

NÜKLEER ENERJİ VE TÜRKİYE'NİN İLK NÜKLEER SANTRALİ "AKKUYU"

Gülçin YAPICI*

Özet: Nükleer enerji atomların çekirdek bölünmesiyle ortaya çıkan bir enerjidir. Nükleer enerji önce ısı enerjisine, sonra sırasıyla kinetik enerjiye ve jeneratör sisteminde elektrik enerjisine dönüştürülür. Mayıs 2015 itibarıyla dünyada toplam 438 nükleer reaktör çalışmakta ve 67 reaktör inşaat aşamasındadır. Yeni yapılan reaktörlerin büyük bölümü Asya ve Doğu Avrupa'dadır. Çernobil ve Fukushima kazaları birçok ülkenin nükleer santral planlarını yeniden değerlendirmelerine neden olmuştur. Nükleer santrallerini aşamalı olarak kapatmayı planlayan ülkeler vardır. Türkiye ise ilk nükleer santralini yapmaya başlamıştır. Akkuyu nükleer santrali projesinin çevresel etki değerlendirme raporu, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 1 Aralık 2014 tarihinde onaylanmış ve inşaaata başlanmıştır. Nükleer enerji taşınma, depolanma ve işletim sırasında kaza riski olan, normal çalışmaları sırasında da çevreye radyoaktif maddeler salın veatıklarının ne şekilde bertaraf edileceği henüz çözülmeyen bir enerji sistemidir. Bu yüzden çevre ve insan sağlığına bu derece zararları olan nükleer santrallerin yapımı durdurulmalıdır. İşletmede olanlar ise en kısa sürede kapatılmalıdır.

Anahtar sözcükler: enerji, nükleer santral, Akkuyu

Nuclear Energy and Turkey's First Nuclear Power Plant "Akkuyu"

Abstract: Nuclear energy is the energy released by the atomic nucleus splits. It is transformed into heat energy and then is converted into kinetic energy and into electrical energy by the generator system, respectively. A total of 438 nuclear reactors are operating around the world in May 2015 and 67 reactors are under construction. The majority of reactors of under construction are in Asia and Eastern Europe. Chernobyl and Fukushima nuclear power plant accident has led to the re-evaluation plans of many countries. Countries that plan to shut down nuclear power plants while gradually began to build its first nuclear power plant in Turkey. The environmental impact assessment report of the Akkuyu nuclear power plant project approved by the Ministry of Environment and Urban Development on 1 December 2014, and began construction. Nuclear energy is an energy system that is the risk of accident during transport, storage and operation, radioactive substances releases into the environment during normal operation, and not yet resolved how the waste will be disposed of in such a way. The construction of the nuclear power plants in this highly damaging to the environment and human health should be stopped. Those who are in the operating should be closed as soon as possible.

Key words: energy, nuclear power plant, Akkuyu

Yirmibirinci yüzyıl dünyasında enerji, toplumların sosyal ve ekonomik gelişimi için gerekli bir konudur. Elektrik enerjisi kullanım düzeyi ülkelerin ekonomik refahının bir göstergesi olarak kabul edilmektedir. Fakat ülkelerin kendi içinde ve ülkeler arasında enerjiye eşit olmayan bir şekilde erişim ve tüketimi söz konusudur. Günümüzde dünyada 1.4 milyar insan (dünyanın yaklaşık beşte biri) elektrikten yoksun olarak yaşamaktadır. Üç milyar insan yemek pişirmek ve ısınmak için odun, kömür, hayvan veya bitki atıkları ya da diğer katı yakıtları kullanmaktadır. Bu üç milyar insanın büyük bir kısmının Sahra altı Afrika ve Güney Asya'da yaşadığı tahmin

edilmektedir (**Sustainable Energy For All; United Nations Department of Economic and Social Affairs, 2012; United Nations Development Programme, 2011; Kahraman, 2010**).

Enerji günlük yaşantımızda tarım, gıda ve su sağlama, ulaşım, atık toplama, eğitim, iletişim gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Sanayileşme ile beraber hızla artan enerji tüketimi sera gazlarının artışına ve iklim değişikliğine neden olmaktadır. Bu iki faktör günümüzün en önemli çevre sorunlarını oluşturmaktadır. Sera gazı emisyonlarını düşürmek için fosil yakıt kullanımının hızla azaltılması ve daha temiz

*Doç. Dr., Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi Halk Sağlığı AD.

enerji kaynaklarının kullanımının artırılmasına ihtiyaç vardır. Bu da düşük karbonlu enerji kaynaklarının kullanımını gündeme getirmektedir. Yenilenebilir enerji (rüzgar, hidroelektrik ve güneş enerjisi) ve nükleer güç olarak tanımlanan düşük karbonlu enerji kaynaklarının payının artırılması gerektiği belirtilmektedir. Ancak nükleer enerjinin düşük karbonlu bir enerji olarak kullanılabilceği belirtilmekle beraber çeşitli engelleri ve risklerinden söz edilmektedir. Bunlar; operasyonel riskler ve ilişkili kaygılar, uranyum madenciliği riskleri, finansal ve düzenleyici riskler, çözülmemiş atık yönetimi konuları, nükleer silahların yayılması endişeleri ve olumsuz kamuoyudur (**Sustainable Energy For All, 2014; Kahraman, 2010; Bruckner, 2014**).

Bu makalede nükleer enerjinin riskleri ve Mersin Akkuyu'da yapılmaya başlanan Türkiye'nin ilk nükleer santrali ile ilgili yorumlar yer almaktadır.

Nükleer enerji, radyasyon ve radyasyon kaynakları

Nükleer enerji bazı özellikli elementlerin çekirdek bölünmesi (filyon) ile ortaya çıkan enerjidir. Ağır atom çekirdeklerinin nötronlarla bombardımanı sonucunda bu çekirdeklerin parçalanması ile olan tepkimeye "filyon" adı verilmektedir. Her bir parçalanma tepkimesi sonucunda filyon ürünleri, enerji ve 2-3 adet de nötron açığa çıkmaktadır. Nükleer reaktörler 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 çekilerek türbin sisteminde kinetik enerjiye ve daha sonra da jeneratör sisteminde elektrik enerjisine dönüştürülür (**Zabunoğlu; TAEK, 2009**).

Nükleer reaktörlerde yakıt olarak, atom bombalarında da kullanılan Uranyum 235 (U235) elementi kullanılmaktadır. Nükleer santraldaki yakıt %5 oranında U235 içerir, geri kalanı ise nükleer filyona sebebiyet vermeyen Uranyum 238'dir (U238). Nükleer filyon ile salınan nötronların bir kısmı U238 tarafından absorbe edilerek, atom bombalarının hammaddesi olan Plutonyum 239'u oluşturur. Nükleer santrallerde kullanılan yakıt çubukları radyasyon ve ısı salmaya yüzbinlerce yıl boyunca devam eder. Dünyanın hiçbir ülkesi, kullanılmış yakıt çubuklarından kurtulmak için bir yöntem belirlememiştir. Bu nedenle nükleer santrallere "tuvaletsiz evler" denilmektedir (**TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, 2015**).

Nükleer enerji elde edilmesinde yakıt olarak kullanılan ve atık olarak ortaya çıkan maddeler radyoaktif maddelerdir. Radyasyonun insan ve çevre açısından oluşturduğu olumsuzluklar nükleer santraller ile ilgili endişelerin en önemli nedenini oluşturmaktadır. Bu durumda radyasyon üzerinde biraz durmak iyi olacaktır.

Radyasyon bir enerjidir. Temel olarak "iyonlaştırıcı" ve "iyonlaştırıcı olmayan" olmak üzere iki tipi vardır. Daha enerjik olan "iyonlaştırıcı" radyasyon, canlılardaki atomları etkileyebilir, bu nedenle genlerdeki DNA ve dokulara zarar vererek sağlık riski oluşturabilir. Daha az enerjik olan "iyonlaştırıcı olmayan" radyasyon türleri ise; radyo dalgaları, mikrodalgalar ve görünür ışıktır (**EPA, 2012a**). Bu makalede iyonlaştırıcı radyasyon üzerinde durulacaktır.

Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (EPA) üç ana iyonize radyasyon türü tanımlamaktadır:

1. Alfa parçacıklar: Alfa parçacık yayılımına neden olan radyoaktif elementler arasında amerium-241, plutonium-236, uranium-238, thoriyum-232, radium-226, radon-222 yer almaktadır. Cildin dış katmanına nüfuz edemedikleri için dışarıdan maruziyet önemli değildir. Ancak solunarak, yutarak veya bir kesikten vücuda alındığında, hassas dokulara zarar vererek, hücre ve DNA'da ciddi hasara neden olabilirler.

2. Beta parçacıklar: Beta parçacık yayılımına neden olan radyoaktif elementler arasında tritium, cobalt-60, strontium-90, teknesyum-99, iodine-129 ve 131, cesium-137 yer almaktadır. Bunlar, alfa parçacıklarına göre havada daha uzağa yayılırlar, ancak giysi ile ya da alüminyum gibi bir maddenin ince bir tabakası ile vücuda maruziyeti durdurulabilir. Beta parçacıkları deriye nüfuz edebilir ve ciltte yanıklara neden olabilir. Alfa parçacıklara benzer şekilde beta parçacıklar da, solunur veya yutulursa çok tehlikelidir.

3. Gama ve X ışınları: Gama ışınları kolaylıkla insan vücudunu tamamen geçebilir ve geçerken doku ve DNA'ya zarar verebilir. Bu nedenle, gama radyasyonu sindirim veya solunum yoluyla alınmadan da iç organlara nüfuz edebilir. X-ışınları doğal olarak bulunmakla birlikte, makine yardımıyla elektrik kullanılarak üretilirler.

İyonize radyasyonun parçalanması sonucu yayılan kararsız elementlere radyonüklid denilmektedir.

Tüm radyonüklidler yaydıkları radyasyon tipi, radyasyon enerjisi ve yarı ömürleri ile tanımlanırlar. Yarı ömür, bir radyonüklidin aktivitesinin başlangıç değerinin yarısına inmesi için gereken zamandır. Bu süre saniyeler olabildiği gibi milyonlarca yıl da olabilir (**EPA, 2012a; WHO, 2012; TAEK, 2009**).

Farkında olmasak da, radyasyon her zaman çevremizde vardır. Her gün hava, besinler ve sudaki radyonüklidleri solunum yoluyla ve yutarak vücudumuza alırız. Çevrede radyasyon kaynakları doğal ve yapay olarak bulunmaktadır. Doğal "arka plan" radyasyon; toprak, su ve havada bulunan ve doğal olarak oluşan, altmışdan fazla radyoaktif maddeden kaynaklanır. İnsanların maruz kaldıkları doğal radyasyon kaynakları; kozmik ışınlar, yer kabuğundaki radyoaktif elementler (Toryum, uranyum, potasyum, radyum gibi) ve radondur. Dünyadaki zemin radyasyon düzeyi yılda 2.4 mSv olarak belirtilmektedir. Yapay (insan eliyle oluşan) radyasyon kaynakları başlıca; tıbbi tanı amacıyla kullanılan standart röntgen, bilgisayarlı tomografi ve nükleer tıp uygulamaları, tedavi amacıyla kullanılan radyoterapi uygulamalarıdır. Ayrıca araştırma reaktörleri, nükleer silah denemeleri, nükleer güç santrallerinde meydana gelen kazalar, radyoaktif kaynakların taşınması, depolanması, suistimali ve kaybı nedeniyle ortaya çıkan radyasyon da yapay radyasyon kaynaklarını oluşturur. Doğal ya da yapay olarak çevrede bulunan radyasyona insanların maruziyeti içsel veya dışsal yollarla olabilir. Bir radyonüklid, solunarak, yutularak veya başka bir yolla (örneğin enjeksiyon, yaralar) kan dolaşımına girdiğinde iyonizan radyasyona içsel maruziyet oluşur. Havadaki radyoaktif madde (toz, sıvı, aerosoller) deri ya da elbise üzerinde biriktiğinde dışsal maruziyet oluşur. İyonlaştırıcı radyasyona maruz kalma dış ışınlanma (örneğin X-ışınları ile tıbbi radyasyon maruziyeti) ile de olabilir (**EPA, 2012a; WHO, 2012**).

İyonlaştırıcı radyasyonun insan sağlığına etkileri

İnsan vücudundaki her doku, iyonize radyasyon tarafından farklı düzeylerde hasara uğratılabilir. Bu hasarlar bazen vücut tarafından onarılabilsede, bazen onarılamayacak bir özelliktedir veya çok yaygın ve ciddi düzeyde olduğu için onarılabilmesi mümkün değildir. Ayrıca doğal onarım işleminde yapılan hatalar kanserli hücrelere yol açabilmektedir. Doku ve/veya organlarda radyasyon hasarı, alınan radyasyon dozuna ya da absorbe edilen (emilen) doza bağlıdır. Absorbe edilen dozun potansiyel hasarı radyasyon tipine ve

farklı doku ve organların hassasiyetine bağlıdır. Genel olarak, radyasyona maruziyet süresi ve miktarı sağlık etkisinin türünü ve şiddetini belirler. İyonize radyasyonun sağlık üzerine etkileri Stokastik ve Non-stokastik (deterministik) etkiler olmak üzere iki geniş kategoride incelenir.

Stokastik Etkiler: Düşük dozlarda ve uzun süreli maruziyetle ortaya çıkması olası etkilerdir. Etkinin ortaya çıkması için bir eşik değer söz konusu değildir. Uluslararası Kanser Ajansı (IARC)'nın yapılan bilimsel incelemeler sonrası aldığı karar; "iyonizan radyasyonun bütün türleri, insanlarda kanser yaptığı kesinleşen etkenler arasında yer almalıdır" biçiminde olmuştur (**IARC, 2012**). Kanser dışında iyonize radyasyonun stokastik etkisi DNA mutasyonlarıdır. Mutasyonlar teratojenik veya etkileri nesiller boyu devam eden genetik etkiler şeklindedir.

Deterministik Etkiler: Yüksek dozda ve geniş ölçekte vücut alanlarının radyasyona maruz kalmasıyla oluşan, doz ile ilişkili etkilerdir. Bir anda alınan çok yüksek doz saatler, günler veya birkaç hafta içinde ölüme neden olabilir. Bu düzeyde bir maruziyet ciddi bir nükleer kaza veya bir nükleer saldırı durumlarında gerçekleşebilir. Kısa sürede ve yüksek dozda maruziyet akut etkiler oluşturur. Akut etkiler arasında; radyasyon hastalığı (bulantı, halsizlik, saç dökülmesi, cilt yanıkları veya azalmış organ fonksiyonu), eritem, pnömoni, saç, kıl ve tüylerde dökülme yer almaktadır. Akut radyasyon sendromu için doz eşiği yaklaşık 1 Sv (1000 mSv)'dir. Geç dönem etkiler arasında ise; katarakt, akciğer fibrozisi, keratozis, infertilite ve fibroartropati yer almaktadır (**EPA, 2012b; Yaren, 2005; Türk Tabipleri Birliği, 2015**).

Dünyada nükleer santrallerin durumu

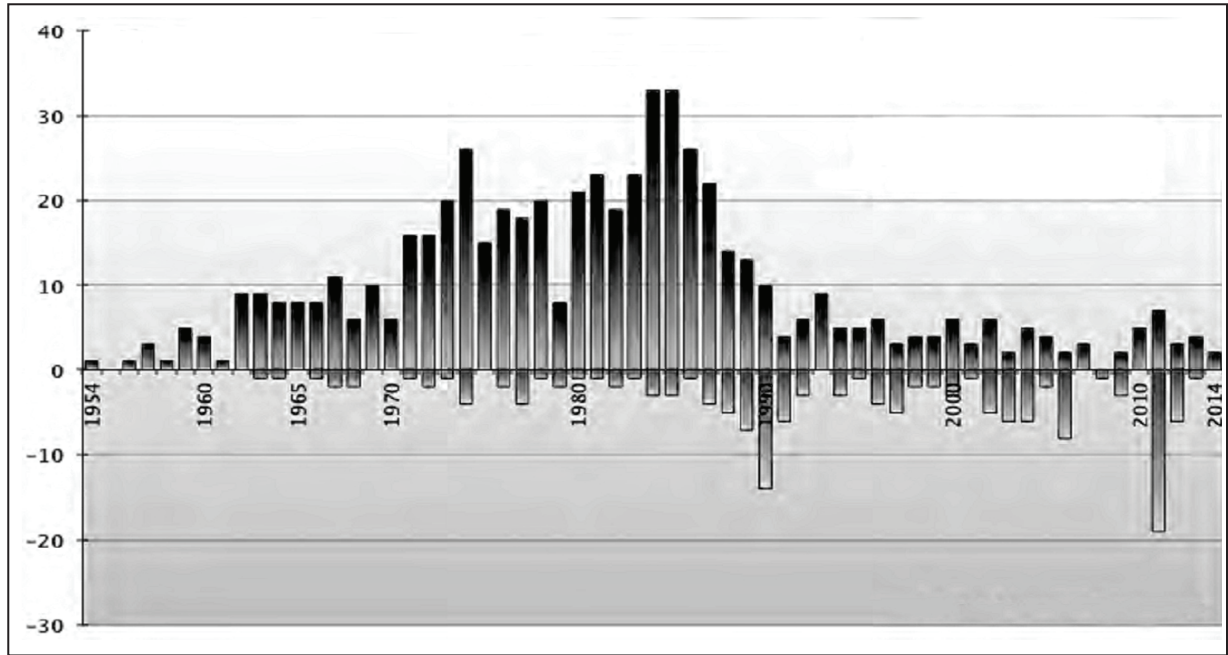
İkinci Dünya Savaşı'nda Japonya'nın Hiroşima ve Nagazaki şehirlerine atılan atom bombası, nükleer askeri amaçlarla kullanılmasıyla yaşanan bir insanlık dramıdır. Bu tarihten sonra nükleer sadece barışçıl amaçlarla kullanımıyla ilgili uluslararası anlaşmalar imzalanmıştır. Nükleer enerjiden elektrik üretimi dönemi nükleer teknolojiye sahip ülkeler için yeni bir çıkış noktası olmuştur. Ticari nükleer fisyon enerjisi 1950'lerde soğuk savaş döneminde başlamıştır. 27 Haziran 1954'de Sovyetlerde Obninsk'de ilk nükleer reaktörün kurulmasının ardından iki büyük nükleer santral yapma dalgası oluşmuştur. İlk büyük dalga 1974'de gerçekleşmiş ve o yıl 26 reaktör çalışmaya başlamıştır. İkinci büyük dalga ise 1984 ve 1985'de

(Çernobil kazasından hemen önce) tarihinin en yüksek seviyesine erişerek her yıl için 33 reaktör olmak üzere toplam 66 reaktör kurulmuştur. 1980'lerin sonuna gelindiğinde, işletme birimlerinde artış durmuş ve 1990 yılında ilk kez reaktör kapatma sayısı başlatılma sayısından fazla olmuştur. 1991-2000 arasında 52 ünite açılırken 30 tane kapanmış, 2001-2010 arasında ise 32 ünite açılmış ve 32 tane kapanmıştır. 2011'den 2014'ün ortalarına kadar 16 reaktör açılırken 26 reaktör kapatılmıştır. Fukuşima'daki olayların bunda etkisinin olduğu düşünülmektedir (Şekil 1) (Schneider, 2014).

Uluslararası Atom Enerji Ajansı'nın (IAEA) verilerine göre 2015-Mayıs ayı itibarıyla dünyada toplam 438 nükleer reaktör çalışmakta, 2 reaktör uzun dönemli kapatılmış ve 67 reaktör inşaat aşamasındadır (International Atomic Energy Agency, 2015). Yeni yapılan reaktörlerin beşte dördü (56 ünite) Asya ve Doğu Avrupa'da, hatta bunların yarısı (28 ünite) sadece Çin'de bulunmaktadır. Yaklaşık üçte ikisi (43 ünite) Çin, Hindistan ve Rusya'da yapılmaktadır (Şekil 2)(Schneider, 2014). 1 Ocak 2015'de dünyada 5 yeni reaktör çalışmaya başlamıştır. Bunlardan üç tanesi Çin'de, bir tanesi Arjantin'de (33 yıllık yapım aşamasından sonra) ve bir tanesi de Rusya'da yer almaktadır (31 yıllık inşaat aşamasından sonra). Rusya aynı zamanda iki reaktörünü kalıcı olarak kapattığını bildirmiştir. Bu reaktörlerden birisi

(Hindistan'da olan Rajasthan-1) 2004'ten beri elektrik üretmezken, diğeri ise (ABD'deki Vermont Yankee) 2032'ye kadar lisansı olmasına rağmen, ekonomik nedenlerle, 30 Aralık 2014'de kapatılmıştır. İlk nükleer ünitenin üretimine başlandığı 1963'den bu yana, 2014 yılı ilk kez Japonya'da nükleer reaktör üretilmeyen bir yıl olmuştur. Birçok nükleer santral inşaatı planlanan aylar hatta yıllarca gerisinde kalmaktadır (The Independent Assessment of Nuclear Developments in the World, 2015).

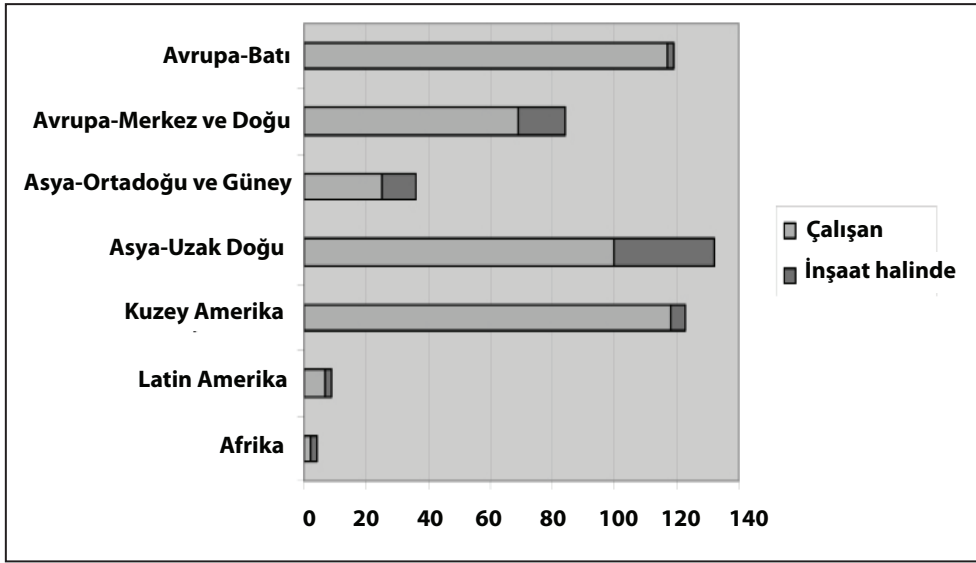
2014'ün ortası itibarıyla dünyada çalışmakta olan reaktörlerin 39 tanesi 40 yıl sınırını aşmış, 172 ünite 30 yıl ve üzerinde yaşa ulaşmıştır. Toplam 388 reaktörün ortalama yaşı 28.5 yıldır. Son 25 yılda (1989'dan beri) çalışmaya başlamış 120 reaktörün hiçbiri henüz kalıcı olarak kapatılmamıştır. 2013 yılı sonunda faaliyette olan ve büyük çoğunluğu Avrupa, ABD, Rusya ve Japonya'da bulunan yaklaşık 200 reaktör, 2040 yılında görevini tamamlayacaktır. Devreden çıkarılacak bu nükleer santrallerin maliyetinin 100 milyar dolar olacağı tahmin edilmektedir. Fukuşima nükleer felaketinin ardından çalışmakta olan yaşlı reaktörler suçlanmaya başlanmıştır. Fukuşima I üniteleri (1-4) 1971-1974 arasında şebekeye bağlanmış ve Ünite 1'in lisansı Şubat 2011'de 10 yıl daha uzatılmıştı (Schneider, 2014; International Energy Agency, 2014).



Şekil 1. Dünyada açılan ve kapanan reaktör sayıları (1954'den 1 Temmuz 2014'e kadar)

(0 çizgisinin üzeri: Açılan reaktörler- 0 çizgisinin altı: Kapanan reaktörler)

Kaynak: IAEA/PRIS-2014



Şekil 2. Dünyada bölgelere göre nükleer santrallerin dağılımı

Kaynak: IAEA/PRIS-2015

Bazı ülkelerde nükleer santraller

Almanya: Fukushima olayından dört gün sonra nükleer yanlısı olan hükümet 17 reaktörün sekizini kapatma kararı aldı. Üç aylık dönem içinde, Alman reaktörlerin neredeyse yarısı kalıcı olarak kapatıldı. 2013'de nükleer santraller ülkenin elektriğinin %15.4'ünü, yenilenebilir enerji kaynakları %25.3'ünü sağlamaktaydı (2010'da %31, 1997'de en yüksek düzey olan %30.8). Alman Ekonomi ve Enerji Bakanı'nın açıklamasına göre Almanya önemli ve kontrol edilemez risklerinden dolayı nükleer enerjiye "hoşça kal" demiştir.

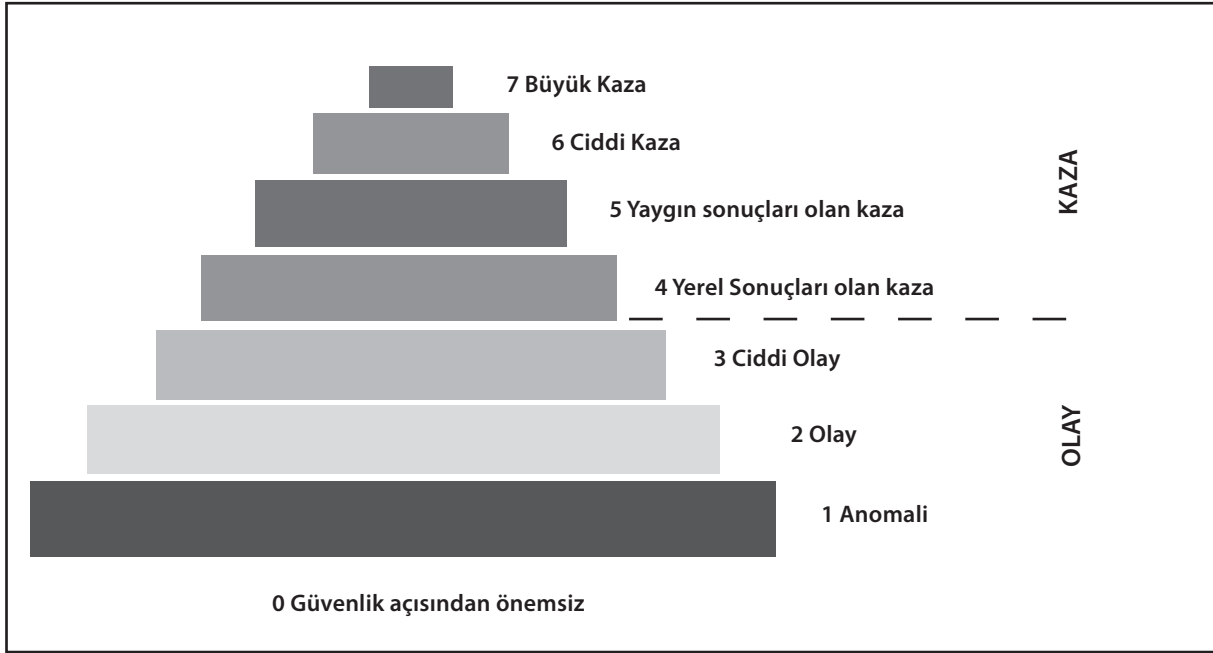
İtalya: Tüm nükleer santraller 1987'de "Çernobil Referandumu" ardından kapatılmıştır. Hükümet, Mayıs-2008'de 10 yeni nükleer santral inşa etmeyi hedeflemiş ve çalışmalarına başlamıştır. Haziran 2011'de kurulması planlanan nükleer santraller için referanduma gidilmiş ve oylamaya katılan toplumun büyük bölümü, İtalya'da nükleer santral kullanımına karşı olmuş ve ülkede yeni nükleer hevese son verilmesini istemiştir.

Fransa: Nükleer endüstride dünya lideridir. 2013 verilerine göre 58 reaktör ile ülke elektriğinin %73.3'ü nükleer enerji ile sağlanmaktadır. Reaktörlerin ortalama yaşı 30 yıldır.

İsviçre: 2013'de 5 reaktör ile ülke elektriğinin %36.4'ünü sağlamaktadır (1996'da %44.4). Dünyadaki en eski reaktörler İsviçre'de bulunmaktadır. Reaktörlerin ortalama yaşı 39.2 yıldır. İsviçre hükümeti 2033 yılına kadar nükleer santrallerin kapatılacağını ilan etmiştir.

Avrupa Birliği (AB): Üye ülkelerde üç nükleer santral inşaat dalgası oluşmuştur. İki küçük çaplı (1960'lar ve 1970'lerde) ve birisi özellikle Fransa'da, büyük çaplı olarak 1980'lerdedir. 1990'lardan beri bölgede anlamlı bir inşaat aktivitesi olmamaktadır. Temmuz 2014 verilerine göre 28 AB ülkesinin yarısında 131 reaktör çalışmaktadır (tüm dünyadaki üçte biri). 2013'de ticari elektriğin %27'si nükleer santralde üretilmekteydi (2003'de %31). AB'de nükleer elektriğin yaklaşık yarısı Fransa'da üretilmektedir. AB'deki reaktörlerin ortalama yaşı 30 yıldır. 2000-2013 yılları arasında elektrik güç santrallerinin kapasitesinde değişiklik gerçekleşmiştir. Rüzgar, doğal gaz ve güneş enerjisi artarken nükleer, kömür ve fuel oil azalmıştır. Avrupa Komisyonu Ocak 2014'de elektrik sektöründe 2030'a kadar olan enerji ve iklim politikalarını yayınlamıştır. Buna göre; gaz emisyonlarının 1990'daki seviyelerinden %40 azalması ve enerjinin %27'sinin yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması hedeflenmektedir.

Amerika Birleşik Devletleri: İşlettiği 100 reaktör ile dünyadaki tüm ülkeler içerisinde en fazla nükleer santrale sahip ülkedir. Bu sayı 1986'daki Çernobil kazasından beri en düşük sayıdır. 2013'ün ilk yarısında dört ünite kapatılmıştır. 2013'de nükleer santraller ülkenin elektriğinin %19.4'ünü sağlamaktadır (en yüksek seviye 1995'de %22.5). Beş reaktör inşaat aşamasındadır ve 18 yıldır yeni bir reaktör çalışmaya başlamamıştır. ABD'deki reaktörlerin ortalama yaşı 34.6 yıldır. Yirmidört tanesi (her dört reaktörden biri) 40 yıl ve üzerinde süredir çalışmaktadır.



Şekil 3. Uluslararası Nükleer ve Radyolojik Olay Ölçeği (INES) Kaynak: IAEA

Çin: 2013 verilerine göre 21 reaktör ile ülke elektriğinin %2.1'ini sağlamaktadır. Ancak son dönemde 28 ünite inşaat kapasitesi ile nükleer enerji payını artırmayı planlamaktadır. Çin'de elektrik enerjisinin %20'sinden fazlası yenilenebilir enerjiden sağlanmaktadır.

Japonya: 2013 yılı itibariyle ülke elektriğinin %1.6'sı nükleer enerji ile sağlanmaktadır. Oysa enerjinin, 1998'de en yüksek düzey olan %35'i, 2010'da %29'u, 2011'de %18'i ve 2012'de de %2'si nükleer enerjiden sağlanmaktaydı. Japonya'da Temmuz-2012'den beri Fukui bölgesinde sadece 2 reaktör faal durumdadır.

Rusya: 2013 verilerine göre, 33 reaktör ile ülke elektriğinin %17.5'i nükleer enerji ile sağlamaktadır. Rusya enerji üretiminde, nükleer santralin katkısını arttıran birkaç ülkeden biridir. En yüksek düzeye 2012'de ulaşmıştır. IAEA'ya göre 10 reaktör inşaat halindedir. Son birkaç yılda Rusya endüstrisinde nükleer reaktör ihracat istekleri nedeniyle büyük değişiklikler göstermektedir. Rusya Avrupa'da, Macaristan ve Finlandiya ile finansman ve inşaat projelerine girmiştir. Aynı zamanda Türkiye'de yap-sahip ol-işlet modeli ile bir finansman ve inşaat projesi imzalamıştır. Ayrıca Belarus ve Ukrayna'da iki reaktör kredi ve inşası üzerinde durulmaktadır. Çin'de iki Rus reaktörü çalışmakta ve iki reaktör de inşaat halindedir. Aynı zamanda Bangladeş, Hindistan ve Vietnam gibi Asya ülkelerinde de, Rus

reaktörler için öneriler vardır. Toplam 30 Rus reaktörü inşaat halindedir veya planlanmaktadır. Bu da Rusya'yı en büyük uluslar arası nükleer ihracatçısı yapmaktadır.

Endonezya ve Suudi Arabistan, yeni nükleer santral programlarını kapatmış ya da ertelemiştir. (Schneider, 2014).

Nükleer kazalar

Dünyada nükleer kazalar ve olayların güvenlik açısından derecelendirilmesi için Uluslararası Nükleer ve Radyolojik Olay Ölçeği (INES) kullanılmaktadır. Ölçek, nükleer tesislerle ilgili olayların yanı sıra radyoaktif maddelerin taşınması, depolanması ve kullanımıyla ilgili olay ve kazalarda, radyoaktif kaynakların ya da paketlerin kayıp veya hırsızlık olaylarında da kullanılır. INES'e göre olaylar sıfırdan yediye kadar olan bir skala ile derecelendirilir. 1-3 arası "olay" ve 4-7 arası "kaza" olarak sınıflandırılır. Ölçeğin her bir derecesi bir öncekinden on kat daha büyük olacak şekilde düzenlenmiştir. "0" seviyesi bir problem olduğunu, ancak güvenlik sistemlerinin düzgün şekilde çalışarak halk veya çalışanlar için herhangi bir risk ortaya çıkmadan önce bunun düzeltildiğini gösterir (Şekil 3).

1987 yılı ile Haziran-2013 arasında nükleer santrallerde INES ölçeğine giren çeşitli seviyelerde 611 olay ve kaza bildirilmiştir. Bunların altısı kaza (seviye 4 ve üstü), 41'i ciddi olay (seviye 3) olarak belirlenmiştir. Günümüze kadar iki nükleer kaza 7. seviye

olarak nitelenmiştir. Bunlar Çernobil ve Fukuşima kazalarıdır. Three Mile Island kazası 5. seviye olarak derecelendirilmiştir (**TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, 2013**). Dünyada meydana gelen bu üç önemli kazayı değerlendirmek gerekir.

28 Mart 1979 tarihinde gerçekleşen ABD'deki Three Mile Island kazası sonrasında yaralanan ya da kısa dönemde çevreye yayılan radyasyondan etkilenen olmamış ve yıllarca süren çalışmalarda insan sağlığı üzerinde olumsuz bir etki (özellikle kanser vakaları) belirlenmemiştir. Ancak çevredeki radyasyonun temizlik çalışmaları 15 yıl kadar sürmüş ve toplam temizlik maliyetinin 1 milyar dolar civarında olduğu belirtilmiştir. Bu kaza diğerleri ile karşılaştırıldığında kısmen küçük çaplı ve en azından insan sağlığına olumsuz herhangi bir sonucu olmayan, sınırlı bir kaza olarak kayıtlara geçmiştir (**World Nuclear Association, 2001**).

Ancak 26 Nisan 1986'da meydana gelen Çernobil kazası için aynı şeyi söylemek mümkün değildir. Sınırları ülkeyi aşan, birçok ülkenin etkilendiği çok büyük bir kazadır. Milyonlarca kişi radyasyondan etkilenmiş ve yaşadıkları yerleri terk etmek zorunda kalmıştır. Bir daha yaşadıkları yerlere dönme şansları olmadığı gibi, yüzlerce yıl santralin bulunduğu toprakların yakın çevresinde yaşamak mümkün olmayacaktır. Kaza sonrasında, atmosfere ciddi miktarda radyoaktif maddeler yayılmıştır. Bu radyolojik partiküllerden en önemlileri iyot 131 (I-131) ve selyum 137 (Cs137)'dir. Sağanak yağmur ve rüzgarın etkisiyle radyoaktif maddeler Kuzey Yarımküredeki her bir ülkede değişik düzeylerde yeryüzü kontaminasyonlarına neden olmuştur. En fazla etkilenen ülkeler Belarus, Rusya ve Ukrayna olmuş ve çok çeşitli insan grupları bu kazadan etkilenmiştir.

1. Çalışanlar;

a) Kazanın ilk gününde olaya müdahale eden 600 kadar acil yardım çalışanının bir kısmında masif hücre hasarı ve hücre ölümü ile karakterize radyasyon hastalığı gelişmiştir.

b) 1986-89 yılları arasında santral çevresinde dekontaminasyon çalışmaları yapan temizlik işçilerinde yapılan kohort çalışmalarında; Rus ve Ukraynalı işçilerde lösemi olgularında ve erken dönemde bölgede çalışan Rus işçilerde tiroid kanser riskinde artış olduğu belirlenmiştir. Estonyalı işçilerde ise tiroid kanserinde bir artış gösterilmemiştir.

2. Genel popülasyon;

a) Hasar gören reaktörün 30 km. çevresindeki alanda yaşayan 100000 kişi ve

b) Belarus, Rusya ve Ukrayna'da kontamine alanlarda yaşayan yaklaşık 5 milyon kişi kazadan etkilenmiştir.

Yapılan çalışmalarda; kontamine bölgede yaşayan çocuklarda tiroid kanseri insidansında ve inutero radyasyona maruz kalan çocuklarda ise lösemi insidansında artış bildirilmişken bu artış, erişkinlerde saptanamamıştır. Meme, eksternal radyasyona sensitivitesi fazla olan bir organdır ancak meme kanseri gelişme riski fazla çalışma yapılmamıştır. Ukrayna'da yapılan bir çalışmada Çernobil'e yakın bir bölgede yaşayan kadınlar ile Ukrayna popülasyonu karşılaştırıldığında premenapozal meme kanseri riskinde artış olduğu belirlenmiştir (**Davis, 2006; Hatch, 2005**).

lyonize radyasyonun lösemi riskini artırdığı bilinmektedir. Sadece akut maruziyet değil aynı zamanda uzun dönemde düşük dozda maruziyet de lösemi riskini artırmaktadır. Lösemi görülmesinde pik dönem maruziyetten 5 yıl sonradır. Ukrayna, Belarus ve Rusya'da, Çernobil kazası sırasında 6 yaşından küçük olan akut lösemi tanısı almış çocuklarda yapılan vaka kontrol çalışmasında; Ukrayna'da ortalama radyasyon dozu çalışma grubunda (10.1 mGy), kontrol grubundan (3.5 mGy) anlamlı olarak yüksek bulunmuş ve radyasyon dozu arttıkça lösemi riskinin arttığı belirlenmiştir. Belarus ve Rusya'da ise vaka-kontrol arasında ortalama dozlarda anlamlı fark bulunmamıştır (**Davis, 2006**).

Çernobil kazasının ardından Çernobil'in 400 km. uzağında bulunan bir yerleşim yerinde sütün kirlenme düzeyinin standartlarla izin verilen düzeyin 200 katı olduğu belirtilmiştir (**Gürsoy, 2012**).

Çernobil Nükleer Santral kazasından sonra ülkemizde Karadeniz Bölgesi'nde kanser görülme sıklığının arttığı yönündeki iddialar nedeniyle Hopa'da yapılan çalışmada; ölüm nedenleri arasında birinci sırada kanser (47 kişi %47.9), ikinci sırada kalp hastalıklarının (18 kişi, %18.8) olduğu belirlenmiştir. Çalışma sonucunda Hopa'da kanserin daha fazla olduğu, ancak elde edilen veriler ışığında bölgede Çernobil kazası ile kanser olgu sayıları ve kanserden ölümlerle ilgili kanıtı dayalı nedensel bir bağlantı kurmanın olanaksız olduğu bildirilmiştir (**Pala, 2006**).

Çernobil kazasından sonra 3 Mayıs 1986'daki sağanak yağmur ile Türkiye'nin Trakya Bölgesi, 7-9 Mayıs tarihlerinde ise Doğu Karadeniz Bölgesi

etkilenmiştir. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) tarafından çevresel örnekler ve besin maddelerindeki rodyoizotop analizlerinde, etkilenen bölgelerdeki süt, fındık ve çayda radyoaktivitenin limitlerin üstünde olduğu belirlenmiştir. Çaylarda 12 500 Bq/kg limitini aşan 58 000 ton çay depolarda saklanmış ve sonrasında 35 456 tonu gömülmüştür. Limiti aşmayan çaylar ise bir önceki yılın çayları ile harmanlanarak daha düşük yoğunluklu radyasyon içeren çaylar olarak satışa sunulmuştur. I-131 ile kontamine sütler ise peynir yapılarak radyoaktivite yok oluncaya kadar bekletilmiştir. Aynı raporun Kanseri Savaş Dairesi Başkanlığı'nın araştırması sonuçlarında ise 1983-1992 yılları arasındaki kanser olgularında genel olarak bir artış saptanmadığı belirtilmiştir (TAEK, 2007).

En son kaza 11 Mart 2011'deki Fukuşima kazasıdır. Japonya'da 9 büyüklüğünde deprem ve ardından meydana gelen tsunami sonucu elektrik şebekesinde zarar meydana gelmiş ve santralin jeneratörlerini su basmış, bu da santralde elektrik kesintisine neden olmuştur. Bunu takip eden soğutma eksikliği santralde kısmi erime ve patlamalara neden olmuş, altı reaktörün tamamında ve merkezi kullanılmış yakıt tankında sorunlar oluşmuştur. Reaktörlerde meydana gelen patlamalar radyoaktif maddelerin ortama yayılmasına neden olmuş, bazı parçacıklar nükleer santralden 100 kilometre öteye kadar taşınmış radyasyon kısa sürede Avrupa'ya kadar yayılmıştır. Denize karışan yüksek oranlı radyoaktif suyun etkisi ABD'nin batı kıyı şeridinde bile hissedilmiştir. Kazadan kısa süre sonra santralin 20 km. civarı boşaltılmış, 20-30 km. arasında yaşayanlara bölgeden ayrılmaları önerilmiştir. 2014 Eylül itibarıyla, yetkililerin açıkladığı rakamlara göre yaklaşık 126 bin insan hala yaşadıkları yerlerden uzaktadır. Kazanın ardından geçen süre henüz uzun vadede oluşacak sorunları görmek için erken ancak bölgeden göç edenlerde oluşan psikolojik etkiler şu anda radyasyonun etkisinden daha öncelikli bir sorun olarak görülmektedir (TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, 2015).

Normal çalışmaları sırasında nükleer santrallerin çevreye yaydığı radyasyon

Nükleer santrallerin kazaları sonucu çevreye yayılan yüksek doz radyasyonun ciddi sorunlar oluşturduğu çok kötü deneyimlerle izlenmiştir. Ancak bunun dışında nükleer santrallerin normal işletimi sırasında havaya, suya, toprağa yayılan radyonüklidler ve aerosollerin olduğu da gösterilmiştir. Kirlenmiş alanlarda bulunan en önemli

radyonüklidler sezyum 137 (Cs137), stronsiyum 90 (Sr90) ve kobalt 60 (Co60)'dır. Bu radyonüklidlerin yarılanma ömürleri sırasıyla 30, 28 ve 5 yıldır. Çevrede bulunan radyonüklidler çeşitli yollarla insan vücuduna da girecektir. Radyoaktif elementlerin gıda zincirine girme yolları; kontamine yiyeceklerin doğrudan tüketimi, radyoaktif yem ile beslenen hayvanlardan elde edilen kontamine hayvansal kökenli gıdaların tüketimi ve yer altı sularının kirlenmesi şeklinde olabilir. Bu durumda insanların düşük doz da olsa bu radyasyondan etkilenmesi beklenir. Buna dayanarak Almanya'da yapılmış çalışmalar dikkat çekicidir. Almanya'da Elbe Nehri civarında bulunan nükleer santralde herhangi bir kaza olmadığı halde, 1990-2005 yılları arasında santrale 5 km mesafede yaşayan çocuklarda lösemi insidansının tüm Almanya'daki insidandan yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu bölgede lösemilerdeki artışı açıklayabilecek bir durum, nükleer santral ve nükleer araştırmalardan açığa çıkan nükleoidlerin çevreye yayılımları olabilir şeklinde yorum yapılmaktadır (Cazzola, 2004; Hoffman, 2007).

Almanya'da 1980-2003 yılları arasında 16 nükleer santral yakınında bulunan bölgede yaşayan 5 yaş altındaki çocuklarda yapılan çalışmada; 5 yaşından önce kanser (veya lösemi) gelişme riski ve tanı sırasında yaşadıkları ev ile nükleer santral arasındaki mesafe arasında korelasyon bulunmuştur. Nükleer santrale beş kilometrelik mesafede yaşayan çocuklarda kanser oranında %60, lösemide %117 artış belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda, nükleer santral civarında görülen kanser vakalarındaki artışın nedeninin sadece rastlantısal olamayacağı belirtilmektedir. Santral civarındaki bölgelerde ölçümlerin doğru olarak yapıldığı varsayılırsa, radyasyon maruziyetini hesaplamada kabul edilen modellerin yanlış olduğu ya da radyonüklidlerin bilinen biyolojik etkilerinin çocuklar ve embriyo için yanlış bilindiği belirtilmektedir (IPPNW Europe).

Litvanya'da Ignalina nükleer santralinin 32 km. çapındaki bölgede yosun, ot ve bazı su bitkilerinden örnekler alınarak yapılan çalışmada; yosun örneklerinde tüm radyonüklidlerin yüksek olduğu, su kanalındaki süngerlerde düşük ancak ölçülebilir düzeyde I-131 olduğu belirlenmiştir. Santralden suya bırakılan radyonüklidlerin aktivite düzeylerinin de yüksek olduğu belirtilmektedir (Adliene, 2006).

Çin'de Tianwan nükleer santralinin 30 km'ye kadar (özellikle 10 km içerisinde) olan çevreden alınan örnekler, 30 km'den uzaktaki örneklerle

karşılaştırıldığı çalışmada; seksen dört adet toprak örneği (meyve, buğday, çeltik, Çin lahanası, çim ve rezervuar toprağı) ve kırk dört bitki örneği (buğday, pirinç, Çin lahanası, çim, çay ve çam iğnesi) 10 farklı yerden toplanmıştır. Diğer bitkiler ile karşılaştırıldığında, çam iğnesi ve çayın 137Cs ve 90Sr içeriğinin yüksek olduğu, en düşük düzeyin ise pirinçte olduğu belirlenmiştir (Lu, 2006). Nükleer santrallerin çevresinde yetişen bitki ve toprakta araştırılan radyonüklitlerin belirlenen sınır değerlerin altında olduğunu gösteren çalışmalar da bulunmaktadır (Djingova, 2002; Singh, 2015).

Nükleer Atıkların Bertarafı

Nükleer santrallerin kazalar dışındaki en önemli sorunlarından biri kullanılmış radyoaktif yakıtın depolanmasıdır. Bu kullanılmış yakıtlar üst düzey radyoaktif atıklar olup çevreye zarar vermemeleri için zararsız hale gelinceye kadar saklanmaları gerekir. ABD’de üretilen tüm nükleer atıklar bir araya getirilip depolandığında bir futbol sahası büyüklüğünde bir alanı kaplayacağı hesaplanmaktadır. IAEA verilerine göre her yıl dünya genelinde 2.8 milyon metreküp radyoaktif atık oluşmaktadır. Nükleer enerji kullanımının yaygınlaşmasıyla bu sorunun daha büyüyeceği düşünülebilir. Atıkları önemli yapan konu bunların içinde tutuldukları kapları aşındırarak ya da kaza sonucu parçalanması ve doğal alıcı ortamlara (ırmaklara, denizlere, içme sularına) sızmalarıdır. Şu anda dünyada yakıtların doğadan yalıtıldığı, kalıcı olarak depolandığı bir tesis mevcut değildir. Uzmanlara göre bu atıkların saklanması gereken süreleri, yarılanma ömürlerinin onlarca katıyla çarpılmak gerekir. Nükleer reaktör atıkları arasında bulunan Sr90’ın yarı ömrü 28 yıl, Cs137’nin 30 yıldır. Bunların yaklaşık 300 yıl kadar süreyle emniyetli bir şekilde saklanmaları gerekir. Bazı çekirdeklerin yarı ömrü çok daha uzundur. Örneğin plutonyumunki 24.000 yıl, lyot 129’un 15.700.000 yıl, Cs135’in 2.300.000 yıldır. Avrupa Parçacık Fiziği Laboratuvarı CERN’de dönüştürme uzmanı Robert Klapisch, “Eğer elinizde yarılanma ömrü 10.000 yıl olan bir şey varsa, bir kere bunu 1 milyon yıl güvenli biçimde saklamanın yollarını bulmanız gerekir. Üstelik, bunların yeniden biyosfere (yaşam küreye) dönmelerini istemiyorsanız, deprem olasılığını da ciddi biçimde hesaba katmalısınız” demektedir. Nükleer santrallerin ömürlerini bitirdiklerinde ve kapatıldıklarında riskleri sürmektedir. Nükleer santral kapatılsa dahi, ortalama gücünün %10’u kadar enerji üretmeye devam eder. Bu nedenle bozunum ısı önemsiz düzeylere erişinceye kadar, reaktörü soğutmaya devam etmek gerekir. Ayrıca çoğu

düşük seviyeli olmak üzere önemli miktarda radyoaktif atık oluşur. Avrupa Komisyonu ortalama bir güç santralının hizmetten çıkarılmasında 10.000 m³e kadar radyoaktif atık ortaya çıktığını hesaplamıştır. (TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, 2013; Altın, 2004; Gürdilek, 2004; TAEK, 2010).

Akkuyu Nükleer Güç Santrali (NGS)

1970’li yılların başı tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de nükleer santral yapımı konusunda hareketliliklerin yaşanmaya başladığı dönem olmuştur. Nükleer santral yapımı için yer aranmaya başlanmış ve ilk nükleer santralin Mersin Akkuyu’ya yapılmasına karar verilerek 1976’da bu bölgeye yer lisansı verilmiştir. Bunun ardından ihale şartnameleri hazırlanmış, firmalarla görüşülmüş ancak sonuç elde edilememiş ve 1979’da görüşmeler kesilmiştir. 1983’de tekrar ihaleye çıkılmış ancak yine bir sonuç elde edilmeyerek 1986’da ihale iptal edilmiştir. 1996’da yeniden ihaleye çıkılmış ancak bu dönemde herhangi bir teklif gelmemiştir. Bundan sonraki ihale 1998 yılında gerçekleşmiş ancak bu ihale de 2000’de dönemin başbakanı Bülent Ecevit’in Türkiye için başka enerji kaynaklarının (doğalgaz, hidroelektrik gibi) geliştirilmesi ile nükleer santrale gereksinim olmayacağını belirtmesi sonucu Bakanlar Kurulu kararı ile iptal edilmiştir (Hürriyet gazetesi, 2000).

2004 yılına gelindiğinde nükleer santral kurulması ile ilgili Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) görevlendirilmiştir. 2006’da TAEK yer seçimi için çalışmalar yapmış, 2007’de “Nükleer güç santrallerinin kurulması ve işletilmesi ile enerji satışına ilişkin kanun” çıkarılmıştır. 2010’da Türkiye Cumhuriyeti hükümeti ile Rusya Federasyonu hükümeti arasında Akkuyu’da nükleer santral tesisi ve işletimi için işbirliği protokolü imzalanmış ve bu protokol her iki ülkenin meclisinde onaylanmıştır. 21 Temmuz 2010 tarihinde anlaşmanın onaylandığına dair kanun resmi gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmiştir (Resmi gazete, 2010a). Türkiye ve Rusya Hükümetleri arasında yapılan anlaşmaya göre Akkuyu NGS’nin inşaatından, işletmesinden ve işletmeden çıkarılmasından sorumlu olmak üzere Akkuyu NGS Elektrik Üretim A.Ş kurulmuştur. Akkuyu NGS projesinin Çevresel Etki Değerlendirme (ÇED) Raporu 1 Aralık 2014 tarihinde Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından onaylanmıştır.

Akkuyu NGS Projesi, Mersin ili, Gülnar ilçesi Büyükeceli Belediyesi sınırları içerisinde kurulacak dört adet VVER 1200 (AES 2006 Tasarımı) nükleer güç ünitesinin inşaat, işletme ve işletmeden çıkarma

aşamalarından oluşmaktadır. Her bir güç ünitesinin kurulu gücü 1.200 MW'dan az olmamak üzere, toplam kurulu gücü 4.800 MW olacaktır. Nükleer güç ünitelerine ek olarak, proje kapsamında üzerinde su alma yapılarının da bulunduğu bir adet dalga kıran, soğutma suyu deşarjı için deniz dibine yerleştirilecek dört adet boru hattı, iki adet malzeme yükleme boşaltma rıhtımı, bir adet radyoaktif atık geçici depolama ve işleme tesisi olacaktır. Ayrıca, işletme esnasında çalışacak personelin konaklaması için, proje sahası sınırına bitişik 35 hektarlık bir alanda 2000 konut kapasiteli bir Yaşam Merkezi'nin inşası planlanmıştır. Akkuyu NGS Proje alanı, Büyükelci Belediyesi'ne 2,5 km, Gülnar ilçesine 24 km, Mersin il merkezine yaklaşık 140 km uzaklıktadır. NGS Üniteleri Akkuyu Koyları olarak bilinen hemen hemen eşit büyüklükteki 3 koydan oluşan sahil kesimine inşa edilecektir (**DOKAY-ÇED Çevre Mühendisliği Ltd. Şti., 2014**).

Anlaşma çerçevesinde, 4.800 MWe kapasiteli dört adet VVER1-1.200 ünitesi inşası yap-sahip ol-işlet (YSİ, BOO-Built Own and Operate) modeli temelinde proje şirketi tarafından gerçekleştirilecektir. Rus Tarafı, Proje Şirketi olarak kurulan Akkuyu NGS Elektrik Üretim A.Ş.'nin başlangıçta %100 hissesine sahip olacak ve Rus Tarafının hisse oranı santralin ömrü boyunca %51'in altına düşmeyecektir. Bu izin dışında imzalanan Elektrik Satın Alma Anlaşması (ESA) ile, NGS'de üretilmesi planlanan elektriğin Ünite 1 ve 2 için %70'ine, Ünite 3 ve 4 için %30'una tekabül eden sabit miktarlarını her bir güç ünitesinin ticari işletmeye alınma tarihinden itibaren 15 yıl boyunca 12.35 ABD senti/kWh ağırlıklı ortalama fiyattan (Katma Değer Vergisi dahil değildir) satın almayı garanti etmektedir. Ayrıca Proje Şirketi, Ünite 1 ve 2'de üretilmesi planlanan elektriğin %30'unu, Ünite 3 ve 4'de üretilmesi planlanan elektriğin %70'ini, kendisi veya enerji perakende tedarikçileri vasıtasıyla serbest elektrik piyasasında satacaktır (**Resmi gazete, 2010b**). Türkiye bu proje ile dünyada ilk kez başka bir ülkeye kendi topraklarında kendisine ait olmayan bir nükleer santral kurma izni vermiştir.

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ülkemizde nükleer enerjinin gerekliliğini; "nükleer enerji, ülkemiz için enerji arz güvenliğimizin sağlanması, enerji ithal bağımlılığımızın ve cari açığın azaltılması bakımından büyük önem taşımaktadır" şeklinde özetlemektedir. Elektrik ihtiyacımızın karşılanmasında kullanılan doğalgaz ve sıvı yakıtların neredeyse tamamının, kömür yakıtların ise yaklaşık %30'unun

ithal edildiği belirtilmektedir. 2010 yılı verilerine göre ülkemizde elektrik üretim kaynaklarının %46.2'si doğalgaz, %16.9'u linyit, %24.4'ü hidrolik ve %1.9'u yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Ülkenin toplam enerji üretiminin ilk etapta %5-6'sının nükleer enerjiden sağlanarak enerji üretiminde doğalgazın payının azaltılmasının sağlanacağı söylenmektedir. 2023 yılına kadar Akkuyu ve Sinop Nükleer Santrallerinin işletmeye alınması durumunda, bugünkü kurulu gücün %20'sinin nükleer santrallerden üretilen elektrikle sağlanacağı öngörülmektedir (**T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Nükleer Enerji Proje Uygulama Dairesi Başkanlığı**).

Bakanlığın belirttiğine göre Akkuyu'da yapılacak nükleer santral ile enerjide dışa bağımlılık azalacaktır. Ancak nükleer santralin yakıtı olan uranyumun ve hammaddeyi işleme olanaklarının Türkiye'de olmaması nedeniyle ithal yakıt bağımlılığın azalması beklenemez. Ayrıca yukarıda belirtildiği gibi anlaşma nedeniyle Türkiye, Rus şirketinin ürettiği elektriğin büyük bir bölümünü de şimdiden satın alma sözü vermektedir.

Türkiye'de nükleer santral kurulması gerekçelerinden birisi de nükleer santral sayesinde enerji üretimi nedeni ile oluşan karbon salımlarının artışının yavaşlamasının mümkün olacağıdır. Uluslararası Enerji Ajansı'nın belirttiğine göre nükleer enerji karbon dioksit emisyonlarını azaltmak için mevcut birkaç seçenektendir. Ancak 2014 yılında Dünyada Enerjiye Bakış raporunda elektrik enerjisi üretiminde nükleer enerjinin kullanılma payının, halktan gelen muhalefet, atıkları depolama sorunu, nükleer silahların artmasından duyulan kaygılar ve nükleer enerjinin ekonomisi nedeniyle sorunlar yaşadığı belirtilmektedir (**International Energy Agency, 2014**). Bu nedenle nükleer enerjiyi değerlendirirken tek başına sera gazı emisyonlarını en aza indirecek bir enerji seçeneği olarak değerlendirmemek gerekir. Özellikle, ülkemizin yenilenebilir enerji açısından potansiyelinin yüksek olduğu göz önünde bulundurulduğunda, nükleer enerji yerine, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması çok daha avantajlı olacaktır.

Akkuyu ÇED Raporu'nda nükleer santralin tercih edilme nedenlerinden biri olarak, güvenilir bir enerji türü olduğundan söz edilmektedir. Nükleer santrallerin yapımından günümüze kadar gerçekleşmiş üç tane büyük ve çok sayıda küçük çaplı kaza ve olaylar göz önüne alındığında, nükleer santrallerin

güvenilirlikleri konusunda soru işaretleri oluşmaktadır. Akkuyu'ya yer lisansı verme çalışmalarında yer almış olan Prof.Dr. Tolga Yarman'ın Akkuyu ÇED Raporu hakkında bildirdiği görüşte ifade ettiğine göre; Akkuyu Yer Lisansı Çalışmaları yapılırken ortada henüz Temel Nükleer Kazalar, yani Three Mile Island (TMI) (ABD/1979), Çernobil (Sovyetler Birliği/1986) ve Fukuşima (Japonya/2011) Nükleer Reaktör Kazaları olmamıştı. Bu üç kaza sonucu nükleer santral kaza risklerinin yeniden hesaplanması gerekmektedir. Prof.Dr. Yarman'a göre her 100 reaktörden biri ömrü boyunca kaza riskiyle karşı karşıyadır. Aynı raporda Prof. Dr. Övgün Ahmet Ercan'ın deprem konusunda Akkuyu ile ilgili görüşü "deprem ile yer dayanım davranışı bakımından Akdeniz Bölgemiz, nükleer santral için uygun değildir" şeklindedir (**Yarman, 2013**). Sonuçta gerek mekanik sorunlar, gerek insan hatası, gerekse doğal afetler sonucu oluşsun kazaları sıfıra indirmek mümkün değildir.

ÇED raporunun Nükleer güvenlik konusundaki bölümünde IAEA'nın nükleer santraller için hazırlamış olduğu "Fundamental Safety Principles" adlı dökümanında belirtilen 10 güvenlik prensibinden kısaca bahsedilmiş ancak her bir prensip için neler yapılacağı konusunda bilgi verilmemiştir. Bireysel risklerin sınırlanması, yaşayan kişilerin, gelecek nesil ve çevrenin korunması, kazaların önlenmesi, acil durumlarda ne tür hazırlıkların olduğu ve nasıl müdahale edileceği, risklerin azaltılması için ne tür önlemlerin alınacağı konusunda bilgi bulunmamaktadır. Nükleer santral güvenliğinin gerçekleştirilmesi için gerekli prensipler arasında; santralin yer seçimi, güçlü ve kanıtlanmış tasarım, yüksek kaliteli üretim ve inşaat, tesiste arıza olasılığının en az olması, kazayla sonuçlanabilecek herhangi bir hata veya arızanın önlenmesi için çoklu korumalar, periyodik güvenlik değerlendirmeleri, güvenlik kültürü gibi faktörler yer almaktadır. Güvenliğin sağlanmasında gerekli olan bütün sistemlerin üzerinde ise insan yer almaktadır (**TAEK, 2010**). Herhangi bir nükleer tesisinin güvenliğinden sorumlu olan insandır. Birçok hata insan faktörüne bağlı olarak gelişmektedir. Nükleer santralde çalışacak insanların davranışlarına ve durumuna etki edecek iyi bir güvenlik kültürünün olması gerekir. Oysa bizim bu konuda çok da iyi bir güvenlik kültürüne sahip olduğumuz söylenemez. Henüz bir nükleer santralimiz olmakla beraber radyasyon ile ilgili birçok kazamız bulunmaktadır. Bunlardan en önemlisi 1999'daki İkitelli radyasyon kazasıdır. Türkiye'de yaşanan en ciddi kazadır ve INES ölçeğine göre 3. seviye olarak belirlenmiş ve dünyada gerçekleşen en ciddi

20 kaza arasında değerlendirilmiştir. Kobalt (Co)60 tedavi kaynağının taşınması sırasında iki konteyner hurda metal olarak satılmış ve bunu bulan kişiler kapları parçalamaya çalışırken radyasyona maruz kalmıştır. Olay, 10 Aralık 1998'de olmuş ancak hastalığın nedeni 4 hafta sonrasına kadar bulunamamış ve parçalanan konteynerler yerleşim bölgesinde ve hurdalıkta bu süre içerisinde kalmıştır. Radyasyona maruz kalma olasılığı olan 404 kişi sağlık kuruluşlarına başvurmuş, bunlardan 7'si çocuk 18 kişi hastaneye kaldırılmış ve 10 kişide akut radyasyon sendromu belirtileri görülmüştür (**TAEK, İkitelli kazası raporu**).

Akkuyu NGS ile ilgili diğer önemli konu, ÇED raporunda üzerinde çok fazla durulmayan nükleer atıkların ne olacağı konusudur. Türkiye ve Rusya Hükümetleri arasında yapılan anlaşmada kullanılmış yakıt ve atıklarla ilgili olarak, Akkuyu NGS Elektrik Üretim A.Ş'nin nükleer yakıtı temin edeceği ve kullanılmış yakıtın Rusya Federasyonu'nda yeniden işlenebileceği belirtilmektedir. Nükleer yakıt, kullanılmış nükleer yakıt veya herhangi bir radyoaktif materyalin sınır ötesi taşınması da dahil olmak üzere, ancak bunlarla sınırlı olmamak kaydıyla, nükleer materyallerin sınır ötesi taşınmasına ilişkin gerekli tüm ilgili onay, lisans, kayıt ve rızaların alınmasında Proje Şirketi'ne tarafların yardım edeceği de anlaşmada yazılmaktadır (**Resmi gazete, 2010b**). Nükleer santralin işletmesi sırasında ortaya çıkan atıkların nerede ve nasıl saklanacağı bilinmemektedir. Anlaşmada Proje Şirketinin, NGS'nin sökülmesi ve atık yönetiminden sorumlu olduğu belirtilmekle beraber ÇED raporunda santralin sökülmesi için ayrı bir ÇED raporunun hazırlanacağı belirtilmektedir. Dolayısıyla santralin işletme ömrü tamamlandığında ne şekilde işletmeden çıkarılacağı konusu henüz açıklık kazanmamıştır. Nükleer santral kapatıldıktan sonra halka, çalışanlara ve çevreye zarar vermeyecek bir duruma getirilmesi gerekir. Tesisin temizlenmesi, sökülmesi, yıkım aşaması ve kalan sahanın temizlenmesi işlemlerinin kapatılmadan sonra 100 yıla kadar sürmesi tahmin edilmektedir. Şu ana kadar dünyada işletmeden çıkarma işlemlerini tamamlamış bir ülke bulunmamaktadır. Akkuyu nükleer santrali herhangi bir sorun olmadan en uzun çalışma süresi olarak verilen 60 yılı tamamladıktan sonra işletmeden çıkarıldığında o bölgeye yüzlerce yıl girilemeyecektir.

Uluslararası Radyasyondan Korunma Komisyonu (ICRP)'nin belirlediği radyasyondan korunmanın üç temel ilkesi vardır. Bu ilkeler;

gerekçelendirme, optimizasyon ve doz sınırlamasıdır (WNA, 2015; TAEK, 2010).

Bu ilkeler göz önüne alınarak bir nükleer santralin değerlendirilmesi yapıldığında;

1. Işınlamaya neden olan uygulamaların gerekçelendirilmesi: "Aktivitenin radyasyona maruz kalacak kişi veya toplum için neden olabileceği zararları dengeleyecek düzeyde yarar sağlaması kesin değilse aktivite uygulanmamalıdır". Bu en önemli ilkedir. Gerekçelendirmede karar kriteri sadece bilimsel görüşlere dayandırılmamalıdır. Aynı zamanda sosyal, ekonomik ve etik faktörler de göz önünde bulundurulmalıdır. Türkiye'de toplam enerjinin %5'ini sağlayabilmek için insan sağlığına zararı olan bir sistemin getirilmesi gerekli değildir.

2. Korunmanın optimizasyonu: Bu ilke sadece gerekçelendirilmiş uygulamalarda geçerlidir. Bütün ışınlamaların mümkün olan en düşük doz değerinde (ALARA-as low as reasonably achievable) tutulması gerekir. ALARA'nın amacı, ışınlanmayı sıfıra indirmek değil riskleri, bulunduğu koşullarda kabul edilebilir seviyeye düşürmektir. Ancak bu kabul edilebilir seviyenin ne olduğu konusu tartışmalıdır. Bilimsel açıdan şu anda kabul edilebilir olan sınırlar, gelecekte çok yüksek olarak değerlendirilebilir. Optimizasyon işleminde dikkate alınacak önemli unsurlardan biri de herhangi bir işlemde ışınlamaya maruz kalan insanların sayısı ve dozların bölgesel dağılımlarıdır. Nükleer santralin işletilmesi sırasında ortaya çıkacak olan radyonüklidlerden etkilenen kişi sayısı sadece santralin 20-30 km. çevresindeki insanları kapsıyor olabilir. Ancak bir kaza anında durum çok farklı olacaktır. Ayrıca optimizasyonda belirtilen sadece bilimsel olarak kabul edilebilir olması değildir. Aynı zamanda toplum yargılarında da kabul edilebilir seviyenin olması gerektiğidir. Akkuyu NGS ile ilgili toplumun kaygıları dikkate alınmamaktadır. Bu konuda İtalya'nın yaptığı gibi bir referandum ile toplumun nükleer santrali isteyip istemediği sorusunun sorulması gerekir.

3. Bireylerin ışınlanmalarının sınırlandırılması (doz sınırları): ALARA testi kullanılarak dozların optimize edildiği ilkeler doğrultusunda bireylerin, belirlenen doz sınırları üzerinde ışınlanmaya maruz kalmamaları gerekir. Doz limitleri toplumdaki en duyarlı kişileri koruyabilecek

düzeydeki etkilenimler dikkate alınarak hesaplanmıştır. Toplum üyeleri için ulusal ve uluslararası olarak kabul edilen ışınlama sınır değeri yıllık 1 mSv'dir. Radyasyon çalışanları için uluslararası sınır yıllık ortalama 20 mSv ve beş yılda toplam 100 mSv'dir (yılda 50 mSv değerini aşmayacak şekilde). Ancak belirtilen bu limitler radyasyonun kanserojenik ve mutajenik etkilerini tamamen ortadan kaldırmaz. Çünkü bu etkiler için bir eşik değeri bulunmamaktadır.

Sonuç olarak;

Büyük bir çoğunluğu Batı Avrupa, Kuzey Amerika ve Japonya'da bulunan nükleer santrallerin 100'den fazlası önümüzdeki 10-15 yılda ömürlerini tamamlayacaktır. Ayrıca şu anda yapım ya da planlama aşamasında olan reaktörlerin çoğu Çin, Rusya ve Hindistan gibi ülkelerde bulunmaktadır. Zengin ve gelişmiş ülkelerde nükleer enerji azalmaktadır.

Yap-sahip ol-işlet modeli temelinde bir Rus şirketi tarafından gerçekleştirilecek olan projenin enerji sağlamada dışa bağımlılığı azaltacağı şeklinde bir yaklaşıma sahip olmadığı açıktır.

Dünya elektrik enerjisine yaklaşık %14 olan mevcut katkısı ve Akkuyu NGS ile Türkiye enerjisine olacak %5-6 katkısı ile nükleer enerji, fosil yakıtların kullanımında ya da çevresel CO2 düzeyini önemli ölçüde azaltmak için yeterli bir yöntem olarak düşünülmemelidir. Sera gazı emisyonlarını azaltmak için yenilenebilir enerji kaynaklarına öncelik verilmelidir.

Akkuyu'da bir kaza durumunda sadece o bölgede yaşayanlar etkilenmeyecektir. Fukuşima'da olduğu gibi denize olan sızıntı nedeniyle tüm Akdeniz, Çernobil'de olduğu gibi havaya olan sızıntılar nedeniyle rüzgarın yönüne, yağmur yağmasına göre Türkiye'nin çeşitli bölgeleri ve/veya başka ülkeler de etkilenecektir.

Nükleer atıkların çevre ve insan sağlığına zarar vermeyecek şekilde nasıl ve nerede yok edileceği bilinmeyen bir enerji sisteminin sadece Türkiye'ye değil dünyada herhangi bir yere de yapılması geleceğimiz için kabul edilemez bir durumdur.

Kaynaklar

Adliene, D., Raaf, C., Magnusson, A., Behring, J., Zakaria, M., Adly, G., Skog, G., Stenstrom, K., Mattsson, S. (2006) Assessment of the environmental contamination with long-lived radionuclides around an operating RBMK reactor station, J. Environ. Radioact, 90: 68-77.

- Altın, V.** (2004) Nükleer Enerji, Bilim ve Teknik Dergisi, 4-7
- Bruckner, T., Bashmakov, I. A., Mulugetta, Y., Chum, H., de la Vega Navarro, A., Edmonds, J., Faaij, A., Functammasan, B., Garg, A., Hertwich, E., Honnery, D., Infield, D., Kainuma, M., Khenmas, S., Kim, S., Nimir, H. B., Riahi, K., Strachan, N., Wiser, R., Zhang, X.** (2014) Energy Systems. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Krimann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. Von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, Erişim tarihi: 25.05.2015 https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_chapter7.pdf
- Cazzola, P., Cena1, A., Ghignone1, S., Abete1, M.C., Andruetto1, S.** (2004) Experimental system to displace radioisotopes from upper to deeper soil layers: chemical research, *Environmental Health: A Global Access Science Source*, 3:5
- Davis, S., Day, R.W., Kopecky, K.J., Mahoney, M.C., McCarthy, P.L., Michalek, A.M., Moysich, K.B., Onstad, L.E., Stepanenko, V.F., Voillequé, P.G., Chegerova, T., Falkner, K., Kulikov, S., Maslova, E., Ostapenko, V., Rivkind, N., Shevchuk, V., Tsyb, A.F.** **International Consortium for Research on the Health Effects of Radiation Writing Committee and Study Team.** (2006) Childhood leukemia in Belarus, Russia, and Ukraine following the Chernobyl power station accident: results from an international collaborative population-based case-control study, *International Journal of Epidemiology*, 35: 386-96
- Djingova, R., Kuleff, I.** (2002) Concentration of caesium-137, cobalt-60 and potassium-40 in some wild and edible plants around the nuclear power plant in Bulgaria, *J. Environ. Radioact*, 59:61-73
- DOKAY-ÇED Çevre Mühendisliği Ltd. Şti.** (2014) 4.800 MWe Kurulu gücünde olan Akkuyu nükleer güç santrali projesi. Çevresel Etki Değerlendirmesi Raporu, Ankara
- Environmental Protection Agency (EPA).** (2012a) Radiation: Facts, Risks and Realities, Erişim tarihi: 13.05.2015, <http://www.epa.gov/radiation/docs/402-k-10-008.pdf>
- Environmental Protection Agency (EPA).** (2012b) Health effects, Erişim tarihi: 13.05.2015 http://www.epa.gov/radiation/understand/health_effects.html
- Gürdilek, R.** (2004) Simyanın Dönüşü, *Bilim ve Teknik Dergisi*, 18-21
- Gürsoy, U (çeviren).** (2012) Daimi Halk Mahkemesi Çernobil. İstanbul: Yeni İnsan Yayınevi
- Hatch, M., Ron, E., Bouville, A., Zablotska, L., Howe, G.** (2005) The Chernobyl disaster: Cancer following the accident at the Chernobyl Nuclear Power Plant, *Epidemiologic Reviews*, 27:56-66
- Hoffman, W., Terschueren, C., Richardson, D.B.** (2007) Childhood leukemia in the vicinity of the Geesthacht Nuclear establishments near Hamburg, Germany, *Environmental Health Perspectives*, 115(6):947-52
- Hürriyet gazetesi.** Akkuyu iptal. Haber tarihi: 26.07.2000, Erişim tarihi: 28.05.2015 <http://www.hurriyet.com.tr/index/ArxivNews.aspx?id=-170723>
- IARC Monographs.** (2012) Radiation. Volume 100 D. A review of human carcinogens. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Lyon, Fransa, Erişim tarihi: 27.04.2015 <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol100D/mono100D.pdf>
- International Atomic Energy Agency (IAEA).** (2015) The Power Reactor Information System (PRIS), Erişim tarihi: 20.05.2015 <http://www.iaea.org/pris/>
- International Atomic Energy Agency (IAEA).** INES- The International Nuclear and Radiological Event Scale, Erişim tarihi: 20.05.2015 <http://www-ns.iaea.org/tech-areas/emergency/ines.asp>
- International Energy Agency.** (2014) World Energy Outlook 2014, OECD/IEA, Erişim tarihi: 05.05.2015 http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO_2014_ES_English_WEB.pdf
- IPPNW Europe.** Childhood Leukemias Near Nuclear Power Stations, Erişim tarihi: 20.05.2015 <http://www.ipnw.eu/en/nuclear-energy-and-security/?expand=176&cHash=abf6cd63d1039982b6a4eb0573dc7beb>
- Ji-gen, L., Huang, Y., Li, F., Wang, L., Li, S., Hsia, Y.** (2006) The investigation of 137Cs and 90Sr background radiation levels in soil and plant around Tianwan NPP, China, *J. Environ. Radioact*, 90: 89-99
- Kahraman, C., Kaya I.** (2010) A fuzzy multicriteria methodology for selection among energy alternatives, *Expert Systems with Applications*, 37: 6270-81
- Pala, K.** (2006) Hopa'da kanser görülme sıklığı: Tamı konmuş olgular ve ölümler üzerinden bir değerlendirme, Çernobil Nükleer Kazası sonrası Türkiye'de kanser, s:73-107, Ankara: TTB Yayınları
- Resmi gazete.** (2010a) Türkiye Cumhuriyeti Hükümeti İle Rusya Federasyonu Hükümeti Arasında Türkiye Cumhuriyetinde Akkuyu Sahasında Bir Nükleer Güç Santralinin Tesisine Ve İşletimine Dair İşbirliğine İlişkin Anlaşmanın Onaylanmasının Uygun Bulunduğu Hakkında Kanun, Erişim tarihi: 28.05.2015 <http://www.resmigazete.gov.tr/main.aspx?home=http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2010/07/20100721.htm&main=http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2010/07/20100721.htm>
- Resmi gazete.** (2010b) Türkiye Cumhuriyeti Hükümeti İle Rusya Federasyonu Hükümeti Arasında Türkiye Cumhuriyetinde Akkuyu Sahasında Bir Nükleer Güç Santralinin Tesisine Ve İşletimine Dair İşbirliğine İlişkin Anlaşma, Erişim tarihi:28.05.2015 <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2010/10/20101006-6.htm>
- Schneider, M., Froggatt, A., Ayukawa, Y., Burnie, S., Piria, R., Thomas, S., Hazemann, J.** (2014) The World Nuclear Industry Status Report 2014, A Mycle Schneider Consulting Project, Paris, London, Washington, D.C., Erişim tarihi: 05.05.2015

<http://www.worldnuclearreport.org/IMG/pdf/201408msc-worldnuclearreport2014-lr-v4.pdf>

Singh, M, Garg, V.K., Gautam, Y.P., Kumar, A. (2015) Soil to rice grain transfer factor and radiological dose of ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr around Narora Atomic Power Station (NAPS), Narora, India, *J Radioanal Nucl Chem* DOI 10.1007/s10967-015-3939-2

Sustainable Energy For All. Energy and Sustainable Development, Erişim tarihi: 25.05.2015 <http://www.se4all.org/decade/energy-sustainable-development/>

Sustainable Energy For All. (2014) Annual Report, Erişim tarihi: 25.05.2015

http://www.se4all.org/wp-content/uploads/2015/05/SE-4ALL_2014_annual_report_final.pdf

The Independent Assessment of Nuclear Developments in the World. (2015) World Nuclear Reactor Status as of 1 January 2015, Erişim tarihi: 05.05.2015

<http://www.worldnuclearreport.org/World-Nuclear-Reactor-Status-as-of.html>

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Nükleer Enerji Proje Uygulama Dairesi Başkanlığı. Nükleer Santraller ve Ülkemizde Kurulacak Nükleer Santrale İlişkin Bilgiler. Yayın No:1, Erişim tarihi:28.05.2015

http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FBelge%2FNukleer_Santraller_ve_Ulkemizde_Kurulacak_Nukleer_Santrale_Iliskin_Bilgiler.pdf

Türk Tabipleri Birliği. (2015) Türk Tabipleri Birliği Halk Sağlığı Kolu Akkuyu Nükleer Güç Santrali Projesi ÇED Raporu Değerlendirmesi, Türk Tabipleri Birliği Yayınları, Ankara

TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası. (2013) Nükleer Enerji Raporu, 1. Baskı, Ankara: Mattek Matbaa

TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası. (2015) Fukuşima'dan çıkarılacak 10 ders. EMO Yayın No: GY/2015/593. 1.Baskı, Ankara, Erişim tarihi:12.05.2015 http://www.emo.org.tr/ekler/be4f9f45c79e86c_ek.pdf

Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK). (2007) Sağlık Bakanlığı Bilimsel Kurul Raporu ve Üniversite Görüşleri.. Çernobil Serisi No:2. 2. Basım, Ankara

Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK). (2009) Radyasyon, İnsan ve Çevre, Ankara, Erişim tarihi: 13.05.2015 <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs371/en/>

Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK). (2010). Günümüzde Nükleer Enerji, Erişim tarihi: 22.05.2015

<http://www.taek.gov.tr/nukleer-guvenlik/nukleer-enerji-ve-reaktorler/166-gunumuzde-nukleer-enerji-rapor.html>

Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK). İkitelli Kazası TAEK Raporu, Erişim tarihi: 22.05.2015

http://www.taek.gov.tr/attachments/kazalar/ikitelli_tr.pdf

Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK). (2009) Nükleer enerji nedir? Erişim tarihi: 11 Mayıs 2015

<http://www.taek.gov.tr/nukleer-guvenlik/nukleer-enerji-ve-reaktorler/169-nukleer-enerji/457-nukleer-enerji-nedir.html>

United Nations Department of Economic and Social Affairs. (2012) Division for Sustainable Development. Perspectives on Sustainable Energy for the 21th Century, Erişim tarihi:

25.05.2015 http://www.un.org/esa/dsd/dsd_sd21st/21_pdf/SD21_Energy_Final.pdf

United Nations Development Programme. (2011), Environment and Energy. Energy for People-Centred Sustainable Development. Ed: Christopher E. Cosslett. New York, USA. Erişim tarihi: 25.05.2015 https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/957055_Energy%20for%20People%20Centred%20Sust%20Dev%202011_brochure.pdf

World Health Organisation (WHO). (2012) Ionizing radiation, health effects and protective measures, Erişim tarihi: 13.05.2015, <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs371/en/>

World Nuclear Association. (2001) Three Mile Island Accident, Erişim tarihi: 28.05.2015

<http://www.world-nuclear.org/info/safety-and-security/safety-of-Plants/Three-Mile-Island-accident>

World Nuclear Association (WNA). (2015) Nuclear Radiation and Health Effects, Erişim tarihi:25.05.2015

<http://www.world-nuclear.org/info/Safety-and-Security/Radiation-and-Health/Nuclear-Radiation-and-Health-Effects/>

Yaren, H., Karayılanoglu, T. (2005) Radyasyon ve insan sağlığı üzerine etkileri, TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni, 4 (4):199-208.

Yarman, T. (2013) Akkuyu'ya Dünyanın En Pahalı Nükleer Müzesi, Erişim tarihi: 27.05.2015

<http://www.egitirim.gen.tr/site/arsiv/82-sayi40/798-akkuyuya-dunyanin-en-pahali-nukleer-muzesi.html>

Zabunoğlu, O. Nükleer Enerji: Nedir? Nasıl üretilir? İlgili meseleler. Erişim tarihi: 25.05.2015

http://www.nuke.hacettepe.edu.tr/tr/webfiles/Announcements/NE_ne_nasil_meseleler.pdf