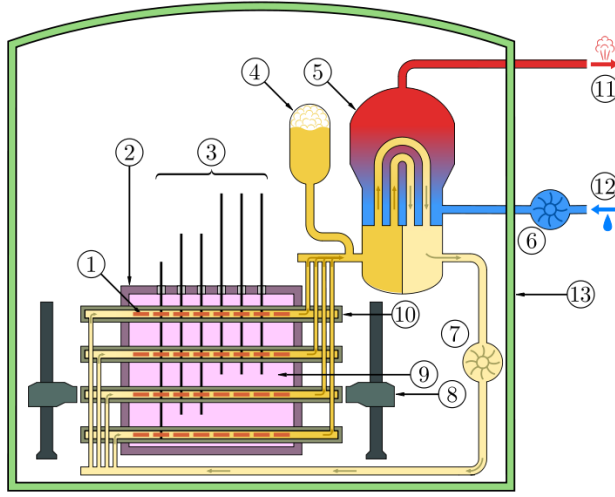


Containment Structure: Koruma Kabı, Pressure Vessel: Basınç Kabı, Core: Reaktör Kuru, Control Rods: Kontrol Çubukları, Water Pool: Su Havuzu, Isolation Valves: Ayırıcı Valfler, Steam Line: Buhar Döngüsü, Turbine Generator: Türbin Üretici, Pump: Pompa, Condenser Cooling Water: Yoğunlaştırıcı Soğutma Suyu

Şekil 11. BWR Reaktörünün Şematik Gösterimi



Şekil 12. VVER Reaktörünün Şematik Gösterimi



1. Yakıt Demeti, 2. Reaktör Kuru (Calandria), 3. Kontrol Çubukları, 4. Ağır Su Basınçlandırıcı Deposu, 5. Buhar Üretici, 6. Hafif Su Pompaları, 7. Ağır Su Pompaları, 8. Yakıt Yükleme Makinesi, 9. Ağır Su Yavaşlatıcı, 10. Basınçlı Tüp, 11. Türbine Giden Buhar, 12. Türbinden Dönen Soğut Su, 13. Öngerilmeli Beton Koruma Kabuğu

Şekil 13. CANDU Reaktörünün Şematik Gösterimi

## Ülkelerin Enerji Politikaları

Ülkelerin ekonomik ve sosyal gelişimlerinin en önemli etkenlerinden biri enerjidir. Bu nedenle ülkelerin enerji politikalarını belirlerken kesintisiz, güvenilir, temiz ve ucuz enerji kaynaklarının bulunması ve bu kaynakların çeşitlendirilmesi esas alınır. Bazı geleneksel enerji kaynakları (kömür, vb.) ile geri kalmış teknoloji kullanımının doğal çevrede geri dönülemez hasarlara yol açmaması için enerji politikaları belirlerken enerji, ekonomi ve ekoloji arasında denge kurulmasına özen gösterilmelidir. Enerji üretimi planlamaları yapılırken bu denge gözetilerek kaynak çeşitliliği ve enerji güvenliği modelleri oluşturulmaya başlanmıştır. Birincil enerji kaynaklarından elde edilen elektrik enerjisi depo edilemediğinden planlama oldukça büyük önem taşımaktadır.

## **Uygulanan ve Uygulanması Düşünülen Planlanlamalar**

Ülkelerin genel olarak benimsedikleri temel prensipler aynıdır: kesintisiz, güvenilir, temiz ve ucuz enerji kaynaklarının kullanılması ve enerji çeşitliliği. Ancak gerek enerji ham maddesine yakınlıkları gerek jeopolitik konumları gerekse ülkelerin ulusal çıkarlarındaki farklılıklar göz önüne alındığında her ülkenin enerji politikası ve uyguladığı politikalar da farklılıklar gösterir. Burada ABD, Fransa ve Finlandiya'nın enerji politikaları ve uygulanan planlamaları incelenecektir.

### **ABD**

Amerika Birleşik Devletleri'nin enerji ihtiyacı ekonomisindeki hızlı gelişme, artan nüfus ve yaşam standartlarındaki yükselme sebebiyle her geçen gün artmaktadır. Bu artan enerji ihtiyacı üç temel yöntemle karşılanabilir. Bunlar enerji tasarrufu, enerji altyapısının yenilenmesi ve modernleştirilmesi ve çevreyi koruyan ve destekleyen yollarla enerji kaynaklarının artırılmasıdır. ABD'nin enerji politikası ise üç temel prensibe dayanır:

1. Uzun vadeli bütünlük bir enerji stratejisi oluşturmak
2. Yeni, çevre dostu teknolojiler ile enerji kaynaklarını arttırmak ve temiz, daha verimli enerjinin kullanımını teşvik etmek
3. Enerji, ekonomi ve çevrenin bütünleştirilmesi ve dengenin sağlanması yoluyla vatandaşlarının yaşam standartlarını yükseltmek

Bu enerji politikası doğrultusunda ABD'nin uygulamalarının ilki enerji tasarrufunun teşvikine yöneliktir. Bu amaçla ilk hedef yeni teknolojilerin kullanımıyla enerji verimliliğini arttırmaktır. Bunun yolu da üretkenliği arttırmak, atıkları azaltmak ve maliyetleri düşürmektir. Vatandaşların günlük yaşamlarında ve iş yaşamlarında yapacakları enerji tasarrufları da enerji tasarrufunun vazgeçilmez bir parçasıdır. Enerji tasarrufunun vatandaşlar arasında yaygınlaştırılması için çalışmalar yürütülmektedir.

İkinci uygulama ise hali hazırda sahip olunan enerji kaynakları altyapısının yenileştirilmesi ve modernleştirilmesidir. Elektrik dağıtım hatları ve şebekelerinin yenilenmesi ile kayıp ve kaçakların azaltılması sağlanarak enerji tasarrufu sağlanır. Ayrıca boru hatlarının bakımdan geçirilmesi ile kayıplar engellenirken ham madde güvenliğine de katkı sağlanmış olur.

Üçüncü olarak ABD'de çevre dostu enerji kaynaklarının artırılması yoluna gidilmektedir. ABD'nin ulusal enerji politikası gereği burada hedef enerji çeşitliliğini sağlamaktır. Bunun anlamı yerel kaynaklar olan petrol, gaz ve

kömürün kullanımı yanı sıra su gücü ve nükleer güçten ve ayrıca su gücü dışındaki bütün yenilenebilir enerji kaynaklarından en iyi seviyede yararlanılmasıdır. Çevreye daha az zarar vermesi sebebiyle çok sayıda doğal gaz santrali inşası yapılmaktadır. Ancak en az 250 yıl daha kömürden enerji üretimine devam edebilecek olan ABD, kömür santrallerinin çevreye olan olumsuz etkilerinin azaltılması ile (karbon salınımının azaltılması) yeni nesil kömür santrallerine geçiş yapacağını belirtmektedir.

Nükleer güç santralleri, ABD'nin enerji çeşitliğindeki en önemli elektrik üretim kaynaklarından biridir. Şu an ülke enerji ihtiyacının %20'sini 104 adet nükleer güç santralinden sağlamaktadır. Ülkenin kuzeydoğu, güney ve ortabatı kesiminin enerji ihtiyacının ise %40'ını nükleer güç santralleri karşılamaktadır. Nükleer güç santralleri sera gazı emisyonu yapmadığı için çevre dostu, temiz bir enerji üretimi gerçekleştirirler. Ayrıca elektrik üretim maliyeti açısından bakıldığında diğer kaynaklarla aynı seviyeyi yakalamaktadır. Ömrü biten santraller kapatılmasına rağmen nükleer güç santrallerinin üretimdeki payı giderek artmıştır. Nükleer güç santralleri bugün daha da dikkat çekici bir hal almıştır. Bunun temel sebeplerini şöyle sıralayabiliriz:

1. Güvenli, standartlaştırılmış santral tasarımları
2. Geliştirilmiş lisanslama aşaması
3. Nükleer Düzenleme Kurulu'nun (NRC) etkin güvenlik denetlemeleri
4. Yeni teknolojilerin eklenmesi
5. Doğal gaz fiyatlarının giderek artış göstermesi

Yukarıda sıralanan sebepler neticesinde nükleer santrallerin yeniden lisanslanmış ve pek çok santralde deneyimli personel tarafından yapılan iyileştirme ve takviye çalışmaları yapılmıştır. Bu santrallerin denetlenmesi Nükleer Düzenleme Kurulu tarafından katı denetleme programları izlenerek yapılmaktadır. Nükleer güvenlik kültürü, yeni tasarım özelliklerinin eklenmesinde, çalışma deneyiminin geliştirilmesinde, nükleer güvenlik araştırmalarında ve operatör eğitiminde izlenerek nükleer endüstrinin güçlü güvenlik kayıtlarına katılır. Nükleer enerjinin kullanımındaki en önemli ve dikkat edilmesi gereken konulardan biri kullanılmış yakıtın ve yüksek ve düşük seviyeli radyoaktif atıkların, uzun süre, güvenli bir şekilde depolanmasıdır. Federal hükümet bu atıkların sorumluluğunu alır. Son depolama seçenekleri oldukça az olmakla beraber, son depolama yerlerinin seçilmesi konusunda henüz anlaşma sağlanamamıştır. Ancak ABD'de üç adet aktif depolama merkezi bulunmaktadır. Nükleer atıkların yeniden işlenerek

tekrar kullanılabilir duruma getirilmesi için yapılan çalışmalar hız kazanmaktadır. Bu işlem son depolama için alan gereksinimini ortadan kaldırmayacaktır ancak alan kullanımının azaltılmasını sağlayacaktır. Yeni bir teknoloji olan “Hızlandırıcı Dönüştürücüler”e olan ilgi giderek artmaktadır. Bu yeni teknoloji yeniden işleme teknikleri ile birlikte kullanılarak nükleer atıkların radyoaktivite ve toksit seviyesinin azalmasını sağlayacaktır.

ABD Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (IEEE), 2010 yılında yayınladıkları ulusal enerji politikasına önerilerinde nükleer güç santrallerinin kullanımının artırılmasını önermişlerdir<sup>21</sup>. Nükleer santraller elektrik üretiminde en geniş kapasiteye sahip güç üretim kaynaklarıdır ve sera gazı salınımı yapmazlar. Bunlara ek olarak, bu santraller zamandan ve hava şartlarından bağımsız olarak “sürekli temel yük üretimi” yapabilirler. Bütünleşik enerji politikasının vazgeçilmez bir unsuru olarak görülen nükleer enerji güvenli, kesintisiz ve çevre dostu bir elektrik üretim seçeneğidir. Bu sebeple nükleer yakıt döngüsünü tamamlayacak araştırma ve çalışmaların yapıldığı kullanılmış nükleer yakıt yönetimi programı desteklenmektedir. Ayrıca nükleer yakıt yeniden işleme teknolojileri geliştirilmektedir. Yeni nesil nükleer santrallerin geliştirilmesine katkıda bulunan kurumlar; endüstri ve akademiler desteklenmektedir.

## **FRANSA**

Fransa'nın enerji politikasında temel alınan ana unsurlar şunlardır:

1. Uluslararası yakıt bağımlılığının azaltılması
2. Çevrenin korunmasının sağlanması ve özellikle sera gazı etkisinin azaltılması
3. Yakıt fiyatlarının uygunluğunun garanti edilmesi
4. Tüm ulusun enerjiye erişiminin sağlanarak sosyal ve çevresel gelişmeye katkıda bulunulması

Bu unsurların sağlanması amacıyla dört temel uygulama yapılmaktadır:

---

<sup>21</sup> IEEE-USA Policy Position Statement, National Energy Policy Recommendations, February 2010

1. Enerji arzının kontrolü: Bu kontrol enerji koruma sertifika şeması gibi çeşitli programlar, belli başlı standartlar ve düzenlemeler ve vergi teşvikleriyle sağlanmaktadır.
2. Enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi: Nükleer santrallerin kullanımına ara vermeksizin yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı arttırılmaktadır.
3. Enerji alanında araştırmaların arttırılması: Uzun vadede enerji sorununun çözülmesi için araştırma ve geliştirme çalışmaları vazgeçilmezdir. Bu çalışmaların başlıcaları, bio-enerji, yakıt hücreleri, temiz araçlar, enerji verimliliği arttırılmış binalar, güneş enerjisi, karbondioksitin yer altında depolanması ve 4. Nesil nükleer enerji santralleri alanlarındadır.
4. Enerjinin depolanması ve iletilmesi için methodların geliştirilmesi: Sürekli elektrik sağlama garantisi verilecektir. Gaz ve elektrik hatlarının güvenliği sağlanacaktır. Genel olarak amaç Fransız enerji arzı güvenliğini geliştirmektir.

Fransa'nın enerjide dışa bağımlılığını azaltmak amacıyla enerji tasarrufunun yaygınlaştırılması ve nükleer enerji ile yenilenebilir enerjilere yatırımın desteklenmesi kararlaştırılmıştır. 2004'de Avrupa'nın basınçlı su reaktör tasarımı olan EPR'ın bir modelinin inşa edilmesi kararlaştırılmıştır. Bu reaktör tipi yalnızca eski reaktörlerin yerini almak üzere değil aynı zamanda onların yenileştirilmesi ve takviye edilmesi amacıyla da seçilmiştir. Atık yönetimi üzerine ise yeni kanunlar çıkarılmıştır. Bu yeni kanunlar ile atık yönetiminin adımları tanımlanmıştır. Enerji tasarrufunu yaygınlaştırmak amacıyla vergiler yeniden düzenlenmiş ve enerji tasarrufu ve yenilenebilir kaynakların kullanılması bu yeni düzenlemeler yoluyla teşvik edilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları için pek çok destekleme programı yürürlüğe sokulmuştur.

Nükleer enerjinin Fransa elektrik üretimindeki payı %80'dir. Birincil enerji kaynaklarının ise %40'ını nükleer oluşturur. Fransa, ihtiyacı olan petrol, gaz ve kömürün neredeyse tamamını ithal etmektedir. Günümüzde küresel ısınmanın tüm dünya üzerindeki olumsuz etkileri ve yarattığı iklim değişiklikleri insanlığın en önemli sorunlarından biri olarak görülmektedir. Küresel ısınmanın yavaşlatılması için sera gazı salınımlarının olabilecek en düşük seviyelere indirilmesi gerekmektedir. Ancak özellikle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin enerji gün geçtikçe artmaktadır. Bu sebeple sera gazı salınımlarının azaltılması (çevre) ve enerji ihtiyacının karşılanabilmesi için (ekonomi) enerji-ekonomi ve çevre dengesinin iyi kurulması

gerekmektedir. Fransa'nın enerji politikası ve 2005 yılında imzaladığı enerji antlaşması gereği karbon emisyonlarını 2050 yılının sonunda dörtte birine düşürmesi gerekmektedir. Ancak enerji yoğunluğu 2030 yılına kadar %2.5 oranında azaltılması öngörülmektedir. Bu açığı kapatmak amacıyla 2010 yılından itibaren yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimdeki payı %10'a çıkarılmıştır. Öte yandan kesintisiz güç kaynaklarına olan ihtiyaç düşünüldüğünde enerji pazarında öne çıkan iki enerji kaynağı nükleer enerji ve su gücüdür.

Ulusal enerji ajansı (IEA) ülkeleri arasında ve dünya genelinde nükleer santrallere olan ilgi tekrar canlanmıştır. Nükleer teknoloji düşük karbon salınımı ile, su gücünden ayrı olarak, büyük üretim gücüne sahip, temel yük elektrik kaynağıdır. Fransa'nın temel yük üretiminin %80'ni nükleer santrallerden elde edildiğinden bazı zamanlarda ihtiyacından fazla üretimi olmuş ve bu zamanlarda Avrupalı komşularına bu elektriği ihraç etmiştir. Fransız hükümeti, uzun vadede karbon salınımının azaltılması için hem kendi ülkesinde hem de küresel anlamda nükleer enerjinin enerji çeşitliliğinde önemli bir payı olması gerektiğini savunmaktadır. Atık yönetimi üzerinde ciddi çalışmalar yapılması gerekmesine karşın nükleer güç karbondioksit salınımlarının azaltılmasında pek çok ülkede anahtar bir rol oynamaktadır. Fransa ise uzun yıllardır nükleer santrallere sahip olduğundan atık yönetimi konusundaki deneyimi ile dünyaya liderlik edebilecektir. Fransız hükümeti ulusal politikasında atık yönetiminde, atıkları üretenlerin gerekli sorumluluğu alarak atıkların depolanması için gereken finansal kaynakların yaratılması gerektiğini belirtmektedir. Fransa'nın kuzeydoğusunda kurulacak olan yüksek seviyeli radyoaktif atık depolama alanının inşaatı 2012 yılında başlayacaktır.

## **FİNLANDİYA**

Finlandiya'nın enerji politikası üç temel prensibe bağlıdır:

1. Enerji arz güvenliği, ekonomik gelişme ve çevresel sürdürülebilirlik arasında bir denge kurulmalıdır. Bu amaçla farklı bakanlıklarda çıkarılmış kanunların birbirleriyle çelişmemesi sağlanmıştır. Hazırlanan enerji programları birbiriyle uyum içindedir.
2. Düşük enerji maliyetleriyle ve enerji arz güvenliğindeki iyileştirmeyle uluslararası pazarda kendine başarılı bir yer bulmak. Yerel enerji hammadesi yönünden zayıf olan Finlandiya hammadde ihtiyacını ithalat ile sağlamak zorundadır. İthalatı ve üretimini iyi bir şekilde birleştiren Finlandiya, İskandinav Güç Pazarı'nda ürettiği elektriğe yer bulabilmektedir.

3. Enerji düzenlemesi için hafif bir yaklaşım benimsenmiştir. Finlandiya elektrik sektörü en az düzenleme yapılan sektörlerden biridir. Firmalar güç santrallerini, istedikleri gibi kurmakta özgürdür ve kullanıcılar da istedikleri üreticiyi seçebilmektedir. Genel olarak bakıldığında bu yaklaşım doğru gibi görünse de bazı alanlarda daha detaylı düzenleme ve denetlemeler gerekebilir.

Enerji güvenliği, Finlandiya için özellikle önemlidir. Enerji arzı düşünüldüğünde ülkenin verimli yerel fosil yakıtları bulunmamaktadır ve coğrafi konumu enerji hattı inşaatı olanaklarını sınırlamaktadır. İthal yakıt arz güvenliğini tehdit etmese de, yüksek ithalat oranları daha iyi izleme yapılmasını gerektirir. Enerjiye olan talep düşünüldüğünde ülkenin soğuk bir iklime sahip olması ve enerjiye oldukça gereksinim duyan endüstrisi sebebiyle kesintisiz, sürdürülebilir enerji arzının özellikle önemli olduğu ortaya çıkmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları da ayrıca karbondioksit salınımı olmaksızın üretim kapasitesinin artırılmasına katkı sağlar. Ülkenin toplam elektrik üretiminin %20'si bio-kütleden %3'ü ise hidroelektrikten sağlanmaktadır. Finlandiya yönetimi, destekleme programları ile yenilenebilir enerji kaynaklarının 2010 yılında toplam üretimdeki payını %30'a çıkarmayı hedeflemiştir.

Finlandiya'da enerji sektöründe son yıllarda yapılmış en önemli gelişme yeni bir nükleer güç santralinin 2009 yılında devreye girmesidir. Finlandiya'da bunun öncesinde de iki adet nükleer santral bulunmaktaydı. Bu iki santraldeki toplam dört nükleer reaktör, ülkenin enerji üretiminin %30'unu yapmaktaydı. Bu yeni nükleer santral ise liberal elektrik sektöründe inşa edilmiş ilk santral olma özelliğini taşımaktadır. Bu nükleer santral ile Finlandiya ihtiyacı olan yeni üretim kapasitesine ekstra sera gazı salınımı yapmaksızın ulaşabilecektir. Finlandiya, nükleer enerjinin kullanımında ve atık yönetimi aşamalarında daha yoğun bir düzenleme ve denetleme yöntemi izlemektedir.

Bu yöntem ile nükleer santrallerin güvenli bir şekilde çalıştırılması ve atıkların çevreye zarar vermeyecek şekilde korunması ve depolanması sağlanmaktadır. Düşük ve orta seviyede radyoaktif atıkların son depolanması işlemine başlanmıştır. Bunun yanı sıra kullanılmış yakıtların son depolanması için de Finlandiya taşıyacakları seçilerek parlamento tarafından prensipte kabul edilmiştir.

## **Nükleer Santral Kurulumunun Ekonomik Etkileri**

Nükleer teknolojinin bir ülkeye girmesi başta sanayi olmak üzere birçok sektörde büyük değişimlere yol açacaktır. Bununla beraber bu sektörlerde çalışmak üzere iş gücüne duyulan ihtiyaç istihdamın artmasına ve sosyo-ekonomik yapının gelişmesine yol açacaktır. Bir ülkenin doğal kaynakları hiçbir zaman ithal edilen ürünlerle kıyaslanamaz. Uranyum, Toryum ve nükleer teknolojide kullanılan diğer madenlerin çıkarılması ve işlenmesi nükleer teknolojinin ülkeye girmesiyle hız kazanacağı gibi yapı ve malzeme sektöründe de büyük bir sıçramaya yol açacaktır. Ayrıca, Uranyum ve Toryum madenlerinin çıkarılması sağlık sektöründe (Nükleer Tıp) ve tahribatsız test yöntemlerinin (NDT) kullanılarak malzeme dayanıklılığının incelendiği iş sektöründe büyük gelişmelere yol açacaktır. Nükleer Teknolojinin bir diğer büyük etkisi uçak gemileri ve denizaltılar gibi askeri savunma sistemlerinde olacaktır.

Ülkemize kurulması planlanan Rus tasarımı reaktörlerin yapımı sırasında kullanılan her malzemenin Rusya'dan getirilmesi mümkün olmadığından Türk yapı malzemecilerine büyük iş kapıları açılacaktır. Rusya Uluslararası Enformasyon Akademisi Direktörü Gennady I. Vorontsov, santral inşasında Türk yapı malzemecilerine 1 milyar dolarklık iş kapısı açılacağını ve bununla beraber yaklaşık 3 bin kişinin istihdam edileceğini açıkladı. Ayrıca Oxford Üniversitesi Ekonomi bölümünün 2008 yılında yaptığı bir çalışmaya göre, gelecek 10 yıl içerisinde sadece nükleer enerji sektöründe 350 bin kişinin doğrudan ya da dolaylı olarak iş imkanı bulabileceği sonucuna ulaşıyorlar<sup>22</sup>

Nükleer santral projesinin hayata geçirilmesi ile santralin kurulduğu bölgede gözlenecek gelişmeler için Bulgaristan'da büyük bir nükleer santral sahasına ev sahipliği yapan Kozloduy şehri ve bulunduğu Vratsa bölgesi örnek verilebilir. Kozloduy, Bulgaristan'ın kuzey batısında Romanya sınırında bulunan bir şehirdir. Nükleer güç santrali kurulmadan önce bölge nüfusu 6500 ve geçim kaynakları bitki yetiştiriciliği, hayvancılık, ticaret ve hizmet sektöründen oluşmaktaydı. 1969 yılına kadar Kozloduy'da bir tane orta öğretim kurumu bulunmaktaydı. Nükleer santral kurulmasının ardından günümüzde bölgede dört tane orta öğretim kurumu, bir tane nükleer enerji üniversitesi ve yedi tane yiyecek içecek hizmeti veren kreş bulunmaktadır. Nükleer santral kurulmasının ardından bölge nüfusu da üç katına çıkmıştır. 2003 yılına gelindiğinde, bölgede toplam 408 aktif ekonomik işletme bulunmaktaydı. 28 Temmuz 2005 yılında Kozloduy Belediye Konseyi'nin

---

<sup>22</sup> Economic, Employment & Environmental Benefits of Renewed U.S. Investment in Nuclear Energy, September 2008

yaptığı plana göre 2007-2013 yılları arasında istihdamın %68.4 mertebesinde % 70 çıkacağını, sağlık servislerinin daha kaliteli ve daha kolay erişilebilir hale geleceğini ve şebeke suyunun istikrarlı bir şekilde yerel halkın tamamına sağlanabileceği gibi birçok gelişmelerin olacağı öngörülmüştür. Çizelge 1, Çizelge 2, Çizelge 3 ve Çizelge 4’de görülebileceği gibi, Kozloduy’da nüfus artmış ancak işsizlik oranı düşmüş ve özel girişimcilik ivmelenmiştir. Kozloduy’da yapılan nükleer güç santrali sonrasında nüfus, yatırım ve istihdamda gerçekleşen değişimler verilmiştir.<sup>23</sup>

Çizelge 1. Nüfus<sup>24</sup>

	Vratsa Bölgesi		Kozloduy	
	2000	2004	2000	2005
Kişi sayısı	253 081	212 656	25 373	23 574
Doğum oranı ( 1000 kişi başına)	8.4	8.3	10.1	8.9
Ölüm oranı ( 1000 kişi başına)	16.8	18.3	13.9	15.7
Doğal artış	-8.3	10.7	-4.7	-6.8
Göç alımı	-	8 538*	1 007	443
Göç verimi	-	15 522*	843	540
Net göç	-	-	164	-97

<sup>23</sup> Building Blocks for Regeneration: Achievements and Lessons from the UK Programme Addressing the Social Consequences of Nuclear Power Plant Closures in Central and Eastern Europe

<sup>24</sup> Vratsa Territorial Statistical Office, Kozloduy Municipality, 2003, Region: Vratsa, Montana, Vidin

Çizelge 2. Girişimcilik<sup>25</sup>

	Kozloduy	
	2000	2004
Bireysel Girişimciler	576	893
Özel Limited Şirketler	41	79
Tarımsal Ortaklık ve Kooperatifler	2	2
Tarımsal olmayan Ortaklıklar	3	3
Kamu Şirketleri ve diğer Şirketler	43	61
Devlet Bütçesi Enstitüleri	23	21

Kozloduy Belediyesine göre 2000 yılında 266 adet aktif iş girişimi olmuş, 2003 yılında bu sayı 408'e çıkmıştır.

Çizelge 3. İstihdam<sup>26</sup>

	Vratsa Bölgesi		Kozloduy	
	2000	2004	2000	2004
Çalışan Sayısı	72 600	52 209	10 173	10 970
Kendi işinde çalışan Sayısı	-	-	-	-
İstihdam Oranı	34.0	36.7	-	73.6 (yaklaşık)
İşsiz Sayısı	23 500	17 722	2 335	1 970

<sup>25</sup> Vratsa Territorial Statistical Office

<sup>26</sup> Vratsa Territorial Statistical Office, National Statistical Institute, Kozloduy Labour Office Directorate

İşsizlik Oranı	23.5	18.1	21.06	16.65
----------------	------	------	-------	-------

Çizelge 4. Kozloduy Nükleer Santralinin Çalışan Sayısı<sup>27</sup>

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Toplam çalışan			6 887	6 642	5 376	5 484	5 198	4 923
Endüstriyel alanda			-	-	-	-	-	-
Endüstriyel olmayan alanda			-	-	-	-	-	-
Yeni alınan			351	223	292	105	179	179
Görevden alınan			345	658	151	226	326	473

Nükleer Teknoloji sağlıktan sanayiye, doğal kaynakların kullanılmasından sosyo-ekonomik yapının gelişmesine birçok alanda büyük yeniliklere ve gelişmelere sebep olacaktır. İstihdamın artması, doğal kaynakların verimli kullanılması ve askeri savunma sanayinin gelişmesi ülke istikrarını arttıracığı gibi Türkiye'nin Fransa, ABD gibi gelişmiş ülkelerle teknoloji bakımından yarışabilir hale gelmesini de sağlayacaktır.

### **Nükleer Teknolojinin Farklı Kullanım Alanları<sup>28</sup>**

#### **Sağlık Sektörü**

<sup>27</sup> Kozloduy Nükleer Santrali Kayıtları

<sup>28</sup> Establishment of Nuclear Power Plant in Turkey and Its Probable Effects on Turkish Foreign Policy

Sağlık sekt6r6 nukleer bilimlerden faydalanan en 6nemli ve en 6ok ihtiya6 duyulan sekt6rd6r. Y6z yıldan daha uzun bir s6redir iyonize radyasyon tanımı ve tedavi s6re6lerinde kullanılmaktadır. Nukleer tedavi y6ntemleri insanların i6 orgalarını bir bilgisayar yardımı ile doktorların g6rmesinde ve kanser, damar genişlemesi, kansızlık vb hastalıkların tedavisinde kullanılmaktadır. Bu hastalıkların tedavisinde kullanılan teknikler aşağıda verildiği gibidir.

- Pozitron Yayınım Tomografisi (PET).
- Tekil Foton Yayınım Bilgisayarlı Tomografisi (SPECT).
- Kardiyovask6ler G6rselleştirme.

### **End6stri Sekt6r6**

Nukleer teknolojinin end6stri sekt6r6nde kullanımı olduk6a geniştir. 6rneğin, end6striyel bir malzemenin kalitesi (bir borudaki sızıntı) “tracer” adı verilen radyoaktif izotoplarla belirlenebilir. Bununla birlikte, 6elik, kağıt, plastik, şeker ve 6imento gibi 6r6nlerin yoğunluk, nem 6l66mleri nukleer tekniklerin kullanımı ile sağlanabilmektedir. Ayrıca, nehir akıntı hızlarının ve yer altı sularının takibinde nukleer tekniklerden faydalanılır.

### **Araştırmalar**

Nukleer teknoloji, fizik ve sağlık alanında 6alışan bilim adamlarına faydalı olduğu gibi jeoloji, arkeoloji ve antropoloji alanlarında 6alışan bilim adamlarına da fayda sağlamaktadır. Hava kirliliğine sebep olan temel bileşimlerin incenemesiyle hava kirliliğinin azaltılmasına y6nelik 6alışmalar ve izotop takibi y6ntemi kullanılarak nehir ve yer altı sularındaki değişimlerin iklimlerle ilişkisini anlamaya y6nelik 6alışmalar, nukleer teknoloji kullanılarak yapılan araştırmalara 6rnek g6sterilebilir.

### **Hızlandırıcılar**

Hızlandırıcılar, iki 6ekirdeğin 6arpışmasından yayılan kırılma sa6ılmaları inceleyerek bir 6ekirdeğin i6 yapısını incelemek ama6lı kullanılmaktadır. Bu 6alışmalar bilimsel ve teknolojik gelişime ışık tutmaktadır. En 6ok bilinen iki hızlandırıcı Amerika’da bulunan “Tevatron” ve CERN’de bulunan “LHC” dir. Hızlandırıcılar kullanılarak yapılan diğer bir 6nemli 6alışma ise radyoaktif atıklarda bulunan uzun 6m6rl6 izotopların daha kısa 6m6rl6 izotoplara d6n6řt6r6lmesidir.

### **Araştırma Reakt6rleri**

Araştırma reaktörleri, radyoizotop üretimi, nötron ışınım uygulamaları, silikon katkılama ve malzeme ışınlama işlemlerinde kullanıldığı gibi nükleer bilimlerde çalışan kişilerin eğitim ve öğretiminde de kullanılmaktadır.

## **Tarım Endüstrisi**

Nükleer tekniklerin tarım alanında kullanımı günden güne artmaktadır. Aşağıda nükleer tekniklerin tarım endüstrisinde kullanımı maddeler halinde verilmiştir.

- Daha besleyici, daha dayanıklı ürünlerin elde edilmesi ve ürün verimliliğinin artırılmasıyla ilgili çalışmalarda radyoizotoplar kullanılmaktadır.
- Bilimadamları, bitkilerin gübre emiliminin takibiyle ilgili çalışmalarında radyoizotoplardan faydalanmaktadır.
- Böcek ve sineklerin bitkilere zarar vermesini engellemek amaçlı çalışmalarda.
- Yer altı su kaynaklarını korumak amaçlı toprak neminin ölçülmesinde nükleer teknikler kullanılır.

Son maddede bahsedilen çalışma özellikle Türkiye ve Orta Doğu'da bulunan ülkeler açısından büyük önem taşımaktadır.

## **Hayvancılık Sektörü**

Hayvancılık sektöründe de radyoizotop takibi oldukça yaygın kullanılmaktadır. Örneğin, hayvan üretiminin artırılmasında, yemlerin verimli kullanılmasında, hayvanların beslenmelerinin takibinde ve hayvan hastalıklarının teşhisinde nükleer uygulamalardan faydalanılmaktadır. Hayvancılıkta nükleer bilimlerin kullanılması, diğer yöntemlere kıyasla daha iyi, daha hızlı ve daha kesin sonuçlar vermektedir.

## 2. Nükleer Güç Konumundaki Ülkelerin Nükleer Çalışmaları

Raporun bu kısmında, nükleer teknolojiye başarıyla sahip olmuş ülkelerin geçmişteki, günümüzdeki ve geleceğe dönük çalışmaları anlatılmıştır.

### Amerika Birleşik Devletleri (ABD)<sup>29</sup>

#### Genel Durum

Amerika Birleşik Devletleri ilk ticari nükleer güç çalışmalarına devlet başkanı Eisenhower'ın "Barış için Atom" (Atoms for Peace) projesiyle adım atmıştır. Projenin amacı temel olarak nükleer enerjinin sivil uygulamalarını teşvik etmek, bunun yanı sıra güçlü bir silah teknolojisine sahip olmaktır. Bu program dahilinde 1954 yılında çıkartılan yasa ile birlikte (The Atomic Energy Act of 1954) çeşitli nükleer reaktör programlarının uygulama ve geliştirmesini mümkün kıldı. Ayrıca aynı yasayla nükleer programların uygulama ve geliştirmelerini denetlemek için Atom Enerjisi Komisyonu (Atomic Energy Commission) kuruldu. Atom Enerjisi Komisyonu'nun aynı yıl hazırladığı "5 Yıllık Güç Reaktörü Kalkınma Programı" sonucunda ABD'nin ilk nükleer güç santrali 1957 yılında Shippingport, Pennsylvania'da işletilmeye başlandı.

1960'lı yıllardan 1979'a kadar nükleer reaktörlere olan ilgi hızla arttı. 1979'da yaşanan Three Mile Island nükleer kazasıyla kurulması planlanan yeni reaktörler tekrar gözden geçirildi, hatta bir çok proje iptal edildi. Bu kaza nükleer enerjide güvenlik prosedürlerinin yeniden ele alınmasını zorunlu kıldı.

Amerika'da kurulan son nükleer reaktörün, Watts Bar 1, yapımı 1996 yılında tamamlandı. Watts Bar 2 ise şu anda inşa halindedir. 2000'li yılların başında ABD'nin enerji politikalarında yeni nükleer santrallerin kurulması tekrar yerini aldı. 2005 yılında çıkartılan yasayla (The Energy Policy Act of 2005) yeni nükleer santrallerin kurulması için kolaylıklar ve güvenceler getirildi.

---

<sup>29</sup> Uluslararası Atom Enerji Ajansı (IAEA) Ülkeler Bazında Nükleer Güç Profilleri Raporu (Aralık 2006)

[http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/CNPP2010\\_CD/countryprofiles/USA/USA2006.htm](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/CNPP2010_CD/countryprofiles/USA/USA2006.htm)

## **Nükleer Güç Reaktörlerinin Durumu**

Nükleer enerjinin diğer enerjilere göre düşük maliyeti 1969-1996 yılları arasında bu enerjiyi elektrik üretiminde kömürden sonra ikinci sıraya taşıdı. Bu sıralamada nükleer santrallerin kapasite faktörlerinin %56'lardan %90-95'lere kadar artırılması da etkili oldu. 2004 yılı sonunda 104 lisanslı nükleer reaktörle nükleer enerji ABD'nin ürettiği elektriğin %20'sini karşılamaktadır.

Nükleer enerjinin güvenlik ve ekonomik performansının artması başlangıçta 40 yıl olarak düşünülen reaktör ömürlerinin yeniden gözden geçirilerek 60 yıla çıkartılmasıyla; artan enerji ihtiyacını da karşılamak için 2000 yılında 42 reaktörün işletme lisansı uzatıldı. 2015 yılına kadar da en az 27 reaktörün işletme lisansının uzatılması öngörülmüyor. Reaktör lisans sürelerinin uzatılmasının yanında bazı reaktörlerde daha önce lisanslanması sırasında izin verilen en yüksek çalışma gücü de artırıldı. 2003 yılı Nisan ayında Nükleer Düzenleme Kurulu, 101 reaktör için güç yükseltmesine onay verdi. Bu güç yükseltmeleriyle ortalama olarak 4 nükleer santralden elde edilen elektrik kadar kazanç sağlandı.

## **Nükleer Enerjinin Gelecek Planları**

Nükleer enerji, enerji üretiminde oynadığı kilit rolü gelecekte de sürdürmeye devam edecektir. ABD Enerji Bakanlığı, başlattığı Nükleer Güç 2010 (Nuclear Power 2010) programıyla 2010 yılında 2 yeni nükleer santralin kurulmasını hedeflemektedir. Bu nükleer santraller hali hazırda onaylanmış ve kendini kanıtlamış teknolojilerle kurulabileceği gibi, henüz lisans aşamasında olan yeni ve ileri teknoloji santraller de olabilecektir. Nükleer enerjinin gelecekte enerji üretimindeki payını arttırması; güvenlik düzenlemeleri, nükleer reaktör kurulum maliyetlerinin azaltılması, devletin nükleer enerjiye desteği ve nükleer atıkların idaresi konularındaki gelişme ve ilerlemelere bağlıdır.

## **Nükleer Santrallerin İşletmesi**

ABD'de çalışır haldeki 104 reaktörün 9 tanesinin işletmesi devlet kurumları tarafından yapılırken diğer reaktörlerin işletmesi özel sektörün elindedir.

Nükleer santrallerden çıkan değerli atıkların yeniden işlenmesi (reprocessing) ABD'de şuan için söz konusu değildir. Nükleer santrallerden çıkan yüksek düzeyli atıkların Yucca Mountain'da nihai depolanması planlanmaktadır.

2005 yılında ABD’de yaklaşık olarak 1360 ton  $U_3O_8$  üretilmiştir. Bunun yanında başta Kanada olmak üzere Avustralya Rusya, Özbekistan ve Namibya gibi ülkelerden  $U_3O_8$  ithal edilmiştir.

Uranyum zenginleştirme işleri 1993 yılında Enerji Bakanlığı’ndan devletin sahip olduğu bir şirkete devredilmiştir. Bu şirket ABD’nin küresel Uranyum zenginleştirme pazarında daha güçlü konuma gelmesi amacıyla 1992 yılında kurulmuştur. Paducah, Kentucky’de şirketin halen işletmekte olduğu bir zenginleştirme tesisi vardır. Yine bu şirketin sahibi olduğu Portsmouth, Ohio’da bulunan zenginleştirme tesisi ise atıl durumdadır. Her iki zenginleştirme tesisi de bugün eskimiş ve pahalı olan “Gaz Difüzyon” teknolojisini kullanmaktadır. Bunun dışında, bu şirket ve Louisiane Energy Services daha modern zenginleştirme teknolojisi olan “Gaz Santrifüj” teknolojisi ile kurulacak zenginleştirme tesisleri için lisans alma aşamalarındadır. 2010 yılından sonra bu iki tesisin hedeflenen üretim kapasitesine ulaşması öngörülmektedir.

### **Ar-Ge Faaliyetleri**

Nükleer teknolojide araştırma ve geliştirme çalışmaları gerek hükümet gerekse özel sektör tarafından yapılmaktadır. Özel şirketler özellikle yeni reaktör teknolojileri, zenginleştirme teknolojileri ve nükleer yakıt dizaynı konularında aktif araştırmalar yapmaktadır.

ABD’nin Ar-Ge faaliyetleri:

- Nükleer silahlanmanın önüne geçecek reaktör ve yakıt çevrimleri tasarımı,
- Yüksek verim, düşük maliyet ve geliştirilmiş güvenlik sistemleri,
- Geliştirilmiş nükleer yakıt tasarımı,
- Nükleer atıkların bekletilmesi ve nihai depolanması çalışmaları,

olarak kısaca özetlenebilir.

## **Kanada<sup>30</sup>**

### **Genel Durum**

Kanada kendi nükleer teknolojisini geliştiren ülkelerden biridir. Nükleer programları temel olarak kendilerine özgü CANDU adıyla bilinen reaktör tasarımına dayanmaktadır.

Kanada 1950'li yılların başında CANDU teknolojisini ortaya koyarak nükleer çalışmalara başladı. Kanada'nın kendi kaynakları ve teknolojisini kullanması, bu konuda oldukça tecrübe kazanması, fosil yakıtların yurtdışından ithal edilmek zorunda olması ve bol Uranyum maden rezervine sahip olması gibi sebepler Kanada'nın nükleer çalışmalara devam etmesine zemin oluşturmuştur.

CANDU hafif su soğutmalı reaktörlerden farklı olarak soğutma ve moderasyon için ağır su ( $D_2O$ ) kullanmaktadır. Bunun yanı sıra CANDU'da bütün reaktör kalbini basınçlandırmak yerine yakıt çubuklarının bulunduğu kanallar basınçlandırılmakta; bunun sonucunda reaktör çalışır haldeyken yakıt yükleme yapılabilir (Online refueling). CANDU'nun bir diğer özelliği ise yakıt olarak zenginleştirilmiş Uranyum yerine doğal Uranyum kullanmasıdır.

### **Nükleer Güç Reaktörlerinin Durumu**

Kanada'da kurulu bulunan 22 nükleer reaktörden ticari olarak kullanımda olan 16 tanesi, ülkenin elektrik üretiminde yaklaşık olarak %13'lük bir paya sahiptir. Kısa ve orta vadede yeni nükleer santral kurulması gündemde olmasa da; ticari olarak kullanımda olmayan reaktörlerin elektrik üretimine başlayacak olması ve hali hazırda çalışır durumda olan reaktörlerin yenilenmesi orta vadede nükleer enerjinin elektrik üretimindeki payını fosil yakıtlara bırakmasının önüne geçmektedir.

Kanada CANDU'ların geliştirilmiş hali olan 700 MW gücündeki Advanced CANDU Reaktörü (ACR) üzerinde çalışmalarını sürdürmektedir. Nükleer

---

<sup>30</sup> Uluslararası Atom Enerji Ajansı (IAEA) Ülkeler Bazında Nükleer Güç Profilleri Raporu (Aralık 2003)

reaktörlerinin kuruluş maliyetlerini %60'lara kadar düşürmeyi hedefleyen ACR'lerin; uluslararası uzmanlar tarafından bu yönüyle diğer ileri reaktör teknolojileriyle yarışacak düzeyde olduğu, hatta nükleer enerji dışındaki enerji üretim kaynaklarıyla fiyat yönünden rekabet edebileceği düşünülmektedir. ACR teknolojisi; ülkede ömrünü tamamlamaya yakın olan reaktörlerinin yerine kurulmak için iyi bir alternatif, bundan sonra Kanada'da ve diğer ülkelerde kurulacak nükleer santraller için de güçlü bir adaydır.

### **Uluslararası Nükleer Programlar**

Kanada 1963 yılında Hindistan'la 2 adet 200MW gücünde reaktörün (RAPP 1 ve RAPP 2) kurulması için anlaşmaya vardı. RAPP 1 1973 yılında tamamlanmasına rağmen, Hindistan'ın 1974 yılında nükleer silah denemeleri (Smiling Buddha, Pokhran-I) yapmasının ardından Kanada RAPP 2'nin tamamlanması için Hindistan'a verdiği desteği kesti. Buna rağmen Hindistan RAPP 2 reaktörünü 1981 yılında tamamladı.

1964 yılında Kanada Pakistan'la 120 MW gücünde bir CANDU reaktörü (KANUPP) kurulması için anlaşmaya vardı. KANUPP, 1972 yılında ticari olarak işletmeye geçti. Pakistan'ın Kanada'nın 1974 yılında kabul ettiği nükleer silahların yayılmasını engelleme politikası (non-proliferation) şartlarına uymaması üzerine bu ülkeyle olan nükleer işbirliği Kanada tarafından sonlandırıldı.

1970'li yılların başından ortalarına kadar geçen sürede Kanada 4 tane CANDU 6 reaktör tasarımı sattı. Bunlar Gentilly-2 (Hydro-Quebec,1973), Point Lepreau (New Brunswick, 1974), Cordoba (Arjantin, 1973) ve Wolsong reaktörleridir (Güney Kore, 1976).

Güney Kore'ye 1990 yılında bir, 1992 yılında iki CANDU 6 daha satıldı. 1996 yılında Kanada 2 CANDU 6 reaktörle Çin pazarına girdi. 2002 yılında ise Romanya'yla bir CANDU kurulumu için anlaşmaya varıldı.

2003 yılı itibariyle 9 tane CANDU 6 tasarımı reaktör Kanada dışında işletimde veya yapım aşamasındadır (Güney Kore'de 4, Çin'de 2, Arjantin'de 1 ve Romanya'da 2 tane).

### **Yakıt Çevrimi**

Kanada dünyada Uranyum üretilmesi ve ihraç edilmesinde lider durumdadır. 2002 yılında üretilen 11607 ton uranyum (metal) aynı yıl dünyada üretilen toplam uranyumun %32'sine karşılık gelmektedir.

## Fransa<sup>31</sup>

### Genel Durum

Fransa 1960'lı yıllarda nükleer sanayide bağımsız olmak ve yerli teknolojileri geliştirmek amacıyla doğal uranyumla çalışan, gaz soğutmalı ve Hızlı Üretken reaktör teknolojilerini teşvik etmeye başladı. Bunun yanısıra Fransa Belçika'yla birlikte bir hafif su reaktörü ve İngiltere'yle birlikte de bir ağır su reaktörü kurmuştur.

1960'ların sonunda Fransız reaktör tasarımlarının hızla ilerleyen uluslararası nükleer teknolojiyle rekabet edemeyeceğini anlayan Fransız hükümeti, nükleer politikasında değişikliğe giderek yılda bir ya da iki tane hafif su reaktörünün kurulması kararını aldı. Bu politika aynı zamanda; uluslararası rakipleriyle rekabette geri kalan Fransız reaktör tasarımlarının geliştirilmesi ve yerli nükleer sanayinin rekabet gücünün artırılmasını da içeriyordu.

1971 yılından 1981'e kadar Framatome şirketi aracılığıyla Fransız tasarımı reaktörlerin Westinghouse tasarımı hafif su reaktör tasarımına uyarlanması aşama kaydedildi. 1970'lerde ortaya çıkan petrol krizi Fransa'nın nükleer programını hızlandırmasına sebep oldu. Fransız tasarımı reaktörlerin gücü 900 MW'den 1300 MW'e ve daha sonra da 1450 MW'a çıkartıldı.

1981 yılında Framatome yola kendi başına devam etme kararı vererek Westinghouse'la olan anlaşmasını iptal etti.

2000 yılında Framatome Alman Siemens'le birleşti ve Framatome Advanced Nuclear Power (ANP) adı altında AREVA grubuna katıldı. 2003 yılında Framatome ANP tarafından dizayn edilen 1600 MW gücündeki Avrupa Basınçlı Su Reaktörü (European Pressurized Reactor, EPR) Finlandiya'lı sanayi şirketlerinin oluşturduğu bir konsorsiyum tarafından sipariş edildi. Framatome ANP 2005 yılında ismini AREVA NC olarak değiştirdi.

---

<sup>31</sup> Uluslararası Atom Enerji Ajansı (IAEA) Ülkeler Bazında Nükleer Güç Profilleri Raporu (Temmuz 2010)

[http://www.pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/CNPP2010\\_CD/countryprofiles/France/CNPP2010France.htm](http://www.pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/CNPP2010_CD/countryprofiles/France/CNPP2010France.htm)

## **Nükleer Güç Reaktörlerinin Durumu**

Fransa 2009 yılı verilerine göre ülkedeki toplam elektrik üretiminin %75'inden fazlasını nükleer santrallerden karşılayarak dünyada nükleer güç üretimi sıralamasında ikinci sırayı aldı. Yaklaşık olarak 63000 MW nükleer güç; 58 basınçlı su reaktörden sağlanmaktadır. 2009'un başlarında 230 MW gücündeki Hızlı Üretken reaktör Phenix elektrik üretimini durdurmuştur.

Fransa'daki bütün nükleer reaktörlerin sahibi ve işletmecisi Fransa Elektrik Kurumu(Electricite de France)'dir. 2009 yılında nükleer santrallerin kullanılabilirlik faktörü %78'e ulaşmıştır.

## **Ar-Ge Faaliyetleri**

1945 yılında Fransız hükümeti nükleer enerjinin sivil ve askeri alandaki uygulamalarını geliştirmek amacıyla Commissariat à l'Energie Atomique (CEA) adıyla ulusal nükleer ajansı kurdu. CEA 4. nesil reaktörlerin daha güvenli, daha verimli, barışçıl amaçlara uygun ve ekonomik olması için çalışmalar yapmaktadır. Bu çerçevede Fransa'nın 4. nesil reaktörler için yaptığı Ar-Ge faaliyetleri iki temele odaklanmıştır:

- Doğal kaynakları etkin kullanmak ve nükleer atıkları azaltmak için kapalı yakıt çevrimle çalışacak Hızlı reaktör tasarımları,
- Sanayi ve taşımada kullanılmak üzere hidrojen üretecek Yüksek Sıcaklık Reaktörleri (High Temperature Reactors, HTR, VHTR) tasarımı.

## **Güney Kore<sup>32</sup>**

Güney Kore'nin nükleer çalışmaları UAEA ( Uluslar arası Atom Ajansı )'na 1957 yılında üyeliği ile başlamıştır. Enerjide dışa bağımlılığı azaltma ve fosil yakıt kıtlığının önüne geçebilmek amacıyla Güney Kore 1970'den bu yana nükleer güç teknolojisinde gelişimi ulusal enerji politikası olarak kabul etmiştir. Şu an Güney Kore dünyada en dinamik nükleer programa sahip ülkelerden biridir.

---

<sup>32</sup> Uluslararası Atom Enerji Ajansı (UAEA) Ülkeler Bazında Nükleer Güç Profilleri Raporu (Temmuz 2010)

[http://www.pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/CNPP2010\\_CD/countryprofiles/Korea/CNPP2010Korea.htm](http://www.pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/CNPP2010_CD/countryprofiles/Korea/CNPP2010Korea.htm)

İlk yerli reaktörleri 1000 MW güce sahip olan Ulchin 3 ve 4 üniteleri Kore Standart Nükleer Güç Santrali (KSNP) dir ve ticari olarak 1998 yılında hizmete girmiştir. Ulchin 3 ve 4 üniteleri OPR-1000 reaktörleri için referans reaktör olarak alınmış ve altı yeni OPR-1000 reaktörü Ulchin, Shin-Kori ve Shin-Wolsong'da inşa edilmektedir. Yeni gelişmiş APR-1400 olarak adlandırılan 1400 MW gücünde PWR Eylül 2007'den bu yana inşa edilmektedir. Bu reaktörler teknoloji, güvenlik ve ekonomi alanlarında geliştirilmiştir.

### **Nükleer Güç Reaktörlerinin Durumu**

Şu anda Güney Kore'nin nükleer santralleri, 17.7 GW'lık kurulu güce sahiptir. Bu kurulu gücü 20 adet nükleer santral karşılamaktadır. Bunların 16'sı PWR ve 4'ü CANDU tipi reaktörleridir ve 12 ünite hala inşaat halindedir.

### **Nükleer Güç Gelişim Stratejisi**

2008 yılında Bilgi Ekonomisi Bakanlığı sonlandırılan 4. Uzun Vadeli Elektrik Arz ve Talebi Temel Planı'na göre Güney Kore'de, 2022 yılına kadar 12 yeni nükleer güç ünitesi kurulacaktır. Enerji ihtiyacını karşılamada nükleer gücün payı %32.6'dan %47.9'a çıkarılacaktır.

Nükleer güç santrallerinin ekonomik verimliliğini ve güvenliğini artırmak için, KHNP (Güney Kore Hidroelektrik ve Nükleer Güç Şirketi) 1400 MW güce sahip APR-1400 reaktörünü geliştirdi. Bu reaktör OPR-1000'lerden 1995 yılından bu yana kazanılan teknolojik deneyim kullanılarak geliştirilmiştir.

APR-1400 hafif sulu reaktörlerin gelişmiş bir versiyonudur. OPR-1000'lerden yaklaşık 10 kat daha güvenilir olması beklenmektedir. Ekonomik olarak ise, şu anda dünyada bulunan nükleer ve termik santrallerden daha fazla rekabet gücüne sahip olacağı öngörülmüyor. APR-1400 santralleri gelişmiş güvenlik sistemlerine sahiptir ve ekonomik rekabet gücü açısından yeni bir tasarım konsepti olarak değerlendirilmiştir. Shin-Kori 3 ve 4 üniteleri ilk APR-1400'ler olacak ve Kori nükleer güç istasyonununa yakın bir yere inşa edilecektir. Eylül 2013-2014'te ticari olarak çalışmaya başlayacaktır.

## Rusya<sup>33</sup>

Rusya nükleer çalışmalara 1937 yılında Leningrad Radyum Enstitüsü'nde yapılan deneysel çalışmalara başlamıştır. 1946 yılında kontrollü uranyum zincirleme fisyon reaksiyonu gerçekleştirildi. 1948 yılında ilk endüstriyel nükleer reaktör hizmete girdi. 1949'da ilk Sovyet atom bombası test edildi. 1954 yılında dünyanın ilk nükleer güç santrali Obninsk'te çalıştırıldı. 1964 yılında ilk ticari su moderatörlü ve su soğutmalı (VVER) reaktörü Novo-Voronezh'de ve ilk ticari kaynar su soğutmalı grafit moderatörlü reaktör Beloyarsk'ta işletmeye alındı. 1973'te Leningrad'ta ilk ticari su soğutmalı grafit moderatörlü kanal tipi (RBMK) reaktörü hizmet vermeye başladı. 1984-86'da Zaporozhie ve Balakovo'da yeni güvenlik düzenlemelerini tamamen sağlayan VVER-1000 reaktörleri işletmeye alındı. 2007'de Rusya Devlet Başkanı Vladimir Putin Rosatom devlet şirketi ile ilgili yeni yasayı onayladı. 30 Eylül 2009'da Rostov Nükleer Santrali ikinci ünitesinde reaktör uyum çalışmalarının soğuk ve sıcak ön işletme testleri başarıyla tamamlandı.

### Mevcut Organizasyon

Atomenergoprom, Rosatom Devlet Nükleer Güç Şirketi'nin bir parçasıdır. Atomenergoprom, geniş çapta nükleer ve nükleer olmayan ürünler üretir, aynı zamanda nükleer güç mühendisliği alanında tam hizmet sağlamaktadır. Özellikle şirket, nükleer santrallerin tasarım ve anahtar teslimi inşaatı, santraller için santralin ömrü boyunca yetecek yakıt arzı, iyileştirme ve devamlılığın yanında personel eğitimi de sağlamaktadır.

Şirket yapısı nükleer yakıt çevriminin bölümlerine göre oluşturulmuştur:

- Uranyum üretimi
- Uranyum dönüştürme ve zenginleştirme
- Nükleer yakıt üretimi
- Nükleer ve güç mühendisliği
- Tasarım, mühendislik ve nükleer santrallerin inşaatı
- Nükleer güç santrallerinde güç üretimi.

---

<sup>33</sup> Uluslararası Atom Enerji Ajansı (IAEA) Ülkeler Bazında Nükleer Güç Profilleri Raporu (Temmuz

2010)[http://www.pub.iaea.org/MTCDD/publications/PDF/CNPP2010\\_CD/countryprofiles/Russia/CNPP2010Russia.htm](http://www.pub.iaea.org/MTCDD/publications/PDF/CNPP2010_CD/countryprofiles/Russia/CNPP2010Russia.htm)

## **Nükleer Güç Reaktörlerinin Durumu**

Sovyetler Birliği'nde 1980'lerin sonlarına doğru inşaat halinde olan 10 nükleer reaktör vardır. Ancak, tüm yeni nükleer santrallerin yapımı 1989-90 yılları arasında olumsuz kamuoyu tepkileri nedeniyle durduruldu.

Roseenergoatom'un kurulması, halkın yeniden nükleer santrallerden elektrik üretilmesini desteklemesinde, birikmiş potansiyelin korunmasında, elektrik ve güç üretiminin artmasında ve kayda değer güvenlik iyileştirmesinin sağlanmasında katkıları olmuştur.

Şu anda Roseenergoatom, toplam kapasitesi 23242 MW olan 31 üniteyi merkezi olarak yönetir.

15 VVER reaktör ( 9 VVER-1000, 6 VVER-440)

15 RBMK reaktör ( 11 RBMK-1000, 4 EGP-6)

1 BN-600 (hızlı-üretken) reaktör

## **Nükleer Güç Geliştirme Stratejisi**

Rosatom'un nükleer kapasitenin hızla artırılması için planı, ilk önce 9 GW gücü kurup daha sonra ayrı ayrı santralleri inşa etmektir. Kaynak bulmak için, Rosatom, Gazprom'a bazı nükleer santralleri işletmeyi önerdi. 10 GW kurulu güç için gerekli 7.3 milyar \$, eğer yeni kurulan santraller ülkenin gaz tüketim oranını azaltabilirse bu maliyet gaz ihracatından çabucak karşılanacaktır.

Eylül 2006'da Rosatom, 2020 yılına kadar elektriğin %23'ünün nükleer enerjiden karşılanacağını hedeflediklerini açıkladı. 2011'den 2014'e kadar yılda iki adet 1200 MW santral ve 2020'ye kadar üç yılda bir 1200 MW santral işletmeye alınacak. Temmuz 2009'da 2010-2015 ve 2020'ye kadar revize edilmiş yeni program (FTP) onaylandı. Program ile gerekli bütçe 2010 için 3.5 milyara \$ düşürüldü. FTP programı 2030'a kadar elektriğin %25-30'unun, 2050'de %45-50'sinin ve %70-80'inin yüzyıl sonuna kadar nükleer enerjiden karşılanacağını öngördü.

## Hindistan<sup>34</sup>

Hindistan'ın nükleer çalışmalara başlamasında en büyük adım 1948 yılında Atom Enerji Yasası'nın kabulü olmuştur. İlk faaliyetler uranyum arama ve madenciliğidir.

1954 yılında Hindistan Atom Enerji Bölümü kuruldu. Bu bölüm Atom Enerji Yasası'nda (AEC) bulunan politikaları yürütmekle görevlidir. Araştırma, teknoloji gelişimi ve nükleer enerji alanında ticari operasyonlar ve ilgili yüksek teknolojiler ve nükleer bilim ve mühendislik alanında destek sağlayacak temel araştırmaları yürütüyor.

Nükleer güç üretiminde anahtar politika 'kendine güven' olarak belirlenmiştir. Nükleer güç programı için araştırma ve geliştirme tesisi kurmanın önemi daha önceden biliniyordu. Bu amaçla 1954'te alınan kararla Trombay'da Bhabha Atom Araştırma Merkezi (BARC) kuruldu. APSARA(1956), CIRUS(1960) ve DHRUVA(1985) araştırma reaktörleri bu merkezde kuruldu.

1947'de Hindistan bağımsızlığını ilan ettiğinde, kurulu elektrik güç yaklaşık 1.5 GW iken şimdi 122 GW kurulu güce sahiptir. Nüfus artışı, kişi başına düşen düşük elektrik tüketimi, ticari enerji kaynaklarının paylaşımının artma ihtiyacı gibi nedenlerden dolayı büyük ölçekli güç üretimi gerekliydi. 1950'lerin sonlarına doğru AEC nükleer güçten elektrik üretiminin ekonomisi üzerine çalıştı. Bu çalışmanın ışığında, Hükümet nükleer santralleri yük merkezlerine yakın kömür madenlerine uzak yerlere kurma kararı aldı.

Hindistan nükleer güç programı tarafından kabul edilen stratejiye göre ülkenin mütevazı uranyum ve geniş toryum kaynakları kullanılacaktır. Bu stratejiye bağlı olarak, üç aşamalı program öngörüldü. İlk aşamada hedef kullanılabilir doğal uranyum kaynaklarıyla elektrik üretimi için basınçlı ağır su reaktörü kurarak elektrik ve plutonyum üretimini sağlamaktır. İkinci aşamada plutonyum yakıtlı hızlı üretken reaktörler (FBRs) kurarak elektrik ve daha fazla plutonyum ve toryumdan U-233 üretmektir. Üçüncü aşamada

---

<sup>34</sup> Uluslararası Atom Enerji Ajansı (IAEA) Ülkeler Bazında Nükleer Güç Profilleri Raporu (Mart 2009)

ise, toryum çevrimine bağlı olarak elektrik ve daha fazla U-233 üretmektir. Bahsedilen bu üç aşama ülkenin uranyum ve toryum kaynaklarını verimli bir şekilde 2050 yılına kadar kullanılmasını sağlayacaktır.

### **Nükleer Güç Reaktörlerinin Durumu**

Hindistan ilk nükleer santralini 1964 yılında Torapur'da iki adet kaynar sulu reaktör (BWRs) olmak üzere kurdu. Bu santraller Hindistan'a nükleer güç alanında deneyim kazandırması ve getirdiği ekonomik ve teknolojik canlılık açısından önemliydiler. Buna paralel olarak, PHWR reaktörlerinin inşaatına başlanmıştır. Torapur'da 1969'dan bu yana çalışan bu ilk iki BWR'ın yanı sıra, 15 PHWR şu anda çalışmaktadır (Kalpakkam(2), Narara(2), Kalerapor(2),Torapur(2),Kaiga(3) ve Rawatbhata(4)).

Şu anda devrede olan toplam güç 4120 MW'dır. Rusya Federasyonu ile beraber yürütölen ve yeni güvenlik özellikleri geliştirilen 2x1000 MW VVER reaktörü inşaat halindedir. Aynı zamanda, Kaiga'da 220 MW ve Rawatbhata'da 2x220 MW reaktörlerin inşaatı gerçekleşmektedir. 8x700 MW PHWR dizayn aşamasındadır.

Nükleer güç programının ikinci aşaması Indira Gandhi Atom Araştırma Merkezi'nde yürütölmektedir. Hızlı Üretken Test Reaktörü (FBTR) Kalpakkam'da 40 MW(termal) güçle çalışmaktadır. 2011'de ticari olarak çalışması planlanan 500 MW Prototip Hızlı Üretken Reaktör (PFBR)'ün inşaaı devam ediyor.

### **Japonya<sup>35</sup>**

Nükleer enerjinin araştırma, geliştirme ve kullanımı için uzun-vadeli program 1956 yılında biçimlendirildi ve şu an halen kullanılmaktadır. Her beş yılda bir revize edilmektedir.

---

<sup>35</sup> Uluslararası Atom Enerji Ajansı (IAEA) Ülkeler Bazında Nükleer Güç Profilleri Raporu (Aralık 2004)

[http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/CNPP2010\\_CD/countryprofiles/Japan/Japan2004.htm](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/CNPP2010_CD/countryprofiles/Japan/Japan2004.htm)

1978 yılında Nükleer Güvenlik Komisyonu, Atom Enerji Komisyonu'ndan ayrı bir kuruluş olarak oluşturuldu. Güvenlik tedbirleri 1979 yılındaki TMI-2 kazası ve daha sonra meydana gelen Çernobil kazasının ardından iyileştirildi.

1986 yılında Nükleer Güç Vizyonu'nun genel değerlendirmesine göre Japonya'nın 2030 yılına kadar enerji ihtiyaçlarını karşılayabilecek durumda olduğu tahmin edilmiştir. Güvenliği iyileştirmek için yapılan 'Safety 21' programı ile güvenlik tedbirleri güçlendirildi. 1990 yılında Japonya, petrole olan talebin artışı ve küresel ısınma gibi etkilerin önüne geçebilmek için alternatif enerji kaynaklarına yöneldi.

2002 yılının sonunda, Japonya'nın nükleer enerjiden enerji üretimi toplam 45742 MW idi. İnşaat halinde ve planlanan nükleer güç üretimi sırasıyla 3838 MW (3 santral) ve 10290 MW (8 santral)'dir.

Hafif sulu reaktörlerin gelişimi PWR'ların Westinghouse ve BWR'ların General Electric'ten alınmasıyla başlamıştır. Nükleer güç teknolojileri yerel endüstri tarafından yürütülmeye başladıktan sonra Japon dizayn ve yapımı başarılı nükleer güç santralleri üretilmiştir. Toshiba, Hitachi ve Mitsubishi şirketleri, Japon nükleer buhar üretim sistemleri olarak ortaya çıkmışlardır.

### 3. Nükleer Santral Güvenliği ve Çevre ve Halk Sağlığına Etkileri

#### Nükleer Santral Güvenliği

Dünyadaki hiçbir enerji üretim yöntemi tam anlamıyla güvenli değildir. Ancak nükleer santrallerin tehlikeleri, enerji üretmek için kullanılacak diğer yöntemlere göre çok azdır.

Çekirdek bölünmesi sonucunda oluşan bölünme ürünleri yüksek düzeyde radyoaktiftir. Ayrıca bölünme, reaktör içindeki yapısal malzemenin de ışınlanarak radyoaktif hale dönüşmesine neden olabilir. Bu yüzden, nükleer santrallerden çevreye yayılabilecek radyasyon şiddetinin, uluslararası standartlarla saptanmış izin verilen düzeyin altında olması gerekir.

Nükleer reaktör çalışanlarını, yöre halkını, bitkiler ve hayvanlarıyla çevreyi, çıkabilecek radyasyonun zararlı etkilerinden korumak ve reaktörün güvenli çalışmasını sağlamak için alınan tedbirlerin tümü nükleer reaktör güvenliği kapsamına girer.

Nükleer santrallerde güvenlik, 'derinliğine savunma' ilkesine dayandırılır, tasarım ve analizler bu ilke çerçevesinde gerçekleştirilir. Derinliğine savunma ilkesi, nükleer santral tasarımlarının radyoaktif salınımına karşı bariyerler ve bu bariyerlerin bütünlüğünü/sağlamlığını koruyacak güvenlik sistemlerini içermesini öngörür.

Radyoaktif salınımın önündeki ilk engel nükleer yakıtın kendisidir. Çekirdek bölünmesi bu nükleer çubuklarda gerçekleştiği için bölünme sonucu açığa çıkan radyasyon ve radyoaktif malzemeler yakıtın seramik yapısı içinde tutulur. Radyoaktif salınımın önündeki ikinci engel, paslanmaya, mekanik yük ve radyasyona dayanıklı alaşımlardan yapılan yakıt zarfıdır.

Nükleer yakıtlar, soğutucu ve/veya yavaşlatıcı ile çevrelenir ve basınç kabı denilen çelikten yapılmış dayanıklı bir kabın içine yerleştirilir. Radyoaktif salınımın önündeki 3. ve 4. engel soğutucu ve bu basınç kabıdır. Radyoaktif salınımın önündeki son engel ise, reaktör ve yardımcı sistemlerin içine yerleştirildiği yaklaşık 1.0 m kalınlığında, ön gerilimli betondan yapılmış koruma kabıdır. 1986 yılında Ukrayna'da meydana gelen Çernobil kazasının radyoaktif salınım açısından ciddi sonuçlar doğurmasının nedeni, santralde bu son koruma bariyerinin yani koruma kabının olmamasıdır. Koruma kabının başka bir özelliği ise reaktörü dış etkenlere karşı korumaktır. Reaktör bariyerleri Şekil 14'de gösterilmiştir.

Derinliğine savunma ilkesi, yukarıda sayılan bariyerlerin sağlamlığını koruyacak güvenlik sistemlerinin tasarlanmasını da içerir. Derinliğine

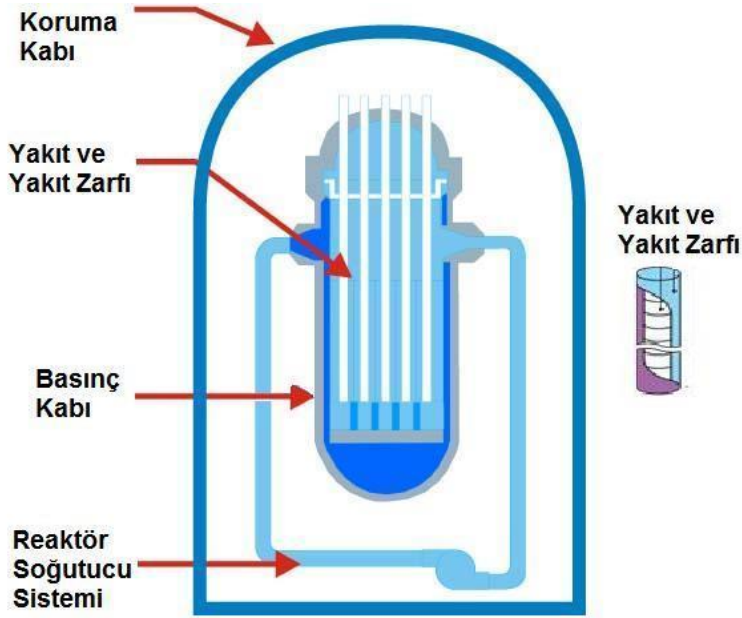
savunma ilkesi, bu güvenlik sistemlerinin yedekli, çeşitli ve güvenilir olmasını gerektirir. Nükleer santrallerde bu güvenlik sistemleri aktif (reaktör operatörü tarafından ya da otomatik olarak devreye sokulan sistemler) ya da pasif sistemleri (kazanın ciddileşmesini önlemek için kendiliğinden devreye giren sistemler) içermelidir.

Bir nükleer santralde tasarım, özellikle de güvenlik sistemlerin tasarımı, gerçekleşebilecek en kötü kaza gözönüne alınarak ve tasarım bu kazanın sonucunda çevreye radyoaktif maddelerin yayılmasını önlemek esas alınarak yapılır.

Nükleer santrallerde, normal çalışma sırasında, dışarıya çıkan gazların ve sıvıların radyoaktivitesi sürekli olarak ölçülür. Radyoaktivitenin izin verilen sınırların üzerine çıkmasını önlemek için santralden çıkan gazlar ve sıvılar filtrelenir. Olabilecek en kötü kaza durumunda acil durum güvenlik sistemleri ve güvenlik engelleri, radyasyonun reaktör dışına çıkmasını önler.

Nükleer santrallerin güvenliği tasarımdan, sökülme kadar her aşamada güvenlik kültürü çerçevesinde sağlanır. Güvenlik kültürüne göre, güvenlik herşeyden önemli olmalıdır, nükleer güvenlikle ilgili kurum ve kuruluşlar yapılanma ve ilkelerini belirlerken güvenliğe öncelik vermelidir, çalışanlara güvenlikle ilgili sorularını sormak, gerekirse organizasyonu ve diğer çalışanları sorgulamak ve iyileştirme önerileri yapmak üzere imkan ve özgürlükler sağlanmalıdır. Güvenlik kültürü kalite kontrol ve kalite teminini ve gerekli bakım ve onarımların ihmal edilmeden yapılmasını sağlar ve denetler. Güvenlik kültürü çerçevesinde yapılan olumlu davranışlar ödüllendirilirken, buna zıt davranışlar cezalandırılabilir. Güvenlik kültürünün uygulanması ilgili kurum ya da kuruluşun yönetiminin sorumluluğudur ve insan hatalarını önlemeyi hedefler.

Nükleer santrallerin güvenliği söz konusu olduğunda temel ilke; nükleer santralin tasarımı, yer seçimi, inşaatı, servise alma, çalıştırma, servisten çıkma ve sökülme aşamalarının her birinde uluslararası yetkili kuruluşlar ve bağımsız uzman kuruluşlar tarafından kabul edilmiş, uluslararası standartlar, kalite kontrol ve kalite temini, lisanslama ve güvenlik anlayışlarını kabul edip, uygulamaktır. Nükleer santraller, işte bu ilkelere uygun olarak tasarlanır, inşa edilir, işletilir ve sökülürler.



Şekil 14. Radyasyonun santralin dışına çıkmasını önleyen bariyerler. Bu çok katlı bariyerler birbirlerinden bağımsızdırlar ve santralin güvenlik sistemleri bu bariyerleri korumak için tasarlanır.<sup>36</sup>

### **Nükleer Santrallerin Çevre ve Halk Sağlığına Etkileri**

Nükleer Enerji Santrallerinin çevreye etkisini incelemek için, havaya, suya, yeryüzüne ve biyosfere (insanlar, bitkiler, hayvanlar) olan etkisine ve bu etkilerin nasıl en aza indirileceğine bakmak gerekir.

#### **Havaya etkisi:**

Nükleer santrallerde gaz salınımları aşağıdaki yollardan olur:

- Soğutma kulelerinden (su buharı)
- Havalandırma çıkışlarından (radyoaktivite içermez)

<sup>36</sup> Ergün, Ş., Barık, M., "Nükleer Santrallerde 'Derinliğine Savunma", Gazi Üniversitesi Kazalar Çalıştayı, 2007, Ankara.

- Dizel jeneratörün egsozundan
- Ana buhar sisteminden hava ejektörüyle (gazlar ve buhar)
- Havalandırma çıkışlarından (radyoaktivite bulaşmış olabilir)
- Sistemdeki radyoaktif sıvı ve gazlardan meydana gelebilecek gaz çıkışı

İlk iki maddedeki salınım yolları radyoaktif değildir. Soğutma kuleleri yaklaşık 120 metredir ve bu kulelerin en büyük etkisi santralin etrafındaki havayı ısıtmaktır çünkü sıcak su buharı salınımı yapılı (biyolojik tehlike oluşturacak herhangi bir kimyasal olmaksızın).

İkinci kaynak, havalandırma çıkışlarıdır, bunlar, tıpkı ofis binalarının havalandırma sistemleri gibidir herhangi bir radyoaktivite salınımı yoktur.

Nükleer santrallerde acil elektrik gereksinimi için dizel jeneratörler (ya da türbinler) kullanılır. Jeneratörler herhangi bir kaza anında yada acil durumda devreye gireceklerinden emin olmak için en az ayda bir çalıştırılıp kontrol edilir. Bunların çalışmaya başladığı sırada genellikle siyah bir baca dumanı salınır. Türbin ve dizel jeneratörlerin çalışması nükleer santrallerde sera gazlarının (karbondioksit, sülfür oksit, karbon monoksit, nitröz oksit) oluşmasının tek kaynağıdır.

Hava ejektörleri çıkışı basınçlı su reaktörlerinde genellikle radyoaktif değildir. Yalnızca buhar üretici tüplerinden herhangi bir sızıntı varsa radyoaktivite çıkışı olabilir. Kaynayan su reaktörlerinde ise hava çıkışı radyoaktiftir ancak bu gaz atmosfere bırakılmadan önce mutlaka gecikme borularından (yarılanma ömrü kısa olan parçacıkların radyoaktiviteleri önemli ölçüde azalır), depolama tankından ve hidrojen birleştiriciden geçirilir. Havalandırma çıkışlarında radyasyon monitörleri bulunur eğer değerler uygun seviyede değilse normal havalandırma sistemi kapatılıp özel fanlar çalıştırılır hava tekrar filtrelerden geçirilir, bu sistem gaz salınımının kabul edilen radyasyon seviyesinin altında gerçekleşmesini sağlar.

Reaktörün soğutma sisteminden salınan gazlar radyoaktif olabilir, bu nedenle bu gazlar sıkıştırılıp depolanır. Periyodik olarak bu gazlardan örnek alınır ve eğer örneklerin radyoaktivitesi kabul edilebilir seviyenin altındaysa atmosfere salınır.

Yukarıda maddelenmiş tüm potansiyel durumlar için gaz salınımı olan çıkışlar radyasyon monitörleriyle gözlemlenir.

### **Suya Etkisi:**

Nükleer santrallerde sıvı çıkışı aşağıda belirtilen kategorilerde gerçekleşir:

- Radyoaktif olmayan
- Çok az miktarda radyoaktif olan

Su soğutma amaçlı yoğuşturucuda, çeşitli ısı değiştiricilerde, türbin – jeneratör destek işlemlerinde ya da soğutma kulelerinden geçerken radyoaktif değildir. Bu suyun bir kısmı ya da tamamı nehir, deniz ya da göle boşaltılır. Bu termal atım güç santrallerinde, (nükleer ya da kömür), buhar döngüsünde aynı şartlarda çalışılıyorsa (buhar basıncı, giren suyun sıcaklığı gibi) aynı olabilir. Bazı durumlarda, kömür santrali daha yüksek sıcaklıklarda ve basınçlarda ve daha az termal atımla çalışabilir. Bu termal kirliliği indirgemenin bir yolu kojenerasyon prensibinden faydalanılarak daha fazla sıcak su ve buhar kullanmaktır.

Genellikle buhar üreteçlerinden çıkan su radyoaktif değildir. Reaktör soğutma suyu sisteminden buhar üreteçlerinin ikinci soğutma sistemine çok düşük seviyede sızıntıya (yaklaşık olarak gün başına 1514 lt ) izin verilebilir. Bununla birlikte eğer radyoaktif su çevreye salınacaksa mutlaka depolanır ve radyoaktivite seviyesi iyon değişim işlemiyle izin verilen seviyenin altına düşene kadar bekletilir.

Nükleer santrallerde bazı sistemlerde radyoaktif su ve sıvılar bulunabilir bu nedenle yukarıda belirtildiği gibi bu sıvılar mutlaka depolanmalı, temizlenmeli, örnek alınıp incelenmeli ve radyoaktiviteleri kabul edilebilir radyasyon seviyesinin altına düşürülmelidir.

Tıpkı gaz salınımında olduğu gibi, olası radyasyon seviyesi aşımı durumları için sıvı çıkış noktalarında da radyasyon detektörleri ve izolasyon yani kapama vanaları bulunmaktadır.

Bazı kaynar su reaktörleri (BWR) "Sıfır Salınım" yöntemiyle yani hiç çevreye radyoaktif sıvı vermeden çalışabilmektedirler.

### **Katı Atıklar –Yeryüzüne Etkisi:**

Katı radyoaktif malzemeler santralden sadece üç yolla çıkabilirler:

- Radyoaktif atıklar (kıyafetler, kullanılan bez ve tahta parçaları vb.) zırhlı taşıma kaplarında biriktirilir. Bu kaplar su sızdırmayacak ve su içermeyecek şekilde tasarlanırlar, böylece radyoaktivitenin bulaşması

ya da yayılması önlenmiş olur. Bahsedilen kaplar düzenleyici kurum tarafından kontrol edilip özel alanlarda tutulur.

- Su arıtmak için kullanılan reçineler yüksek radyoaktiviteye sahip olabilir ve bunlar özel tasarlanmış kaplarda saklanırlar.

Günümüzde kullanılmış yakıtlar santralde su altında büyük soğutma havuzlarında depolanmaktadır.

Bazı durumlarda depolama kapasitesi sınıra ulaşırsa bunlar santrali içinde kuru-zırhlı taşıma kaplarında depolanır.

Kullanılmış yakıtların tekrar işlenip kullanılması niyetinden dolayı, bu sınırlı miktardaki yüksek radyoaktif kullanılmış yakıtlar camlaştırılıp, etrafları korozyona ve bozulmaya dayanıklı bir metalle çevrilip uygun bir yerde depolanabilir. Bu yakıtlar, depolandıktan sonraki 50-100 yıl boyunca tekrar işlenebilir.

Yeniden işlemede amaç kullanılmış yakıtlardan plütonyumu ve kullanılmamış uranyumu geri kazanmaktır. Geri kazanılmış plütonyum ve uranyum, daha sonra reaktörlerde yakıt olarak tekrar kullanılabilir. Şimdilerde Fransa'da, İngiltere'de ve Japonya'da bu işlem uygulanılmaktadır.

### **Biyosfere Etkisi:** <sup>37</sup>

Nükleer Enerji Santrallerinde yerleşim yeri ve çevre analizlerinde popülasyon dağılımıyla ilgili ayrıntılı analiz yapılır. Santral yerleşkesinin 10 mil ve 50 millik yarıçapında bulunan popülasyonlar için dozlar belirlenen limitleri aşmaz. Bölgede yaşayan insanların alacağı maksimum doz hesaplanırken popülasyon dağılımı sabit olmadığından şu faktörler de incelenir;

- Yakın bölgedeki şehir, kasaba ve köylerdeki popülasyonlar
- Mevsimsel ve günlük popülasyon değişimleri
- Bölgeye turizm amaçlı gelen kişilerin geldikleri dönem ve kişi sayısı;
- Bölgedeki büyük okullardaki ve fabrikalardaki popülasyonlar
- Dönemsel etkinliklere (şenlikler, festivaller,hasat toplama vb.) bağlı popülasyonlar

---

<sup>37</sup> Turkey Point & CPSES FSAR (Son Güvenlik Analizi Raporları)

-Yaş dağılımlarına göre popülasyonlar

-Gelecekteki tahmini popülasyonlar (geçmiş verilerdeki artma ve azalma oranlarına göre yapılır).

Acil durumlar için santralden 20 mil yarıçapında bir bölgenin acil boşaltma senaryoları hazırlanır.

#### 4. Nükleer Santral Kazaları

Nükleer santrallerin tasarım, yapım ve çalıştırılmaları olası bir kaza riskini en aza indirecek şekilde planlanıp uygulanmaktadır. Ancak endüstrinin her dalında olduğu gibi nükleer endüstride de bugünkü yüksek teknoloji düzeyine ulaşıncaya değin bazı kazalar olmuştur. Günümüzde ise çağdaş bir nükleer santralin kaza yapıp insanlara zarar verme olasılığı, yolda yürüyen bir insanın başına göktaşı düşme olasılığı kadardır.

Nükleer santrallarda normal işletme dışına çıkan olaylar kaza olarak kabul edilir ve bu olaylar uluslararası kurumlara bildirilir. Nükleer endüstrideki çalışma prensipleri ve kurallar gereği, diğer endüstrilerde olağan sayılan işletme hataları ve bazı olaylar kaza olarak rapor edilir.

Bir nükleer santralde tasarım, özellikle de güvenlik sistemlerinin tasarımı, gerçekleşebilecek en kötü kaza gözönüne alınarak ve tasarım bu kazanın sonucunda çevreye radyoaktif maddelerin yayılmasını önlemek esas alınarak yapılır.

Şu an çalışmakta olan tüm santral tipleri için düşünülen ve tasarımın dayandırıldığı en kötü kaza, soğutucu kaybı kazasıdır. Soğutucuyu reaktör içine taşıyan borulardan birinin tamamen kırılması bu kazayı başlatır. Kırılmanın ardından soğutucu koruma kabına boşalırken, reaktör soğutma için yeterince soğutucu kalmayacaktır. Bu durumda, reaktörde çekirdek bölünmesi sonlandırılır. Reaktörde fisyon reaksiyonu sonlandırılmış olsa da, reaktörde radyoaktif bozunmaların devam etmesi sonucu ısı üretimi azalarak devam eder. Bu ısının reaktörden transfer edilmesi gerekir, reaktörde soğutucu kaybı devam ettiğinden yani normal çalışma soğutucusu kaybedildiğinden, acil durum reaktör soğutma sisteminin devreye girmesi gerekir.

Soğutucu kaybı kazası sonucunda, eğer güvenlik sistemleri devreye girmezse radyasyonun yayılmasını önleyen yakıt ve yakıt zarfı bütünlüğünü kaybedecektir. Bunu önlemek için acil durum soğutma suyu sistemleri yedekli, birbirinden bağımsız ve en güvenilir şekilde tasarlanır ve inşa edilirler.

Nükleer santralde en ciddi kaza gerçekleştiğinde, radyasyonun önündeki son bariyer olan koruma kabının bütünlüğünü koruması ve radyasyonun bu kaptan sızmaması çok önemlidir. Bunun için koruma kabı için çeşitli güvenlik sistemleri tasarlanmıştır.

Raporun bu kısmında, Nükleer Güç Santrallerinde gerçekleşmiş olan 3 önemli kaza kısaca anlatılmıştır.

Bu kısımda bahsedilen kazaların ilki 1979 yılında ABD’de, Three Mile Island Nükleer Güç Santrali’nde gerçekleşmiştir. Bu kazada çevreye radyasyon salınımı halk sağlığını tehdit etmeyecek miktarda gerçekleşmiş, ancak 1986 yılında bugünkü Ukrayna’da meydana gelen Çernobil kazası, facia olarak sonlanmıştır.

11 Mart 2011’de meydana gelen ve radyolojik sonuçları Çernobil kazası kadar ciddi boyutlara ulaşmasa da, çevreye radyasyon salımı ile sonuçlanan üçüncü kaza, Japonya’da Fukushima-Daiichi Nükleer Güç Santrali’nde gerçekleşmiştir. Fukushima Daiichi santralinde meydana gelen ve çevreye radyasyon salımı ile sonlanan tüm olaylar da raporun ilerleyen kısımlarında özetlenmiştir.

### **Uluslararası Nükleer ve Radyolojik Olay Ölçeği (INES)**

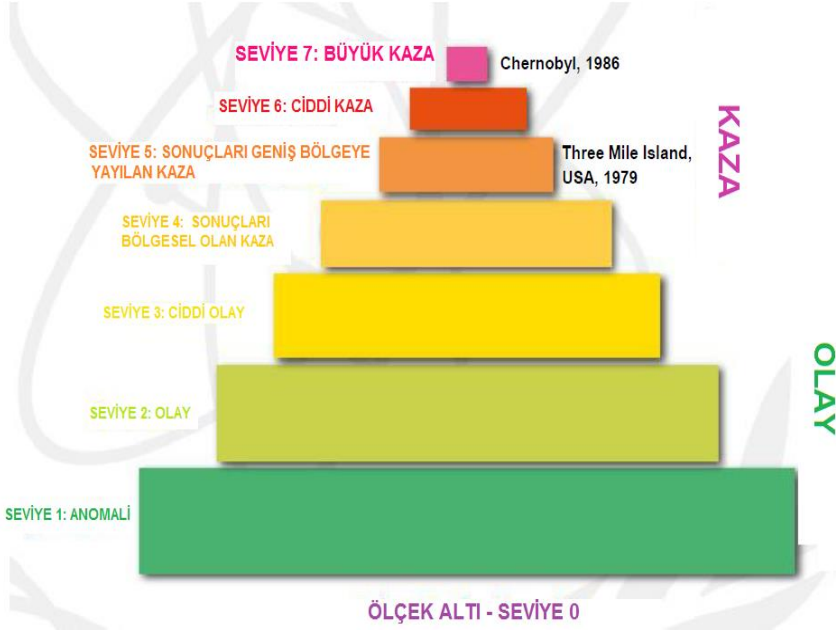
Uluslararası Nükleer ve Radyolojik Olay Ölçeği (INES) Sistemi Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı ve OECD Nükleer Enerji Ajansının işbirliği ile 1990 yılında oluşturulmuştur. INES’in amacı, nükleer tesisler, radyasyon kaynakları ve bu kaynakları taşıma sırasında meydana gelen olayların güvenlik açısından taşıdıkları önem konusunda nükleer topluluklar, medya ve halk arasındaki iletişimi ve bilgi erişimini kolaylaştırmaktır<sup>38</sup>.

INES ölçeği anlaşılması açısından kolaylık yaratmak amaçlı olarak sayısal dereceleme sistemine göre hazırlanmıştır<sup>39</sup>. Bu sisteme göre olaylar Toplum ve Çevre, Radyolojik Bariyerler ile Derinliğine Savunma ilkeleri esas alınarak seviye 1’den (anomali) seviye 7’ye (büyük kaza) kadar Şekil 15’de gösterildiği gibi ölçeklendirilmektedir.

---

<sup>38</sup> <http://www.taek.gov.tr/bilgi-kosesi/kaza-ve-tehlike-durumu/115-kaza-ve-tehlike-durumu/297-uluslararasi-nukleer-olay-olcegi-ines.html>

<sup>39</sup> <http://www-ns.iaea.org/tech-areas/emergency/ines.asp>



Şekil 15. Uluslararası Nükleer ve Radyolojik Olay Ölçeği (INES)

Toplum ve Çevre ilkesi incelendiğinde INES seviye 2 tanımı “halktan birinin yıllık izin verilen dozun 10 katı üzerinde radyasyon dozuna maruz kalması veya bir çalışanın yıllık izin verilen miktarının üzerinde radyasyon dozu alması” olarak tanımlanmıştır. Seviye dereceleri arttıkça alınan doz miktarı veya saptanan etkilerinin büyüklüğüne bağlı olarak durum “kaza” olarak tanımlanmıştır. “Büyük miktarda radyoaktif madde salımı, geniş alanda planlı bir şekilde uzun süreli önlem alınmasını gerektiren sağlık ve çevresel etkiler” tanımı ise seviye 7 olarak tanımlanmıştır.

Radyolojik Bariyerler ve Kontrol ilkesi için INES incelendiğinde ise Seviye 2 tanımı “Bir nükleer tesisin tasarımında beklenmeyen, önemli ölçüde kontaminasyon olması” olarak tanımlanmıştır. INES altında Radyolojik Bariyerler ve Kontrol başlığı altında tanımlanan en yüksek seviye 5’dir. INES ölçeğinde seviye 5’in tanımı ise “Reaktör korunda ciddi hasar meydana gelmesi veya tesis içerisinde halkı etkileme olasılığı yüksek olan, büyük miktarda radyoaktif madde salımı” olarak yapılmıştır.

Son olarak Derinliğine Savunma ilkesine bakıldığında ise INES ölçeği seviye 1’den başlamakta ve tanım olarak “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”

olarak tanımlanmıştır. Savunma ilkesi altında INES'te tanımlanan en yüksek seviye ise 3'dür. Seviye 3'ün tanımı ise "Bir nükleer tesiste alınacak güvenlik önleminin kalmadığı, kazaya yakın durum, Kayıp ya da çalınmış yüksek aktiviteli, zırlı radyasyon kaynağı veya Gönderildiği adrese ulaşmamış, bulunduğu yerde kaynağı idare etmek için yeterli prosedürlerin olmadığı, yüksek aktiviteli zırlı radyasyon kaynağı" olarak tanımlanmıştır.

En büyük kazaları özetlemek gerekirse:

- Three Mile Island Kazası – 1979 Seviye 5
- Çernobil Kazası -1986 Seviye 7
- Fukushima Kazası – 2011 Seviye 7

olarak ölçeklendirilmişlerdir.

### **Three Mile Island Kazası**

Raporun dördüncü kısmında daha önce belirtildiği gibi, nükleer güvenlik, fizyon sonucu açığa çıkan radyasyonun çevreye ulaşmasını engellemeyi hedefler ve bu hedefin gerçekleşmesi için, radyasyonun önüne konan pasif bariyerlerin bütünlüğünü, her koşulda koruması hedeflenir.

Bahsedilen bariyerlerden, nükleer yakıtın bütünlünü kaybetmesi (erimesi) ile son bulan, ilk nükleer güç santrali kazası 29 Mart 1979 yılında ABD'de bulunan Three Mile Island Nükleer Santrali'nin ikinci ünitesinde gerçekleşmiştir.

Basınçlı su reaktörüne (PWR, Şekil 10) sahip olan Three Mile Island Nükleer Santrali'nin ikinci ünitesinde yakıt ergimesi ile sonlanan kazaya, türbin tarafında, ikincil soğutucu döngüsünde, su temizleme sisteminde kapalı bırakılan bir vana yüzünden başladığı tahmin edilmektedir. Kaza, ikincil soğutma döngüsünde yeterli soğutucu bulunmaması yüzünden, buhar üreticinde yeterince ısı taşınımı yapılamaması ve otomatik koruma sistemlerinin reaktördeki zincirleme fizyon reaksiyonunu sonlandırmasıyla (reaktörün kapatılmasıyla) devam etmiştir.

Nükleer reaktörler, zincirleme fizyon reaksiyonu sonlandırılrsa bile, radyoaktif fizyon ürünleri içerdiklerinden, ısı (atık ısı) üretmeye devam ederler. Bu yüzden, birincil ve ikincil soğutma döngülerinin, bahsedilen bu atık ısının sistemden taşınabilmesi için, yedekleri olan besleme suyu döngüleri de tasarlanmıştır.

Yedek besleme suyu döngüsü, Three Mile Island santrali ikinci ünitesinde 3 yedekli pompa ile buhar üreticinin ikinci tarafına su sağlamaktaydı. Kaza öncesinde, bu üç pompadan ikisinin döngüye bağlantısını sağlayan vanalar santralin bakımı sırasında kapalı bırakılmış, böylece kaza sırasında buhar üreticinin ikinci tarafında ihtiyaç duyulan soğutma suyunun sadece üçte biri sisteme ulaştırılabiliştir.

Buhar üreticinin ikinci tarafında atık ısıyı taşıyacak yeterince soğutucunun bulunmaması yüzünden reaktörün bulunduğu basınç kabında, soğutma suyunun sıcaklığı ve basıncı yükselmiştir. Bu, reaktörde yakıtların yeterince soğutulmamasına sebep olmuştur. Basınç kabında, basınç arttığında, kap içindeki soğutucu kütlelerinin bir kısmının, koruma kabında bulunan tanklara bırakılarak basıncın azaltılmasına ve sistemin rahatlatılmasına yardımcı olan bir rahatlatma vanası vardır. Rahatlatma vanası, sistem basıncını azaltmaya yararken, aynı zamanda reaktörde artan ısıyı taşımak üzere otomatik olarak devreye giren Yüksek Basınç Acil Reaktör Soğutma Sisteminin de devreye girmesini sağlar.

Kaza sırasında, beklendiği gibi bu rahatlatma vanası açılmıştır. Tasarım, bir süre sonra rahatlatma vanasının kapanmasını gerektirirken (reaktördeki soğutucu suyun sürekli koruma kabına gönderilmemesi için), kaza sırasında bu vana arızalanarak tam kapanmamıştır. Vananın tam kapanmadığı reaktör operatörleri tarafından farkedilememiş, reaktörde basınç ve su kütlesi azalmış ve sistem tasarlandığı gibi otomatik olarak Yüksek Basınç Acil Reaktör Soğutma Sistemini devreye almıştır.

Kazanın şimdiye kadar anlatılan kısmında yakıt erimesi olmamıştır. Yukarıda anlatılan tüm hata ve sistem problemlerine rağmen, güvenlik sistemleri otomatik olarak devreye girerek, kazanın güvenli sonlanması için görevlerini yerine getirmiştir. Ancak kaza bu şekilde sonlanmamıştır.

Reaktör operatörleri, rahatlatma vanasının kapanmadığını farketmemişler, sistemden soğutucu kütlelerinin sürekli çıkmakta olduğunu bilmediklerinden, ve ölçtükleri bazı değerleri yanlış yorumlayarak, basınç kabının fazla suyla dolmaması için Yüksek Basınç Acil Reaktör Soğutma Sistemini devreden çıkarmışlardır. Böylece aslında sonlanmış kazanın, soğutucu kaybı kazasına dönüşmesine sebep olmuşlardır.

Kazanın başlamasından sekiz dakika sonra yedek besleme suyu döngüsündeki vanaların kapalı kaldığı ve yaklaşık iki buçuk saat sonra da basınç rahatlatma vanasının tam kapanmadığı operatörlerce farkedilmiştir. Ancak bu süre içinde, soğutucu pompaları devreden çıkmış, yakıtlar ısınarak bütünlüğünü kaybetmeye başlamıştır. Kazanın daha da kötüleşmesini

engellemek için gösterilen çabalar reaktördeki ısınmayı kontrol altına almaya yardımcı olana dek, reaktördeki yakıtların bir kısmı erimiş, böylece bu yakıtların içerdiği radyoaktif fisyon ürünleri önlerindeki ilk iki bariyeri aşarak basınç kabı ve koruma kabına ulaşmıştır.

Yakıt zarfının yüksek sıcaklıklara ulaşması ve oksitlenmesi ile açığa çıkan hidrojen, bu kaza sırasında patlamaya sebep olmamıştır.

Basınç rahatlatma vanasının açık kalması yüzünden koruma kabı içindeki tanklar dolarak taşmış, taşan suyun bir kısmı koruma kabı dışında bulunan yardımcı binalar içinde bulunan tanklara pompalanmıştır. Böylece soğutucu suyun içindeki, yakıt erimesi sonucu açığa çıkan radyasyon yardımcı binalara ulaşmıştır. Yardımcı binalarda bulunan radyasyon algılama ve ölçme cihazlarının yüksek değerler ölçmesi yüzünden saha için acil durum ilan edilmiştir.

Three Mile Island kazası sırasında açığa çıkan radyoaktivitenin büyük kısmı basınç kabı ve koruma kabı içinde tutulmuştur. Ancak koruma kabına taşan birincil soğutma döngüsü suyu ile basınç kabından çıkan radyoaktif gazların tamamı koruma kabındaki filtrelerce temizlenememiş ve özellikle İyot-131 koruma kabından atmosfere çıkmıştır.

Yapılan ölçüm ve incelemeler, koruma kabını terk eden radyoaktivitenin, doğal radyasyon seviyesinin çok az üstünde olduğunu göstermiştir. Bu yüzden, bu kaza sonucunda, halkın santral çevresinden uzaklaştırılmasına gerek duyulmamış, İyot-131'in çiftlik hayvanlarının besin döngüsüne karışmış olabileceği düşünülerek süt ve süt ürünlerinin tüketilmesine kısıtlama getirilmiştir.

Herhangi bir can kaybına sebep olmayan kaza sonucunda koruma kabından çıkan radyoaktivite halk sağlığını tehdit edecek seviyelere ulaşmamıştır. Ancak, önemli bir yatırım olan reaktör çalışamaz duruma gelmiştir.

### **Three Mile Island Kazası Sonunda Çıkarılan Dersler**

Three Mile Island kazasından sonra nükleer endüstride bir çok iyileştirme ve güvenlik sistemleri ve güvenlik anlayışında iyileştirmelere gidilmiştir.

Örneğin, Three Miles Island kazasından önce, tasarımı Three Mile Island santraline çok benzeyen ve aynı şirketce tasarlanmış başka bir santralde rahatlatma vanasının tam kapanmadığı gözlenmiş ancak bu bilgi diğer santrallere iletilmemiştir. Kazadan sonra, nükleer endüstride bilgi ve tecrübe paylaşımı önem kazanmıştır.

Bunun yanısıra, operatörlerin eğitilmesi ve acil durum yönetimi konusunda iyileştirilmelere gidilmiş. ABD’de Nükleer Güç İşletilmesi Enstitüsü kurularak, santral yöneticileri de dahil olmak üzere santral çalışanlarının eğitilmesi ve endüstride yapılan uygulama ve işlemlerin değerlendirilmesinin ulusal düzeyde yapılması sağlanmıştır. Bu enstitünün yanısıra, santral operatörlerini akredite eden Ulusal Nükleer Akademi de Three Mile Island kazasından sonra kurulmuştur.

Nükleer santrallerin güvenliğinin olasılıklı güvenlik değerlendirmeleri ile de incelenmesi Three Mile Island kazasından sonra önem kazanmıştır. Bu değerlendirme yöntemi ile, özellikle operatör hataları ve beklenmeyen cihaz bozukluklarının incelenmesi önem kazanmıştır.

Kazadan sonra, ABD’de bulunan Nükleer Düzenleme Komisyonu tarafından belirlenen ölçütlere uygun olmak üzere yeni ölçüm cihazları geliştirilmiş ve mevcut olanlarında da iyileştirmelere gidilmiştir.

### **Çernobil Kazası**

Nükleer güç santrallerinde en ciddi kaza 1986 yılında Çernobil Nükleer Güç Santrali’nde gerçekleşmiştir. Özetle kaza, tasarım, işletim (örneğin güvenlik sistemlerinin devreden çıkarılması) ve operatör hataları yüzünden faciaya dönüşmüştür. Bu kazanın sonuçlarının kötü olmasının en önemli nedeni bu santral tasarımının bir koruma kabını içermiyor olmasıdır.

1972’de Ukrayna’daki (O dönemde Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği’nin bir parçasıydı) Kiev’in 140 km kuzeyinde bulunan Çernobil Nükleer Santrali’nde, her biri 1.000 MegaWatt(MW) gücünde olan dört reaktör ünitesi bulunmaktaydı. Çernobil kazası olarak bilinen kaza, bu santralin dördüncü ünitesinde gerçekleşmiştir.

Çernobil kazasının başlangıcı, santralde yapılmaya çalışılan bir deney ve bu deneyin prosedüründe yapılan değişikliktir. Bahsedilen deney aşağıda açıklanmıştır:

Nükleer güç reaktörleri, aktif olarak güç üretmediğinde bile, radyoaktif maddelerin bozulma ısısını gidermek için genellikle soğutucu akışı tarafından sağlanan soğutma işlemine ihtiyaç duyar. Basınçlı su reaktörleri, atık ısıyı çıkarmak için yüksek basınçlı su akışını kullanır. Kaza durumundaki bir reaktörün acil olarak durdurulmasından sonra, reaktör hala başlangıçta tesisin toplam ısı üretiminin yaklaşık olarak % 7’ si kadar ciddi miktarda bir artık ısı üretir. Bu artık ısı soğutucu sistemleri tarafından çıkarılmazsa, ısı çekirdeğin zarar görmesine neden olabilir.

Kazanın gerçekleştiği reaktör, yaklaşık olarak 1600 ayrı yakıt kanalından oluşuyordu ve her operasyonel kanal saatte 28 ton'luk (7400 galon) su akışına ihtiyaç duymaktaydı. Enerji hatları şebekesinin çökmesi durumunda harici gücün, tesisin soğutucu su pompalarını acilen çalıştırmak için uygun olmayacağı yönünde endişeler vardı. Çernobil reaktörlerinin 3 tane yedek dizel jeneratörü vardı. Her jeneratör 15 saniye içinde devreye girebiliyordu, fakat tam hıza ulaşması ve ana soğutucu su pompalarından bir tanesini çalıştırmak için gerekli olan 5.5 MW 'lik kapasiteye ulaşması 60-75 saniye alıyordu. Bu bir dakikalık güç aralığının güvenlik açısından kabul edilemez olduğu düşünülüyordu ve buhar türbünü rotasyonel enerjisi (ya da açısız momentum) ve artık buhar basıncının (türbin vanaları kapalı), acil durum dizel jeneratörleri yeterli dönme hızına ve voltaja ulaşana kadar, ana soğutucu su pompalarını çalıştırabilecek elektiriği üretmek için kullanılabilirdi öne sürülüyordu.

Teorik olarak, analizler, bu artık momentumun ve buhar basıncının, acil durum jeneratörlerinden gelen harici enerjinin başlangıcındaki kesinti ve yeterli tam güce ulaşması arasında köprü olabilecek gücü 45 saniyeliliğine sağlayabilecek potansiyele sahip olduğunu gösteriyordu. Bu yeterliliğin hala deneysel olarak doğrulanması gerekiyordu ve önceki deneyler hep başarısızlıkla sonuçlanmıştı. 1982' de gerçekleştirilen ilk deney, türbin jeneratörünün uyarım voltajının yetersiz kaldığını; türbinin aniden kapanmasından sonra gerekli manyetik alanı devam ettiremediğini, gösterdi. Sistem 1984' te modifiye edilerek deney tekrarlandı, fakat sonuç yine başarısız oldu. 1985' te deneyler üçüncü sefer yapıldı ve yine olumsuz sonuçlarla bitti. Deney prosedürü 1986 da tekrar edilecekti, ve bu deneyin 4 numaralı reaktörün bakım için kapatılması esnasında yapılması planlandı. Deney, reaktörün elektrik kaynaklarının sekanslarını cereyan verme üzerine odaklandı.

Deney prosedürü ve amaçları aşağıdaki gibidir:

- 1- Reaktör 700MW-800MW arasında daha düşük bir güç seviyesinde çalışıyor olacaktı.
- 2- Buhar türbünü jeneratörü tam hızıyla çalışıyor olacaktı.
- 3- Bu koşullar sağlandığında, türbin jeneratörünün buhar desteği kapatılacaktı.
- 4- Türbin jeneratörü performansının, soğutma pompalarına otomatik olarak güç sağlayan ve çalıştıran acil durum dizel jeneratörleri sıralanana kadar, soğutma pompaları için gerekli köprü gücü sağlayıp sağlayamayacağı belirlenecekti.

5- Acil durum jeneratörleri normal yeterli hıza ve voltaja ulaştıktan sonra, türbin jeneratöre serbest bırakılacaktı.

Deney prosedürüne uygun olarak, reaktörde üretilen güç 700MW-800MW seviyesine düşürülmeye başlandığında, Kiev'de bulunan elektrik şebekesi denetçisi, reaktörün bir süre daha şebekede kalmasını istemiştir. Böylece reaktör tam güçte ya da deney prosedüründe belirtilen değil, belirtilenden yüksek güçte bir süre çalıştırılmıştır. Deney prosedüründe yapılan bu değişiklik deneyin iptalini gerektirirken, bu yapılmamıştır.

Deneyin, reaktörün güvenliği üzerinde zararlı etkisi tahmin edilmiyordu, bu yüzden deney programı reaktörün tasarım şefi ya da bilimsel idarecisi ile koordineli olarak yapılmamıştır. Bunun yerine sadece tesis direktörü tarafından onaylanmıştır. Deney parametrelerine göre deneyin başlangıcında reaktörün ısı üretimi 700 MW' nin altında olmalıydı. Deney koşulları planlandığı gibi olsaydı, deney hemen hemen başarıyla gerçekleştirilirdi.

Deneyin uygulanmasını sağlayan koşullar 25 Nisan 1986 günü gündüz vardiyasından önce oluşturuldu. Gündüz vardiyasındaki işçiler önceden uyarıldı ve bu işçiler oluşturulan prosedürlere aşinaydı. Elektrik mühendislerinden oluşan özel bir ekip yeni voltaj düzenleme sistemini deney etmek üzere oradaydı. Planlandığı gibi gündüz vardiyasının işe başlamasıyla 01:06 25 Nisanda güç ünitesinin randımanı kademeleri olarak azaltılmaya başlandı ve güç seviyesi nominal 3200 MW ısı seviyesinin % 50 sine düşürüldü.

Bu noktada bir diğer bölgesel güç istasyonu beklenmedik bir şekilde devre dışı kaldı ve Kiev elektrik şebekesi denetçisi akşamları oluşan yoğun elektrik talebini karşılayacak güce ihtiyaç duyulduğu için Çernobil'de daha fazla güç azaltılmasının ertelenmesini talep etti. Çernobil santrali yöneticisi deneyin ertelenmesini kabul etti. Saat 23:04 te kiev elektrik şebekesi denetçisi reaktörün kapatılma işlemine devam edilmesi için izin verdi.

Bu gecikmenin bazı ciddi sonuçları vardı:

- Gündüz vardiyası geçeli çok olmuştu ve akşam vardiyası da çıkmaya hazırlanıyordu, ve gece vardiyası da işin yapılacağı gece yarısına kadar nöbeti devralmayabilirdi. Plana göre deney gündüz vardiyasında bitirilmeliydi ve gece vardiyası sadece santralde beklenmedik bir kapanma olursa soğutma sistemlerinin bozulma ısını devam ettirmekle yükümlüydü. Deneyi uygulamak ve hazırlanmak için gece vardiyasının zamanı çok kısıtlıydı. Vardiya değişimi sırasında güç seviyesinde % 50 den aşağı ani bir düşüş gerçekleştirildi.

- Deney planı 4 numaralı ünitenin reaktörünün güç çıkışının kademeli olarak 700 MW-1000MW lik ısı seviyesine düşürülmesini gerektiriyordu. Deney planında yer alan 700 MW seviyesine 26 Nisan 00:05 te ulaşıldı. Reaktör gücündeki azaltma, bir süre azaltılmış güçte bekleme ve elektrik üretimine devam edilmesi reaktörde daha çok güç düşmesine neden olacak şekilde nötron soğuran ksenon 135 elementi üretilmeye başlandı. Böylece, ksenon 135 üretimi yüzünden daha fazla azaltma işlemi yapılmaya bile reaktör gücü azalmaya devam etti.

Bilinmeyen bir nedenle kaza sırasında hayatını kaybetmiş olan operatörlerden biri kontrol çubuklarını gücü daha da düşürmekle sonlanmak üzere (dolayısıyla daha çok ksenon 135 oluşmasına neden olmak üzere) reaktör içine soktu. Bunun sonucunda, reaktör gücü hemen hemen bir kapanma seviyesi olan 30 MW lik ya da daha az ısıya düştü, bu, deney için güvenli olarak planlanan baştaki minimum güç seviyesinin yaklaşık olarak yüzde beşi idi.

Kontrol dairesi personeli, bunun üzerine nötron yutucu kontrol çubuklarının büyük bölümünü yukarı çekerek gücü tekrar eski haline getirme kararı aldı. Birkaç dakika, personelin çubukları çekmesi, güç çıkışının artması ve ardından planlanan 700 MW değerinden çok daha düşük bir değer olan 160-200 MW de sabitlenmesi arasında geçti. İlk kapatma sırasındaki ani azaltma ve seviyenin 200 MW nin daha da altına düşmesi, ksenon 135 elementinin birikmesiyle reaktör çekirdeğindeki zehirlenmenin artmasına (yani daha çok nötron yutulmasına) yol açtı. Bu, reaktör gücünün yükselmesini kısıtladı ve zehirlenme etkisini yok etmek için ek denetim çubuklarının reaktör çekirdeğinden çıkarılmasını zorunlu hale getirdi.

Reaktörün düşük güçte ve yüksek zehirlenme oranında çalışması, dengesiz çekirdek sıcaklığı ile soğutucu akışı ve muhtemelen dengesiz nötron akışı ile birleşti. Bu noktada çeşitli alarmlar çalmaya başladı. Kontrol odası, su/buhar tamburlarının seviyesiyle ilgili ve besleme suyunun akış hızında değişiklikler ya da farklılıklar olduğuyula ilgili art arda gelen acil durum uyarıları aldı, bunun yanında tahliye vanalarının artan buharı bir türbin kondenserine tahliye etmek için açıldığını belirten ve nötron güç denetçisinden gelen uyarılar vardı. Bu periyotta 00:35 ile 00:45 arasında, termal termal hidrolik parametrelerle ilgili görünüşte reaktör gücünü korumak için dikkate alınmadı.

Bu noktada, deney gerçekleşebilsin diye güç seviyesini ayarlamak için yapılan herşey (hem otomatik hem de operatörler tarafından hareket ettirilen kontrol çubuklarının reaktörden çekilmesi, ksenon 135 zehirlenmesinin dikkate alınmaması) reaktörün kararsız ve zor kontrol edilir hale gelmesine neden olmuştur.

Reaktör acil durum koruma sistemi acil durum sinyalleri, türbin jeneratörlerinin her ikisinin kapanmasına neden olan bir hatayı tetikledi. Bir süre sonra 200 MW güç seviyesinde daha çok ya da daha az sabit bir duruma ulaşıldı ve deney hazırlıkları devam etti. Deney planının bir parçası olarak ilave su pompaları 26 Nisan 00:05 te devreye sokuldu.

Reaktör üzerinde artan soğutucu akışı oranı, reaktör çekirdeğinin hava giriş deliği soğutucusu sıcaklığının güvenlik payını azaltan ve suyun kabarcıklı kaynamasına neden olan arttıran bir artışa neden oldu. Akış saat 01:09 da izin verilen limiti aştı. Aynı zamanda, ilave su akışı tüm çekirdek sıcaklığını düşürdü ve çekirdekdeki buhar boşluğunu azalttı. Ayrıca, su nötronları yuttuğu için ek su pompalarının devreye sokulması reaktör gücünü azalttı. Bu, operatörlerin güç devamını sağlamak amacıyla operatör tarafından hareket ettirilen kontrol çubuklarını daha ileriye çekmek için harekete geçmesine neden oldu. Tüm bu yapılanlar kararsız bir reaktör konfigürasyonu oluşmasını sağladı.

Reaktör, tasarımcılar tarafından oluşturulan güvenli çalışma koşullarının açık bir şekilde dışında olan kararsız bir konfigürasyonda idi. Reaktörde oluşan ani güç artışı nötronları yutarak güç artışını önleyen su miktarının kaynama yüzünden azalmasına neden olmuştur. Reaktörde güç artışını önleyecek kontrol çubukları da reaktörden çıkarıldığından, güç artışı önlenememiş, güç ve dolayısıyla sıcaklık artışı, reaktörde bulunan ve karbon içeren grafitin yanmasına, sıcaklık artışı yüzünden ani buhar üretimine ve ani buhar üretimi sonucu büyük bir patlamaya sebep olmuştur.

Patlamanın etkisiyle reaktör binası bütünlüğünü kaybetmiş, hala yanmakta olan ve yakıttaki radyoaktif malzemeyi içeren reaktör malzemesi (yakıtın bir kısmı da dahil olmak üzere) tamamen açığa çıkmıştır.

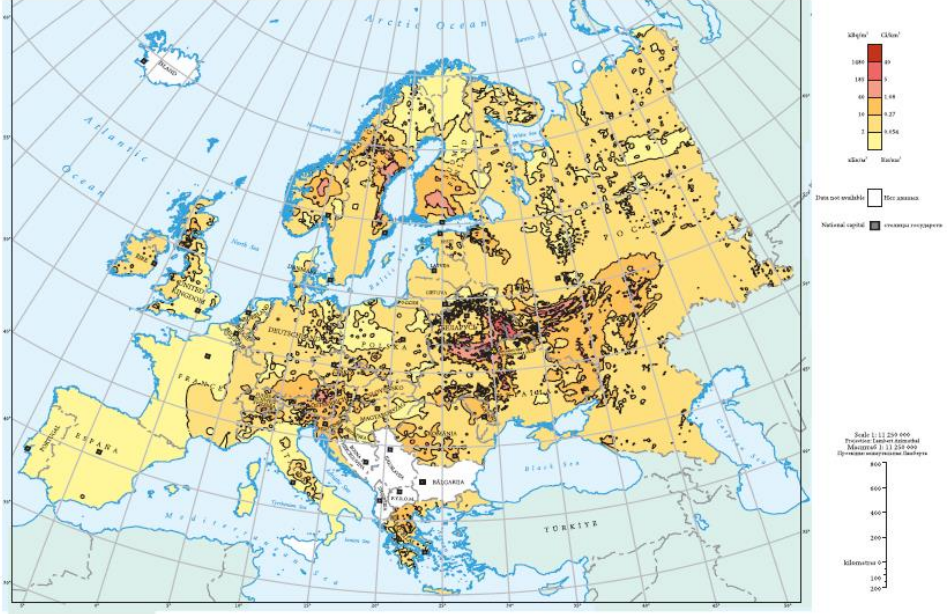
### **Kazanın Etkileri ve Çıkarılan Dersler**

İngiltere'nin Galler bölgesinde kazadan iki hafta sonra saptanan yüksek radyoaktivite nedeniyle yeşil alanlara koyun ve sığırların girişi engellenmiştir.

Şekil 16'da, uzun süre radyoaktif kalan bir fisyon ürünü olan sezyum 137 ile kirlenen Avrupa ülkeleri ve kirlilik miktarları gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi kirlilikten en fazla Avusturya, Doğu ve Güney İsviçre, Güney Almanya'nın bir bölümü ile İskandinav ülkeleri etkilenmiştir.

Şekil 17'de ise Türkiye sezyum 137 kirlilik haritası gösterilmektedir. Kazadan sonra gerçekleşen yağışlarla beraber, en yüksek kirliliğin Kuzeydoğu Anadolu'da yer alan illerimizde gerçekleştiği görülmektedir.

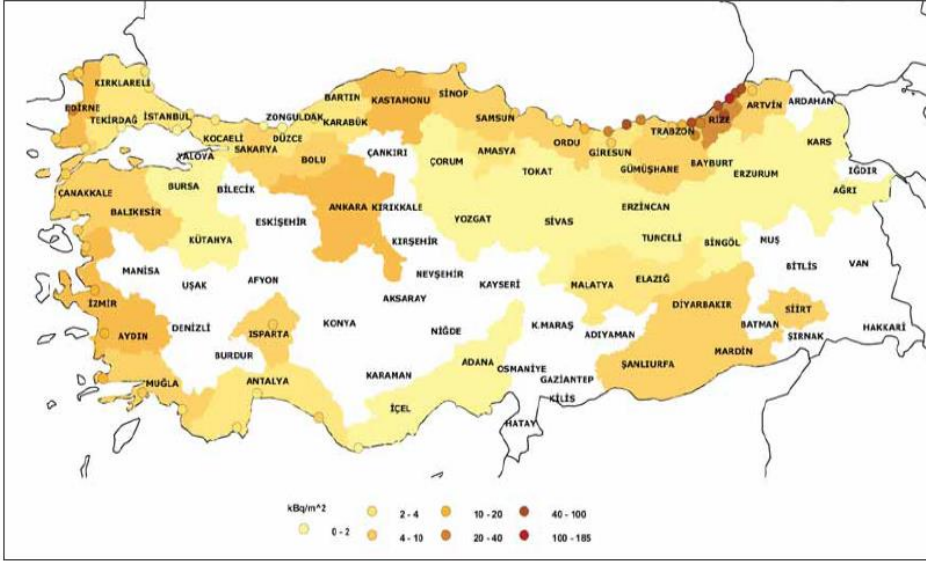
Kirlilik yukarıda sıralanan ülkelerdeki kadar büyük değilse de ölçülebilir seviyelere gelmiştir.



Şekil 16. Avrupa, sezyum 137 kirlilik haritası<sup>40</sup>

Birleşmiş Milletler'e bağlı kuruluşlar olan Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı, Uluslararası Sağlık Örgütü, Dünya Bankası gibi kurumların ve Rusya, Beyaz Rusya ve Ukrayna yetkililerinin oluşturduğu bir organizasyon olan Çernobil Forumu 2005 yılında "Chernobyl's Legacy: Health, Environmental and Socio-Economic Impacts" (Çernobil'in Mirası: Sosyo-Ekonomik, Çevresel ve Bakımından Etkileri) başlıklı bir rapor yayınlamıştır.

<sup>40</sup> 20. Yılında Çernobil Serisi, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu



Şekil 17. Türkiye sezyum 137 kirlilik haritası<sup>41</sup> (beyaz kısımlarda ölçüm yapılmamıştır)

En yüksek radyasyon dozlarına, sayıları bini bulan acil durum çalışanları ve Çernobil personeli maruz kalmıştır. Çalışanların bazıları için maruz kaldıkları dozlar öldürücü olmuştur. Zaman içinde Çernobil’de çalışan kurtarma personelinin sayısı 600 bini bulmuştur. Bunların bazıları, çalışmaları boyunca yüksek düzeyli radyasyona maruz kalmışlardır. Çöken radyoaktif iyodinden kaynaklanan çocukluk tiroid kanseri, kazanın en önemli sağlık sorunlarından birisidir. Kazadan sonraki ilk aylarda, radyoaktif iyodin düzeyi yüksek sütlerden içen çocuklar yüksek radyasyon dozları almışlardır. 2002 yılına kadar bu grup içinde 4000’den fazla tiroid kanseri teşhis edilmiştir. Bu tiroid kanserlerinin büyük bölümünün radyoaktif iyodin alımından kaynaklanmış olması çok muhtemeldir.

Bağımsız kaynaklar yüzlerce yıl boyunca Pripyat ve komşu bölgelerde yerleşimin güvenli olmadığını söylemektedirler. Ayrıca bölgeye giriş çıkışlar hala polis kontrolünde olup bazı bölgelere giriş yapılamamaktadır.

Çernobil kazası, nükleer kazaların ülke sınırlarını tanımadığını ve nükleer teknolojide güvenliğin uluslararası bir önemi olduğunu göstermiştir. Bu

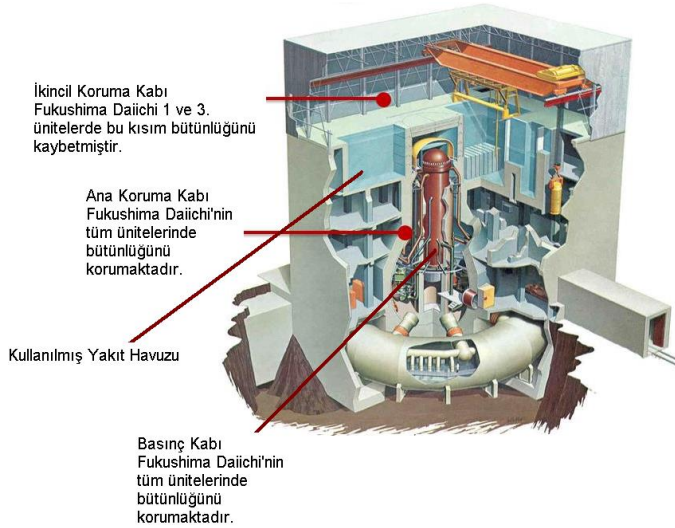
<sup>41</sup> 20. Yılında Çernobil Serisi, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu

nedenle nükleer endüstri, yalnızca ulusal değil uluslararası denetim mekanizmaları tarafından da gözetim altında tutulmaktadır.

### Fukushima Daiichi Santrali'nde Meydana Gelenler

Sahibi ve işleticisi Tokyo Electric Power şirketi olan Fukushima Daiichi Nükleer Santrali'nin tüm üniteleri ikinci nesil Kaynar Sulu Reaktör (BWR) tasarımı reaktörle çalışmaktadır. Santralde elektrik üretimi 460 MW ila 784 MW elektrik arasında değişen 6 adet reaktör bulunmaktadır. 1970'lerin başından beri elektrik üretmekte olan üniteler, General Electric, Hitachi ve Toshiba şirketleri tarafından tasarlanmıştır. Şekil 18'de Fukushima Daiichi Nükleer Santrali birinci ünitesinin binası gösterilmiştir.

Dünyada elektrik enerjisi üreten reaktör tipleri arasında Basıncılı Su Reaktörleri (PWR)'nden sonra en yaygın olarak kullanılan Kaynar Sulu Reaktörleri (BWR) hafif su soğutmalı su yavaşlatıcılı nükleer reaktör tipleridir. Bu tip reaktörlerde, reaktörde üretilen su buharı reaktör korunun üzerinde bulunan buhar kurutuculardan geçirilerek direk türbine gönderilerek elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir. Türbinden geçen su buharı yoğunlaştırıcıdan geçirilerek sıvı fazına dönüştürülür, sonra tekrar reaktör kazanına pompalanır.



Şekil 18. Fukushima Daiichi Nükleer Santrali Birinci Ünitesinin Binası<sup>42</sup>

<sup>42</sup> Nuclear Emergency Response Headquarters, Nuclear Emergency Response Headquarters, Additional Report of the Japanese Government to the IAEA: The

BWR'lerde herhangi bir kaza durumunda reaktör kalbini soğutmak dolayısıyla, radyasyon karşısında engel oluşturan bariyerlerin bütünlüğünü korumak için geliştirilmiş, kalp soğutma ve ısı atma sistemleri vardır. Bu sistemler Fukushima Daiichi Santrali'nin ilk 4 ünitesinde bulunan BWR'ler için Çizelge 6'da gösterildiği gibidir.

Çizelge 6. BWR/3 ve BWR/4 Güvenlik sistemleri

Güvenlik Sistemi	BWR-3	BWR-4	Pompa sayısı	Su kaynağı
1. Yüksek Basınç Soğutucu Enjeksiyon Sistemi	VAR	VAR	1	Yoğuşmuş su depolama tankı Su basma havuzu
2. Reaktör Kalbi İzolasyon Soğutma Sistemi	VAR	VAR	1	Yoğuşmuş su depolama tankı Su basma havuzu
3. Otomatik Basınç Düşürme Sistemi	VAR	VAR		
4. Düşük Basınç Reaktör Kalbi Sprey Sistemi	VAR	VAR	2	Su basma havuzu Yoğuşmuş su depolama tankı
5. Düşük Basınç Soğutucu Enjeksiyon Sistemi	VAR	VAR	2	Su basma havuzu
6. İzolasyon Yoğuşturucusu	VAR	YOK	2	Demineralize su Yoğuşmuş su

				depolama tankı
7. Su basma havuzu	VAR	VAR	2	İki adet ısı değiştiricisi
8. Koruma Kabı Sprey Sistemi	VAR	VAR	2	İki adet ısı değiştiricisi

Çizelge 6’da gösterilen sistemler, soğutma sağlama sistemleri olarak (Otomatik Basınç Düşürme Sistemi hariç) elektrik tüketerek çalışan sistemlerdir. Bu sistemler için gerekli elektrik, santral dışından ya da santral içinden sağlanabileceği gibi, dizel jeneratörler kullanılarak da sağlanabilir. Bir, dört ve beşinci sistemler, soğutucu kaybı kazası (yani soğutucunun miktarının azalması kazası) sırasında bariyerlerin bütünlüğünü korumak üzere sisteme eklenmişlerdir. İkinci ve sekizinci sistemler ciddi kaza durumunda devreye girmek üzere tasarlanmışken, üçüncü ve yedinci sistemler reaktör basıncının otomatik olarak düşürülmesi işlemleri için tasarlanmışlardır. Altıncı sistem ise reaktör soğutucusu yoğuşturulamadığında devreye giren yedek sistemdir.

### **11 Mart 2011’deki Deprem ve Tsunami’nin Ardından Fukushima Daiichi Nükleer Santralinde Neler Oldu?**

Fukushima Daiichi Nükleer Santrali’nin çalışmakta olan tüm üniteleri, depremin öncü sarsıntılarının ardından otomatik olarak kapanmıştır. Ancak, nükleer santraller kapatıldıklarında, örneğin bir gaz sobası gibi, ısı üretimleri anında durmaz, bir süre, giderek azalan miktarlarda ısı üretmeye devam ederler ve soğutulmaları gerekir. Bu sistemlerin çalışması için gerekli olan elektrik, santral içinden ve dışından deprem yüzünden sağlanamamış, sistemin bir süre dizel jeneratörlerle çalışması sağlanmış, ancak tsunami ile birlikte dizel jeneratörlerin çalışması durmuştur. Bunun üzerine yedek olarak kullanılan bataryalar devreye girmiş, bu bataryaların tükenmesi ise sistemin soğutulamamasına yol açmıştır.

Önemli güvenlik sistemlerinin çalışmamasının ve reaktörün soğutulamamasının temel nedeni, tasarımda öngörülenden daha büyük bir deprem ve daha şiddetli bir tsunaminin gerçekleşmiş olmasıdır. Etkin bir şekilde soğutulamayan reaktörde, soğutucunun normal çalışma koşullarına göre daha çok kaynaması sonucunda buhar miktarı ve basınç artmış, bu basınç, reaktördeki buhar ikincil koruma kabına boşaltılarak azaltılmıştır. Bu,

koruma kabının basıncının artmasına sebep olmuştur. Koruma kaplarında basınç arttığında, ikincil koruma kabının havalandırma sisteminde bulunan filtre ve temizleme sistemlerine güvenilerek reaktörden kaba bırakılan buhar çevreye bırakılmıştır. Bu aşamada, santralin 3 km civarında bulunan halk buldukları bölgelerden uzaklaştırılmıştır.

Reaktör soğutulamadığı için sistemde sıcaklık ve basınç artmaya devam etmiştir. Sıcaklığın artması ve soğutucunun buharlaşması, reaktörde bulunan metallerde oksidasyon (paslanma) gerçekleşmesine sebep olmuştur. Bu, sistemde patlayıcı hidrojen birikmesine sebep olmuştur. Sistem basıncındaki artış ve bırakılmaya devam eden buhar yüzünden tahliye bölgesi santralin 10km civarına genişletilmiştir.

Büyük olasılıkla koruma kabında biriken hidrojenin patlamasıyla, kabın su içermeyen kısmının üstünde bulunan ikincil koruma kabı bütünlüğünü kaybetmiştir. Bu patlama sonucunda, radyasyonun önündeki bariyerlerden biri tamamen ortadan kalktığından, santralin halkın tahliyesi santralin 20 km civarına kadar genişletilmiştir.

Birinci ünite de bunlar gerçekleşirken, santralin üçüncü ünitesinde 14 Mart 2011'de yerel saatle saat 11.01'de bir hidrojen patlaması gerçekleşmiştir. Patlamanın ardından koruma kabı içerisindeki basınçta dalgalanmalar görülmüş ardından basınç dengeye ulaşmıştır. Bu sebeple ana koruma kabının bütünlüğünü koruduğu düşünülmüştür

Santralin üçüncü ve dördüncü ünitelerinde ise, kullanılmış yakıtların bekletildiği havuzlarda ciddi sıcaklık artışları tespit edilmiş, hidrojen patlaması sonucu üçüncü ünite de, üçüncü ünite de gerçekleşen patlamanın etkisi ile de dördüncü ünite de ikincil koruma kaplarının bütünlüğünün kaybedilmesi ile bu havuzlar üstündeki bariyerler ortadan kalkmıştır. Üçüncü ve dördüncü ünite den sızan radyasyonun, ağırlıkla, bu havuzlarda bulunan kullanılmış yakıtlardan olduğu düşünülmektedir. Havuzların suyla doldurulması için bir süre helikopterlerle su takviyesi yapılmaya çalışılmış, daha sonra deprem koşullarının izin verdiği ölçüde, itfaiyeden yardım alınarak, havuzlar yerden su fişkırtılarak soğutulmaya başlanmıştır.

Santralin ikinci ünitesinde, soğutma diğer ünitelere göre daha uzun süre sağlanabilmiştir. Bu ünite de de basınç artışı olmuştur, özellikle birincil koruma kabının içindeki basınç artışı yüzünden birincil koruma kabının bütünlüğünü kaybetmiş olabileceği yetkililerce bildirilmiştir. Ancak ikincil koruma kabı sağlamken (hidrojen patlamasına karşı ikincil koruma kabında açılan delikler hariç) bütünlüğünü korumuştur.

Santralin birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü ünitelerine yapılan müdahaleler 25 Mart 2011 tarihine kadar deniz suyu ile yapılmıştır. Deniz suyunun reaktör bileşenleri üzerindeki olumsuz etkisi düşünülerek sistemlere ivedilikle tatlı su sağlanmasına çalışılmıştır. Santralin deprem sırasında soğuk kapama durumunda olan beşinci ve altıncı ünitelerinde soğutma sürekli olarak sağlanabilmiştir. Bu ünitelerin ikincil koruma kaplarında muhtemel basınç artışlarını bertaraf etmek için delikler açılmıştır.

31 Mart 2011 itibariyle açıklanan, Fukushima Daiichi Santrali'nde bulunan ünitelerdeki radyasyon bariyerlerinin durumu Çizelge 7'de gösterilmiştir. Çizelge 7'de gösterildiği gibi radyasyonun önündeki önemli bariyerler bütünlüğünü korumaktadır.

Alınan tüm tedbirlere rağmen, radyasyon bariyerlerinin bir kısmı bütünlüğünü kaybettiğinden, santralden çevreye radyasyon sızıntısı gerçekleşmiştir. İyot-131 izotopu ve Sezyum-137 izotopu için yapılan ölçümler ve bu ölçümlere dayalı olarak yapılan analizler neticesinde, İyot-131 izotopu için salınım değerleri yaklaşık 160PBq, Sezyum-137 izotopu için ise 18PBq olduğu tahmin edilmektedir. Aynı izotoplar için Çernobil kazasında gerçekleşen salınım değerleri sırasıyla 1760PBq ve 85Pbq'dir.

### **Fukushima Daiichi Santralinde Olanların Işığında Nükleer Güvenlik Anlayışında Meydana Gelebilecek Değişiklikler**

Fukushima Daiichi Santrali'nde deprem ve tsunami ardından gerçekleşenler, dünyada nükleer santral güvenliği ve santralde ciddi sorunlar oluşması üzerine alınması gereken tedbirlerle ilgili anlayış ve tasarım değişikliğine neden olacaktır. Öncelikle, tasarımda öngörülen deprem ya da tsunami gibi sistemin normal çalışmasını engelleyecek dış etkilerin şiddetleri ile ilgili kabuller değişmelidir. Nükleer santraller olabilecek en kötü durumlar düşünülerek tasarlanırlar ancak Fukushima Daiichi'de olanlar tasarımlarda olabilecektenden daha kötü durumların da dikkate alınması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır.

Ayrıca, hainazırda yedekli tasarlanan güvenlik sistemleri ve bunların yardımcı sistemlerinin sayı ve çeşitliliği artırılmalıdır. Bunun yanında, yardımcı sistemlerin de dışardan gelecek etkilerden korunmak üzere, kendilerine ait güvenli koruma kapları olmasına özen gösterilmelidir.

Kullanılmış yakıt havuzlarının güvenlik sisemlerinde iyileşme, yedekleme ve çeşitlendirmeye gidilmesi düşünülebilir. Kullanılmış yakıt havuzlarının da

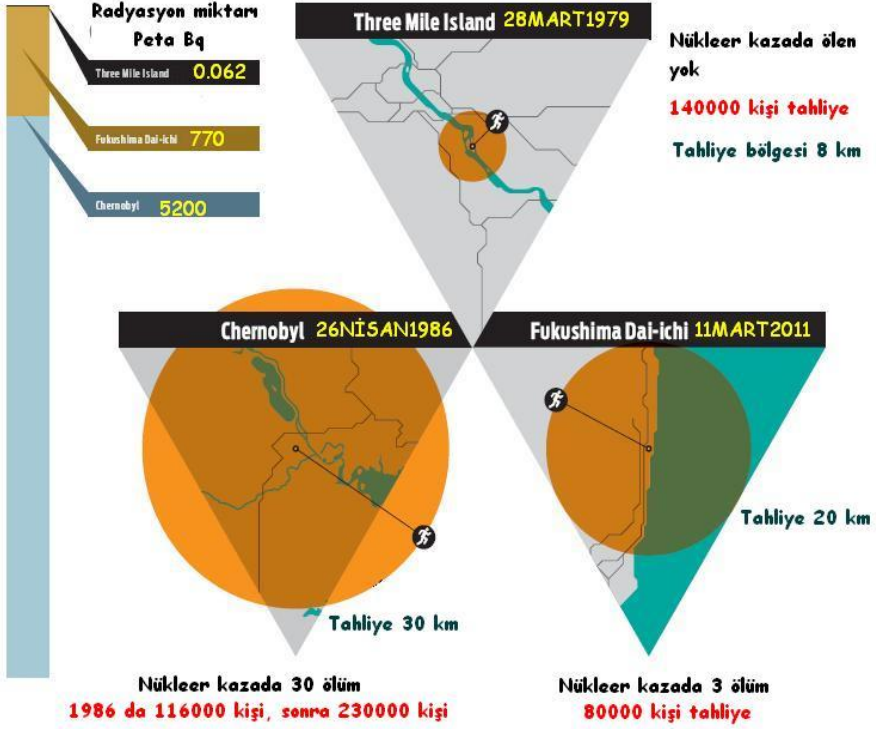
kendilerine ait korunaklı kaplar içinde bulundurulması da yapılabilecek değişiklikler arasında listelenebilir.

Santralde tüm tedbirlere rağmen, santral güvenliği tehlikeye girdiğinde, santralde olanları izlemek üzere, direk yönetim otoritelerine bağlı ve bu otoritelere rapor vermekle sorumlu acil durum birimleri oluşturulabilir. Bu birimlere radyasyonun insan sağlığına etkileri konusunda bilgi birikimine sahip doktorları da içermesi düşünülebilir.

Çizelge 7. Fukushima Daiichi Santralinin Tüm Ünitelerinde Radyasyon Bariyerlerinin Durumu

	Fukushima Daiichi Nükleer Güç Santrali Üniteleri					
Bariyerler/Üniteler	1	2	3	4	5	6
Yakıt Bütünlüğü	Hasarlı	Hasarlı	Hasarlı	Yakıt bulunmamakta	Yakıt bulunmamakta	Yakıt bulunmamakta
Yakıt Zarfı Bütünlüğü	Hasarlı	Hasarlı	Hasarlı	Yakıt bulunmamakta	Yakıt bulunmamakta	Yakıt bulunmamakta
Reaktör Basınç Kabı Bütünlüğü	Bilinmiyor	Bilinmiyor	Bilinmiyor	Hasarsız	Hasarsız	Hasarsız
Ana Koruma Kabı Bütünlüğü	Zarar görmediği düşünülüyor	Zarar gördüğünden ve muhtemel sızıntıdan şüpheleniliyor	Zarar görmediği düşünülüyor	Hasarsız	Hasarsız	Hasarsız
İkincil Koruma Kabı Bütünlüğü	Hidrojene bağlı patlamadan dolayı ciddi biçimde zarar gördü	Ufak hasarlar bulunmakta	Hidrojene bağlı patlamadan dolayı ciddi biçimde zarar gördü	Hidrojene bağlı patlamadan dolayı ciddi biçimde zarar gördü	Hidrojene bağlı patlamadan kaçınmak için reaktör binasının çatısında bulunan havalandırma delikleri açıldı	
Kullanılmış Yakıt Havuzu Bütünlüğü	-	-	Talı su sağlanmadığı süre boyunca deniz suyu kullanılarak soğutulmuştur.	Talı su sağlanmadığı süre boyunca deniz suyu kullanılarak soğutulmuştur. Havuzdan kaynaklanan hidrojene bağlı patlama meydana gelmiştir.	Sorunsuz soğutulmuştur.	Sorunsuz soğutulmuştur.
Kullanılmış Yakıtların Bütünlüğü	Bilinmiyor	Bilinmiyor	Zarar gördüğünden şüpheleniliyor	Zarar görmüş olma olasılığı yüksek	Hasarsız	Hasarsız

Bu üç kazayı karşılaştırılacak olursak etkilerini şu şekilde özetleyebiliriz.



## 5. Nükleer Hukuk

En genel tanımıyla Nükleer hukuk; iyonize edici radyasyon yayan, bölünebilir maddelerle meşgul olan ve doğal radyasyon kaynaklarına maruz kalan tüzel veya gerçek kişilerin faaliyetlerini düzenlemek amacıyla yaratılmış özel ve yasal kuralların toplamına verilen addır. Bu yasal çerçevenin amacı nükleer enerjinin insanlığın faydasına sivil amaçlar için emniyetli ve güvenli bir şekilde sunulması ve uluslar arası işbirliğinin sağlanarak ortak paydaların belirlenmesidir<sup>43</sup>.

Nükleer enerji, diğer enerji kaynakları ile karşılaştırıldığında çevreyi kirlilememesi ve sürekli enerji sağlama avantajlarıyla öne çıkmaktadır. Bununla birlikte nükleer enerjinin ikiyüzlü (Janus faced) oluşu, nükleer kazalardan kaynaklanan zararın çok büyük olması ve bu zararın sınır aşan bir karakterde oluşu yüzünden nükleer kazalarda sorumluluk, milletlerarası hukukta, ulusal özel ve kamu hukuktan farklı esaslara bağlanmıştır.

### Nükleer Hukuk Gereksinimi

Nükleer enerji; insanların sağlığı, emniyeti, güvenliği için, mal, mülk ve çevre için özel riskler taşıırken diğer taraftan nükleer enerji ile elektrik üretimi, tıbbi teşhis, sanayi ve tarımdaki kullanım alanlarıyla insanlığa büyük faydalar sağlamaktadır.

Nükleer hukuk, bu faydalar ve riskler arasında bir denge oluşturarak bireylere, topluma ve çevreye yeterli koruma sağlamaya odaklanmış ve çeşitli kriterler tanımlamıştır.

### Nükleer Hukukun Kapsamı

Nükleer hukuk nükleer yakıt hammaddesinin rezerv araştırması, madenden çıkarılması, öğütülmesi, işlenmesi, zenginleştirilmesi, yakıt haline getirilmesi, santralde yakılması, atığın ara depolaması, yeniden zenginleştirilmesi, atıkların nihai depolanması, tesislerin sökülmesi ve bu işlemler arası taşınması vb. nükleer tesisler ve yakıt çevriminin tüm safhaları kapsar.

Bu kademelerde ele alınan konular:

- Radyasyondan korunma
- Nükleer malzemenin fiziksel korunması

---

<sup>43</sup> Nükleer Santraller, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Ankara, 2010.

- Nükleer emniyet
- Radyoaktif atık yönetimi
- Taşıma
- Üçüncü taraflara hukuki sorumluluk ve tazminat
- Nükleer silahsızlanma
- Nükleer Güvenlik
- Uluslararası Ticaret

### **Nükleer Hukukun Prensipleri**

Nükleer hukukun genel kabul görmüş prensipleri aşağıdaki gibidir: Bu ilkelerden ilk üçü temel ilkedir ve “Üç S prensibi” (Three S principle) diye adlandırılır.

- Güvenlik Prensipleri (**S**afety Principle)
- Emniyet Prensipleri (**S**ecurity Principle)
- Koruma Prensipleri (**S**afeguard Principle)
- Sorumluluk Prensipleri (Responsibility Principle)
- İzin Alma Prensipleri (Permission Principle)
- Sürekli Kontrol Prensipleri (Continuous Control Principle)
- Tazminat Prensipleri (Compensation Principle)
- Sürdürülebilir Kalkınma Prensipleri (Sustainable Development Principle)
- Uyum Prensipleri (Compliance Principle)
- Bağımsızlık Prensipleri (Independence Principle)
- Şeffaflık Prensipleri (Transparency Principle)
- Uluslararası İşbirliği Prensipleri (International Cooperation Principle)

### **Nükleer Hukukta Anahtar Oyuncular**

Nükleer Hukukta anahtar oyuncular: Parlamento, Hükümet, Yargı, Nükleer Düzenleyici Kurul, İletim Sistemi İşleticisi (Yük Dağıtım Merkezi/Dengeleme Uzlaştırma ), Danışma Kurulları, Santral İşleticisi ve Kamuyudur.

Bu oyuncular içinde nükleer enerjinin gelişimi açısından kabul edilebilir milli bir altyapı çerçevesi içinde Nükleer Düzenleyici Kurulun<sup>44</sup> çok önemli bir fonksiyonu vardır. Nükleer Düzenleyicinin nükleer hukuka uyulup uyulmadığını kontrol etmesi ve denetlemesi bu sektörün gelişimi açısından mutlak bir zorunluluktur. Ancak yasama organı olan Parlamento ve yürütme

<sup>44</sup> <http://www-ns.iaea.org/downloads/rw/code-conduct/reg-auth-directory.pdf>

organı olan Hükümet, Düzenleyici Kurulun nükleer santral işleticileri üzerinde denetleme yapabilmeleri için lisans verme, reddetme, askıya alma, uzatma ve uymayanlara ceza verebilme gibi yetkilerinin olması için gereğini yapmalıdırlar.

Nükleer Düzenleyici Kurumların görevi sadece Düzenleme fonksiyonuyla sınırlı olmalı, nükleer reaktör işletme, nükleer enerji alanında araştırma yapma, nükleer enerjinin kullanılması için sponsorluk ve propaganda yapma gibi görevleri olmamalıdır. Düzenleyici Kurumlar bağımsız ve şeffaf olmalı ve siyasi otoritenin siyasi tercihlerinden etkilenmemelidir. Bu husus çok taraflı anlaşmalarda ve IAEA'nın çeşitli yayınlarında da vurgulanmıştır.

### **Nükleer Hukukun Gelişimi**

Bilinen ilk ulusal mevzuat 1940'ların sonunda nükleer silah sahibi ülkelerde yapılmıştır. Bundan yaklaşık on yıl kadar sonra 1953<sup>45</sup> yılında Başkan Eisenhower'ın "Barış için Atom" konuşmasıyla birçok batı devleti sivil amaçlı nükleer güç santrali programlarına başlamış ve nükleer enerji ile ilgili mevzuatlarını hazırlamaya başlamışlardır.

Uluslararası işbirliğinin nükleer mevzuata etkisi, milletlerarası antlaşmalar ve uluslar arası politikaların geliştirilmesi ve belirlenmesi yönünden olumlu olmuştur. İlk başlardan beri mevzuat gelişimi küresel boyutta olmuş, uluslar arası hukuk temelleri kullanılmıştır. Bu gelişmelerle paralel ve uyumlu olarak ülkelerin ulusal mevzuatlar da belirlenmiştir. Bu nedenle nükleer hukukun uluslararası boyutu çeşitli alanları ve bu alanlar arası etkileşimleri kapsamı nedenleriyle anlaşılması ve uygulanmasında zorluklar bulunduran hassas bir alan olmuştur.

Nükleer hukuğun gelişimiyle ilgili çeşitli adımlar ve kilometre taşları aşağıda özetlenmiştir:

1928'de Radyolojik koruma için uluslararası komite (ICRP) kurulmuştur.

1950'lerde nükleer enerjinin gelişimi için uluslararası ve bölgesel Organizasyonlar kurulmuştur. Bunlar:

- 1955'de Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi (UNSCEAR) oluşturuldu.

---

<sup>45</sup> UN GA 470th Plenary Meeting, 8 December 1953.

- 1957'de Uluslararası Atom Enerji Ajansı (IAEA) kuruldu.
- 1957'de Avrupa Atom Enerji Topluluğu (EURATOM) kuruldu.
- 1958'de OECD Nükleer Enerji Ajansı (NEA) kuruldu.

1960'larda nükleer silahların yayılmasının önlenmesi, radyasyondan korunma ve zararlarda sorumluluk üzerinde odaklanıldı.

- 1960 UAEA Temel Güvenlik Standardları
- 1960-1963 Nükleer Enerji Alanında Üçüncü Şahıslara karşı Hukuki Sorumluluk konusunda Paris (PC), Brüksel (BSC), Viyana Sözleşmesi (VC) ve revize Viyana Sözleşmesi (RVC)
- 1968 Nükleer Silahların Yayılmasının Önlenmesi Antlaşması
- 1972 Londra Damping Sözleşmesi

1970'lerde nükleer silahların yayılmasının önlenmesi, fiziksel korunma ve ticaret konularına odaklanma devam etti.

- Nükleer Silahların Yayılmasının Önlenmesi Antlaşması
- Tedarikçi Kılavuzları
- 1979 Nükleer Malzemenin Fiziksel Korunması üzerine Sözleşme (Konvansiyon)

1980-1990'larda güvenlik ve radyoaktif atık yönetimine artan odaklanma ve kazalar için daha yüksek tazminatlar (Three Miles Island kazası 1979 ve Chernobyl kazası 1986)

- 1986 Nükleer Kazaların Erken Bildirimi ve Acil Durumlarda Yardımlaşma Sözleşmeleri
- 1994 Nükleer Güvenlik Sözleşmesi
- 1997 Radyoaktif Atık ve Kullanılmış Yakıt Yönetimi Sözleşmeleri
- 1997 Nükleer Sorumluluk ve Tazminat Sözleşmeleri (revize edildi) (JP).

2000'lerde 9 Eylül'deki terörist eylemlere reaksiyon olarak güvenliğe odaklanıldı.

- 2001 Terörist Eylemlerin hazırlığının finansmanının engellenmesi ve bastırılmasıyla ilgili 1373 sayılı BM Güvenlik Konseyi Kararı
- 2004 Terörist ve Kriminal Gruplar tarafından Kitle İmha Silahlarının (Nükleer Silahlar dahil) Ele Geçirilmesinin Önlenmesine dair 1540 sayılı BM Güvenlik Konseyi Kararı
- 2004 Paris ve Brüksel Ek Sözleşmeleri revize edildi. (CSC)

- 2004 Radyoaktif Kaynakların Emniyet ve Güvenliğiyle ilgili Uygulama Kodları
- 2005 Fiziksel Güvenlik Sözleşmesinde Değişiklik
- 2005 Nükleer Terörist Eylemlerin Bastırılmasıyla ilgili Uluslararası Sözleşme

Nükleer hukuk hem uluslararası hem de ulusal düzeyde yer almaktadır. Uluslararası düzeyde Sözleşmeler, Antlaşmalar, Uluslararası Gümrük ve Yargı Kararları gün geçtikçe daha etkin ve önemli olmaktadır. Ulusal düzeyde de kanunlar, tüzükler, yönetmelikler ve tebliğler nükleer hukuku oluşturur.

Ayrıca, kılavuz ve standartların belirlenmesi, uluslararası tartışma ortamı ve karşılıklı yardım sağlamaya yönelik olarak Avrupa Birliği gibi uluslar üstü organlar ile başta IAEA ve OECD/NEA gibi uzman uluslar arası kuruluşlar teknik altyapının oluşturulmasında önemli bir göreve sahiptirler. Bu uzman kuruluşlara ek olarak aşağıdaki uzman kuruluşların da katkıları vardır; ICRP, Birleşmiş Milletler özelinde UNSCEAR, , Dünya Sağlık Örgütü WHO, Uluslararası Çalışma Örgütü ILO, Uluslararası Denizcilik Örgütü IMO.

ICRP tavsiyelerine dayalı genel radyasyondan korunma ve radyoaktif malzemenin taşınmasına ilişkin uluslar arası standartlar<sup>46</sup> ve bununla ilgili IAEA güvenlik standartları<sup>47</sup> fiziksel korunma konusunda IAEA tavsiyeleri ve Güvenlik Standartları<sup>48</sup> önemli referans belgeler arasındadır.

Avrupa Birliği'nde bu faaliyetler, üyeleri bağlayıcı nitelikte çeşitli Konsey Düzenlemeleri, direktif ve diğer dokümanları kapsamaktadır. 18 Nisan 1951'de Avrupa Kömür ve Çelik Topluluğu Antlaşması imzalanmış ardından 25 Mart 1957 tarihinde yine aynı ülkeler Avrupa Ekonomik Topluluğu ve Avrupa Atom Enerjisi Topluluğu'nu (EURATOM) kuran Antlaşmaları

---

<sup>46</sup> 1990 ICRP Recommendations (Publication No. 60); 2005 ICRP Recommendations (Publication No. 103).

<sup>47</sup> IAEA 2003 International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources (Safety Series 115); IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, 2005 Edition Safety Requirements (Safety Standards Series No. TS-R-1). The IAEA Transport Regulations are incorporated into the Agreements on the Transportation of Dangerous Goods which apply to the various types of carriage; they are thus made binding upon the parties to those agreements.

<sup>48</sup> <http://www-ns.iaea.org/standards/>, ve e. g., The Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities (INFCIRC/225/Rev.4 (Corrected)).

Roma'da imzalamışlardır. Avrupa Atom Enerjisi Topluluğu'nun amaçları, nükleer güç için model bir pazar yaratmak, bunu topluluğa üye ülkeler arasında dağıtmak ve artı kalan enerjiyi topluluğa üye olmayan diğer ülkelere satmaktır. Topluluk ayrıca Avrupa Birliği içinde yürütülen diğer nükleer çalışmaları da finanse eder. Avrupa Birliğinde nükleer enerji konusunda uyulması gereken yönerge 2009/71/EURATOM<sup>49</sup> sayı ve 25 Haziran 2009 tarihli direktiftir.

## **Uluslararası Nükleer Hukuk**

### **Nükleer Güvenlik Sözleşmeleri Ailesi<sup>50</sup>**

Nükleer tesislerin güvenliği İçin Devletler nükleer güvenlik için ulusal yaklaşımlar uygulanmaktadır. İlk uygulamalar ABD de yapılmış ve buradan dünyaya çeşitli değişikliklerle yayılmıştır. Daha sonraları IAEA nın devreye girmesi ile IAEA tarafından hazırlanmış ve yayımlanmış teknik klavuzları ülkeler benimsemişlerdir.(zorunlu değil)

IAEA Temel Güvenlik Prensipleri<sup>51</sup> ve çok sayıdaki kod ve standartlarla<sup>52</sup> uygulamadır. Güvenlik konusunda uluslar arası düzenleme ise 1994 yılında yürürlüğe giren Nükleer Güvenlik Konvansiyonu<sup>53</sup> ile yapılmıştır.

Bu Sözleşme karadaki sivil amaçlı tesisleri kapsamaktadır. Sözleşme uluslar arası güvenlik standartlarını belirlemese de ve bunların zorunlu kullanılacağını söylemese de ulusal düzeydeki nükleer güvenlik uygulamalarının uluslar arası düzeyde uyumlaştırılmasını sağlamıştır. Sözleşmenin önemli özelliklerinden birisi de Sözleşmeye taraf olanların bu konvansiyonca yapılması gerekenlerle ilgili rapor hazırlanması ve yapılacak toplantılarla bu zorunlulukların tartışılması gerekmektedir. (Madde 5.20-28)

---

<sup>49</sup> L 172/18 Official Journal of the European Union 2.7.2009 EN

<sup>50</sup> <http://www-ns.iaea.org/conventions/nuclear-safety.asp>

<sup>51</sup> IAEA Safety Standards Series No. SF-1 (2006).

<sup>52</sup> <http://www-ns.iaea.org/standards/>.

<sup>53</sup> IAEA INFCIRC/ 449.

Bu gözden geçirmelerde gerekli olduğunda taraflar uyulması gereken kod ve standartların uygulanmasını da isteyebilmektedirler.

Nükleer Güvenlik Sözleşmesine benzer şekilde 1997 yılındaki Radyoaktif Atık Yönetiminin ve Kullanılmış Yakıt Yönetiminin Güvenliği üzerine 1997 yılındaki Ortak Konvansiyon<sup>54</sup> uygulama kapsamını belirlemektedir. (Article 3)

Bu iki Sözleşme 3 ilave Sözleşme ile tamamlanmaktadır. Bunlar 1986 yılındaki Nükleer Kazaların Erken Bildirimi Sözleşmesi, Nükleer kaza veya radyolojik acil durumlarda yardımlaşma sözleşmesi<sup>55</sup>, 1980 yılındaki Nükleer maddelerin fiziksel korunması sözleşmesi<sup>56</sup>. Tüm bu konvansiyonlara birlikte “Nükleer Güvenlik Sözleşmeleri Ailesi” denmektedir.

Uluslar arası topluluk devletlerin bu uluslar arası mevzuata uygun olarak NGS larını inşa etmelerini ve işletmelerini istemektedirler. Bağlayıcılığı olmasa bile radyasyon ve nükleer güvenliği konusundaki kod, standart ve klavuzları kullanan ve gelişmeleri yakından takip eden ülkeler desteklenmektedir.

Nükleer tesislerin emniyeti konusundaki anahtar belge, IAEA'nın yayını olan “Nükleer tesislerin ve nükleer malzemenin fiziksel korunması” adlı kitaptır. Bu kitap içindeki 8 bölüm fiziksel koruma ve uygulamaları konularını kapsamaktadır. Bu belge bağlayıcı değil sadece yol göstericidir.

Bağlayıcı uluslar arası belge, yukarıda da belirtilen, Nükleer maddelerin fiziksel korunması sözleşmesidir<sup>57</sup>. Bu sözleşme yürürlüktedir. Sözleşmenin 139 tarafı<sup>58</sup> vardır. Bu sözleşme 2005 yılında yenilenen ve adı “Convention

---

<sup>54</sup> IAEA INFCIRC/546.

<sup>55</sup> IAEA INFCIRC/335 and 336.

<sup>56</sup> IAEA INFCIRC/274/Rev.1.

<sup>57</sup> Ref. 10

<sup>58</sup> IAEA Registration No. 1553.

on the Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities”<sup>59</sup> şeklinde değiştirilmiştir. Bu değişiklik henüz yürürlükte değildir..

Değişen konvansiyon, nükleer enerji programına hazırlanan ülkelerin uluslararası düzeyde kabul edilmiş ve ulusal fiziksel korunma rejimleri konusunda temel teşkil eden IAEA'nın klavuz belgesi INFCIRC/225/Rev.4 (Corrected) ını içermektedir.

### **Nükleer Silahların Yayılmasının Önlenmesi<sup>60</sup>**

Nükleer silahların yayılmasının önlenmesi sorunu ve mevzuatı uluslar arası nükleer hukukun önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Nükleer silahların yayılmasının önlenmesi konusundaki uluslar arası politik savaş, nükleer enerji tarihi kadar eskidir.

1946 yılından başlamak üzere uluslararası toplum, nükleer madde ve kritik teknolojilere erişimin önlenmesi, nükleer bomba denemelerinin engellenmesi ve nükleer silahların naklinde gerekli olan teknolojilere erişimin denetlenmesi amacıyla bu esasların her birini hedeflemiştir. Bu çabalar, nükleer silahların yayılmasının önlenmesine yönelik tüm çalışmalara temel oluşturmayı sürdüren Nükleer Silahların Yayılmasının Önlenmesi Antlaşması (NPT, 1970 yılından beri yürürlükte), Nükleer Denemelerin Kapsamlı Yasaklanması Antlaşması (CTBT- Kasım 2009 da 151 ülke yürürlüğe sokmuş, 31 ülke imzalamış ama yürürlüğe sokmamıştır) bir dizi antlaşmayla sonuçlanmıştır.

NPT Antlaşması dünyayı, antlaşmanın yürürlüğe girdiği tarihte nükleer silah sahibi ülkeler (A.B.D., Çin, Fransa, Rusya ve İngiltere) ve antlaşmaya taraf ancak nükleer silah sahibi olmayan ülkeler olmak üzere iki gruba ayırmıştır. Antlaşmayı başlangıçta 189 ülke kabul etmiştir. Bu antlaşma ile nükleer silah sahibi her ülke nükleer silahlarını transfer etmemeyi, nükleer silah sahibi olmayan ülkelerin bu silahları geliştirmesine yardımcı olmamayı ve nükleer silahsızlanmaya ulaşılmasına yönelik çalışmalarda bulunmayı taahhüt etmektedir. İsrail, Hindistan ve Pakistan bu güne kadar NPT Antlaşmasını imzalamayı reddetmiştir. Kuzey Kore 2003 yılında anlaşmadan çekilmiştir.

NPT ile ilgili şu anda çok sayıda bağlayıcı enstrüman yürürlükte. 1968 yılında uyarlanan nükleer silahların yayılmasının Önlenmesi Antlaşması

---

<sup>59</sup> Attachment to IAEA Doc. GOV/INF/2005/10-GC(49)/INF/6; Registration No. N/A.

<sup>60</sup> [http://www.iaea.org/newscenter/focus/npt/key\\_role.shtml](http://www.iaea.org/newscenter/focus/npt/key_role.shtml)

(NPT)<sup>61</sup> bu alandaki dönüm noktası olmuştur. NPT 1970 yılında yürürlüğe girmiş 1995 yılında ise sürekli devamına karar verilmiştir<sup>62</sup>, ve halihazırda 191 tarafı vardır.<sup>63</sup>

Nükleer enerji programına başlayacak her ülkenin NPT ye üye olması istenir. 198 ülke IAEA<sup>64</sup>, nın safeguard anlaşmasına taraftır ve bu ülkelerden 131 tanesi safeguard sisteminin ek protokollerle<sup>65</sup> kuvvetlendirilmesine taraftır. Şu anda sadece nükleer silaha sahip olmayan 27 NPT ülkesi ek protokollerini<sup>66</sup> yürürlüğe almamıştır. Bu durum ülkelerin safe-guarding lerini tesis etmek için çok sağlam bir temele oturtulmuştur. Bununla birlikte ulusal seviyede ve uluslar arası dış ticarete de uygulanmalıdır. Bu konudaki uluslar arası işbirliği IAEA Trigger List<sup>67</sup> ve London Suppliers Group<sup>68</sup>la sağlanmaktadır.

#### a.Nükleer maddelerin denetimi

IAEA denetimleri ülkelerin sahip oldukları nükleer maddelerin barışçıl amaçlar dışındaki kullanımını gözetleyen ve caydırıcı önemli araçlardır. NPT Antlaşmasına taraf, nükleer silah sahibi olmayan ülkeler sahip oldukları tüm nükleer maddelere ilişkin IAEA güvenlik denetimi uygulamalarını kabul etmek durumundadır. Bu tür kapsamlı güvenlik denetimi anlaşmaları nükleer

---

<sup>61</sup> IAEA INFCIRC/140 = UNTS vol. 729 p. 161.

<sup>62</sup> Doc. NPT/CONF.1995/32 (Part I), Annex.  
([http://www.un.org/disarmament/WMD/Nuclear/1995-NPT/pdf/NPT\\_CONF199503.pdf](http://www.un.org/disarmament/WMD/Nuclear/1995-NPT/pdf/NPT_CONF199503.pdf)).

<sup>63</sup> <http://disarmament2.un.org/TreatyStatus.nsf>.

<sup>64</sup> [http://www.iaea.org/OurWork/SV/Safeguards/sir\\_table.pdf](http://www.iaea.org/OurWork/SV/Safeguards/sir_table.pdf).

<sup>65</sup> [http://www.iaea.org/OurWork/SV/Safeguards/sg\\_protocol.html](http://www.iaea.org/OurWork/SV/Safeguards/sg_protocol.html) . See also: Model Protocol Additional to the Agreement(s) between State(s) and the IAEA for the Application of Safeguards (IAEA INFCIRC/540).

<sup>66</sup> [http://www.iaea.org/Publications/Factsheets/English/nptstatus\\_overview.html](http://www.iaea.org/Publications/Factsheets/English/nptstatus_overview.html).

<sup>67</sup> IAEA INFCIRC/254.

<sup>68</sup> <http://www.nuclearsuppliersgroup.org/public.htm>.

silah sahibi olmayan ülkelerin nükleer silah yapmama taahhüdünü sağlamayı amaçlamaktadır. Ayrıca, buna zorunlu kılınmamakla birlikte, nükleer silah sahibi ülkeler sivil nükleer faaliyetlerinin bir kısmı veya tümünün IAEA tarafından doğrulanmasına izin veren güvenlik denetimi anlaşmalarını sonuçlandırmıştır (gönüllü teklif olarak adlandırılmaktadır). IAEA güvenlik denetimleri, tesis veya ilgili nükleer madde tedarikçilerinin talepleri doğrultusunda sadece belirlenen tesislere ilişkin olarak NPT Antlaşmasını imzalamayan ülkelere (İsrail, Hindistan ve Pakistan) de uygulanmaktadır. Olası bildirilmemiş nükleer faaliyetlerin tespit kabiliyetini geliştirmeye dair önlemleri içeren ek güvenlik denetimleri protokolü 1997 yılında kabul edilmiştir.

Güvenlik denetimlerinin esası nükleer madde, tesis ve faaliyetlere sahip bir ülkenin bunlara dair bildirimde bulunması ve IAEA denetim veya erişimi ile bu bilginin doğrulanmasıdır. Denetimler genellikle önceden bildirilmekle birlikte yılda bir defadan az olmamak üzere rasgele yapılmaktadır. Hatta en hassas tesislerdeki fiziki denetimler sürekli yapılabilir. IAEA denetim faaliyetleri nükleer tesis tasarımlarının bildirildiği gibi olup olmadığının doğrulanması, işletme kayıtlarının incelenmesi, nükleer maddelerin örneklenmesi ve ölçümü, maddelere dair bilgilerin korunmasına yönelik gözetim ekipmanları ile mühürleme araçlarının kullanımı gibi unsurları kapsayabilmektedir. Ek güvence denetim protokolü ülkelerin nükleer faaliyetlerine (nükleer madde içermeyen ve çift kullanım faaliyetlerini kapsayacak kadar) ilişkin daha kapsamlı bilgiler vermesini ve IAEA'nın ilgili tüm yerlere habersiz olarak ya da davete dayanarak erişimine izin vermesini gerektirmektedir.

#### b. Nükleer Tedarikçiler Grubu (NTG):

NTG, Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı bünyesinde, 1974 yılından beri, nükleer teknolojide kullanılan maddelerin ve çift kullanımlı malzemelerin ihracatını belirli denetim ilkelerine bağlamak amacıyla faaliyet göstermektedir. Gönüllülük esasına dayalı ve Türkiye dahil 2006 Ekim ayı itibarıyla 45 üyeye sahip

#### c. Zangger Komitesi:

Nükleer madde, malzeme ve teknolojileri konu alan ihracatın kontrol altına alınması amacıyla, nükleer silaha sahip olan ve olmayan 15 devlet tarafından 1971 yılında kurulan komite; NTG'nin çift kullanımlı ürünler listesinin ikinci bölümü dışında kalan radyoaktif ve nükleer maddelerin ithal/ihraç listelerini hazırlamaktadır. Brezilya hariç, aralarında Ekim 1999 itibarıyla Türkiye'nin de bulunduğu NTG üyesi devletlerin tümü, aynı

zamanda Zangger Komitesi'ne de üyedir. Zangger Komitesi'nin Ekim 2006 itibarıyla 35 üyesi bulunmaktadır.

### **Nükleer Enerji Sahasında Hukukî Mesuliyet<sup>69 70 71</sup>**

Nükleer zararın sınır ötesi etkileri olabileceği, etkilerin kazadan çok sonra ortaya çıkabileceği, nükleer kaza ve radyasyonun doğası nedeniyle sorumluların tespitinin çok uzun sürebileceği hatta bazı durumlarda imkansız olabilecektir. Bu nedenlerle, nükleer alanda genel hukuki sorumluluk kanunlarının ötesinde bir mevzuata ihtiyaç duyulmaktadır. OECD ülkelerinin çoğu, nükleer kazalardan zarar görenlerin tazminat başvurusunda bulunmalarını sağlamak üzere özel sorumluluk ve tazminat yasaları benimsemiştir. Bu özel rejimler, riskli faaliyetlerden kaynaklanan zararlarda sorumluluğu belirleyen, normal yasal prensiplerden ayrılan özel durumlardır.

Bu rejimlere bağlı olarak, bir nükleer tesis işleticisi, işlettiği tesiste meydana gelen nükleer bir kaza neticesinde veya bu tesisten kaynaklanan nükleer madde ile ilişkili olarak üçüncü şahısların göreceği nükleer zararlardan, kusurlu olsun veya olmasın tamamen ve sadece kendisi sorumludur. Bununla birlikte genellikle, sorumluluk ve zararlara ilişkin davacı olunma süresi için bir limit belirlenir. OECD dahilindeki bir nükleer tesis işleticisinin, uğranılan zararların karşılanması bakımından sorumluluğu kapsamındaki mali güvenciyi sağlaması gereklidir. Mali güvencenin banka garantisi, teminatlar, devlet garantisi veya devlet sigortası gibi çeşitli araçlarla elde edilebilmesine karşın, pratikte özel sigorta en yaygın mali güvence şeklidir.

Kapsanan riskler ve yüksek tazminatlar dikkate alındığında tek bir sigorta şirketinin bu riski yalnız başına üstlenmesi mümkün olmamaktadır. Dolayısıyla her ülkede, özel nükleer sigorta, bir sigorta şirketi grubunun ortak sigorta esasına<sup>72</sup> dayalı olarak oluşturduğu bir havuzla sağlanır. 1950'lerin

---

<sup>69</sup> [http://www.oecd-nea.org/law/nlparis\\_conv.html](http://www.oecd-nea.org/law/nlparis_conv.html)

<sup>70</sup> <http://www.oecd-nea.org/law/isnl/10th/isnl-10th-anniversary.pdf>

<sup>71</sup> Nükleer Tesis İşletenin Hukuki Sorumluluğu: Karşılaştırmalı ve Uluslararası Özel Hukuk Analizi, Dr.Necip Kağan Kocaoğlu, ANKARA BAROSU DERGİSİNİN 2010/2 SAYISI

<sup>72</sup> Ortak sigorta, payları toplamı % 100 olacak şekilde bir sigorta şirketler grubunun belirli riskleri ortaklaşa üstlenmeleri demektir.

ortasında başlayan oluşumlardan günümüze, daha fazla sayıda şirketin katılımı ve artan deneyimlerle birlikte sigorta havuzlarının kapasiteleri birkaç kat artarak daha fazla riski üstlenmeleri olanaklı olmuştur. Ancak, kaynakların birleştirilmesine karşın toplam finans kapasiteleri genellikle nükleer güç santral işleticisinin talep ettiği finansal garanti miktarının altında kalmaktadır. Sonuç olarak, ulusal sigorta havuzları diğer ulusal sigorta havuzları ile işbirliği yaparak sigorta miktarı ve kapsamını dengelemeye çalışmaktadırlar.

İşleticinin sorumluluk miktarlarının ciddi bir nükleer kazanın sonuçlarını karşılamaya yeterli olamayacağı kabul edilmektedir. Dolayısıyla bu mali güvenlik gereklerinin desteklenmesi için, çoğu OECD üye ülkesinin, işleticinin mali teminatının uğranan zararları karşılamaya yeterli olmadığı durumlarda kamu fonları dışında ilave mali yardım veya tazminatın sağlanması için mekanizma veya politikaları mevcuttur. Buna ilişkin önlem ve miktarlar ülkeden ülkeye değişiklik göstermektedir.

Bu ulusal tazminat rejimlerine ilaveten, birçok ülke sınır ötesi etkileri olan bir nükleer kazadan tazminat talep etme işlemindeki karmaşıklığın üstesinden gelmek üzere sorumluluk ve tazminat rejimlerini tesis eden çeşitli uluslararası sözleşmelerden biri ya da birkaçına taraf olmuş veya bunları imzalamış bulunmaktadır. Bu sözleşmeler aşağıdakileri kapsamaktadır.

- Nükleer Enerji Alanında Üçüncü Taraf Sorumluluğuna dair 1960 Paris Sözleşmesi (Paris Sözleşmesi) 1964 and 1982 deki değişikliklerle (15 akit tarafla)<sup>73</sup>;
- Paris Konvansiyonuna Ek 1963 Brüksel Sözleşmesi (Brüksel Ek Sözleşmesi)<sup>74</sup>

---

<sup>73</sup> [http://www.nea.fr/html/law/nlparis\\_conv.html](http://www.nea.fr/html/law/nlparis_conv.html).

Paris Sözleşmesi Akit Taraflar listesi aşağıdaki gibidir:

Belçika	Yunanistan	Slovenya
Danimarka	İtalya	İspanya
Finlandiya	Hollanda	İsveç
Fransa	Norveç	Türkiye
Almanya	Portekiz	İngiltere

<sup>74</sup> IAEA INFCIRC/500.

- Nükleer Zararlardaki Sivil Sorumluluğa dair 1963 Viyana Sözleşmesi (Viyana Sözleşmesi).
- Viyana Konvansiyonu ile Paris Konvansiyonunun Uygulanmasına İlişkin 1988 Ortak Protokolü (1988 Ortak Protokolü).
- Nükleer Zararlardaki Sivil Sorumluluğa dair Viyana Sözleşmesinin değiştirilmesine yönelik 1997 Protokolü (Viyana Değişiklik Protokolü)<sup>75</sup>
- Nükleer Zararların İlave Tazminine dair 1997 Sözleşmesi<sup>76</sup>
- 2004 Paris Sözleşmesine Ek Protokol<sup>77</sup>

Bu Sözleşmenin amacı; bir Taraf ülkenin hukuki yetkisi altındaki nükleer tesislerin işletilmesi veya nükleer maddelerin taşınması sırasında, o ülkedeki veya diğer Taraf ülkelerdeki "üçüncü şahısların" zarar görmesi durumunda, bu zararların tazmin edilmesini sağlayan uluslararası bir sistem kurmaktır. Zararın ve tazminin kapsamını, tazmin miktarlarını, tazminatın sorumlularını ve tazmin etme sistemini belirleyen hükümler içermektedir. İşleticileri yükümlü kılan bir sigortalama sisteminin kurulmasını öngörmektedir. Sınırlı mali yükümlülükler getirmekte ve bu yükümlülük miktarları tesisin türüne veya taşınan maddenin riskine göre değişmektedir. Taraf ülkeler, bu Sözleşmede öngörülen hükümler uyarınca gerekli yasal ve idari tedbirleri almakla yükümlü kılınmıştır.

Paris Sözleşmesi 29 Temmuz 1960'ta imzaya açılmış, 1964'te bazı değişiklikler yapılmış ve 1968'te yürürlüğe girmiştir. 1982'de revize edilmiş hali şu an yürürlükte olan halidir. Bununla birlikte, beliren ihtiyaçlar ve değişen şartlar ışığında 1999 yılında yeni bir revizyon çalışması başlatılmış, bu çalışma 2003 yılının başında sonuçlanmış ve 12 Şubat 2004 tarihinde tüm Taraf ülkelerce imzalanmıştır.

Paris Sözleşmesinin yeni revize halinde özetle; "zarar" tanımı genişletilmiş, tazminat miktarları oldukça arttırılmış ve tazmin sistemi ağırlıklı olarak işleticiye sorumluluk yükleyecek şekilde iyileştirilmiştir. Nükleer tesisler için

---

<sup>75</sup> IAEA INFCIRC/566 Annex.

<sup>76</sup> IAEA INFCIRC/567.

<sup>77</sup> [http://www.nea.fr/html/law/paris\\_convention.pdf](http://www.nea.fr/html/law/paris_convention.pdf)

mali yükümlülük miktarı yaklaşık 18 milyon euro'dan 700 milyon euro'ya çıkartılmıştır<sup>78</sup>.

1988 Ortak Protokolü, Paris ile Viyana Sözleşmeleri arasında coğrafi bir bağ işlevi görmektedir. Brüksel Ek Sözleşmesi, Paris Sözleşmesine tabi ilave tazminatlar sağlamaktadır. Destekleyici Tazminat Sözleşmesi, Paris Sözleşmesi, Viyana Sözleşmesi veya bu Sözleşmede tanımlanan bir ülke grubunun yasamasına tabi destekleyici tazminatın sağlanmasına yönelik olarak tasarlanmıştır.

Nükleer işleticilerin bu sözleşmelere tabi yükümlülük miktarları:

- Viyana Sözleşmesi minimum 5 Milyon A.B.D. Doları tutarında bir yükümlülük koymaktadır.
- Kontrat taraflarının çoğunun, nükleer işleticilere ulusal yasamaya uygun olarak genellikle 150 Milyon SDR (yaklaşık 220 Milyon Euro) mertebesinde olmak üzere daha yüksek meblağlarda yükümlülük koymalarına karşın Paris Sözleşmesi, maksimum yükümlülük miktarı için 15 Milyon SDR (yaklaşık 22 Milyon Euro) kadar bir yükümlülük getirmektedir.
- Brüksel Ek Sözleşmesi işleticinin mali güvencesi, sorumlu işletici tesisinin bulunduğu ülkeye sağlanan kamu fonları ve tüm sözleşme taraflarınca sağlanan kamu fonları yoluyla maksimum 300 Milyon SDR tutarında bir miktarın sağlanmasını gerekli kılmaktadır.
- Viyana Değişiklik Protokolü minimum sorumluluk miktarını 300 Milyon SDR (yaklaşık 450 Milyon Euro) (bunun yarısı tesisin bulunduğu bölgedeki ülkeye sağlanabilecektir) olarak belirlemektedir.

Yukarıda da bahsedildiği gibi Üçüncü Şahıslara Karşı Nükleer hukuki sorumlulukla ilgili bizim taraf olduğumuz anlaşma Paris Sözleşmesidir. Öncelikle gerek Paris gerekse Viyana sözleşmeleri nükleer zararlarla ilgili sorumluluğu sadece üçüncü şahıslarla sınırlar. Bunun anlamı çevresel zararları ve kamu malı diye niteleyeceğimiz halka açık alanlara verilen zararları kapsamaz.

Yukarıda bahsedilen sistem OECD ülkeleri arasında farklılıklar gösterir Bu konuda ABD, Japonya ve Brüksel Sözleşmesi ülkelerinin yaklaşımları birbirinden farklıdır<sup>72</sup>. Japonya, Paris ve Viyana Konvansiyonlarına taraf

---

<sup>78</sup> <http://www.oecd-nea.org/law/2011-table-liability-coverage-limits.pdf>

olmamasına rağmen, mevzuatını bu Konvansiyonlardaki işletenin kusursuz sorumluluğu ve sadece işletenin sorumluluğu (channelling) gibi ilkelerle uyumlu hale getirmiştir.

ABD de nükleer hukuki sorumluluk nükleer enerji santrali yatırımına başlanmadan evvel mümkün olan en güçlü hukuki araçlar ile kodifiye edilmiştir. Nükleer sorumluluk hukuku eyaletlere bırakılmamış ve federal hukuk düzeyine çıkartılarak ulusallaştırılmıştır. ABD mevzuatında, nükleer sorumluluk ilk kez Atomic Energy Act (ACT) ile düzenlenmiş en son 1989 yılındaki Price Anderson ACT ile son halini almıştır. Bu kanuna göre, nükleer tesis işleteni sorumludur ve bu sorumluluğunu sigorta ettirmek zorundadır. İşletenin sorumluluğu sınırlı bir sorumluluktur (limited liability).

Nükleer hukuk Nükleer hukuki sorumluluk ABD, Meksika , İsviçre , Rusya, Çin, Kanada ve Güney Afrika ülkelerinde federal düzeydedir. Federalizasyon ile nükleer hukuki sorumluluk eyalet seviyesinden ulusal düzeye çıkartılmakta ve her reaktör kurulduğu zaman eyalet bazında dava açılması engellenmektedir. Federalizasyonun bir diğer sonucu da eyalet bazında değişen hukuki sorumluluğun yetersizliğidir. Örneğin, Amerikan Anayasa Mahkemesine göre davanın somut özelliklerine bağlı eyalet haksız fiil tazminatı nükleer zarar için yeterli bir çare olmayacaktır.

İngiliz hukukunda ise, nükleer güç santrallerinin oluşturduğu zararlardan doğan sorumluluk, geniş anlamda haksız fiil sorumluluğu üst başlığı altında ele alınmaktadır. Önceleri mutlak olarak nitelenen sorumluluk (absolute liability) , bu nitelendirmenin zamanla müesseseyi tam olarak ifade edemediğinin anlaşılması üzerine yerini tehlikeli sorumluluk (strict liability) kavramına terk etmiştir.

İsviçre kendi nükleer sorumluluk mevzuatının temel ilkelerine uygun olarak sınırsız sorumluluk (unlimited liability) ilkesini benimsemiştir. Sınırsız sorumluluk ilkesi ise Paris sözleşmesi ile bağdaştırılamayacağından dolayı İsviçre Paris sözleşmesini onaylamamayı tercih etmiştir.

Paris sözleşmesi, akit devletlerin ulusal mevzuatı çerçevesinde gerekli gördükleri tamamlayıcı düzenlemeleri serbest bırakmakta, nükleer sorumluluğa ilişkin kuralların birleştirilmesini amaçlamaktadır. Sözleşme, bu niteliği ile bir maddi hukuk sözleşmesi (uniform law convention) olup, nükleer sorumluluğu “maddi milletlerarası özel hukuk kuralları” ile düzenlemiştir.

Paris sözleşmesine göre, bir nükleer kaza dolayısıyla sadece ilgili nükleer tesisin işleteni sorumludur (sorumluluğun kanalize edilmesi ilkesi ). İşletenin

bu sorumluluğu kusursuz (no fault liability), sınırlı (limited liability) bir sorumluluktur. Aynı nükleer kaza dolayısıyla birden fazla tesis işleteninin sorumluluğunun söz konusu olduğu hallerde ise ilgili işletenler müteselsilen (joint liability) sorumludurlar. İlliyet bağıni kesen sebepler dışında kurtuluş beyyinesi getirilememesi de, sorumluluğun niteliğinin tehlike sorumluluğu (strict liability) olduğunu ortaya koymaktadır.<sup>79</sup>

Yukarıda da bahsedildiği gibi, Türkiye Nükleer Zarar Durumunda Üçüncü Taraflara Karşı Sorumluluk bakımından Paris Sözleşmesine ve ayrıca Paris ve Viyana Sözleşmelerinin uygulanmasına dair Ortak Protokole taraftır. Paris sözleşmesinin 2004 yılında yapılan revizyonu henüz tarafımızdan onaylanmadığı gibi diğer taraflarca da onaylanmadığından yürürlüğe girmemiştir. Paris Sözleşmesinin iç hukuka intikali için gerekli çalışmalar devam etmektedir.

Brüksel Ek Sözleşmesinde onay ya da katılımların son durumu<sup>80</sup>

1963 Sözleşmesi ve 1964 Katma Protokol, 4 Aralık 1974 tarihinde yürürlüğe girmiştir. 1982 Protokolü 1 Ağustos 1991 tarihinde yürürlüğe girmiştir. 2004 Protokol henüz yürürlüğe girmedir.

<b>Devlet</b>	<b>Sözleşmesi ve 1964 Ek Protokolü Onayı</b>	<b>1982 Protokolü</b>	<b>2004 Protokolü</b>
Avusturya	...	...	...
Belçika	Ağustos 20, 1985	20 Ağustos 1985	...
Danimarka	4 Eylül 1974	10 Mayıs 1989	...
Finlandiya	Katılım 14 Ocak 1977	15 Ocak 1990	...

<sup>79</sup> Nükleer Reaktörlerin Yol Açtığı Zararlardan Doğan Sorumluluk, Gülin Güneysu

<sup>80</sup> <http://www.oecd-nea.org/law/brussels-convention-ratification.html>

Fransa	30 Mart 1966	11 Temmuz 1990	...
Almanya	1 Ekim 1975 ı	25 Eylül 1985	...
İtalya	Şubat 3, 1976	14 Haziran 1985	...
Lüksemburg	...	...	...
Hollanda	28 Eylül 1979	1 Ağustos 1991	...
Norveç	7 Temmuz 1973	13 Mayıs 1986	...
Slovenya	5 Haziran 2003 de katılmış	5 Haziran 2003	...
İspanya	27 Temmuz 1966	29 Eylül 1988	12 Ocak 2006
İsveç	3 Nisan 1968	22 Mart 1983	...
İsviçre	...	...	11 Mart 2009
İngiltere	24 Mart 1966	8 Ağustos 1985	...

## Türkiye’de Nükleer Hukuk

Türkiye’de 50 yılı aşkın bir süredir nükleer elektrik enerjisi kullanma hedefi ve girişimleri olmuş ama bu girişimler başarısızlıkla sonuçlanmıştır<sup>81</sup>. Son yıllardaki kararlı çalışmalar sonucunda, Ülkemizin yarım asırlık nükleer güç santrali kurma isteği, T.C. Hükümeti ile Rusya Federasyonu Arasında Akkuyu Sahasında Bir Nükleer Güç Santralinin Tesisine ve İşletimine Dair İşbirliğine İlişkin Anlaşma’nın 12 Mayıs 2010 tarihinde imzalanmasıyla gerçekleşmeye başlamıştır. Söz konusu Anlaşma, 15 Temmuz 2010 tarihinde TBMM Genel Kurulu tarafından kabul edilmiş, 6 Ekim 2010 tarihli ve 27721 sayılı Resmi Gazetede yayımlanmıştır. Adı geçen Anlaşmanın gerçekleştirilmesi kapsamında Proje Şirketi, 13 Aralık 2010 tarihinde Ankara’da Akkuyu NGS Elektrik Üretim A.Ş.<sup>82</sup> adı ile kurulmuş ve çalışmalarına devam etmektedir.

### **Anayasal Yapı**

Türkiye’de herkesin sağlıklı ve dengeli bir çevrede yaşama hakkına sahip olduğu (T.C. 1982 anayasası md.56/I) ve çevreyi geliştirmenin, çevre sağlığını korumanın ve çevre kirlenmesini önlemenin Devletin ve vatandaşların ödevi (T.C. 1982 Anayasası md. 56/II) olduğu Anayasada belirtilmektedir.

Milletlerarası sözleşmeleri düzenleyen Anayasa’nın 90. maddesine göre: “Türkiye Cumhuriyeti adına yabancı devletlerle ve milletlerarası kuruluşlarla yaolacak andlaşmaların onaylanması, Türkiye Büyük Millet Meclisinin onaylamayı bir kanunla uygun bulmasına bağlıdır.” Yani bu bölümde bahsedilen andlaşmalar, sözleşmeler kanun hükmündedir.

### **Milletlerarası Anlaşmalar/Sözleşmeler**

Türkiye, Nükleer alanda, nükleer silahların yayılmasının önlenmesi, nükleer maddelerin fiziksel korunması, nükleer bir kaza durumunda işbirliği ve karşılıklı yardım, nükleer güvenlik ve radyoaktif atık yönetimi gibi çeşitli temel uluslararası sözleşmelere taraftır. Türkiye’nin taraf olduğu uluslararası çok taraflı anlaşmalar(tüm anlaşmalar ektedir) aşağıdaki gibi listelenebilir.

---

<sup>81</sup> B.Nazım BAYRAKTAR, “Türkiye’de Nükleer Güç Santrali Projeleri Tarihsel Gelişimi”, Enerji-Piyasası-Bülteni-Haziran-2011-Sayı-15

<sup>82</sup> <http://www.akkunpp.com/>

<b>Anlaşma Adı</b>	<b>İmza tarihi</b>
Nükleer enerji alanında üçüncü şahıslara karşı hukuki sorumluluğa ilişkin Paris Sözleşmesi	29.07.1960
Nükleer enerji alanında üçüncü şahıslara karşı hukuki sorumluluğa ilişkin Paris Sözleşmesini yenileyen 1964 Ek Protokolü	28.01.1964
Nükleer silahların yayılmasının önlenmesi Anlaşması (NPT)	28.01.1969
Türkiye ile UAEA arasında NPT Antlaşmasına ilişkin olarak güvenlik denetimi uygulanmasına dair anlaşma	30.06.1981
Nükleer enerji alanında üçüncü şahıslara karşı hukuki sorumluluğa ilişkin Paris Sözleşmesini yenileyen 1982 Ek Protokolü	16.11.1982
Nükleer maddelerin fiziksel korunması sözleşmesi	23.08.1983
Nükleer kaza veya radyolojik acil durumlarda yardımlaşma sözleşmesi	28.09.1986
Nükleer kazaların erken bildirimi sözleşmesi	28.09.1986
Paris ve Viyana sözleşmelerinin uygulanmasına dair ortak protokol	21.09.1988
Nükleer güvenlik sözleşmesi	24.09.1994
Nükleer denemelerin yasaklanması antlaşması	03.11.1999
Türkiye ile UAEA arasında NPT Antlaşmasına ilişkin olarak güvenlik denetimi uygulanmasına dair anlaşmaya ek protokol	06.07.2000
Nükleer enerji alanında üçüncü şahıslara karşı hukuki sorumluluğa ilişkin Paris Sözleşmesini yenileyen 2004 Ek Protokolü	12.02.2004
Nükleer Terörist Eylemlerin Bastırılmasıyla ilgili Uluslararası Sözleşme	14.09.2005

Listedeki sözleşmelerin sondan ikincisi dışında hepsi onaylanıp Resmi Gazetede yayınlanmasına rağmen “Paris sözleşmesini yenileyen 2004 ek protokolu” henüz onaylanmamış ve Resmi Gazetede de yayınlanmamıştır.

Ayrıca, yukarıdaki listede yer almayan “*Kullanılmış Yakıt Yönetimi ile Radyoaktif Atık Yönetim Güvenliği Ortak Sözleşmesi*” ne taraf olma süreci devam etmektedir.

Bu arada Arjantin, Güney Kore, Fransa, ABD ve Rusya ile “Nükleer enerjinin barışçıl amaçlı kullanımı için ikili işbirliği anlaşmaları” ve Rusya, Romanya, Ukrayna ve Bulgaristan’la “Nükleer kaza erken bildirim ve nükleer tesisler hakkında bilgi değişimi anlaşmaları” imzalamıştır.

Nükleer Silahların Yayılmasının Önlenmesi Antlaşması (NSYÖA-NPT): BM çerçevesinde 1968 yılında imzaya açılan ve 1970 yılında yürürlüğe giren NSYÖA’nı Türkiye, 1980 yılında onaylamıştır. NSYÖA, nükleer silahların yayılmasını engellemeyi hedefleyen ve bu alandaki en kapsamlı antlaşma olup; bu antlaşmanın son gözden geçirme konferansı 2000, 2005 ve 2010 yıllarında yapılmıştır.

Çift kullanıma konu mallar ve teknolojiler konusunda AB sistemi ile aramızda bir farklılık bulunmamakta, yalnızca Topluluğun kontrol rejimi tek bir kurum ve mevzuat çerçevesinde, ülkemizin kontrol rejimi ise değişik kurumlar ve düzenlemeler ile yürütülmektedir. Bu çerçevede, ülkemiz halihazırda çift kullanımlı malzemelerin ihracatının kontrolünü amaçlayan ve AB’nin taraf olduğu tüm uluslararası ihracat kontrol düzenlemelerine ve rejimlerine taraf bulunmaktadır. Söz konusu düzenlemeler ve rejimler; Wassenaar Düzenlemesi, Füze Teknolojisi Kontrol Rejimi, Avustralya Grubu, Nükleer Tedarikçiler Grubu, Zangger Komitesi ve Kimyasal Silahlar Sözleşmesidir. Ülkemiz, 1334/2000 sayılı AB Tüzüğü’nün 5. maddesinde bahsedilen 94/942/CFSP sayılı Karar ile denetime tabi tuttuğu tüm malzeme ve teknolojileri denetlemekte ve uluslararası düzenlemelerdeki paralel değişiklikleri bu listeye yansıtılmaktadır. Ancak, denetimde esas alınan kriterler, adı geçen Tüzüğü’nün 7. maddesinde yer alan kriterler olmakla birlikte sistemdeki tek farklılık, AB denetimini tek bir mevzuata dayandırırken, ülkemizde ihracat kontrol rejimine tabi maddelerin denetiminin, bu maddelerin özellikleri itibarıyla uygulamada birden fazla kurumun yetkisinde ve hukuki düzenleme çerçevesinde yürütülmesidir.

Uluslararası Nükleer Silahların Yayılmasının Önlenmesi Anlaşması (NSYÖA) kapsamında ve ülkemizin NTG (Nükleer Tedarikçiler Grubu) ile ZK (Zangger Komitesi) üyeliği çerçevesinde nükleer ve nükleer çift

kullanımlı eşyaların ihracatında Türkiye Atom Enerjisi Kurumun'dan "İzne Esas Olacak Belge" alınması gerekmektedir.

NTG'ye üyeliğimiz, devletimizin KİS ve bunların fırlatma vasıtalarının önlenmesi konusuna atfettiği önemin ve izlediği duyarlı politikanın, uluslararası platformda teyidi niteliğindedir ve ülkemize yapılacak barışçı nükleer teknoloji transferlerinde de kolaylık sağlayacaktır.

Ülkemiz Paris Sözleşmesini 29 Temmuz 1960 yılında imzalamış ve 13 Mayıs 1961 tarih ve 10806 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Bakanlar Kurul Kararı ile onaylamıştır. Hemen hepsi Batı Avrupa ülkelerinden oluşan, Sözleşmeye taraf 15 ülke bulunmaktadır. (Belçika, Danimarka, Finlandiya, Fransa, Almanya, Yunanistan, İtalya, Hollanda, Norveç, Portekiz, İspanya, İsveç, Türkiye, UK, Slovenya). Bu Sözleşmenin Sekreteryası OECD tarafından yürütülmektedir.

12 Şubat 2004 tarihli Paris sözleşmesi revizyonun ülkemiz açısından yürürlüğe girmesi için TBMM tarafından onaylanması gerekmektedir, bu konudaki çalışmalar yürütülmektedir.

### **TAEK Mevzuatı**

Türkiye'de nükleer enerjiyle ilgili kanunlar olarak; 13.07.1982 tarihli Resmi Gazetede yayınlanan 2690 sayılı "Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Kanunu" ve 21.11.2007 tarihli Resmi Gazetede yayınlanan 5710 sayılı "Nükleer Güç Santrallerinin Kurulması İşletilmesi ile Enerji Satışına İlişkin Kanun" bulunmaktadır. TAEK'in yeniden yapılandırılmasıyla ilgili kanun tasarısı da yıllardır onaylanmayı beklemektedir.

Nükleer Enerji alanında iki tane çok önemli tüzük bulunmaktadır. Bunlar 19.12.1983 tarihli Resmi Gazetede yayınlanan "Nükleer Tesislere Lisans verilmesine ilişkin Tüzük" ve 07.09.1985 tarihli Resmi Gazetede yayınlanan "Radyasyon Güvenliği Tüzüğü" dür. Ayrıca TAEK tarafından yayınlanan çok sayıda yönetmelik, tebliğ ve kılavuz<sup>83</sup> bulunmaktadır.

Türkiye Atom Enerjisi Kurumunun (TAEK) görev ve yetkileri (2690-Madde4) şunlardır: Atom enerjisinin barışçıl amaçlarla ülke yararına kullanılmasında izlenecek ulusal politikanın esaslarını ve bu konudaki plan ve programları belirleyip Başbakan'ın onayına sunmak; ülkenin bilimsel, teknik ve ekonomik kalkınmasında atom enerjisinden yararlanılmasını

---

<sup>83</sup> <http://www.taek.gov.tr/belgeler-formlar/mevzuat/>

mümkün kılacak her türlü araştırma, geliştirme, inceleme ve çalışmayı yapmak ve yaptırmak, bu alanda yapılacak çalışmaları koordine ve teşvik etmektir. TAEK, daha önceden Başbakan'a bağlı iken, 27/11/2002 tarihli ve 24949 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan, Cumhurbaşkanlığının 26/11/2002 tarihli ve D-1-2002-792 sayılı Onayı ile Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığına bağlanmıştır.

## **Sonuç**

1957'de kurulan IAEA çok önemli çalışmalar yapmış, nükleer enerji alanındaki anlaşmaların büyük çoğunluğunda taslakları hazırlayarak nükleer santral işleten veya işletmeyen ülkelerin imzalarına sunmuşlardır.

Türkiye, nükleer enerji alanında, nükleer silahların yayılmasının önlenmesi, nükleer maddelerin fiziksel korunması, nükleer bir kaza durumunda işbirliği ve karşılıklı yardım, nükleer güvenlik i gibi çeşitli temel uluslararası sözleşmelere taraftır.

Ancak bahsedilmesi gereken önemli bir nokta nükleer santral işletmelerine rağmen "Nükleer enerji alanında üçüncü şahıslara karşı hukuki sorumlulukla ilgili sözleşmeleri" imzalamayan ülkeler vardır. Bunlar: Kanada, Çin, Hindistan, Japonya, Kore, Pakistan, İsviçre, Güney Afrika ve Tayvan'dır. Nükleer santrali işletmeye almış olan İran'da henüz sözleşmeleri imzalamamıştır. Ermenistan, Brezilya, Meksika, Rusya sadece Viyana Konvansiyonunu (VC) imzalamıştır. ABD ise 2004'de imzaya açılmasına rağmen henüz yürürlüğe girmeyen Ek protokola taraf olmuştur. Dolayısıyla Dünya'daki nükleer santrallerin yarısından fazlası "Nükleer Yükümlülük Sözleşmeleri" kapsamında değildir.<sup>2</sup>

Nükleer Enerji Alanında Üçüncü Şahıslara Karşı Hukuki Sorumluluk Anlaşmasının 2004'de revize edilen son şekline göre ülkeler Nükleer santral işleticileri için sorumluluk üst sınırı belirlemiş, sadece çok az sayıda ülke sınır belirlememiştir. Paris Sözleşmesinin iç hukuka intikali için gerekli çalışmalar devam etmektedir.

Türkiye'de TAEK, yeniden yapılanmasıyla ilgili kanun çıkmadan UAEA normlarına uyan bir düzenleyici kurul değildir. UAEA normlarına göre düzenleme fonksiyonu ve araştırma fonksiyonları ayrılmalı ve düzenleyici kurum Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığına bağlı bir kuruluş değil bağımsız ve özerk bir kuruluş olmalıdır.

Batısında Bulgaristan doğusunda Ermenistan tarafından işletilen nükleer santraller bulunan Türkiye için nükleer hukuki sorumluluk meselesi çok önemlidir.

Türkiye’de Akkuyu ve Sinop’ta nükleer santral kurulmasıyla ilgili adımlar atılmıştır ve atılacaktır. Uzun dönem elektrik enerjisi projeksiyonlarında da nükleer enerji yer almaktadır. Dolayısıyla Türkiye’de de nükleer hukukta, mevcut mevzuattaki eksikler en kısa zamanda tamamlanmalıdır.

Bu bölümde bahsedile anlaşma ve sözleşmeler ve “T.C. Hükümeti ile Rusya Federasyonu Arasında Akkuyu Sahasında Bir Nükleer Güç Santralinin Tesisine ve İşletimine Dair İşbirliğine İlişkin Anlaşma” Anayasamıza göre Kanun hükmündedir.

Tahmini 2013 yılında inşaatına başlanacak Türkiye’nin ilk NGS olacak Akkuyu NGS projesi ile de nükleer hukuk güncel kalmaya devam edecektir.

EK

#### **İkili ve Çok Taraflı Anlaşmalar<sup>84</sup>**

1	Convention on the Cooperation in the Atomic Energy Field Between the NATO Members and Its Amendment		
2	Paris Convention (1960 Paris Convention on Third Party Liability in the Field of Nuclear Energy)	29 July 1960	13 May 1961
3	Treaty Banning Nuclear Weapons Tests in the Atmosphere, in Outer Space and Under Water		
4	Protocol to Amend the Convention on Third Party Liability in the Field of Nuclear Energy of 29 July 1960	28 January 1964	13 June 1967
5	International Labor Conference Convention Number 115 Concerning the Protection of Workers Against Ionizing Radiations		

<sup>84</sup> [http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/CNPP2011\\_CD/countryprofiles/Turkey/Turkey2011.htm](http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/CNPP2011_CD/countryprofiles/Turkey/Turkey2011.htm)

6	Treaty on the Non-proliferation of Nuclear Weapons		
7	Convention for the Protection of the Mediterranean Sea Against Pollution		
8	The International Convention on Railway Transportation		
9	Protocol to Amend the Convention on Third Party Liability in the Field of Nuclear Energy of 29 July 1960, as Amended by the Additional Protocol of 28 January 1964	16 November 1982	23 May 1986
10	Convention on Physical Protection of Nuclear Material	23 August 1983	07 August 1986
11	Protocol for the Protection of the Mediterranean Sea Against Pollution From Land-based Sources		
12	Convention on Assistance in the Case of a Nuclear Accident or Radiological Emergency		
13	Convention on Early Notification of a Nuclear Accident		
14	Convention on the Protection of the Black Sea Against Pollution		
15	Convention on Nuclear Safety	24 September 1994	14 January 1995
16	Comprehensive Nuclear Test Ban Treaty	03 November 1999	26 December 1999
17	Joint Protocol Relating to the Application of the Vienna and the Paris Conventions	21 September 1988	19 November 2006
18	Protocol to Amend the Convention on Third Party Liability in the Field of Nuclear Energy of 29 July 1960, as Amended by the Additional Protocol of 28 January 1964 and by the Protocol of 16 November 1982	12 February 2004	-
19	Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management	-	Ratification process is ongoing

### Nükleer Güç Konusunda IAEA ile İşbirliği Anlaşmaları

	İngilizce İsmi	İmza Tarihi	Onay Tarihi
1	Agreement Between the Government of the Republic of Turkey and the IAEA for the Application of Safeguards in Connection with	30 June 1981	20 October 1981

	NPT		
2	Protocol Additional to the Agreement Between the Government of the Republic of Turkey and the IAEA for the Application of Safeguards in Connection with NPT	06 July 2000	12 July 2001

Nükleer Güç Konusunda Diğer Ülkelerle ya da Kuruluşlarla Yapılan İkili Anlaşmalar

1	Agreement Between the Government of Canada and The Government of the Republic of Turkey for Cooperation in the Peaceful Uses of Nuclear Energy	18 June 1985	29 June 1986
2	Agreement Between the Government of the Republic of Turkey and the Government of the Argentine republic for Cooperation in the Peaceful Uses of Nuclear Energy	03 May 1988	08 February 1992
3	Agreement Between The Government of Turkey and the Republic of Bulgaria on Early Notification of a Nuclear Accident and Exchange of Information on Nuclear Facilities	28 July 1997	11 September 1997
4	Agreement Between the Government of the Federal Republic of Germany and the Government of the Republic of Turkey for Cooperation in the Peaceful Uses of Nuclear Energy	14 January 1998	-
5	Agreement Between the Government of Korea and The Government of the Republic of Turkey for Cooperation in the Peaceful Uses of Nuclear Energy	26 October 1998	12 April 1999
6	Agreement Between the Government French Republic and The Government of the Republic of Turkey for Cooperation in the Peaceful Uses of Nuclear Energy	21 September 1999	-
7	Agreement Between the Government of the Republic of Turkey and the Cabinet of Ministers of Ukraine on Early Notification of a Nuclear Accident and Exchange of Information on Nuclear Facilities	23 November 2000	02 May 2001
8	Agreement Between the United States of America Concerning and The Government of the Republic of Turkey for Co-operation in the Peaceful Uses of Nuclear Energy	26 July 2000	09 July 2006

9	Agreement Between The Government Of The Republic Of Turkey And The Government Of Romania On Early Notification of a Nuclear Accident	03 March 2008	16 May 2008
10	Memorandum of Understanding for Technical Cooperation and Exchange of Information in Nuclear Regulatory Matters Between the Turkish Atomic Energy Authority and The State Nuclear Regulatory Committee of Ukraine	07 June 2005	22 October 2008
11	Agreement between the Government of the Republic of Turkey and the Government of the Russian Federation for Cooperation in the Use of Nuclear Energy for Peaceful Purposes	06 August 2009	03 November 2010
12	Agreement between the Government of the Republic of Turkey and the Government of the Russian Federation on Early Notification of a Nuclear Accident and Exchange of Information on Nuclear Facilities	06 August 2009	03 November 2010
13	Agreement Between Turkish Atomic Energy Authority (The Republic of Turkey) and The Federal Environmental, Industrial and Nuclear Supervision Service (The Russian Federation) for Cooperation in the Field of Nuclear Licensing and Supervision	08 June 2010	08 June 2010
14	Agreement between the Government of the Republic of Turkey and the Government of the Russian Federation on Cooperation in Relation to the Construction and Operation of a Nuclear Power Plant at the Akkuyu Site in the Republic of Turkey	12 May 2010	06 October 2010

### İlgili Diğer Anlaşmalar

	İsmi		Onay Tarihi
1	ZANGGER Committee	Üye	21 October 1999
2	Nuclear Suppliers Group	Üye	20 April 2000

## 6. Nükleer Santraller ve Nükleer Silahsızlanma

Günümüzde, “Nükleer Silahların Yayılması” ifadesi, nükleer silah yapımı için ihtiyaç duyulan çok yüksek zenginlikteki bölünebilir malzemeyi elinde bulunduran ülke sayısının artması anlamında kullanılmaktadır. Nükleer silah konusu, genellikle nükleer santrallerle ilişkilendirilerek, bu teknolojiye sahip olan ülkelerin aynı zamanda nükleer silaha da sahip olduğu öne sürülmüş ve bu durum nükleer santrallerin imajını olumsuz etkilemiştir. Dünya kamuoyu nükleer enerji ile ilk kez atom bombası ile tanıştığı dikkate alındığında bu durum anlaşılabilir bulunmaktadır.

Genel olarak nükleer silahların kronolojisi aşağıda listelenmiştir. Nükleer silahlanmanın anlaşılması için, listelenen tarihinin incelenmesi önemlidir (Çizelge 5).

Çizelge 5. Nükleer Silahlanmanın Kronolojisi<sup>85, 86</sup>:

Yıl	Ülke	Gerçekleşen olay
1938	ABD	İlk kez atom çekirdeğinin parçalanması
1942	ABD	Manhattan Projesi
1945	ABD	İlk atom bombasının Japonya’da kullanılması
1949	Sovyetler Birliği	Atom bombasının test edilmesi
1952	ABD	İlk Hidrojen bombasının test edilmesi
	İngiltere	Atom bombasının test edilmesi
1953	Sovyetler Birliği	Hidrojen bombasının test edilmesi
1956	Birleşmiş Milletler	Uluslar arası Atom Enerji Ajansı’nın kurulması
1957	İngiltere	Hidrojen bombasının test edilmesi

<sup>85</sup> [http://tr.wikipedia.org/wiki/N%C3%BCKleer\\_silahlanman%C4%B1n\\_kronolojisi](http://tr.wikipedia.org/wiki/N%C3%BCKleer_silahlanman%C4%B1n_kronolojisi)

<sup>86</sup>

<http://www.jfklibrary.org/Historical+Resources/JFK+in+History/Nuclear+Test+Ban+Treaty.htm>

	ABD	İlk yer altı nükleer denemesinin gerçekleştirilmesi
<b>1960</b>	Fransa	Atom bombasının test edilmesi
<b>1963</b>	ABD/İngiltere/Sovyetler Birliği	Atmosferde, su altında ve karada yasaklanan Sınırlandırılmış Nükleer Deneme Antlaşmasının imzalanması
<b>1964</b>	Çin	Atom bombasının test edilmesi
<b>1967</b>	Çin	Hidrojen bombasının test edilmesi
<b>1968</b>	Fransa	Hidrojen bombasının test edilmesi
		Nükleer Silahların Yayılmasının önlenmesi anlaşması: NPT
<b>1974</b>	Hindistan	Atom bombasının test edilmesi
<b>1987</b>	ABD/Sovyetler Birliği	Orta Menzilli Nükleer Kuvvetler Antlaşması
<b>1990</b>	Irak	Körfez Savaşı
<b>1991</b>	ABD/Sovyetler Birliği	Stratejik Silahların Azaltılması Görüşmeleri Antlaşması
<b>1995</b>	Ukrayna,Belarus	Nükleer Silahların Rusya'ya iade edilmesi
	ABD	Nükleer silah denemelerinin tamamıyla son verilmesinin açıklanması
<b>1998</b>	Hindistan/Pakistan	5 adet yer altı nükleer denemenin gerçekleşmesi
<b>2002</b>	Kuzey Kore	Nükleer Silah Programının açıklanması
<b>2005</b>	Rusya	Başkan Putin'in kimsenin yapmadığı ve yapamayacağı bir bomba yaptıklarını açıklaması

Nükleer teknolojiyi elde etme ve nükleer silah sahibi olma yarışında, başlangıçta ABD nükleer tekeli korumak amacıyla her türlü sivil nükleer teknoloji transferine karşı çıkmıştır. Buna rağmen o zamanki Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği'nin nükleer silaha sahip olması ile nükleer silahların yayılmaya başlaması gerçekleşince dönemin ABD Başkanı

Eisenhower bu politikayı değiştirmiş ve diğer ülkelerin nükleer teknolojiyi sadece sivil uygulamalarda kullanacakları garantisini vermeleri halinde reaktör teknolojilerine erişimlerine izin vermiştir. Soğuk savaş sırasında İngiltere, daha sonra Fransa ve son olarak da Çin nükleer silah sahibi ülkeler arasına girmiştir. 1968’de imzalanan Nükleer Silahların Yayılmasını Önleme Anlaşması (NPT); nükleer güce sahip sadece beş ülkeyi (ABD, Rusya, İngiltere, Fransa, Çin) meşru olarak tanıyarak bu durumu sonlandırmaya çalışmıştır. Ayrıca, nükleer güce sahip ülkeler nükleer silah stoklarını azaltmayı ve sivil nükleer teknoloji transferlerini serbest bırakmayı taahhüt etmişlerdir.

Beşinci bölümde de anlatıldığı gibi, nükleer malzemenin barışçıl amaçlarla kullanımı için Birleşmiş Milletler Tarafından 1956’da, Viyana’da, Uluslararası Atom Enerji Ajansı (IAEA) kurulmuş olup söz konusu kuruluşun halihazırda 152 üyesi bulunmaktadır<sup>87</sup>. IAEA’nın kontrolü altında teknoloji transferi anlaşmaları hızla çoğalmıştır. Bu anlaşmalarda her ihracatçı sağladığı malzeme, tesis ve teknolojinin kullanılması konusunda alıcı ülkeye kendi şartlarını sunmaktadır. Bu teknoloji transferi dönemi, NPT anlaşmasını imzalamamış olan Hindistan’ın 1974’te “barışçıl patlama” adını verdiği bir nükleer deneme yapmasıyla sonlanmış ve ihracatçı ülkeler hassas ihracatlarda düzenlemeler yapma konusunda anlaşmalar yapmışlardır<sup>88</sup>.

1991’ de benzer bir olay NPT’ yi imzalamış bir ülke olan Irak’ın gizli nükleer programının ortaya çıkmasıyla yaşanmıştır. Bu olayın sonucu olarak, IAEA’nın yetkileri ve denetim kabiliyeti güçlendirilmiştir.

IAEA denetimleriyle desteklenen NPT bugün nükleer ticaretin evrensel olarak tanınan temelini oluşturur. Bu anlaşmaya direnç gösteren tek ülke İsrail’dir<sup>89</sup>.

Günümüzde, bilindiği kadarıyla Hindistan’ın dışında hiçbir ülke, barışçıl kullanım sözü verdiği ve IAEA kontrolünde olan malzemeleri ve tesisleri nükleer silah üretimi amacıyla kullanma yoluna gitmemiştir.

### **Nükleer teknolojinin barışçıl amaçlarla geliştirilmesi nükleer silahların yayılması riskini artırır mı?**

---

<sup>87</sup> <http://www.iaea.org/About/index.html>

<sup>88</sup> <http://www.atomicarchive.com/History/coldwar/page17.shtml>

<sup>89</sup> <http://www.iaea.org/About/Policy/MemberStates/>

Her zaman ve nükleer madde elinde bulunduğu sürece her koşulda, bir ülkenin veya bir grubun nükleer silah yapımı kararı alması mümkündür. Ancak bu karar nükleer teknolojiye sahip olmakla ilgili olmayıp, politik bir karardır. Zaten nükleer teknolojinin nükleer silah yapımı ve bunun yayılmasına ne kadar yardımcı olabileceği de tartışmalı bir konudur. Diğer bir deyişle, sınırları içerisinde sivil bir nükleer tesise sahip olan bir ülkenin silah yapımı için gerekli olan yüksek zenginlikteki bölünebilir maddeye daha kolay ulaşılacağı anlamı çıkarılmamalıdır. Örneğin Bir Hafif Su Reaktörünün kullanılmış yakıt çubuklarında oluşmuş plütonyumundan silah yapılması pek olası değildir. Bunun için farklı tesisler ve ciddi ekonomik planlamaya ihtiyaç vardır. Nükleer bombalar, kontrolsüz nükleer reaksiyon sonucu ortaya çıkan tüm enerjinin çok kısa bir zaman diliminde salınmasıyla çok büyük tahribat vermeye yönelik olarak tasarlanmış silahlardır. Bunun sağlanması için çok yüksek zenginlikte (%90 ve üzeri ki, bu oran elektrik üreten nükleer reaktörlerde %3-5 civarındadır) nükleer malzeme, özel geometrilerde kritik kütleyi oluşturacak şekilde bir araya getirilir. Nükleer reaktörler ise nükleer enerjinin yavaş ve kontrollü şekilde elde edilmesine yönelik olarak tasarlanmışlardır.

Sivil nükleer endüstri, uluslararası anlaşmalar, sözleşmeler, taahhütler ve çok hassas ve etkin ölçüm cihazlarıyla uluslararası denetimlerden geçmektedir. Böyle bir girişimde bulunan ülkeler veya gruplar, aldıkları kararların politik sonuçlarına da katlanmak zorundadırlar. Dolayısıyla silah yapımı için gizli bir program yürütmek sanıldığı kadar kolay olmayıp, nükleer silah malzemesine erişebilirlik, üretimi, kapasitesi, maliyet, vb. gibi bir çok faktörün dikkate alınmasını gerektirmektedir.

Nükleer Silah yarışının temel sebeplerinden birisi güvensizliktir. Ne yazık ki nükleer enerjinin ilk yaygın kullanımı nükleer enerji santralleri değil atom bombası olmuştur. Bunun sonucunda bir güvensizlik ortamı oluşmuştur. Günümüzde, nükleer teknolojiye sahip ülkelerin, bu teknolojiyi barışçıl amaçlarla kullanacağına dair diğer ülkelere güvence vermesi beklenmektedir. Bir ülkenin niyetinin ne olduğu noktasında fikir sahibi olabilmek için, o ülkenin bu alanda yaptığı çalışmalara bakılabilir. Buna en güzel örneklerden birisi UAEA'nın üyesi olan Güney Kore'dir. Aynı zamanda Nükleer Silahların Yayılmasının Önlenmesi Anlaşması olan NPT'ye imza atan Güney Kore, nükleer enerjiden yararlanmak konusunda ülke yararına ulusal bir politika ve strateji tespit etmiş ve şimdiye kadarki hükümetler bu politikadan ayrılmamışlardır. Bu teknolojiyi barışçıl amaçlarla kullandığını kanıtlamış ve diğer ülkelerin güvenini kazanmıştır. Bu politik kararlılık, Güney Kore'nin nükleer enerji kaynaklı elektrik üretiminde, nükleer santral teknolojilerine hakimiyette ve bu alanda gelişmişlikte sadece Türkiye'yi değil bir çok ülkeyi de geride bırakmasını sağlamıştır. 2002 itibariyle 15 nükleer

santrale sahip olan Güney Kore bugün bu sayıyı 21' e çıkarmayı başarmıştır<sup>90</sup>. Yaklaşık 30 sene gibi kısa bir süre içerisinde hızla kalkınan Güney Kore, bu teknolojiye sahip diğer ülkelerle bir çok anlaşmaya da imza atmıştır<sup>91</sup>. Bir diğer örnek olarak Japonya gösterilebilir. Deprem şiddetinin oldukça yüksek olduğu ve iki atom bombasının atıldığı ve Fukushima Daiichi felaketinin yaşandığı Japonya'da 1 Aralık 2011 tarihli verilere göre işletmede olan 48 adet ve inşa halinde de 2 adet nükleer santralin bulunmaktadır.

Türkiye, NPT'ye imza atmış bir ülke olarak bir anlamda nükleer teknolojiyi barışçıl amaçlarla kullanacağını taahhüt etmiştir.

Özetlemek gerekirse, nükleer santrale sahip olmak ile nükleer silah yapmak arasında bir ilişki bulunmamaktadır. Nükleer Teknoloji geliştiren ülkelerden Kanada'nın nükleer silahı yokken, nükleer santralı olmayan İsrail'in nükleer silahı olduğu bilinmektedir. Teknik olarak bakıldığında da nükleer santrale sahip olmak, nükleer silah yapmak için bir koşul değildir. Uluslararası arenada nükleer silah yapımı girişiminde bulunulması oldukça zor bir süreçtir. Dolayısıyla, "nükleer silah yapımı" ya da "nükleer silaha sahip olma" esasen politik bir karar olup nükleer santrale sahip olmanın bu kararın alınması üzerinde etkisi yoktur.

## **7. Türkiye'nin Nükleer Teknoloji İhtiyacı**

Raporun bu kısmında, Türkiye'nin nükleer teknoloji ihtiyacı yanısıra, nükleer santral kurulumunun Türkiye elektrik piyasasına olası etkisi anlatılmıştır.

Türkiye, yıllardır söylenildiği ve yaşanıldığı üzere, enerji talebinin arttığı ve enerji üretiminde genişlemeye acil olarak ihtiyaç duymakta olan bir ülkedir. Enerji talebinin karşılanması için, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Stratejik Planı (2010-2014)'nda belirtildiği gibi 2023 yılına kadar bütün yerli kaynaklarımızın tüketimine dayalı bir planlama yapılmasından da anlaşılacağı üzere tamamen tükeneyeceği öngörülen yerli kaynaklarımızın alternatifinin olması bir zorunluluktur. Elektrik üretimimizin yarısından fazlasını karşılayan doğalgazın neredeyse hepsi ithal edilmektedir. Dışa bağımlılığımız oldukça fazla, enerji talebinin karşılanması oldukça zordur.

---

<sup>90</sup> <http://www.euronuclear.org/info/encyclopedia/n/nuclear-power-plant-world-wide.htm>

<sup>91</sup> <http://www.taek.gov.tr/component/content/article/194-nukleer-enerji-ve-nukleer-reaktorler/790-nukleer-enerji-santralinden-nukleer-silah-yapimi-soz-konusu-olabilir-mi.html>

Enerji çeşitliliğine gidilmesi ve dışa bağımlılığın azaltılması gereklidir. Enerji ihtiyacı açısından, Türkiye’de nükleer enerjinin önemli bir alternatif olduğu açıktır.

Nükleer güç santrallerinin kullanımı konusuna bakış açısının sadece enerji ihtiyacıyla sınırlanmaması gereklidir. Konuyu, teknoloji transferi olarak ele almak daha doğrudur. Teknolojik ilerleme, endüstriyellemenin ve endüstriyel kapasite de ekonomik gelişimin anahtar elemanıdır. Endüstriyellemenin ve ekonomik gelişme birlikte ilerler. Teknolojideki ilerleme sermayenin üretkenliğini artırır ve sermaye talebi artar. Sermaye talebinin artması reel faiz oranını yükseltir dolayısıyla da tasarrufta bir artış sağlar. Böylece kişi başına arz edilen sermaye miktarı yükselir. Sonuç olarak kişi başına sermaye stoku ve kişi başına üretim artmış olur. Ekonomik bir büyüme gerçekleşir. Gelişmiş ülkelerde, teknolojik ilerlemeler sonucunda kişi başına reel gelir artışı olduğu sayısal olarak saptanmıştır.

Nükleer güç santrallerinin endüstriyel kapasiteye büyük bir katkısı vardır; çünkü bütün nükleer parça ve malzemeler çok yüksek kalite kontrol ve teminatına sahip olmalıdır. Özellikle nükleer parça ve malzeme üretimi söz konusu olması durumunda, dünya çapında yüksek bir ulusal standart yakalanması gereklidir. Santral teknolojisinde olduğu gibi, nükleer teknolojinin kullanımı ile malzeme üretimi, inşaat ve kontrol sistemleri olarak temelde ele alabileceğimiz başlıklar üzerinden birçok mühendislik alanında da Türkiye’yi daha iyisine zorlayacaktır ve gelişmiş ülkelere yetişebilmek için bu alanlarda ilerlemişlik bir gereksinimdir. Türkiye, nükleer teknolojiyi elde etmesi durumunda gelişmiş ülkeler düzeyine gelmesi için büyük bir adım atmış olacaktır. Bu da teknolojinin ve uluslar arası dengelerin oturması için bir süreç geçmesini gerektirir.

Bu süreç boyunca, Türkiye’nin gelişiminden rahatsız olacak veya nükleer santrallerle birlikte enerjideki fiyat düşüşü sonucu Türkiye’nin rekabet gücünün artmasıyla bazı ülkelerle ilişkilerin zedelenebileceği gibi; düşük enerji fiyatlarından, eğitilmiş işgücünden, Türkiye’nin edindiği teknoloji, endüstriyel ilerleme gibi alanlardan yararlanmak isteyen yatırımcılar sayesinde Türkiye’nin gelişimi hızlanıp büyük ülkelerle ilişkileri sağlamlaşabilir.

Güney Kore, bu süreçten başarıyla çıkmış bir ülke olarak örnek alınabilir. Güney Kore, Türkiye gibi nükleerle tanışmasının ardından, bugün toplam elektriğin yüzde 40’ını nükleer ile karşılayabilir duruma gelmiştir. 1950’li yıllarda ekonomisi Türkiye ekonomisinden daha kötü olan ve Türkiye’nin askeri yardımına ihtiyaç duyan Güney Kore’nin 20 adet nükleer santrali bulunmaktadır. Kişi başına düşen milli geliri ise International Monetary Fund

(IMF) 2010 verilerine göre 20 bin 165 dolardır. Güney Koreli eski bakan Prof. Dr. KunMo Chung, nükleer santraller sayesinde, petrol ve doğal gaz gereksiniminin azalması sayesinde yılda 14 milyar dolar tasarruf etmekte olduklarını, finansal krizin üstesinden gelmelerinin ve sanayileşmelerinin nükleer güç sayesinde olduğunu belirtmiştir. Türkiye, edindiği nükleer güç santralini, nükleer teknoloji transferine çevirebilirse ve makul bir sürede Güney Kore seviyesine gelebilirse dünyada daha sözü geçen bir ülke haline gelecektir.

Eğer Türkiye, malzeme ve parça üretimi konularında da yer alırsa enerji açısından dışa bağımlılığının azalmasının yanında teknoloji açısından da dışa bağımlılığını azaltır. Nükleer teknoloji, yüksek kalitede teknoloji anlamına gelir ve birçok alanda uygulanabilir. Uygulanması halinde Türkiye, dışarıdan ithal ileri teknoloji ürünü araçların ve parçaların bir kısmını kendisi üretebilir konuma gelecektir. Artık üretici konuma geçmiş olması sebebiyle, ithalatın azalışı hatta ihracatın artışı söz konusu olacaktır ve Türkiye'nin teknolojide dışa bağımlılığı azalacaktır.

Türkiye'de nükleer enerji santrali kurulması, uluslararası ilişkilerde etkin rol oynayan nükleer teknoloji transferinin sağlanmasıyla birlikte, Türkiye'nin dış politikasına etkiyecek ve ulusal gücün artışı sağlayacaktır. Nükleer enerji santrallerinin Türkiye'nin enerji sorununun çözümüne önemli katkılar sağlayacakları ve nükleer teknoloji transferinin ülkede hem nükleer bilim alanında hem de tıp, tarım, metalürji gibi başka pek çok alanda bilimsel bilginin gelişimine katkı sağlayacağı gerekçeleriyle Türkiye ile işbirliği yapmayı kazançlı hale getireceği açıktır.

### **Nükleer Santral Kurulumu'nun Türkiye Elektrik Piyasasına Etkilerinin İncelenmesi**

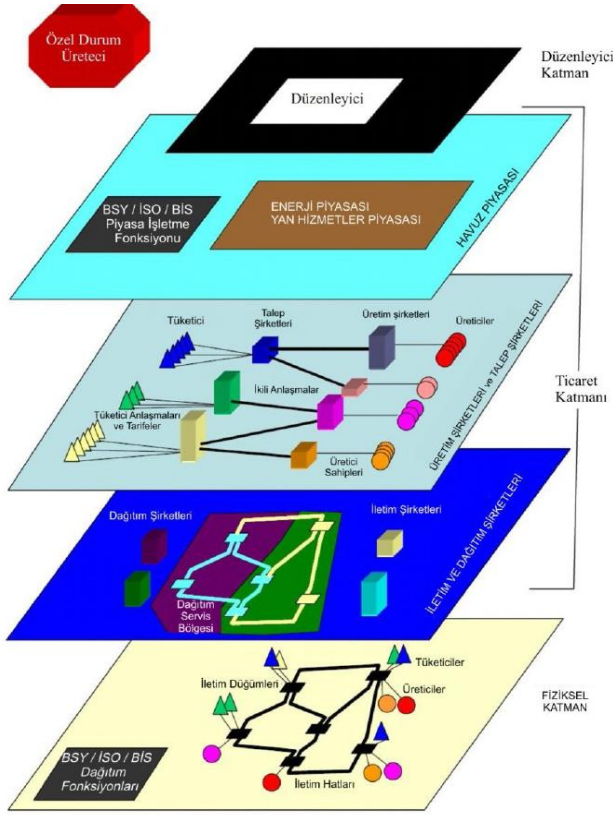
Türkiye elektrik piyasası modellenmiş ve nükleer santrallerin piyasaya eklenmesinin etkileri incelenmiştir.

Türkiye elektrik piyasası geçmişten günümüze bir değişim sürecindedir. Piyasa, yakın zamanda yapılan planlar doğrultusunda serbestleşecektir. Serbestleşen elektrik piyasasında bir çok etmen yer alacak, bu piyasayı ve piyasada yer alan aktörlerinin davranışlarını karmaşık hale getirecektir.

Bu çalışmanın hedeflediği gibi nükleer santrallerin elektrik piyasasına etkisinin incelenmesi için piyasanın karmaşık durumu dikkatle

modellenmelidir. Bunun için burada anlatılan çalışmada, Electricity Market Complex Adaptive System (EMCAS) programı kullanılmıştır<sup>92</sup>.

EMCAS, yazılımı Argonne Ulusal Laboratuvarında yeniden yapılanan elektrik piyasalarının, benzeşimini ve analizini yapmak üzere geliştirilmiştir. Yazılım, elektrik piyasalarını kompleks ve uyarlamalı olarak modeller, bu, yapay zeka ve sinir ağları yöntemleri kullanılarak yapılır. Piyasanın aktörleri, uyarlamalı sistemin bağımsız ve öğrenen etmenleri olarak modellenirler. EMCAS ile elektrik piyasasının fiziksel, ticari ve denetleyici etmenlerini ve bu etmenlerin karar ve tecrübelerini modeller. Bahsedilen etmenler Şekil 19'da gösterilmiştir.



Şekil 19. EMCAS Sistemi ve Katmanlar

<sup>92</sup> Argonne National Laboratory, Electricity Market Complex Adaptive System (EMCAS) User's Manual, Chicago-ABD (2006 Haziran)

Şekil 19’da gösterildiği gibi, bazı piyasa etmenleri, piyasada, hem fiziksel hem de ticari rollere sahip olabilmektedir.

### **EMCAS Türkiye Elektrik Piyasası Modeli**

Bu çalışmada, Türkiye elektrik piyasası 2017 yılı için modellenmiştir. Modelleme için 2017 yılı, nükleer santralin devreye girebileceği yıl olduğu için seçilmiştir.

Türkiye piyasası için:

- Üretim
- İletim
- Dağıtım
- Satış
- Sistem İşletimi
- Düzenleme

Etmenleri tanımlanmıştır.

Piyasa modellenmesinin tamamlanması için aşağıda sıralanan parametreler için gelişme ve değişme kabulleri yapılmıştır:

- Üretim Kapasite Genişlemesi: Bunun için Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi’nin kapasite genişleme raporu kullanılmış, 2017’ye dek kurulması planlanan santraller için bahsedilen rapordan yararlanılmıştır.
- Talep: Talep tahmini için Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Kurumu için yapılan bir proje sonucunda elde edilen talep tahminleri kullanılmış, düşük, beklenen ve yüksek talep tahminleri elde edilmiştir<sup>93</sup>.
- Yakıt Fiyatları: U. S. Energy Information Administration’ın yakıt fiyat tahminleri bu çalışmada kullanılmıştır, Nükleer Santral yakıtı olan Uranyum fiyatının doğalgazla aynı miktarda artacağı kabul edilmiştir, yerli kömür fiyatının ise geçmişteki artış trendini izleyeceği kabul edilmiştir<sup>94</sup>.

---

<sup>93</sup> AYDINALP-KOKSAL, M., Bilgiç, M., Girep, C. P., Türker, L., Yük Dağıtım Bölgelerinde Saatlik Kısa ve Uzun Dönem Elektrik İhtiyacının Modellenmesi, TÜBİTAK 108M001 nolu 1001 Araştırma Projesi, Ankara, (2009)

<sup>94</sup> U.S. Energy Information Administration, Independent Statistics and Analysis, <http://www.eia.doe.gov/>, (2010)

- Karbondiyoksit Salınımı: 2017 yılında tüm fosil yakıtlı santrallerin temiz üretim teknolojileri kullanacağı kabul edilmiştir, santrallerin CO<sub>2</sub> salınım verileri için Orta Doğu Teknik Üniversitesi'nde yapılan bir tez çalışması kullanılmıştır<sup>95</sup>.

Bu çalışmada kullanılan EMCAS programının modellenebilecek etmen sayılarında sınırlama vardır, bu yüzden Türkiye elektrik piyasasındaki üretici etmenleri gruplandırılmıştır Şekil 20'de, üretim etmenleri ve Türkiye modeli gösterilmiştir, Türkiye üretimine katılacak rüzgar santralleri de modele eklenmiştir.

Şekil 20'de görüldüğü gibi iletim hatları da Türkiye modelinde tanımlanmıştır.

Türkiye modeli tamamlandıktan sonra, farklı piyasa senaryoları bu çalışma çerçevesinde incelenmiştir. İncelenen senaryolar aşağıda özetlenmiştir<sup>96</sup>:

Talep – Düşük (Low) Talep, Beklenen (Medium) Talep, Yüksek (High) Talep

**Referans Senaryo:** 2017 yılı toplam kurulu gücünün TEİAŞ tarafından hazırlanan Kapasite Projeksiyon raporu ile hazırlanan senaryo

**Doğalgaz Senaryosu:** 2017 yılı Referans Senaryo'ya ek olarak toplam kurulu güce fazladan 5000 MWe gücünde Doğalgaz ile çalışan termik santrali eklenen senaryo

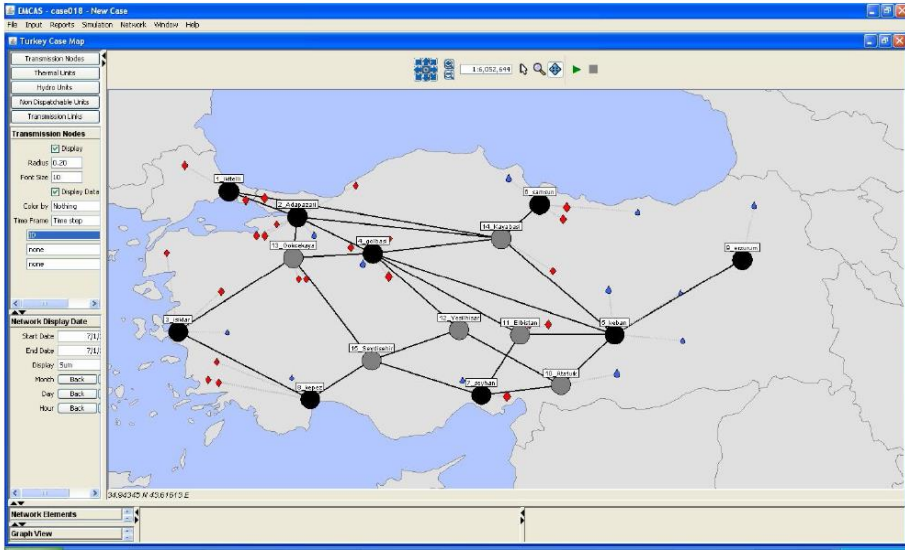
**Linyit Senaryosu:** 2017 yılı Referans Senaryo'ya ek olarak toplam kurulu güce fazladan 5000 MWe gücünde Linyit ile çalışan termik santrali eklenen senaryo

**Nükleer Senaryo:** 2017 yılı Referans Senaryo'ya ek olarak toplam kurulu güce fazladan 5000 MWe gücünde Nükleer santral eklenen senaryo. Bu senaryo hazırlanırken ilk yatırım maliyeti hesaba katılmıştır.

---

<sup>95</sup> ARI İ., Investigating The CO<sub>2</sub> Emission of Turkish Electricity Sector and Its Mitigation Potential, (Yüksek Lisans Tezi), Orta Doğu Teknik Üniversitesi Ankara, (2010)

<sup>96</sup> ERGÜN, Ş., Kayrın, K., Aydınalp-Köksal, M., İmer, S., Başoğlu, B., Türkiye Elektrik Üretim, Dağıtım ve Satışının Kompleks Uyarlamalı Sistem Analizi Yöntemi ile Benzeşiminin Yapılması, TÜBİTAK 108M200 nolu 1001 Araştırma Projesi, Ankara, (2010)

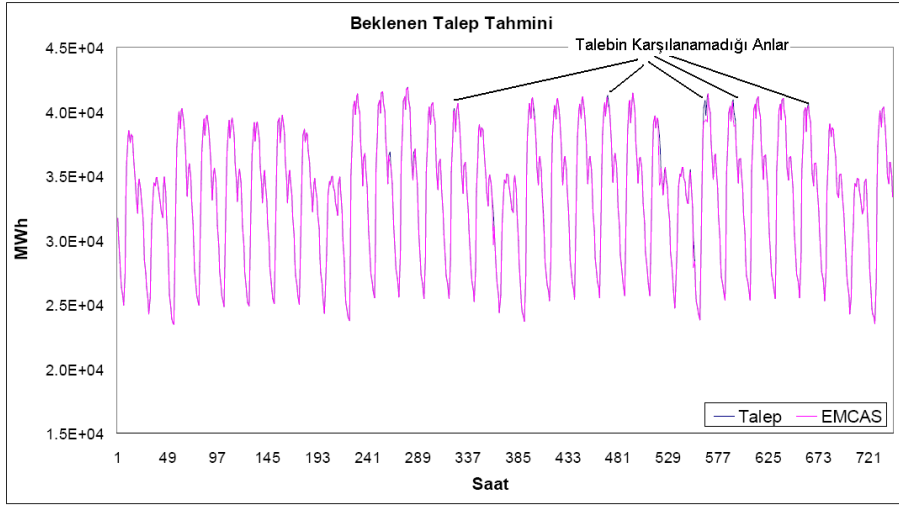


Şekil 20. 2017 EMCAS Türkiye Modeli

## Analizler

Bu kısımda, yukarıda listelenen senaryolardan referans ve Nükleer Senaryo ile ilgili analizler gösterilmektedir.

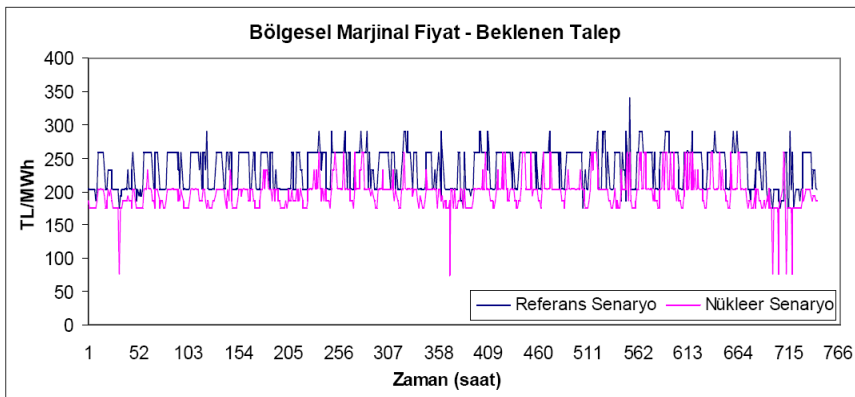
Şekil 21, beklenen talep durumunda talep ve piyasanın talebi karşılayıp karşılayamadığını Referans Senaryo için göstermektedir. Şekil 21'de görüldüğü gibi, bu çalışmada modellenen, talebin yoğun olduğu 2017 yılı Temmuz ayında, talebin karşılanamadığı durumlar olabileceği gözlenmiştir.



Şekil 21. EMCAS 2017 Yılı Temmuz Ayı Referans Senaryo ve Beklenen Talep için Talep Analizi

Tahmin edilebileceği gibi, Nükleer Senaryo ile talebin karşılanamaması sorunu ortadan kalkmıştır.

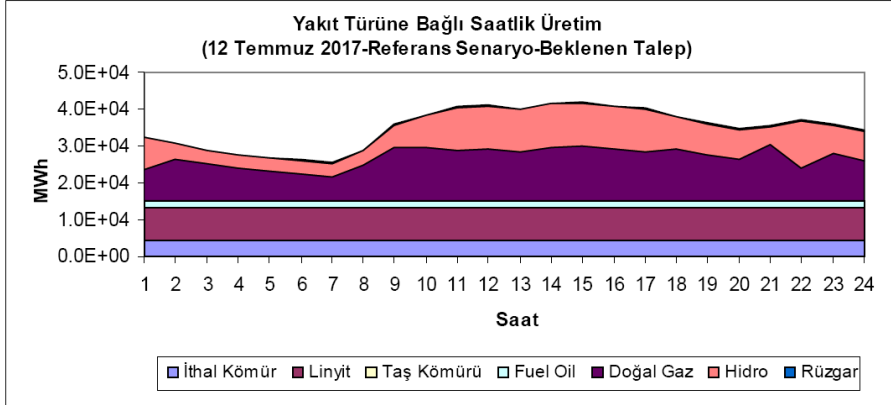
Şekil 22, Temmuz 2017 için, beklenen talep durumunda Referans ve Nükleer Senaryonun incelenmesi sonucunda hesaplanan bölgesel marjinal fiyatları göstermektedir. Fiyatlar şekilde her bir saat için gösterilmiştir. Şekil 22’de görüldüğü gibi, Nükleer Senaryoda bölgesel marjinal fiyat düşmüştür, yani tüketicinin elektrik satın almak için harcayacağı marjinal fiyat düşmüştür.



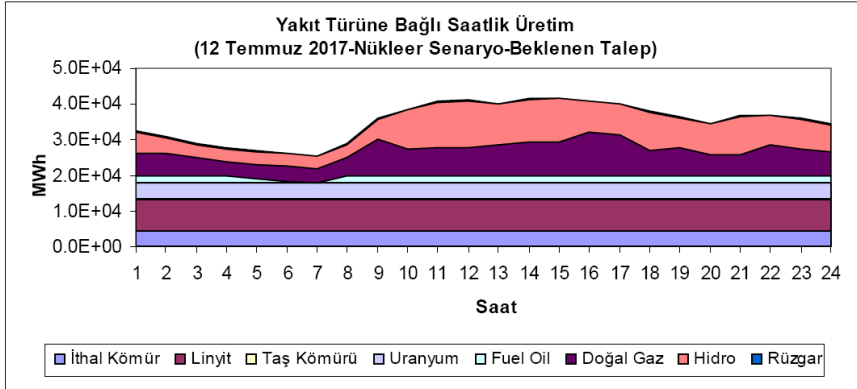
Şekil 22. EMCAS 2017 Yılı Temmuz Ayı Beklenen Talep için Fiyat Analizi

Şekil 23 ve Şekil 24, beklenen talep için referans ve Nükleer Senaryo analizleri sonucunda, elektrik üretimi için tüketilen yakıt tiplerini ve miktarlarını, talebin en yüksek olacağı tahmin edilen 12 Temmuz 2017 için göstermektedir. Şekillerden görüldüğü gibi, doğalgaz ve fuel-oil yakıt tüketimi nükleer santralin üretime geçmesiyle azalmış, yerli kaynaklar da ekonomik olarak tüketilmeye başlanmıştır. Nükleer santralin devreye

girmesiyle doğalgaza bağımlılığın azalacağı görülmüştür.



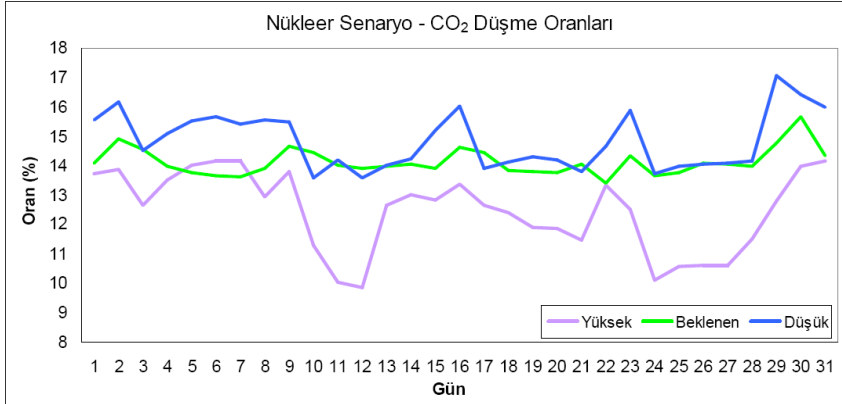
Şekil 23. Yakıt Türüne Bağlı Saatlik Üretim (Referans Senaryo – Beklenen Talep )



Şekil 24. Yakıt Türüne Bağlı Saatlik Üretim (Nükleer Senaryo – Beklenen Talep )

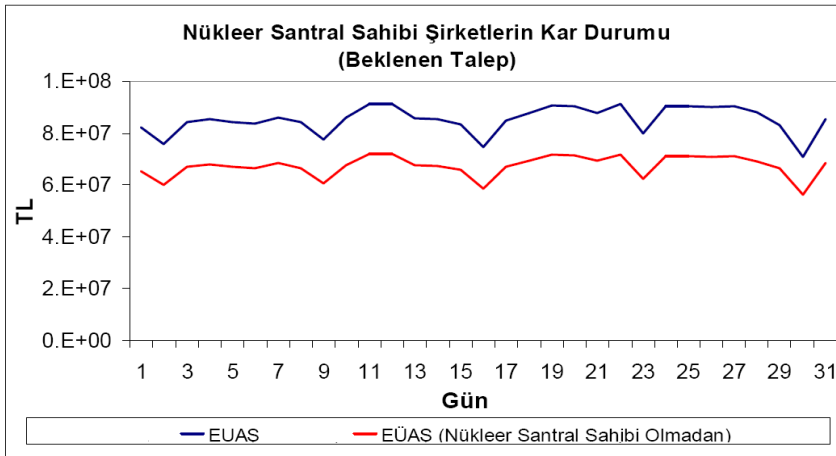
Nükleer santrallerin elektrik piyasasında üretime geçmesiyle karbondioksit salımında beklenen değişiklikler Şekil 25’de gösterilmiştir. Şekil 25, Yüksek, Beklenen ve Düşük talep tahminleri için karbondiyoksit salımındaki

değişimi yüzde olarak göstermektedir. Şekil 25’de de görüldüğü gibi, beklenen talep durumunda, nükleer santral devreye girdiğinde, Türkiye’de elektrik üretimi yüzünden meydana gelen karbondioksit salımı yaklaşık olarak %15 azalacaktır.



Şekil 25. Nükleer Senaryo CO<sub>2</sub> Değerlerindeki Düşme Oranları

Şekil 26’da, Nükleer santralin sahibi olacağı varsayılan Türkiye Elektrik Üretim Anonim Şirketi’nin (EÜAŞ) beklenen talep için, nükleer santral sahibi olmadan ya da santral sahibi olarak ne kadar kar elde edeceği ile ilgili analizin sonucu gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, nükleer santral sahibi şirket, günlük karını yaklaşık olarak %20 oranında arttırmaktadır.



Şekil 26. Nükleer Santral Sahibi Şirketin Beklenen Talep Durumundaki Kar Grafiği

## Sonuçlar

EMCAS Türkiye 2017 yılına ait yapılan Referans Senaryo ve Nükleer Senaryo karşılaştırmaları sonucunda Nükleer Senaryo analizlerinin gösterdiği üzere, Türkiye elektrik piyasasına nükleer güç santrallerin eklenmesi;

- Bölgesel marjinal fiyat değerlerinin düşmesine
- CO<sub>2</sub> salınım değerlerinin düşmesine
- Santral sahibi şirketin kar etmesine
- Nükleer santrallerin eklenmesi ve santrallerin baz yük olması nedeniyle yerli kaynakların tüketiminin azalmasına
- Yerli kömür rezervlerinin kullanım süreleri artmasına
- Yakıt çeşitliliğinin artması sonucunda doğalgaza olan talebin düşmesine

neden olacaktır.

**Ek:** Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Kurumu ve HAVELSAN tarafından desteklenmiştir.

## **8. Türkiye'nin Nükleer Enerji Çalışmaları<sup>97</sup>.**

Türkiye yaklaşık 55 senedir enerji üretim yollarından biri olan nükleer teknolojinin ülkeye getirilmesi ve ondan yararlanılması üzerinde bilimsel, teknik ve politik sahada etkinlikler yürütmüştür. Ülkemiz, nükleer teknolojiye sahip olmak üzere girişimde bulunan ilk bir kaç ülke arasındadır. 1955 yılından beri bu teknolojinin kazanılmasına gayret edilmektedir.

Başlangıçtan itibaren eğitim ve insan gücü geliştirme, araştırma yapılacak merkez ve laboratuvarlar kurulması, çalışmaları koordine edecek yasal ve mevzuat çalışmaları, çeşitli üretim ve uygulamalar ile enerji üretimine dönük ihale çalışmaları gibi çok yönlü olarak yürütülen çalışmalarla bu gün belli bir konuma gelinmiştir. Bu süreçte bir kaç kere enerji üretimi için santral kurulmasına çok yaklaşmışsa da bir netice elde edilememiştir.

Türkiye'ye Nükleer teknolojinin getirilmesi için yapılan girişimler ve bu girişimlerin neticeleri tarihsel olarak aşağıdaki gibi özetlenebilir.

### **1955**

Türkiye, 1955 yılında 1. Cenevre Konferansı'nı takiben ABD ile "Nükleer Enerjinin Barışçıl Amaçlarla Kullanılmasına Dair İşbirliği Anlaşması" nı imzalayan ilk ülkedir. Bu anlaşma 14 Aralık 1956 tarih, 6864 sayılı yasayla onanarak yürürlüğe girmiştir. Bu anlaşmadan sonra Türkiye, gerekli bilimsel ve teknik alt yapı ile insan gücünü yetiştirmek üzere girişimlere başlamıştır.

### **1956**

Yapılan barışçıl anlaşmanın ardından 1956 yılında bir araştırma reaktörü kurulması için çalışmalar başlatılmıştır. Ülkemizdeki bütün nükleer faaliyetleri yürütecek bir uzman kuruluş olarak, 6821 sayılı yasayla Başbakanlık Atom Enerjisi Komisyonu (AEK) kurumu oluşturulmuştur. Kurumun yeri olarak Küçükçekmece Gölü kenarındaki şimdi Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'na ait arazi seçilmiştir.

---

<sup>97</sup> Türkiye Nükleer Teknoloji Platformu (TRNTP), Enerji 2023 Derneği, <http://www.nukleer.web.tr>

## **1957**

7015 Sayılı Kanun ile Uluslararası Atom Enerjisi Ajansına (UAEA) üye olunmuştur. Türkiye bu anlaşma ve yasalarla, nükleer enerjiyi barışçıl amaçlarla kullanacağını açıkça belirtmiştir.

## **1959-1962**

Ülkemizin ilk nükleer tesisi olan 1 MW gücündeki TR-1 araştırma reaktörünün temeli atılmıştır. 1960 tarihinde AEK toplantısında alınan karar ile "atom reaktörü" projesinin ismi, "Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ÇNAEM)" olarak belirlenmiştir. 28 Ekim 1960 tarihinde 'Nükleer Enerji Alanında Hukuki Mesuliyete dair Paris Sözleşmesi' imzalanmış ve bu sözleşme 8 Mayıs 1961 tarihinde onanmıştır. 1962 tarihinde TR-1 araştırma reaktörü "kritik olmuş", ve resmi açılışı yapılarak (ÇNAEM) merkezinin kuruluşu tamamlanmıştır.

## **1965**

Türkiye'de elektrik üretimi için nükleer santral kurulması düşüncesi ilk AEK'nda oluşmuş olsada, ilk çalışmalara 1965 yılında Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) bünyesinde başlanılmıştır. ABD, İsviçre ve İspanya'dan üç firmanın oluşturduğu konsorsiyum EİEİ'ye danışmanlık hizmeti vermiştir.

## **1966**

1966 yılında AEK tarafından Ankara 'da ÇNAEM 'in bir eşi olarak Ankara Nükleer Araştırma veEğitim Merkezi (ANAEM) kurulmuştur. 2005 yılında ANAEM ve Ankara Nükleer Tarım ve Araştırma Merkezi (ANTAM) birleştirilerek Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (SANAEM) oluşturulmuştur.

## **1968-1969**

1968 yılında Türkiye 2. Genel Enerji Kongresi'nde EİE tarafından yürütülen çalışmanın sonuçları tartışılmış ve 1969 yılında ortaya konulan son raporda, 1977 yılında işletmeye girecek 400 MW'lık doğal uranyumlu basınçlı ağır sulu (PHWR) tip nükleer reaktörle işe başlanması önerilmiştir. Bu amaçla fizibilite çalışmaları yapılmış, ancak sonradan bu girişim kesilmiştir. Çünkü, 1968 yılında yürürlüğe giren II. Beş Yıllık Kalkınma Planı'nda söz konusu santral yerine, eğitim amaçlı 80 MW'lık bir prototip nükleer santral kurulması planlanmıştır.

## **1970-1974**

1970 yılında Türkiye Elektrik Kurumu (TEK), 1972 yılında da TEK bünyesinde Nükleer Santraller Dairesi kurulmuştur. Yapılan değerlendirmelere göre, ilk santralin 1983-1984 yıllarında işletmeye girmesi ve bu santralin en az 600 MW gücünde olması gerektiği görüşü ortaya çıkmıştır. Bu ilk santralin elektriksel yük dağılımı açısından Kuzeybatı Anadolu'da kurulması düşünülmüş, Marmara ve Batı Karadeniz'de kurulabilecek yer aranmıştır. Ancak, santral yeri seçimine ilişkin bilimsel ve teknik kriterler, güvenlik faktörleri nedeniyle, Güney Anadolu'da İçel ili Gülnar ilçesine bağlı Akkuyu yöresi uygun bulunmuştur (1974).

Yer seçiminde geniş kapsamlı bilimsel etüdler yapılmıştır. İlgili resmi kuruluşların yanısıra, o dönemin önde gelen üniversitesinden çeşitli bilim adamları çalışmalara katılmıştır. 350 km yarıçaplı alanda yapılmış araştırma sonuçlarına göre, Akkuyu Türkiye'nin en tehlikesiz deprem bölgesi olarak belirlenmiş, Adana yakınından geçen Ecemiş fay hattının da Akkuyu yöresi için tehlike oluşturmadığı saptanmıştır.

## **1976-1979**

1976 yılında Akkuyu yöresine, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu tarafından nükleer sit alanı olarak yer lisansı verilmiştir. Aynı yıl, üçü İsviçre'den biri Fransa'dan dört firmanın oluşturduğu bir konsorsiyum danışman olarak tutulup, 600 MW'lık Akkuyu Nükleer Santrali için ihale çalışmalarına girilmiştir. 1977 yılında tekliflerin değerlendirilmesi sonucu ASEA-ATOM ve türbin kısmı için de STAL-LAVAL adlı İsveç firmalarından oluşan konsorsiyum seçilerek, kaynar sulu reaktör (BWR) yapılması kararı alınmıştır. Reaktörün yapımı için firmalarla sözleşme öncesi görüşmelere başlanmış ancak, İsveç hükümetinin kredi garantisi vermemesi ve ülkemizde de siyasi iradenin ortaya konulamaması sonucu Eylül 1979'da görüşmeler kesilmiştir. O yıllarda enerji ve ekonomi açısından yapılan irdelemeler, Türkiye'de 1995'lerden önce nükleer enerjiye geçme zorunluluğu bulunmadığını gösteriyordu. Yapım süresi göz önünde tutularak, ilk nükleer santralin V. Beş Yıllık Kalkınma Planı döneminin sonunda (en geç 1989) ihale edilmesi öneriliyordu; ancak, bu yapılamamıştır.

Ayrıca 1962 tarihinde açılan TR-1 araştırma reaktörü, artan radyoizotop ihtiyacını da karşılamak için 19 Eylül 1977 'de kapatılmış ve yerine 5 MW-termal gücündeki TR-2 reaktörü kurulması için ihaleye çıkarılmıştır. İhaleyi bir Belçika firması olan Belgonuclear firması kazanarak reaktörün yapımını gerçekleştirmiştir. Bu reaktör Aralık 1981 tarihinde kritik olmuştur. Ayrıca İstanbul Teknik Üniversitesi – Nükleer Enerji Enstitüsü 'nde de 250 kW-

termal gücündeki Triga Mark II reaktörü Mart 1979 'da çalışmaya başlamıştır. Bu reaktör özellikle araştırma ve kısmen de izotop üretimi için kullanılmaktadır.

### **1981-1982**

1981 yılında UAEA ile imzalanan bir sözleşme ile Türkiye mevcut ve kurulacak bütün nükleer tesisleri üzerinde UAEA'nın denetimine kabul etmiştir. 1982 yılında 2690 Sayılı Kanun ile Atom Enerjisi Komisyonu, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) olarak yeniden düzenlenmiştir. Aynı yıl nükleer santral için ihale açılmaksızın, TAEK Başkanlığı aracılığıyla Atomic Energy Canada Ltd (AECL)-Kanada, Siemens&Kraft Werk Union (KWU)-Almanya ve General Electric (GE)-ABD firmalarından teklifler alınmıştır.

### **1983-1987**

14 Kasım 1983 tarihinde Resmi Gazete'de yayınlanan 166 Sayılı ve "Nükleer Elektrik Santralleri Kurumu Kuruluşu" hakkındaki Kanun Hükmünde Kararname ile Nükleer Elektrik Santralleri Kurumu (NELSAK), özel hukuk hükümlerine tabi İktisadi Devlet Teşekkülü olarak kurulmuştur. NELSAK'ın başlıca görevleri; dünyada nükleer santrallerle ilgili gelişmeleri izlemek, Türkiye'nin genel elektrik plan ve programları çerçevesinde nükleer elektrik üretimi için gerekli etüd, araştırma ve projeleri yapmak ya da yaptırmak, nükleer elektrik santralleri kurmak, kurdurtmak, işletmek veya işlettirmek, nükleer santraller için gerekli alt yapı ve yardımcı tesislerin yurt içinde yapılabilecek olanlarını imal, inşa ve tesis etmek veya ettirmek biçiminde sıralanıyordu. Ancak, bu kuruluş kağıt üzerinde kalmıştır.

Hükümet tarafından yapılan açıklamada üç firmanın, Türkiye'de dört nükleer santrali kuracakları söylenmiştir. Buna göre 665 MW ve 990 MW güçlerinde iki ünite Akkuyu'da, 1185 MW gücünde iki ünite Sinop'da kurulacaktı. Akkuyu'da kurulacak santrallerden birinin AECL, diğerinin Siemens-KWU ve Sinop'ta kurulacak iki ünitenin de GE firmaları tarafından yapılması kararlaştırılmıştı. Daha sonra yapılan etütler sonucu, Sinop'da deprem olasılığı nedeni ile santral yapımı için ilk yatırım maliyetinin artacağı ortaya çıkınca, Sinop'ta santral kurulması ile ilgili çalışma durdurulmuştur.

1984 yılında Akkuyu Nükleer Santral üniteleri ile ilgili sözleşme görüşmeleri başlatılmış, AECL ve Siemens-KWU ile 30 Ağustos 1984 tarihinde pazarlık görüşmelerinde anlaşma sağlanmıştır. Ancak, hükümet santrallerin anahtar teslimine göre başlattığı ihale temel koşulunu, Yap-İşlet-Devret koşuluna dönüştürdüğünü açıklayınca, Siemens-KWU işletmeci kuruluş olmadığını belirterek görüşmelerden çekilmiştir. AECL firmasının kurmayı önerdiği ağır

sulu doğal uranyumlu PHWR (CANDU) tipi 665 MW'lık santral için görüşmeler 1987 yılına dek uzamıştır. Ancak, kredi garantisi verilmemesi, hükümetin kömür santrallerini daha elverişli görmesi ve nükleer enerji konusunda siyasi irade ortaya koyamayışı, AECL firmasının mevcut yasal mevzuatla Yap-İşlet-Devret modelini fazla riskli bulması üzerine bu görüşmeler de sonuçsuz kalmıştır. 1986 yılında yaşanan Çernobil kazası da nükleer alanındaki isteksizliği artırmıştır.

### **1988-1991**

Nükleer santralla ilgili bu olumsuz gelişmenin ardından, 1988 yılında TEK'in yeniden yapılandırılması sırasında, Nükleer Santrallar Dairesi kapatıldı ve Termik Santrallar Dairesi'ne bağlı küçük bir Proje Grubu haline getirildi. Bu nedenle, özel olarak yetmişmiş elemanların büyük bir bölümü TEK'den ayrılmış, kalanı da kurumun diğer dairelerinde görevlendirilmiştir. 1989'da Arjantin ile 25 MW'lık pasif sistemli modüler prototip reaktör projesine girilmek istenmiş; ancak, 1991 başlarında yeterli görülmeyen bu girişimden vazgeçilmiştir.

### **1992-1996**

1992 yılında dünyadaki belli başlı firmalara birer mektup gönderilerek, 2002 yılında devreye girecek biçimde ve 1000 MW gücünde bir veya iki üniteli santralin anahtar teslimi veya Yap-İşlet-Devret modeli ile kurulması için teknik ve mali konularda bilgi istenmiştir. Aynı yıl Aralık ayında Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından Bakanlar Kurulu'na sunulan bir raporda, ülkenin başka enerji kaynakları bulamaması durumunda, 2010 yılında büyük bir enerji krizine gireceği belirtilmiş ve bu nedenle mutlaka nükleer enerjiden yararlanılmasına dikkat çekilmiştir. 1993 yılında toplanan Bilim ve Teknoloji Yüksek Kurulu da, nükleer enerjiden elektrik üretimini, ülkenin öncelikli konuları arasında 3. sıraya yerleştirmiştir.

1993 yılında Türkiye Elektrik Kurumu ikiye bölünerek oluşturulan Türkiye Elektrik Üretim A.Ş.(TEAŞ) bünyesindeki Nükleer Santrallar Müdürlüğü ile çalışmalar bir ölçüde yürütülebilmiştir. Bu arada VII. Beş Yıllık Kalkınma Planı için yapılan çalışmalar, ülkemizde 2005 ve 2008 yıllarında devreye alınmak üzere toplam 2000 MW kapasitede nükleer santrallerin kurulmasına gerek olduğunu vurgulamıştır. Nükleer santral ihale şartnamesinin hazırlanması amacıyla, TEAŞ tarafından 1994 yılında müşavir firma seçimi için teklif istenmiş, 1995 yılında Güney Kore'den Korean Atomic Energy Research Institute (KAERI) ve Türkiye'den Göncer Ayalp Mühendislik Müşavirlik Ltd. Şti. (GAMB) Konsorsiyumu ile mühendislik sözleşmesi yapılmıştır. Daha sonra dar bir kadro ile Nükleer Santrallar Dairesi yeniden

oluşturulmuştur. Bu arada hazırlanan şartnameye, 1996 yılında Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın görevlendirdiği üç danışman ve TEAŞ Nükleer Santraller Dairesi'nin iki elemanından oluşan beş kişilik bir komisyon tarafından son şekli verilmiştir.

### **1997-2000**

1997 yılında TEAŞ tarafından yapılan yeni elektrik planlamasında 2020 yılına kadar sisteme yaklaşık 87000 MW'lık kurulu güç eklenmesi öngörülmüş olup, bu ek kapasitede nükleer payı % 11 olarak belirlenmişti. 2020 yılında toplam kurulu güç yaklaşık 109000 MW düzeyine çıkacak ve toplam içinde nükleer payı % 9 olacaktır. Yeni planlamaya göre 2005-2020 döneminde Türkiye toplam 10000 MW'lık nükleer güç kuracaktır.

İhale şartnamesinin hazırlanması sonucu, Şubat 1997'de dördüncü girişim olarak uluslararası nükleer santral ihalesine çıkmıştır. İhale şartnamesinde kurulacak ünite gücünün en az 600 MW, santral gücünün en az 800 MW olması şart koşulmuş, esas teklif olarak en fazla  $1400 \pm \% 5$  MW gücünde bir veya iki üniteli bir santral, opsiyonlu teklif olarak da en fazla  $2800 \pm \% 5$  MW gücünde iki veya dört üniteli santral öngörülmüştür.

15 Ekim 1997'de üç konsorsiyumdan teklif alınmıştır. Bazı firmalar geçmiş ihalelerden olumsuz sonuçlar çıkararak, bu ihaleye katılmamışlardır. Alınan teklifler; Kanada AECL'den 2 tane 670 MW veya 4 tane 670 MW basınçlı ağır su reaktörlü (PHWR tip) CANDU santrali, Alman ve Fransız ortak girişimi olan Nuclear Power International-NPI'dan (Siemens + Fram Atom) basınçlı hafif su reaktörlü (PWR tip) 1482 MW veya 2 tane 1482 MW'lık santral, ABD ve Japonya ortak girişimi olan Westinghouse + Mitsubishi Heavy Industries'den basınçlı hafif su reaktörlü (PWR tip) 1218 MW'lık santral olup, bu teklifte opsiyon bulunmamaktadır. BWR tip santral için bu kez teklif verilmemiştir.

Alınan tekliflerin değerlendirilmesi İspanyol Empresarios Agrupados Internacional S.A. tarafından yapılmış olup, TEAŞ İhale Komisyonu tarafından da değerlendirilmiştir. İhalenin Ağustos 1998 sonunda tamamlanacağını söylenmesine karşın, ihale süreci belirlenen sürede tamamlanamamıştır. Değerlendirme sonucu seçilecek firma ile yapılacak görüşmelerden sonra, 1999 yılı başında sözleşmenin yapılması istenmekteydi. Ancak, bu zamanlamada sarkma olmuştur. Nitekim, nükleer santralin işletmeye giriş tarihi olarak 1997 yılında 2005 yılı rapor edilirken, 1998 yılında işletmeye giriş tarihi 2006/2007 yılı olarak değiştirilmiştir.

## **2000-2010**

2002 yılı sonlarında, Başbakanlığa bağlı lisanslama otoritesi olarak görev yapmakta olan "Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK)", Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığına bağlanmıştır.

2004 yılında, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Nükleer Santral kurulması ile ilgili TAEK'in görevlendirildiğini açıklamıştır. Bu kapsamda, halkı bilgilendirmek amacıyla, TAEK altında "Nükleer Bilgi Birimi" oluşturulmuştur. Kasım 2004 tarihinde, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ve Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, inşasına 2007 yılında başlanacak ve ilk ünite 2012 yılında devreye girecek şekilde toplam 5000 MW'lık üç nükleer reaktör yapılacağını açıklamıştır. Ayrıca, TAEK; 2004 yılında Sinop'ta birçok tesisten oluşan bir Sinop Nükleer Teknoloji Merkezi'nin (SNTM) kurulmasına yönelik çalışmaları başlattığını açıklamıştır.

2005 yılında TAEK tarafından saha belirleme çalışmalarının yapılmakta olduğu açıklanmıştır. 2006 yılı başlarında, TAEK, nükleer santralin nereye yapılacağı konusunda Türkiye genelinde detaylı teknik incelemelerde bulunduğunu, 43 kriteri dikkate alarak, santral kuruluş yeri olarak 8 yer belirlendiğini açıklamıştır. İncelemeler sonucunda, Türkiye'nin ilk nükleer santrali sahası olarak Sinop'un seçildiği açıklanmıştır. 13 Nisan 2006 tarihinde, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, önde gelen 14 özel sektör firma temsilcisinin katılımıyla bir nükleer santral zirvesi düzenlemiş ve nükleer santralin kuruluşu için kamu-özel sektör ortaklığından oluşan İrlanda modeli üzerinde görüşülmüştür. Kasım-2006'da "Nükleer Güç Santrallerinin Kurulması ve İşletilmesi ile Enerji Satışına İlişkin Kanun Tasarısı" Meclis'e sunulmuştur. Bu yasa 17 Ocak 2007 tarihinde TBMM Çevre Komisyonunda, 22 Şubat 2007 tarihinde de TBMM Enerji ve Sanayi Komisyonunda ele alınmıştır.

Bilim Teknoloji Yüksek Kurulunun 7 Mart 2007 tarihli kararı ile TAEK tarafından Ulusal Nükleer Teknoloji Geliştirme Programı (2007-2015) başlatılmıştır. Bu Program kapsamında: TAEK bünyesinde nükleer güç santrallerine yönelik AR-GE altyapısının oluşturulması, nükleer reaktör ve yakıt teknolojileri konusunda çalışmaların yapılması, ulusal nükleer teknoloji altyapısının geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, Sinop şehir merkezine 20 km mesafede 39 milyon metrekaarelik bir alan Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'na tahsis edilmiştir. TAEK bu alanda, araştırma reaktörleri, yakıt çevrim tesisleri, destek tesisleri, nükleer teknoloji AR-GE tesisleri ve eğitim tesisleri kuracağını açıklamıştır. Bu amaçla, Sinop sahasında TAEK tarafından saha çalışmalarına başlanmıştır.

"Nükleer Güç Santrallerinin Kurulması ve İşletilmesi ile Enerji Satışına İlişkin Kanun Tasarısı" 8 Mayıs 2007 tarihinde mecliste kabul edilerek yasalaşmıştır. 24 Mayıs 2007 tarihinde dönemin Cumhurbaşkanı Ahmet Necdet Sezer bu kanunun 3 maddesini yeniden görüşülmek üzere TBMM'ne iade etmiştir. TBMM Enerji ve Sanayi Komisyonu, Sezer'in iade gerekçelerinin de aralarında bulunduğu bazı değişikliklerle 28 Mayıs 2007'de bu kanunu yeniden kabul etmiştir. 20 Kasım 2007 tarihinde Yasa Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Bu yasada; Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının 21 Ocak 2008 tarihine kadar nükleer güç santrallerine ilişkin bir yönetmelik çıkartması, yönetmeliğin ardından bir ay içerisinde de (21 Şubat 2008 tarihine kadar) ilgilenen firmalardan teklif almak üzere Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt A.Ş. (TETAŞ) tarafından ilana çıkılması öngörülmüştür. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, bu yasaya istinaden nükleer güç santrallerinin kurulması ve işletilmesine yönelik dokuz ana kriter açıklamıştır.

6 Mart 2008 tarihinde, Anayasa mahkemesi Nükleer Güç Santrallerinin Kurulmasına yönelik yasanın "Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, görevlerini yerine getirirken özel bilgi ve ihtisas gerektiren işlerde kadro aranmaksızın uygun nitelikli yerli ve yabancı uyruklu sözleşmeli personel çalıştırabilir" hükmünün iptaline karar vermiştir. 18 Mart 2008 tarihinde Nükleer Güç Santrallerinin Kurulmasına yönelik Enerji Bakanlığı tarafından hazırlanan yönetmelik Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. 24 Mart 2008 tarihinde Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt A.Ş. (TETAŞ) Genel Müdürlüğü, Mersin Akkuyu'da kurulacak nükleer güç santrali için "yarışma" adını verdiği bir elektrik satın alma ihalesine çıkmıştır. İlanda santral kurup işletmek için teklifler 24 Eylül'de alınması öngörülmüştür.

24 Eylül 2008 tarihinde yapılan yarışmada, sadece Atomstroyexport-Inter Rao-Park Teknik grubu Rus tipi VVER tasarımı ile teklif vermiştir. 19 Aralık 2008 tarihinde TAEK, Atomstroyexport-Inter Rao-Park Teknik grubunun teklif ettiği Rus tipi VVER tasarımının nükleer güç santrallerinin kurulması ve işletilmesine yönelik yayınladığı dokuz ana kriteri karşıladığını açıklamıştır. 19 Ocak 2009 tarihinde açılan fiyat zarfında Atomstroyexport-Inter Rao-Park Teknik grubunun kWsaat başına 21.16 sent önerdiği ortaya çıkmıştır. Bu fiyat karşısında yarışma süreci belirsiz bir döneme girmiştir.

TAEK, Sinop sahası için Eylül-2009 tarihine kadar yer lisansı verip, aynen Akkuyu ihale sürecine benzer bir şekilde Sinop sahası için de ihaleye çıkılacağını ve daha sonra da Sinop'ta Nükleer Yakıt Zenginleştirme Merkezi kurulacağını açıklamıştır. 10 Kasım 2009 tarihinde Danıştay Nükleer Güç

Santrallerinin Kurulmasına yönelik kanuna dayanan yönetmeliğin 2 maddesini; 'yer tahsisi' ve 'birim satış fiyatı' konularını kapsayan iki maddenin daha yürütmesini durdurmuştur. 20 Kasım 2009 tarihinde Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt A.Ş. (TETAŞ), 24 Eylül 2008 tarihinde gerçekleştirilen yarışmayı iptal ettiğini açıklamıştır.

13 Ocak 2010 tarihinde Rusya ve Türkiye "Türkiye'de Nükleer Santral Tesisi Konusunda İşbirliği Ortak Beyannamesi" başlığında bir anlaşmaya imza atmıştır. Bu anlaşma ile bir ortak komisyon oluşturulup, Akkuyu ile ilgili imzalanacak bağlayıcı bir uluslararası anlaşma metni üzerinde çalışılmaya başlanmıştır.

Güney Kore'nin KEPCO şirketi ile Türkiye'nin EÜAŞ şirketi arasında 10 Mart 2010 tarihinde bir anlaşma imzalanarak Sinop'ta G.Kore tarafından geliştirilmiş APR1400 model basınçlı su reaktörü inşasının ekonomik yapılabilirliği hakkında ortak çalışmaya başlanmıştır. Bu çalışmanın 5 ay sürmesi ve elektrik tarifesi, lisanslama altyapısı, yasal altyapı, proje ve finansman ile ilgili hususlardaki ticari şartlar, çevre, yakıt temini, güvenlik, eğitim, santralin sökülmesi ve atık yönetimi konularının ele alınmasına karar verilmiştir. TAEK Sinop saha çalışmalarının bundan böyle EÜAŞ tarafından yürütüleceğini, TAEK'in lisanslama otoritesi olarak görev yapacağını bildirerek TAEK tarafından 2005 yılı sonrasında gerçekleştirilen saha çalışmaları sonucunda üretilen raporlar toplu olarak EÜAŞ'a gönderilmiştir.

12 Mayıs 2010 tarihinde Türkiye ile Rusya hükümetleri arasında "Akkuyu Sahasında Nükleer Güç Santralinin Tesisine ve İşletimine Dair İşbirliği Anlaşması" imzalanmıştır. Bu anlaşmaya göre, Akkuyu sahası %100 Rus olarak kurulacak bir proje şirketine bedelsiz olarak teslim edilecektir. Rus proje firması, kuracağı VVER1200 tipi 4 nükleer santral ünitesinin, santral yardımcı tesislerinin ve üretilen elektriğin sahibi olacak, santrali işletecek ve 15 yıllık alım garantisi ile Türk tarafına elektrik satacaktır. Bazı anlaşma maddeleri Rus yapımı tesisler Akkuyu sahasında bulunduğu sürece devam edecektir. 15 Temmuz 2010 tarihinde Türkiye ile Rusya arasında Akkuyu'da nükleer güç santralının tesisi ve işletiminde işbirliğine dair imzalanan anlaşma TBMM Genel Kurulu'nda kabul edilmiştir.

20 Temmuz 2010 tarihinde dönemin Cumhurbaşkanı Abdullah Gül, "Türkiye ile Rusya Arasında Akkuyu'da Nükleer Güç Santralinin Tesisine ve İşletimine Dair İşbirliğine İlişkin Anlaşmayı Onaylayan Kanun"u onayladı. 6 Ekim 2010 tarihinde Türkiye ve Rusya arasındaki Akkuyu Nükleer Santrali'ne ilişkin anlaşma Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girdi.

13 Kasım 2010 tarihinde Enerji Bakanı Sn. Taner Yıldız, Güney Kore ile Sinop sahasında nükleer enerji santrali yapımı konusunda mutabakat sağlanamadığını bildirmiştir. 16 Kasım 2010 tarihinde Türkiye ve Rusya arasındaki Akkuyu Nükleer Santrali'ne ilişkin anlaşma çoğunluğun oyu ile kabul edildi. 24 Kasım 2010 tarihinde, Rus Parlamentosunun üst kanadı Federasyon Konseyi'nde bütün senatorlerin de evet oyuyla kabul edildi. 29 Kasım 2010 tarihinde Rusya Devlet Başkanı Medvedev tarafından da onaylanarak, Akkuyu'yu Rusya'nın santral sahası haline dönüştürecek anlaşma Rusya'da da resmen yürürlüğe girmiş oldu.

2011 yılı sonu itibarıyla, Akkuyu Nükleer Santrali ile ilgili EPDK ve Çevre Bakanlığına başvuruların yapılması beklenmektedir. Öte yandan Türkiye, Rusya ile olan ilişkilerinin yanı sıra Japonya ve Fransa ile de temas içindedir.

## 9. Türkiye'nin Nükleer Enerji Çalışmalarına AB, ABD ve Rusya'nın Etkisi, Olası Ortaklıklar

Dünyada nükleer enerji çalışmaları, farklı ülkelerde farklı girişimlerle, aşağı yukarı eş zamanlı başlamıştır. İkinci dünya savaşı öncesi ve sırasında, nükleer enerjinin silah yapımı amacıyla kullanılması, dördüncü başlık altında tartışıldığı gibi, savaşa taraf ülkelerin önceliğiydi. Bu yüzden de, ülkeler arasında, bilgi, veri ya da teknoloji paylaşımı yoktu.

Özellikle Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) “Atoms for Peace – Barış için Atom-” hareketiyle nükleer enerjinin elektrik üretimi için kullanılması başlamış, ABD, o zamanki Sovyetler Birliği (SSCB), Kanada ve İngiltere'de, bu ülkelere özgü nükleer santraller tasarlanarak işletmeye alınmıştır.

Raporun önceki kısımlarında bahsedildiği gibi, dünyada en yaygın kurulmuş olan santral tipleri Basınçlı Hafif Su Reaktörlü (PWR) ve Kaynar Hafif Su Reaktörlü (BWR) santralleridir ve bu tipler ABD ve SSCB'de tasarlanıp, özellikle ABD'deki tasarımcı şirketlerin kurduğu ortaklıklarla Fransa, Japonya, Almanya ve Güney Kore'de de ufak tasarım değişiklikleriyle işletmeye alınmıştır. Daha sonra bu ülkeler, santral tasarım, inşa, yakıt üretimi ve işletmesini yapabilecek teknolojiye sahip olmayı başaramışlardır.

SSCB menşeli tasarımlar ise, geçmişte, doğu bloku ülkelerinde kurulup işletilmişlerdir. Bu ülkelerde santrallerin işletilmesi ve tasarım analizleri yapılması ile ilgili bilgi ve tecrübe birikimi oluşmakla birlikte, tasarım yapılması, yakıt üretimi ve inşaat ile ilgili teknolojilere sahip olunamamıştır.

Kanada menşeli santraller dünyada farklı ülkelerde işletmeye alınmış olmakla birlikte, bu santrallere ait, yakıt üretimi dışında, tüm teknoloji Kanada'nın ilgisi dahilinde kalmıştır. İngiltere ise, başka ülkelere nükleer santral kurmamıştır.

Günümüzde, başka ülkelerde nükleer santral tesisi konusunda Rusya, ABD, Japonya, Fransa ve Güney Kore lider konumdadır. Bu ülkeler -ABD hariç- kurdukları santralleri işletmeye de talip olmaktadır.

Nükleer enerjinin kullanımı söz konusu olduğunda ülkeler arasındaki işbirliği ya da ortaklıkların üç boyutu bulunmaktadır. Bunlar, nükleer maddelerin barışçıl amaçlarla kullanılması, ticari ilişkiler ve teknoloji paylaşımı olarak tanımlanabilir.

Nükleer teknolojiye sahip ülkelere, özellikle ABD ve AB ülkeleri, nükleer teknolojiye sahip olmak isteyen ülkelerin, elde edecekleri nükleer

malzemeleri ya da teknolojileri silah yapımında kullanmalarından çekinmekte ve bunu engellemeye çalışmaktadırlar. Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (UAEA) aracılığıyla nükleer enerjinin barışçıl amaçlarla kullanılması için düzenlemeler, denetlemeler ve araştırmalar yapılmaktadır. Nükleer enerjiyle ilgili olarak etkinlik gösteren küresel organizasyonlar da (Dünya Nükleer Birliği, Dünya Enerji Konseyi gibi) nükleer enerjinin barışçıl amaçlarla kullanılması için çalışmalar yürütmektedirler.

Yakın zamanda, ABD, nükleer teknolojinin etkin bir şekilde, yalnızca barışçıl amaçlarla kullanılması konusunda önderlik yapma niyetiyle, küresel bir ortaklık kurulması için girişimler başlatmış ve bu amaçla Global Nuclear Energy Partnership (GNEP, Küresel Nükleer Enerji İşbirliği) kurulmuştur.

GNEP, esas olarak, nükleer santrallerin yakıt döngüsü sonucu, silah yapımında kullanılabilir malzemelerin nükleer teknolojiye yeni girmekte olan ülkeler tarafından elde edilmesinin engellenmesini hedeflemektedir. ABD, Rusya, Çin, Japonya ve Fransa; 21 Mayıs 2007'de bakanlar düzeyinde yaptıkları ilk toplantıda, kuruluş ilkelerini onayladılar. Girişim, nükleer enerjiye geçmek isteyen ülkelere, yakıt işleme teknolojisinden uzak durmaları karşılığında yakıt garantisi vermektedir. Garantiye, kullanılmış yakıtın geri alınması da dahil olabilecektir. 16 Eylül 2007'de Viyana'da yapılan ikinci toplantıda; ortaklığa 11 ülke daha katılarak üye sayısı 16 ya çıktı. Bugün 25 üyesi olan GNEP' te, Türkiye gözlemci konumundadır<sup>98,99</sup>.

UAEA'nın, GNEP'in kuruluş amaçlarını başarmaya yönelik önerileri bulunmaktadır. UAEA, uluslararası bir yakıt bankası oluşturarak, nükleer enerjiden yararlanmak isteyen ülkelere yakıt güvencesi sağlanmasını, kullanılmış yakıtların da, yine uluslararası çabalarla kurulacak jeolojik depolarda saklanmasını önermektedir. Birleşmiş Milletler çatısı altındaki uluslararası bir yapının sağlayacağı güvencenin, ABD'nin başını çektiği bir oluşum tarafından sağlanana oranla daha az siyasi olması beklenmektedir. Kullanılmış yakıtın olduğu gibi saklanması, yüksek aktivitesi nedeniyle, içeriğindeki silah yapımında kullanılabilir malzemelerin barışçıl olmayan amaçlarla kullanılmasını engelleyecektir.

Özetlemek gerekirse, üye ülkeleriyle birlikte gelişmiş enerji girişiminin bir parçası olan GNEP, nükleer enerjinin barışçıl amaçlarla ve dünya genelinde güvenli biçimde kullanımının yayılmasına yönelik aynı vizyona sahip ülkeler arasında işbirliği sağlamaktadır. GNEP'e "tam ortaklık" için GNEP İlkeler

---

<sup>98</sup> <http://www.world-nuclear-news.org/newsarticle.aspx?id=14060>

<sup>99</sup> <http://www.inl.gov/featurestories/2007-09-19.shtml>

Belgesi'nin imzalanması gerekmektedir. Bu işbirlikte tüm ülkeler eşit düzeyde temsil edilmekte ve kararlar oybirliğiyle alınmaktadır. GNEP'e tam üye olmak yalnızca başı çeken ABD ile değil; Ermenistan, Bulgaristan, Çin, Avustralya, Kanada, Fransa, İtalya, Japonya, Gürcistan, Güney Kore, Ukrayna, İngiltere, Fas, Macaristan vb gibi toplam 25 ülke ile ortak olmak anlamına gelmektedir. Bu bağlamda, UAEA ile işbirliği içerisinde bulunan GNEP, nükleer silahların kullanımının önlenmesini amaçlamaktadır<sup>100</sup>.

Yakın zamanda, ABD ve AB ülkeleri ile UAEA, nükleer teknolojinin barışçıl amaçlarla kullanılmasını sağlamak amacıyla, İran ve Kuzey Kore'ye diplomatik olarak baskılarını arttırmıştır. Pakistan ve Hindistan, herşeye rağmen nükleer silah yapımlarını gerçekleştirmiştir. Kimi zaman ülkelerin müdahaleleri diplomatik girişimlerin dışına çıkmakta, askeri müdahaleler de (başka bir ülkedeki şüpheli bir tesisin imha edilmesi gibi) gerçekleşebilmektedir<sup>101</sup>.

Raporun dördüncü kısmında bahsedildiği gibi, nükleer silahlanma ülkelerin politik ya da askeri tercihi olabilmektedir. Ancak bu tercihin yaratabileceği engelleme çalışmaları ve diplomatik/askeri baskılar gözönünde bulundurulmalıdır. Dünya kamuoyu önünde terörist ülke olarak tanımlanan ülkeler, nükleer teknolojiyi barışçıl olmayan amaçlarla kullanma “niyetleri” olduğu iddiasıyla suçlanmaktadır.

Nükleer teknolojinin barışçıl amaçlarla kullanılmasıyla ilgili ticari ilişkiler, nükleer enerjinin gerek elektrik üretimi gerekse sanayinin başka uygulamalarında kullanılmasıyla ilgili kurulan kar amaçlı ilişkileri içermektedir. Küresel boyutta artan elektrik enerjisi ihtiyacı, gerek gelişmiş gerekse de gelişmekte olan ülkeler için nükleer santrallerin kurulmasını ilgi çekici hale getirmiştir. Bunun sonucunda, nükleer santral yapımı ve bununla ilgili teknolojilerde girişimler artmış, bu da nükleer teknolojiye sahip ülkelerin başka ülkelerde nükleer santral yapma çalışmalarının artmasına sebep olmuştur. Buna bir örnek, ülkemizde Rusya ile yapılan anlaşma ve Güney Kore, Japonya ve Fransa ile başlatılan görüşmelerdir.

Ülkemizde, nükleer santral kurulmasının etkileri önceki kısımlarda anlatılmıştır. Rusya ile yapılan anlaşma, Türkiye'de finansmanı tamamen Rusya tarafından sağlanacak olan ve aslında Rus şirketinin sahibi olacağı ve işleteceği bir nükleer santral yapılması ile ilgilidir. Türkiye bu anlaşma

---

<sup>100</sup> [http://www.world-nuclear.org/info/inf117\\_gnep.html#Notes](http://www.world-nuclear.org/info/inf117_gnep.html#Notes)

<sup>101</sup> World Nuclear University, World Nuclear Association, Eylül 2008, Ankara, Türkiye

sonucu sadece 15 yıl boyunca üretilecek enerjinin %50 sini ekonomik bir fiyatla alma garantisi vermiştir. Üretilecek diğer elektrik enerjisi piyasaya satılacaktır. Bu, Rusya açısından karlı bir ticari girişim olup Türkiye’de nükleer santral sahibi olma konusunda kararlılık sürdükçe hep karlı olacak bir yatırımdır. Bu yüzden, Güney Kore ve Fransa da ülkemizde nükleer santral kurma konusunda isteklidir. Türkiye’nin nükleer santral sahibi olma girişimleri, nükleer teknolojiyi barışçıl amaçlarla kullanma niyetini sürdürdükçe, ticari kar ve uluslararası prestij kazanma söz konusu olduğundan başka ülkeler tarafından ilgi çekici bulunacak ve destek görecektir.

Türkiye’ye nükleer santral kurmak isteyen ülkelerin teknoloji transferi konusunda ne kadar destekleyici ya da iyi niyetli oldukları konusu ise oldukça önemli bir tartışma konusudur. Nükleer santral sahibi olmak, teknolojiye sahip olmak anlamına gelmemektedir. Nükleer santral teknolojisine sahip olmak tasarımdan işletmeye, malzeme ve parça üretiminden, yakıt, yakıt yükleme ve atık yönetimine dek nükleer santral teknolojisinin önemli konularıyla ilgili çalışmaları, üretimleri, geliştirmeleri ve iyileştirmeleri yapabilmek demektir. Ayrıca, nükleer teknolojiye sahip bir ülkede, inşattan işletmeye bir çok aşamanın denetlenmesi ve lisanslamasının nasıl yapılacağı ile ilgili çalışmalar yürütülmelidir. Özetle, nükleer teknolojiye sahip olan ülke teknoloji üretmelidir.

Nükleer santralin kurulup, bu santrallerden ucuz, sürekli, güvenli elektrik üretmek ise, lisanslama ve denetleme aşamaları dışında çok karmaşık bir süreç olmayabilir. Düzgün denetleme ve düzenleme ve –yapılacaksa- güvenli işletme nükleer santral sahibi olmak için yeterli olmakla birlikte, teknoloji sahibi olmak için yukarıda anlatıldığı gibi daha fazlasını yapmak gerekecektir.

Nükleer teknolojiye sahip olmak ve teknoloji transferini başarıyla gerçekleştirmek ile ilgili verilebilecek en güzel örnek Güney Kore’de yapılanlardır. Güney Kore’de kurulan ilk nükleer santraller, PWR ve CANDU (Kanada Basınçlı Ağır Su) tipi santraller olmuştur. Bu santraller anahtar teslimi alınmış, yerli katkı zamanla, yeni santral yapımlarında artmıştır. Bugün Güney Kore CANDU ve PWR yakıtı üretir durumdadır ve PWR teknolojisine başka ülkelerde nükleer santral yapacak (Türkiye’de nükleer santral kurmaya da talip olmak üzere) şekilde sahip olmuş durumdadır. Güney Kore nükleer teknolojiye sahip olabilmıştır ve teknoloji sahibi olmak konusunda gerçek başarı PWR tipleri için elde edilmiştir.

Bunun tarihsel, teknik ve ekonomik çeşitli nedenlerinden en önemlisi, bu santrali yapan firmalarla kurulmuş ilişkilerdir <sup>102</sup>.

Nükleer teknolojide lider konumundaki ülkelerden ABD, nükleer teknolojinin barışçıl amaçlarla kullanılması koşuluyla işbirliği yaptığı ülkelerle, elde edilen teknolojiyi başka ülkelerle paylaşmamak konusunda anlaşmalar yapmaktadır. Bu durumda, nükleer teknoloji elde etmek için ABD ile yola çıkmış ülkeler (örneğin yakın zamana kadar Güney Kore), başka bir ülkeye bu teknolojiyi transfer etme konusunda sorun yaşamaktadır.

Özetle, nükleer teknolojiye barışçıl amaçlarla sahip olmak isteyen ülkeler için nükleer santral sahibi olmak konusunda, diğer ülkelerce politik bir engelleme söz konusu olmamaktadır. Hatta, karlı ticari yatırımlar olarak, Türkiye gibi ülkelerin nükleer santral projeleri teknolojiye sahip ülkelere cazip bulunmaktadır. Ancak teknoloji transferinin gerçekleşmesi için Türkiye’de bağımsız ve dikkatle projelendirilmiş çalışmalar başlatılması gerekmektedir.

---

<sup>102</sup> Şule Ergün, “Kaynar Su Reaktörlü Nükleer Santral Tasarımı”, EkoEnerji, Sayı 48, 3 Ocak 2011.

## 10. Sonuç

Nükleer santraller, elektrik üretiminde gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için önemli seçimler olmaya devam etmektedirler. Bu rapor, Türkiye böyle bir seçimi yaparken, nükleer santraller, nükleer teknoloji ve bu teknolojiye sahip olmanın olası etkileri ile ilgili konuları içermektedir. Raporun içeriği aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- 1) Nükleer santral teknolojisi güvenli ve sürekli elektrik üretimi için kendini ispatlamış ve sürekli gelişmekte olan bir teknolojidir.
- 2) Gelişmiş ülkelerde nükleer santrallerden elektrik üretilmekte, bunun yanında teknoloji de geliştirilmektedir.
- 3) Özellikle geçmişte yaşanan tecrübeler ışığında, nükleer santraller güvenli ve çevre ve insan sağlığını tehdit etmeyecek şekilde tasarlanmış ve işletilmektedirler.
- 4) Türkiye elektrik piyasasında, nükleer santrallerin kullanımıyla fiyatlar düşecek, sera gazı salınımları azalacak ve artan talep güvenli bir şekilde karşılanacaktır.
- 5) Nükleer santral ve teknoloji sahibi olmakla ülkemiz, politik, ekonomik ve teknolojik olarak güçlenecektir.
- 6) Nükleer santral ya da teknoloji sahibi olmak nükleer silah sahibi olmak anlamına gelmemektedir. Nükleer silah sahibi olmak bir tercih meselesidir ve günümüzde ülkelerin nükleer silah sahibi olma girişimleri uluslararası arenada tepki ile karşılanmaktadır. Nükleer silah sahibi ülkeler, silahsızlanma girişimlerine devam etmektedirler.
- 7) Türkiye, nükleer enerji alanında nükleer güvenlik, hukuki sorumluluk, nükleer silahların yayılmasının önlenmesi gibi çoktaraflı anlaşmalara ve çeşitli ülkelerle nükleer enerji alanında ikili anlaşmalara taraftır.
- 8) Geçmişte Türkiye’de nükleer santral kurulması için girişimlerde bulunulmuş, yanlış yatırım modelleri, ülkenin ihtiyaçları, durumu ve planlama problemleri yüzünden bu girişimler başarısız olmuştur. Bugün, Rusya ile Akkuyu sahasında 4 üniteli bir nükleer santral kurulması için anlaşma yapılmıştır. Sinop sahası için ise farklı ülkelerden şirketlerle görüşmeler devam etmektedir.
- 9) Türkiye gibi nükleer teknoloji sahibi olmak isteyen ülkeler ekonomik, ticari ve teknoloji transferi alanlarında nükleer teknolojiye sahip olan ülkeler tarafından desteklenirken, nükleer teknolojinin barışçıl amaçlar dışında kullanılmaması için uluslararası tedbirler alınmaya devam edilmektedir.
- 10) Diğer endüstriyel sektörler olduğu gibi nükleer kazalarda meydana gelmektedir. Nükleer güç santrallerindeki kazalar diğer sektörlerdeki kazalardan farklı olarak daha büyük alanlara yayılabilmekte ve uzun

sürelî olabilmektedir. Bu kazaların meydana gelmemesi için santral tasarımından işletme yönergelerine kadar gereken önlemlerin alınması için katkıda bulunmaya FMO olarak hazırız.