

DÜNYADA NÜKLEER ENDÜSTRİNİN DURUMU

Nedim Bülent Damar
EMO Enerji Çalışma Grubu Başkanı

Mycele Schneider ve Antony Froggatt yönetiminde; nükleer güç konusunda araştırma yapan birçok uzmanın katılımı ile “Dünya Nükleer Endüstri Görünüm Raporu 2015” (The World Nuclear Industry Status Report 2015) isimli bir çalışma Temmuz 2015 tarihinde yayımlandı.

Dünyadaki nükleer santraller ve bu konudaki gelişmelerle ilgili önemli bilgiler içeren bu çalışmanın nükleer güç santrallerinin dünyadaki mevcut durumunu anlatan genel bakış bölümünden bu yazıda kısa bir derleme yapılmıştır.

Bu derlemenin amacı; bağımsız ve güvenilir bir kaynaktan dünyada nükleer santrallerin durumu, mevcut ve yapılmakta olan nükleer santraller, nükleer santral yapımının başlangıcından bugüne kadar olan değişimleri; gerçekleştirmeler bazında rakamlarla açıklayarak, ülkemizde de yapılmaya çalışılan nükleer santraller hakkında dünyadaki gelişmeleri aktarmaktır.

“Nükleer Rönesans” Sözde Var, Gerçekte Yok

Bilindiği gibi nükleer santrallerin yoğun bir şekilde inşa edilmesi taraftarlarının dile getirdiği en önemli konulardan biri nükleer santraller vasıtası ile yarımın temiz havalı (düşük karbonlu) dünyasının yaratılacağıdır.

Bu görüşle 1990’lı yıllarda “Nükleer Rönesans” başladığı, 3. jenerasyon nükleer santraller ile bu amaca ulaşılabileceği ifade edilmiş ve ABD ile İngiltere’nin başını çektiği çalışmalara başlanmıştır. Ancak raporda belirtildiği üzere; bu söylemlerin dillendirildiği tarihlerden bu yana aradan geçen 20 yıldan fazla zamanda 3. jenerasyon tipi herhangi bir reaktör devreye alınmamıştır. 2013 yılı itibarı ile 3. jenerasyon nükleer reaktörlerin yapım maliyetleri öngörülenden 8 kat artmıştır. Mayıs 2015 tarihi itibarı ile inşa halinde olan 18 adet jenerasyon 3 tipi nükleer reaktör vardır ve bunlardan yalnızca 2 adetinin projede öngörülen süreye uygun olarak yapımı devam etmektedir, geriye kalanların yapımına 2 ile 9 yıllık gecikmelerle devam edilmektedir. Dolayısı ile “Nükleer Rönesans’ın” 20 yıllık tarihinde öngörülen jenerasyon 3 tipi herhangi bir reaktör devreye alınmadığı gibi 8 kata varan maliyet artışları ve yapım sürelerindeki büyük gecikmeler bu tip reaktörlerin yapımında önemli sorunların olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Nükleer güç teknolojisi için dile getirilen ikinci yenilik ise jenerasyon 4 tipi küçük modüler reaktörler olmuştur. Her ne kadar bu teknoloji “Gelişmiş nükleer teknoloji” (advanced nuclear reactors) olarak adlandırılrsa da bu teknolojiye ilişkin çalışmalar 1960’larda başlamış olup bugüne kadar endüstriyel bir gelişme olmamıştır.

Nükleer teknoloji alanında konuşulan üçüncü yenilik ise yakıt olarak uranyum yerine toryumun kullanılması yönündeki argümanlar olmuştur. Ancak 50 yıldan beri konuşulmakta olan bu konuda da herhangi bir somut gelişme olmadığı

gibi önümüzdeki 20 yılda da özellikle maliyet düşürücü bir gelişme olabileceği düşünülmektedir.

2014 ve 2015’in Nükleer Bilançosu

2014 yılında 3 adedi Çin’de, birer adedi de Arjantin ve Rusya’da olmak üzere 5 reaktör devreye girmiş ve ABD’deki Vermont Yankee Reaktörü de kapatılmıştır.

2015’in ilk yarısında Çin’de 4 ve Güney Kore’de 1 olmak üzere 5 reaktör devreye alınmış ve 2 reaktör kapatılmıştır (Belçika ve Almanya).

Dünyada 31 ülkede 391 adet nükleer reaktör işletmededir. Toplam kurulu gücü 337 bin megawatttır. Bu rakamlara uzun dönemli servis dışı bırakılmış olan Japonya’da ki 40 reaktör ile İsveç’teki 1 reaktör dahil değildir. Japonya’daki Fukushima Daiichi ve Daini santrallerindeki 10 reaktör de daimi kapatılan reaktörler sınıfına ayrıldığından işletmedeki reaktör sayısına dahil edilmemiştir.

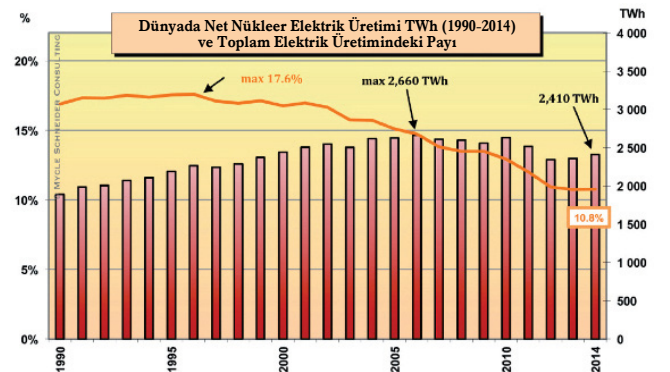
Japonya’da 2014 yılında nükleer reaktörlerden hiç elektrik üretilmemiştir.

Dünyada 2014 sonu itibarı ile işletmede olan nükleer reaktörlerden üretilen elektrik enerjisi Şekil 1’de gösterilmiştir.

Şekil 1’den görüleceği üzere 2014 yılında nükleer santrallerden üretilen enerji bir önceki yıla göre yüzde 2.2 yükselmiş, ancak en fazla üretim yapılmış olan 2006 yılına göre yüzde 9.4 oranında azalmıştır.

Dünyada nükleer santrallerden üretim 19 ülkede artmış, 9 ülkede azalmış ve 3 ülkede ise yaklaşık aynı kalmıştır. En büyük üreticiler olan ABD, Fransa, Rusya, Güney Kore ve Çin dünya nükleer üretiminin yüzde 69’unu gerçekleştirirken, ABD ve Fransa toplamın yaklaşık yüzde 50’sini üretmişlerdir.

Dünya ülkelerinin 2014 üretimleri ve şimdiye dek nükleer santrallerden yaptıkları en yüksek üretim değerleri Şekil 2’de gösterilmektedir.



Kaynak: Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu-Nükleer Reaktör Bilgi Sistemi (IAEA-PRIS), BŞ MSC (Mycele Schneider Consulting)

Şekil 1: Dünyada Nükleer Elektrik Üretimi

Dünyada nükleer enerjiden elde edilen elektriğin payı son 3 yılda değişmemiş ve yüzde 10.8 seviyesinde kalmıştır. Ancak 1996 yılındaki yüzde 17.6 oranındaki payı devamlı bir düşme kaydetmiştir. 2014 yılında üretilen ticari primer enerji göz önüne alındığında nükleer enerjinin payı son yıllarda değişmemekte ve yüzde 4.4 oranında seyretmektedir. Bu oran 1984 yılı sonrasındaki en düşük orandır.

Ülkelerin nükleer santrallerden ürettikleri elektriğin toplam elektrik üretimleri içindeki payı Şekil 3'te gösterilmiştir.

Dünyada nükleer santraller gerek teknik ömürlerinin dolması gerekse güvenlik nedeni ile kapatılmaktadırlar. 1970 yılından 1990 yıllarına kadar süren nükleer santrallerin sayı ve kapasite olarak artışları 2000'li yıllarda durmuş ve giderek kapatılan reaktör sayısı yeni devreye alınanlardan fazla olmaya başlamıştır. Son birkaç yılda ise özellikle Çin ve Hindistan gibi gelişmekte olan ülkelerde faaliyete alınan yeni reaktörler işletmede olan reaktör sayısını arttırmaktadır.

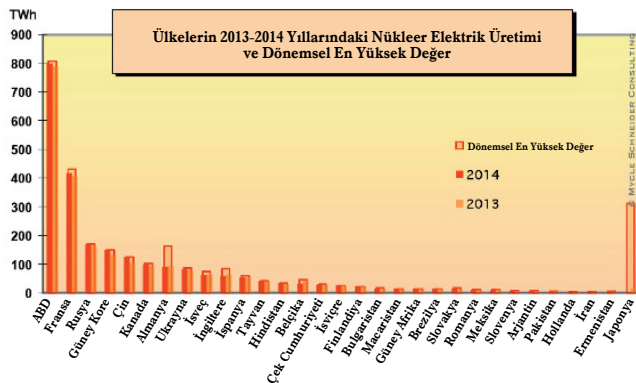
Yıllara göre işletmeye alınan ve kapatılan reaktör sayıları Şekil 4'te verilmiştir.

Dünyada yapılan nükleer reaktörlerin yıllara göre sayı ve kapasiteleri ise Şekil 6'da gösterilmektedir. Buradan görüleceği üzere 1990'lara kadar sürekli artan kapasite bu tarihten sonra bir süre aynı kalmış, daha sonra ise düşmeye başlamıştır.

Reaktör sayılarının üretimin fazlaca değişmemesi küçük kapasiteli reaktörlerin kapatılıp yerlerine daha büyüklerinin devreye alınması ve son yıllarda yapılmaya başlanan reaktör kapasite artırımları vasıtası ile olmuştur. Örneğin ABD'de 7 bin 300 MW kapasite artırımına onay verilmiş ve bunun büyük bir bölümü gerçekleşmiştir. Ancak bu işlemlerin de sonuna gelmiş gibi görünmektedir. ABD'de 2011'de 20 olan kapasite artırım işlemleri 2014'de 1 adede düşmüştür.

İnşa Halindeki Nükleer Reaktörler

2015 yılı Temmuz ayı itibarı ile dünyada 62 nükleer reaktör inşa halinde kabul edilmektedir. Bu reaktörlerin yüzde 80'i Asya ve Doğu Avrupa'dadır. 24 adedi Çin'dedir. Bu reaktörlerin yüzde 60'dan fazlası yalnızca 3 ülkededir; Çin, Hindistan ve Rusya. 2013 yılında 10 reaktörün inşasına başlanmıştır. Tablo 1'de inşa halindeki reaktörlerin listesi verilmiştir.

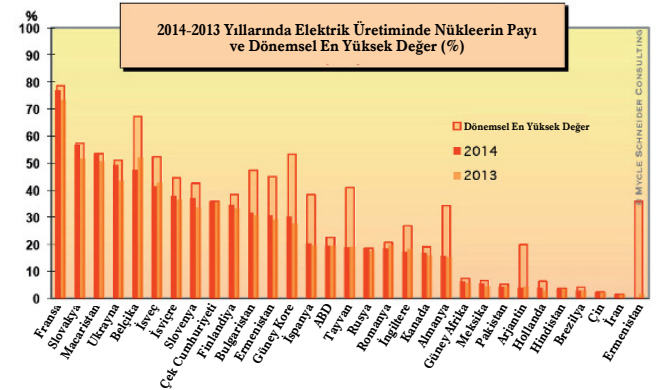


Kaynak: Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu-Nükleer Reaktör Bilgi Sistemi (IAEA-PRIS), BP, MSC (Mycle Schneider Consulting)

Şekil 2: Ülkelerin Yıllık Nükleer Elektrik Üretimi ve Dönemsel En Yüksek Değerleri

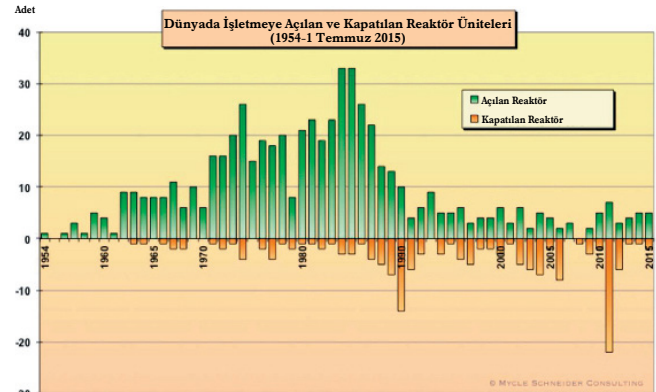
İnşa halindeki reaktör sayısı 1990 yılından sonraki en yüksek seviyesindedir, ancak yine de 1979 yılındaki toplam kapasitesi 200 bin MW olan 234 sayısının hayli altındadır. Başka bir husus da 1979 yılında inşa halinde olan 234 reaktörün 48 adedinin henüz bitirilememiş olmasıdır.

2014 yılındaki inşa halindeki reaktörlerin kapasitesi 59 bin 33 MW ile 2013 yılına göre yüzde 7.3 oranında bir düşme göstermiştir.



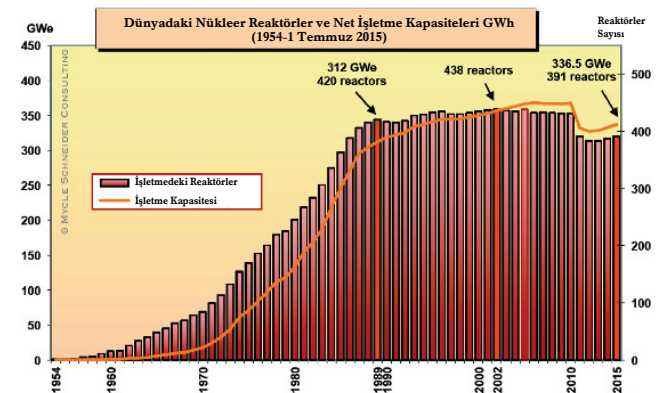
Kaynak: Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu-Nükleer Reaktör Bilgi Sistemi (IAEA-PRIS), BP, MSC (Mycle Schneider Consulting)

Şekil 3: Ülkelerin Toplam Elektrik Üretiminde Nükleer Enerjinin Payı ve En Yüksek Değerleri



Kaynak: Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu-Nükleer Reaktör Bilgi Sistemi (IAEA-PRIS), BP, MSC (Mycle Schneider Consulting)

Şekil 4: Nükleer Reaktörlerin Şebeke Bağlantıları ve Kapatılanlar (1954-2015)



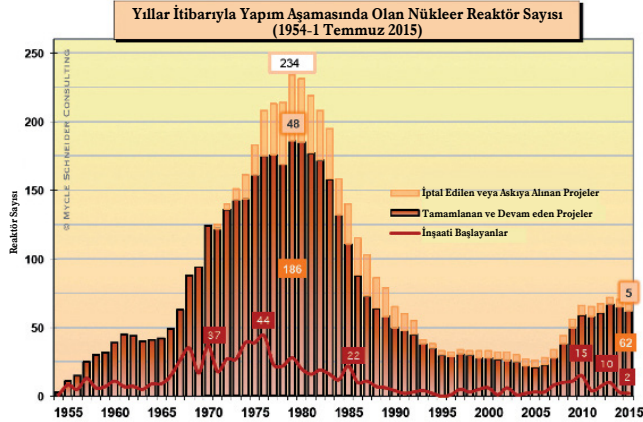
Kaynak: Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu-Nükleer Reaktör Bilgi Sistemi (IAEA-PRIS), BP, MSC (Mycle Schneider Consulting)

Şekil 6: Dünya Nükleer Reaktör Filosu (1954-2015)

Dünyada inşa halindeki santrallerin genel durumu yıllara göre Şekil 7'de gösterilmektedir. Burada dikkat edilecek husus; 1980'lerdeki nükleer santral yapma isteğinin sonraki yıllarda hızla nasıl düştüğü gerçeğidir.

Tablo 1: 1 Temmuz 2015 İtibarıyla İnşa Halindeki Reaktörler

Ülke	Reaktör (Ad.)	MWe (net)	İnşaat Başlangıcı	Şebeke Bağlantısı	İşletmeye Girişi Ertelenen (Ad.)
Çin	24	23,738	2009-2015	2015-2021	15
Rusya	8	6,262	1983-2010	2015-2019	8
Hindistan	6	3,907	2001-2011	2015-2019	6
ABD	5	6,320	1972-2013	2016-2020	5
Güney Kore	4	5,360	2008-2013	2016-2018	4
Birleşik Arap Emirlikleri	3	4,035	2012-2014	2017-2019	?
Beyaz Rusya	2	2,218	2013-2014	2019-2020	?
Pakistan	2	630	2011	2016-2017	2
Slovakya	2	880	1985	2016-2017	2
Ukrayna	1	1,900	1986-1987	2019	2
Arjantin	1	25	2014	2018	?
Brezilya	1	1,245	2010	2018	1
Finlandiya	1	1,600	2005	2018	1
Fransa	1	1,600	2007	2017	1
TOPLAM	62	59,033	1972-2015	2015-2021	47



Kaynak: Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu-Nükleer Reaktör Bilgi Sistemi (IAEA-PRIS), BŞ MSC (Mycele Schneider Consulting)

Şekil 7: İnşa Halindeki Nükleer Reaktörler

Tablo 2: Reaktörlerin Yapım Süresi (2005-2015)

Ülke	Reaktör (Ad.)	Ortalama Zaman (Yıl)	En Az (Yıl)	En Fazla (Yıl)
Çin	18	5.7	4.4	11.2
Hindistan	7	7.3	5.1	11.6
Güney Kore	5	4.9	4	6.4
Japonya	3	4.6	3.9	5.1
Rusya	3	28.0	25.3	31.9
Arjantin	1	32.9	32.9	32.9
İran	1	36.3	36.3	36.3
Pakistan	1	5.3	5.3	5.3
Romanya	1	24.1	24.1	24.1
TOPLAM	40	9.4	3.9	36.3

Nükleer Reaktörlerin Yapım Süreleri

Nükleer reaktörlerin yapım süreleri belirsizliğini korumakta ve genelde 5 yıllık yapım süreleri öngörülmekte ise de devamlı gecikmelerle karşılaşabilmektedir:

- Temmuz 2015 tarihi itibarı ile yapım aşamasında olan 62 reaktör ortalama 7.6 yıldır yapım halindedir.

- Yapım aşamasında olan reaktörlerden 47 adedi kesin olarak gecikmiştir. Geri kalan 15 adedinin ise (bunlardan 9 adedi Çin'dedir) yapım programına uygun olarak inşasının devam edip etmediğini tahmin etmek oldukça güçtür.

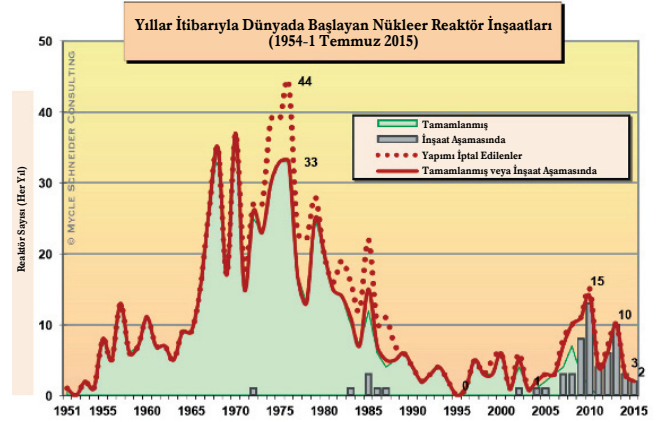
- Dünyada yapımı süren 5 reaktör yapım programlarına göre 30 yıl gecikmiştir.

2005 ile 2015 yılları arasında yapımına başlanan nükleer reaktörlerin yapım süreleri ile ilgili bilgiler Tablo 2'de verilmiştir.

Başlanıp İptal Edilen Nükleer Reaktörler

Yapımına başlanan ve daha sonra iptal edilen nükleer reaktörlerin sayıları da önemli bir rakama ulaşmıştır.

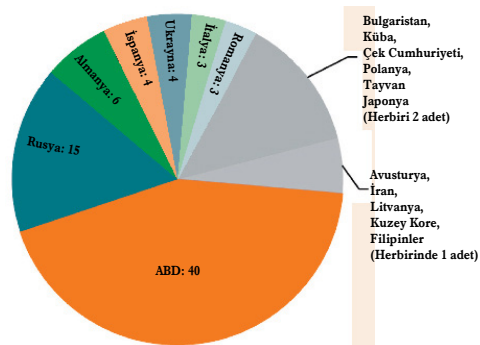
Dünyada yapımına başlanan reaktör sayısı 1976 yılında tepe noktasına ulaşarak 44 adet olmuş, ancak sonrasında hızla azalmıştır. 2011 ile 2015 yılının Temmuz ayına kadar geçen sürede (4.5 yıl) 26 reaktörün yapımına başlanmıştır. Bu sayı 1970'lerdeki 1 yılda yapımına başlanan reaktör sayısının bile çok altındadır.



Kaynak: Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu-Nükleer Reaktör Bilgi Sistemi (IAEA-PRIS), BŞ MSC (Mycele Schneider Consulting)

Şekil 9: Dünyada İnşaat Başlangıçları (1951-1 Temmuz 2015)

Ülkeler Bazında İptal Edilen veya Askıya Alınan Reaktörler (1977-2015)



Kaynak: Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu-Nükleer Reaktör Bilgi Sistemi (IAEA-PRIS), BŞ MSC (Mycele Schneider Consulting)

Şekil 10: İptal Edilen ve Askıya Alınan Reaktör İnşaatları (1977-2015)

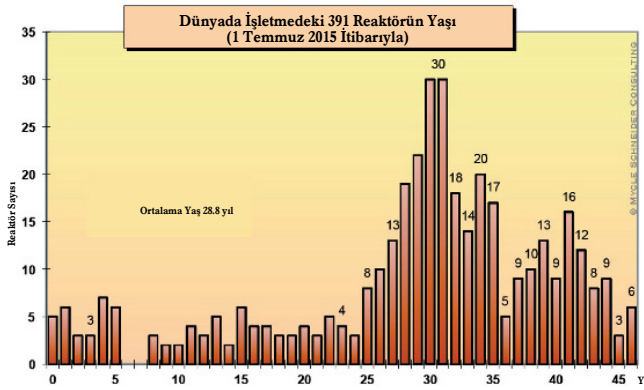
Reaktör yapımına başlamak ve hatta ileri bir yapım seviyesine ulaşmak bile yapılan reaktörün elektrik sistemine bağlanabileceği anlamına gelmemektedir. Fransa Atom Enerjisi Kurumu (CEA) istatistiklerine göre 2002 yılından bu yana 31 ülkede birçoğu ileri yapım aşamasında olan 253 reaktörün yapımı iptal edilmiştir. Bunların 138 adedi ABD'dedir.

Dünyada yapımına başlanan ve yapımı iptal edilen reaktörler Şekil 9 ve 10'da gösterilmiştir.

Nükleer Reaktörlerin İşletme Yaşı

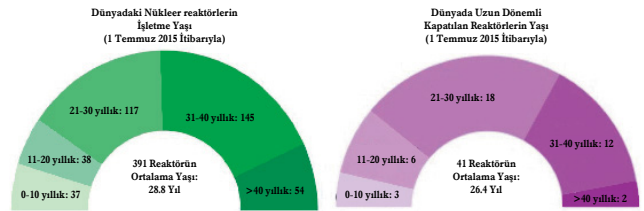
Dünyada son yıllarda yeni nükleer reaktörlerin devreye alınması hızla azaldığından işletmede olan reaktörlerin ortalama işletme yaşları artmıştır. Temmuz 2015 itibarı ile reaktörlerin ortalama yaşı 28.8 yıl olmuştur.

Nükleer reaktörlerin ortalama işletme ömrü genelde 40 yıl olarak kabul edilmektedir. Ancak bazı durumlarda bu ömür 60 yıla kadar uzatılabilmektedir. Özellikle ABD'de işletmede olan 74 reaktöre bu izin verilmiştir. Ancak ABD'de



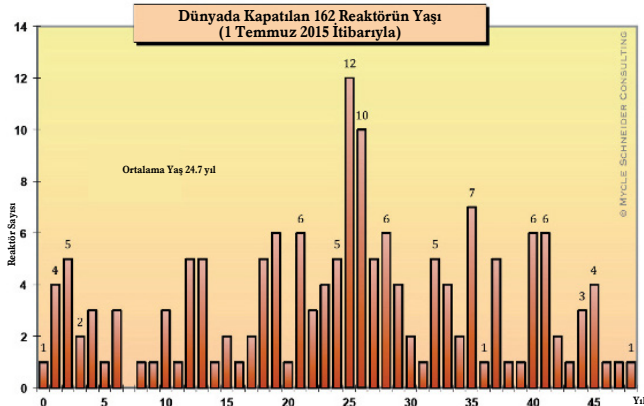
Kaynak: Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu-Nükleer Reaktör Bilgi Sistemi (IAEA-PRIS), BP, MSC (Mytle Schneider Consulting)

Şekil 11: Dünyada İşletmedeki Nükleer Reaktörlerin Yaş Dağılımı



Kaynak: Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu-Nükleer Reaktör Bilgi Sistemi (IAEA-PRIS), BP, MSC (Mytle Schneider Consulting)

Şekil 12: Dünyada İşletmedeki ve Uzun Dönemli Kapatılan Reaktörlerin Yaş Dağılımı



Kaynak: Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu-Nükleer Reaktör Bilgi Sistemi (IAEA-PRIS), BP, MSC (Mytle Schneider Consulting)

Şekil 13: Kapatılan 162 Nükleer Reaktörün Yaş Dağılımı

kapatılmış olan 33 reaktörden ancak bir adedi 40 yılın üzerinde (42 yıl) işletmede kalmıştır. Geri kalanları 40 yıl olan tasarım ömrünü bile tamamlamadan kapatılmıştır. ABD'de işletmede olan 99 reaktörden 33 adedi tasarım ömrü olan 40 yıldan daha fazla bir süredir işletmededir. ABD nükleer reaktörlerinin ortalama ömrü 35.6 yıldır.

Dünyada işletmede olan 391 adet nükleer reaktörün yaşları Şekil 11'de, işletmede olan ve uzun dönemli kapatılmış nükleer reaktörlerin ortalama yaş dağılımları Şekil 12'de ve kapatılmış olan nükleer reaktörlerin yaşları Şekil 13'te gösterilmiştir.

Özellikle Fukushima Felaketi'nden sonra yaşlı reaktörleri devreye tutmanın tehlikeleri yoğun olarak tartışılmaya başlanmıştır. Fukushima Daiichi Santrali'ndeki 1. Ünite'ye kazadan 1 ay önce 10 yıllık ömür uzatma izni verilmiş olması endişeleri arttırmış ve kazadan hemen sonra tedbir olarak Almanya Hükümeti 1981 yılında önce devreye alınmış olan yaşlı 7 reaktörü devreden çıkartmıştır.

İlk Defa Nükleer Reaktör Yapımına Başlanacak Ülkeler

Bir kaç ülke nükleer reaktör kurmak için anlaşmalar imzalamış ve yapımına başlamıştır. Bunun yanında bir kaç ülke ise yapımına başlamak üzere veya yakın zamanda başlamayı planlamaktadır.

Reaktör yapımına başlamış ülkelerle ilgili özet bilgileri şöyle sıralayabiliriz:

- **Birleşik Arap Emirlikleri (UAE):** 2009 yılında Korean Electric Power Corp ile yapılan anlaşma sonucunda 4 adet 1345 MW gücünde reaktör yapımı kararlaştırılmıştır. 3 adedinin yapımına başlanmış olup; 1 adedinin de yapımına 2015 içerisinde başlanması planlanmıştır. İlk yatırım maliyeti olan 20 milyar USD sonradan 32 milyar USD'ye yükselmiştir. Bazı kaynaklara göre proje tamamlandığında toplam maliyeti 40 milyar USD'yi geçebilecektir. İlk reaktörün 2017'de devreye girmesi öngörülmektedir.

- **Beyaz Rusya:** 2013 ve 2014 yıllarında Rus teknolojisi ile 2 adet AES-2006 tipi 1200 MW'lık reaktör yapımı kararlaştırılmıştır. Ünitelerin sırasıyla 2018 ve 2020 yıllarında devreye alınması planlanmaktadır. İlk yatırım maliyeti olan 13 milyar USD'nin yüzde 71 artarak 22.9 milyar USD'ye yükseleceği düşünülmektedir.

Sözleşme imzalanmış olan ülkelerde durum şöyledir:

- **Türkiye:** Türkiye iki sözleşme imzalanmış ve üçüncü bir sözleşmenin görüşmelerine başlamıştır:

***Akkuyu:** Yap-İşlet-Sahip ol yöntemi ile Rus Rosatom Şirketi'nin 4 adet VVER 1200 tipi toplam 4800 MW gücünde bir nükleer santral yapımı için sözleşme imzalanmıştır. İlk reaktörün 2022'de devreye gireceği ve ilk iki reaktörün yatırım maliyetinin 22 milyar USD olacağı öngörülmektedir.

***Sinop:** Mitsubishi, AREVA, GDF-SUEZ ve Itochu firmaları ile Türkiye Elektrik Üretim A.Ş'den oluşan bir konsorsiyumun sahibi olacağı ve AREVA-Mitsubishi tasarımı ile yapılacak olan 4 bin 400 MW gücünde ve 4 adet ATMEA tipi reaktörden oluşacak proje için sözleşme imzalanmıştır. Sözleşmenin detayları henüz tam belirlenmemiştir. AREVA'nın finansal zorluklarının sözleşmenin uygulanabilmesi için sorunlar yaratacağı öngörülmektedir.

***Üçüncü Proje:** Aralık 2014'de ABD Şirketi Westinghouse, Çin devlet nükleer enerji şirketi (SNPTC) ile Türkiye Elektrik Üretim A.Ş. ile görüşmelerine başlayacağı açıklanmış ise de bu konuda belirsizlikler sürmektedir.

Planlanan projeler olarak da Litvanya, Bangladeş, Ürdün, Polonya, Vietnam, Suudi Arabistan ve Mısır'ın nükleer reaktör yapımı için hazırlıklar içerisinde olduğu raporda yer almaktadır. ■