



e-ISSN: 2630-578X

OHS ACADEMY  
İş Sağlığı ve Güvenliği Akademi Dergisi  
Açık Erişim  
Journal of Occupational Health and Safety Academy  
Open Access



10.38213/ohsacademy.1145057

Yıl 2023, Cilt 6, Sayı 2, Sayfa: 116-130

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/ohsacademy>

## Çernobil ve Fukuşima Nükleer Güç Santrali Kazalarının İş Sağlığı Güvenliği Perspektifinden Karşılaştırmalı Bir İncelenmesi

Zeynep BAŞAR<sup>1\*</sup>, Nureddin TÜRKAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Medeniyet Üniversitesi, İSG Ana Bilim Dalı, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul/ Türkiye

<sup>2</sup>İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul/ Türkiye

### Makale Tarihiçesi

Gönderim: 19.07.2022

Kabul: 04.04.2023

Yayın: 03.09.2023

### Araştırma Makalesi

**Öz-** Nükleer Güç Santrallerinin (NGS) ilk olarak çalışmaya başlamasından bu yana Dünyada çeşitli nükleer kazalar yaşanmıştır. Bu kazaların büyüklüklerinin ve etkilerinin karşılaştırılması, toplum sağlığını korumak tedbirler açısından bir zorunluluktur. Çünkü bu kazalardan kaynaklanan ve halkın sağlığına yönelik artan tehditler nedeniyle ortaya çıkan travmanın giderilmesi gerek kazanın olduğu ülke açısından gerekse komşu ülkeler açısından önemli bir ihtiyaçtır. Radyoaktif atom, çekirdeğinde proton ve nötron sayıları dengeli olmayan atomdur. Söz konusu bu dengesizlik atom çekirdeğinde ek bir enerji açığa çıkarır ve bu enerji ortama radyasyon olarak salınır. Nükleer enerji atom çekirdeğindeki parçalanma sonucunda oluşan enerjidir. Radyoaktif atomun parçalanması sonucu çıkan enerjinin petrol, kömür, doğal gaz gibi diğer enerji kaynaklarından daha fazla enerji üretme kapasitesine sahip olduğu bilinmektedir. Nükleer güç, elektrik üretim teknolojilerinin en gelişmiş yöntemlerinden biri olup, fosil yakıtlara bağımlı ülkeler açısından enerji ihtiyacının karşılanmasında önemli bir alternatif durumdadır. NGS'lerin yaygınlaşması ile birlikte çeşitli nükleer kazaların meydana geldiği bilinmektedir. Bu çalışmada, INES skalasına göre günümüze kadar 7 seviyesinde yaşanmış iki büyük NGS kazası hakkında yapılmış araştırma, makale ve tezler incelenerek bu her iki büyük kazanın meydana gelme nedenleri, etkileri, sonuçları karşılaştırmalı olarak değerlendirilip eksikler ortaya konmuştur. Bu bağlamda ülkemizde inşası devam etmekte olan ve yapılması planlanan NGS'ler için uygulanabilecek önlemler ele alınmıştır.

**Anahtar Kelimeler-** INES ölçeği, nükleer enerji, elektrik enerjisi, nükleer kaza, radyasyon

## A COMPARATIVE EXAMINATION OF CHERNOBIL AND Fukushima NUCLEAR POWER PLANT ACCIDENTS FROM THE OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY PERSPECTIVE

Zeynep BAŞAR<sup>1</sup>, Nureddin TÜRKAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Istanbul Medeniyet University, Occupational Health and Safety Department, Institute of Graduate Studies, Istanbul, Türkiye

<sup>2</sup> Istanbul Medeniyet University, Institute of Graduate Studies, Istanbul, Türkiye

### Article History

Received: 19.07.2022

Accepted: 04.04.2023

Published: 03.09.2023

### Review Article

**Abstract-** Various nuclear accidents have occurred in the world since the first Nuclear Power Plants (NPP) started to operate. Comparing the magnitudes and effects of these accidents is a necessity in terms of preventing public health. Because, removing the trauma caused by these accidents and increasing threats to the health of the people is an important need both for the country where the accident occurred and for the neighboring countries. A radioactive atom is an atom that has an unbalanced number of protons and neutrons in its nucleus. This imbalance in question releases an additional energy in the atomic nucleus and this energy is released to the environment as radiation. Nuclear energy is the energy produced as a result of the fragmentation of the atomic nucleus. It is known that the energy released as a result of the disintegration of the radioactive atom has the capacity to produce more energy than other energy sources such as oil, coal and natural gas. Nuclear power is one of the most advanced methods of electricity generation technologies and is an important alternative for countries that depend on fossil fuels to meet their energy needs. It is known that various nuclear accidents have occurred with the spread of NPPs. In this study, researches, articles and theses about two major NPP accidents that have been experienced at the level of 7 according to the INES scale until today were examined, and the reasons, effects and results of these two major accidents were evaluated comparatively and the deficiencies were revealed. In this context, the precautions that can be applied for NPPs that are under construction or planned to be built in our country are discussed..

**Keywords-** INES scale, nuclear energy, electrical energy, nuclear accident, radiation

<sup>1</sup>zeynep.73@hotmail.com Orcid id: 0000-0001-9577-0961

<sup>2</sup>nureddin.turkan@medeniyet.edu.tr Orcid id: 0000-0002-0452-9484

\*Sorumlu yazar / Corresponding Author: zeynep.73@hotmail.com, İ.M.Ü..İSG ABD, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul/ Türkiye

**Atf Bilgisi: Başar, Z. & Türkan, N. (2023). Çernobil Ve Fukushima Nükleer Güç Santrali Kazalarının İş Sağlığı Güvenliği Perspektifinden Karşılaştırmalı Bir İncelenmesi . OHS ACADEMY , 6 (2) , 116-130 . DOI: 10.38213/ohsacademy.1145057**

## 1.Giriş

Nükleer güç, fosil yakıtlara bağımlılığı azaltan elektrik üretim teknolojilerinin en gelişmiş ürünlerinden birisidir. Uranyumun parçalanması vasıtasıyla açığa çıkan enerji petrol, fosil yakıt kaynaklı enerji türlerinden daha fazla enerji üretme kapasitesine sahip olduğu bilinmektedir (Nuclear Energy Institute, 2021). Yarım kilo uranyumun verdiği enerjinin milyonlarca litre petrol ile aynı değerde olması nükleer enerjiyi geleceğin enerji kaynağı konumuna getirmiştir. Nükleer enerji santrallerinin yaygınlaşması nükleer kazaları da beraberinde getirdi (Nükleer.web.tr). Radyasyon nedeniyle meydana gelen kazalara doğal afetlerin ve insan hatalarının sebep olduğu bilinmektedir.

Yaşanmış nükleer kazalardan en bilinenlerinden biri 1957 yılındaki İskoçya’da meydana gelen “Windscale Nükleer Reaktörü Kazası”, bir diğeri 1979 yılında Amerika Birleşik Devletleri’nde yaşanan “Three Mile Island Nükleer Santral Kazası”, 1986’da ise şimdi Ukrayna olan (Eski SSCB) yaşanan “Çernobil Nükleer Santral Kazası”, son olarak da 2011’de Japonya’da meydana gelen şiddetli deprem nedeniyle oluşan tsunami sonucu “Fukushima Nükleer Santral Kazası”dır (IAEA, 2005; Ülgen vd., 2011). Bu kazaların öne çıkardığı sonuçlara göre, kazadan kaynaklanan ve halk sağlığına yönelik artan tehditler gerek kazanın olduğu ülkede gerekse komşu ülkelerde ana endişe kaynağı oldu.

Burada kaza sonucunda bir anda ortaya çıkan enerji miktarının çok büyük olmasının nedenleri kısaca şöyle anlatılabilir; Atom, çekirdek merkezinde bulunan proton ve nötronlar ile çekirdek merkezinin çevresinde farklı yörüngelerdeki elektronlardan meydana gelir. Çekirdeğinde proton ve nötron sayıları dengeli olmayan atom radyoaktif atom olarak isimlendirilir. Atom çekirdeğindeki bu dengesizlik tarafından ek bir enerji açığa çıkarılır. Bu fazla enerji ortama radyasyon şeklinde salınır. Radyasyon salınımı çekirdekte proton ve nötron sayılarında denge durumu oluşana kadar devam eder. Bu enerji salınımının süresi her kaynağın kendine özgü radyoaktif çekirdek sayısının yarıya düşmesi ile karakterizedir. Radyasyonun salınımı dalga veya parçacık halinde gerçekleşir. Dalga biçimindeki radyasyona elektro manyetik dalgalar en iyi örnek olarak verilebilir. X-ışını, morötesi (ultraviyole) ışınlar, görünür ışık, kızılötesi (enfraruj) ışınlar, gamma ışınları elektro manyetik radyasyon biçimi olarak sayılabilir. Tanecik özellikli olan radyasyon; Alfa ışını, beta ışını, nötron ve proton ışınları olmak üzere kozmik ışınlardandır. Bu ışınlar içinden geçtikleri ortamla etkileşime girerek doğrudan veya dolaylı bir şekilde iyon çiftleri meydana getirirler, bu sebeple iyonlaştırıcı ışın adını alır. Doğal ve yapay olmak üzere iki çeşit radyasyon kaynağı bulunur. Doğal radyasyon, doğal radyoaktif maddeler ve uzaydan yeryüzüne ulaşan kozmik ışınlardır. Yapay radyasyon ise insan yapımı radyoaktif cihaz ve teknolojiler sayılabilir. İnsanların maruz kaldıkları radyasyon çeşitlerini; radon, yer kabuğunda bulunan doğal radyoaktif kaynaklar, kozmik ışınlar, besinlerdeki radyoaktivite, endüstriyel radyoaktif kaynaklar, tıbbi medikal uygulamalar, nükleer tesisler olarak sıralayabiliriz. Radyasyonun madde üzerinde etkisi iyonlaştırıcı radyasyon ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olmak üzere iki bölüm halinde incelenebilir. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon atom veya molekülden elektron koparabilmek için gerekli enerjiye sahip değildir. Bu radyasyon türü maddeden geçişi esnasında yüklü iyonlar üretmezler. Radyant ısı, kızılötesi ışık, mikro dalga, morötesi ışık, radyo dalgaları, görünen ışık iyonlaştırıcı olmayan radyasyonlardır (Çerezci, 2017; Ocaktan, 2008; Özgüner vd., 2006). Atomların iyonlaşmasını sağlayacak şekilde yüksek enerjiye sahip radyasyon türüne iyonlaştırıcı radyasyon denilir. X ışını, gama ışını, beta parçacıkları, alfa parçacıkları, nötronlar şeklinde gruplandırılırlar. İyonizasyon, madde ve insanlar da dahil olmak üzere bütün canlılarda meydana gelebilir. Yeterli ve gerekli önlemler alınmadığı takdirde bu radyasyon türü, tüm canlılara zarar verebilir. (Coşkun, 2011).

Nükleer, Latince “çekirdek” anlamına gelir. Nükleer enerji ise atom çekirdeğindeki parçalanma sonucunda oluşan enerjidir. 1934 yılında fizikçi Enrico FERMI uranyumu nötronlar ile bombaladıktan sonra ortaya çıkan atomların çok daha küçük olduğunu görerek nükleer bölünmenin farkına vardı. 1942 yılında bugünkü santrallere benzer olan ilk kontrollü sürdürülebilir nükleer enerji üretim sistemi oluşturulmuş, 1945 yılında ABD ilk nükleer silah denemesini New Meksico çöllerinde gerçekleştirmiştir. 1950 ve 1960 arası yıllar ise nükleer enerji santrallerinin hızla yaygınlaştığı dönem olmuştur.

Dünyada meydana gelen enerji talebi patlamasının olası sonuçları ekonomilere yansımış olup, enerji açığı ile başa çıkmak amacı ile NGS sayısının artacağı da tahmin edilmektedir. Bu enerji üretiminin payı günümüzde %11,7’ lik bir oran olarak karşımıza çıkıyor. NGS’lerin ülkemiz açısından önemi ele alındığında, Akkuyu Nükleer Güç Santralinin devreye girmesi ile birlikte ülkenin ilk etapta %6’ lık enerji ihtiyacını karşılayacağı düşünülmektedir. Tamamen aktif olduğunda ise bu oranın %10’a çıkması söz konusu olup, aynı zamanda İstanbul ilinin enerji ihtiyacının %90’ını tek başına karşılayabilecek seviyeye gelmesi anlamını taşımaktadır. Bu santral daha önceki modellere göre farklılık arz eden bir anlayış ile ‘yap, işlet, sök, götür’ anlaşması çerçevesinde işlem ömrü dolduğunda Rusya’ ya götürülecektir. Açığa çıkacak atıklar ile ilgili olarak da benzer bir prosedür uygulanacaktır.

Bu çalışmada farklı nedenlerle meydana gelen Çernobil ve Fukişima NGS kazaları ele alınarak, bunların nedenlerinin yanında sonuçları analiz edilmiş, inşa edilmekte olan ve inşası planlanan NGS'ler için alınabilecek önlemlere katkı sağlanmaya çalışılmıştır.

## 2. Materyal ve Yöntem

Çalışma literatüre dayalı olarak hazırlanmış olup bu bağlamda, günümüze kadar INES ölçeği 7 seviyesinde olan iki nükleer kaza ve bu kazaların etkileri konusunda internet kaynaklarından ve veri tabanlarından yararlanılmıştır. Bu çalışma yöntem olarak iki aşamada gerçekleştirilmiştir; Birinci aşamada, konu hakkında literatür taraması yapılmış, ikinci aşamada ise literatür kaynakları incelenerek sonuçlar değerlendirilmeler ile analiz edilip, bilgilerin sentezi yapılmıştır. Derlenmiş olan bilgiler karşılaştırılmalı olarak açıklanıp bu kazalardan edinilen tecrübeler ile alınabilecek tedbirler konusu ele alınmıştır.

### 2.1. Nükleer Güç Santrali Kazaları ve INES Ölçüm Düzeyleri

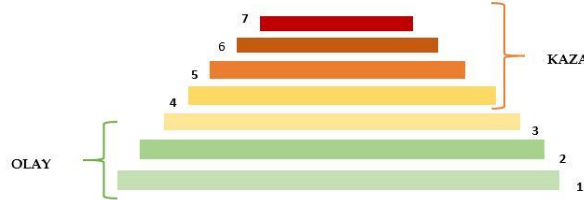
Dünyada ilk nükleer güç santrali, 1954 yılında ve Sovyetler Birliği döneminde inşa edilerek işletmeye alınan Obninsk Nükleer Enerji Santralidir (Anadolu Ajansı-AA, 2013). 1970'lerde yaşanan petrol krizi sonrası nükleer enerji santralleri hızlı bir şekilde tüm dünyada kurulmaya başlanmıştır. 2000'li yılların başlarında dünya üzerindeki nükleer güç santrali (NGS) sayısı toplam 400 civarı iken günümüzde bu sayı yaklaşık olarak neredeyse 450'ye yaklaşmıştır. Aşağıda verilen tabloda (Tablo 1) başlangıçtan günümüze kadar nükleer enerji ile ilgili yapılan çalışmaların aşamaları ve kronolojik bir sıralaması verilmiştir.

**Tablo 1.** Dünyadaki Nükleer Enerji Çalışmalarının Kronolojik Sıralaması (Fizik Mühendisleri Odası,2011)

Dünyadaki Nükleer Enerji Çalışmalarının Kronolojik Sıralaması	
YIL	Gerçekleşen Gelişme
1942	İtalyan fizikçi Enrico Fermi Chicago Üniversitesi'nde Manhattan Projesi'nde yaptığı test ile zincirleme nükleer tepkimesi ilk kez gözlemledi.
1945	“Trinity” isimli ilk nükleer silah ABD'nin New Mexico çölünde test edildi. 6 Ağustos Hiroşima, 9 Ağustos'ta ise Nagazaki atom bombasıyla bombalandı.
1951	İlk defa nükleer enerjiden elektrik enerjisi üretimi deneysel üretken reaktörde gerçekleştirildi (ABD, Idaho).
1955	Dünyanın ilk Nautilus adında nükleer denizaltısı ABD'de inşa edildi.
1954-1956	Nükleer reaktörde üretilen elektrik ilk defa Rusya tarafından şebekeye bağlandı (5 Mw). İngiltere Sellafield'da ise sivil kullanım için ilk ticari nükleer güç santrali (NGS) kullanılmaya başlandı.
1957	BM, tarafından Viyana'da Uluslararası Atom Enerji Ajansı kuruldu.
1965	Nükleer yakıt ile çalışan ilk uzay aracı ABD tarafından uzaya gönderildi.
1979	NGS ikincil soğutma sisteminde meydana gelen arıza nedeniyle Three Miles Island (ABD), reaktör çekirdeğinde erime gerçekleşti ve atmosfere büyük miktarlarda radyoaktif madde karıştı.
1986	Şu anda Ukrayna sınırında olan Çernobil NGS'nin 4 numaralı reaktöründe operatör hatasından dolayı şiddetli patlama meydana geldi. Kazada 31 insan yaşamını kaybetmiştir ve bunun sonucu olarak dünyada nükleer enerjiyle ilgili tartışmalar artmıştır.
1996	Dünyadaki ilk kaynar sulu reaktör (ABWR) Tokyo Elektrik Şirketi (TEPCO) (Japonya) tarafından ticari faaliyetine başlamıştır.
2005	Dünyanın ilk 3. nesil reaktörleri için Finlandiya tarafından Fransa'ya sipariş verilmiştir.
2007	Flamanville 3 reaktör yapımına Fransa'da başlandı.
2011	11 Mart tarihinde 9,0 şiddetinde Japonya'da meydana gelen deprem ve sonrasındaki tsunami Fukushima-Daiichi NGS'nde patlama ve sızıntılara sebep olmuştur. Bir dizi felaket zinciri sonucu su ve gıda kaynaklarına radyoaktif materyaller karışmış bu da bölgeden kitlesel göçlere sebep olmuştur.
2012	1970'ten bu yana Japonya ilk defa nükleer enerji reaktörünü kapatarak nükleer enerjiden uzak kalmıştır. (T.C. Kuzey Anadolu Kalkınma Ajansı, Nükleer Enerji ve Sinop Raporu,2016)

Şimdiye kadar yaşanan nükleer kazaların (1957, “Windscale”; 1979, “Three Mile Island”; 1986, “Çernobil”; 2011, “Fukushima”) şiddeti, Birleşmiş Milletler bünyesindeki Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu (IAEA) tarafından oluşturulan “Uluslararası Nükleer ve Radyolojik Olay Ölçeği (INES)” ile belirlenmektedir (Günalp, 2017). Böylece nükleer kazaların şiddetini belirlemek üzere bu ölçek (INES Olay Ölçeği) kullanılmaktadır (Günalp,

2017). Aşağıda verilen şekilde (Şekil 1), INES ölçeğindeki nükleer olay seviyeleri yer almakta olup bu seviyeler birinci seviyeden yedinci seviyeye kadar gruplandırılmıştır;



Şekil 1. INES Nükleer olay seviyeleri ve Skalası (nukleer.web.tr,2017)

**Seviye 7, Büyük Kaza;** geniş alanlara yayılıp çevresel etkilere ve sağlık sorunlarına sebep olan, mücadelenin de planlı, uzun vadeli önlemler olması gereken kaza çeşididir. Bu seviyedeki kazalar, atmosfere on binlerce tera becguerel I-131 (İyot 131) ile eşdeğer radyoaktif madde salınmasına neden olur. Bu şekildeki yoğun bir salınım, birçok ülkede olumsuz etki göstererek sağlık üzerinde stokastik etkilerle birlikte deterministik etkileri de oluşturur. Uzun süreli çevresel kirliliğide olasılıklar arasındadır. Böyle büyük çaplı kazaların insan üzerindeki etkilerini sınırlamak ve hatta engellemek için korunma barınakları ile birlikte güvenli tahliye gibi önlemlerin alınması hayati değerdedir. Şu ana kadar Çernobil ve Fukushima kazaları 7 seviyesine sahip, büyük kazalardır (Ülgen vd., 2011).

**Seviye 6, Ciddi Kaza;** ciddi kazalarda, geniş alanlara çok miktarda radyoaktif madde yayılır. Çevre ve insanlar üzerinde olumsuz etkiye sebep olurlar. Binlerce tera becguerel I-131 (İyot 131) ile eşdeğerde radyoaktif madde atmosfere salınır. Kazalardan sonra uzun vadeli önlemler alınmasını gerekir. Bu tip kazalar birden çok ülkeyi de etkileyebilir. Sığınma ve tahliye gibi çeşitli düzeylerde koruma amaçlı müdahaleler yapılabilir. Kyshtym (Mayak), ciddi kabul edilen tek kazadır. (Ülgen vd., 2011).

**Seviye 5, Geniş Sonuçları Olan Kaza;** geniş sonuçları olan kazalarda, atmosfere yüzlerce veya binlerce tera becguerel oranında I-131 radyoaktif madde salınımı olur. Bu seviyedeki kazalarda önceden planlanmış korunma önlemlerinin bir kısmı uygulanır. Atmosfere salınan radyoaktif madde sınırlı olmasına rağmen ölümcül sonuçlar meydana gelebilir. 1957, Windscale yangını (İngiltere) ile 1979, Üç Mil Adası kazası (ABD) 5 seviyesindeki kazalardandır (Ülgen vd., 2011).

**Seviye 4, Yerel Sonuçları Olan Kaza;** yüzlerce tera becguerel I-131 ile eşdeğerde radyoaktif madde atmosfere salınmasına yol açar. Saint Laurent des Eaux Kazası (Fransa) ile Tokaimura Kazası (Japonya) iki yerel sonuçlu kaza olarak meydana gelmiştir (Ülgen vd., 2011).

**Seviye 3, Ciddi Olay;** bu kaza türü nükleer tesislerde 1Sv/Saat'in üstünde hızda doza maruz kalınması, ramak kala durumlar, tasarım planında olmayan ciddi durumların olması zırlı, aktivitesi yüksek radyasyon kaynağının kaybolması, çalınması, uygun olmayan paketlenme gibi vakaları ifade eder. Bu olaylarda ölüme sebep olmayan yanıklar oluşabilir.

**Seviye 2, Olay;** çalışma ortamlarındaki doz hızının 50 mSv/Saatten fazla olması, bir kişinin 10 mSv/Saatten fazla radyasyon maruziyeti, çalışanlarda izin verilen yıllık radyasyon dozunun aşılması, tesis tasarımı aşamasında düşünülmeyen bir bulaşın meydana gelmesi, güvenlik zafiyetine neden olabilecek aksamalar, yüksek aktiviteli kaynağın kaybolması, uygunsuz paketleme durumları olarak tanımlanmaktadır.

**Seviye 1, Anomali;** savunmanın önemli derecede hasar görmediği problemler, yıllık kabul edilebilir dozun üzerinde radyasyona maruz kalma, güvenliğe olabilecek küçük çaplı problemler, taşıma paketi veya cihazın çalınma veya kaybolması gibi durumlardır (Ülgen vd., 2011).

### 3. Araştırma Bulguları

#### 3.1. Çernobil Nükleer Güç Santrali Kazası

Çernobil reaktörü 1984 Nisan'ında işletmeye alınmıştır. Reaktör 925 MWe(net) gücünde ve RBMK (yüksek güçlü, basınç tüplü reaktör) tipinde bir reaktördür. Bir diğer isimlendirme ise Hafif Su Soğutmalı Grafit Yavaşlatıcılı Reaktör olarak geçmektedir. Dünyada işletmede 16 adet RBMK tipi reaktör bulunmaktadır.



Şekil 2. Çernobil Nükleer Santrali'nin Konumu (<https://world-nuclear.org/>, 2022 ).

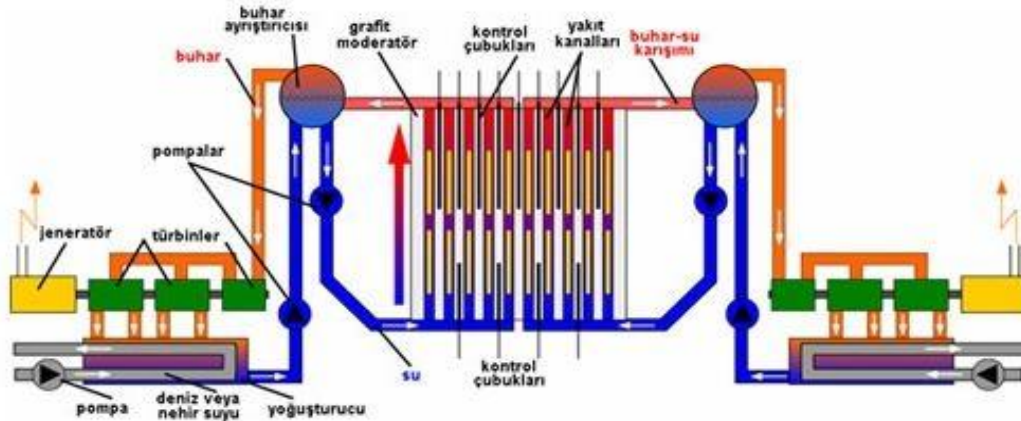
INES ölçeğine göre en büyük nükleer kazanın yaşandığı Çernobil Nükleer Güç Santrali, Beyaz Rusya'ya 20 km, Ukrayna'nın Kiev kentine 130 km ve Rusya'ya 150 km uzaklıkta olup santral soğutma suyunu, Dinyeper nehrinin kolu olan Prip'yat nehrinin yanındaki 22 km<sup>2</sup>'lik bir alana sahip olan yapay bir göletten karşılıyordu. Santralin 30 km'lik yarıçapı içindeki toplam insan nüfusu 115000-135000 kişi arasındaydı (Şekil 2).

Nükleer reaktörlerde fisyon tepkimesinin sonucu oluşan nötronların zincirleme reaksiyonu devam ettirebilmesi için yavaşlatılması gerekmektedir. Yavaşlatma işlemi için grafit kullanılır. Yapısal bütünlük, nötron kaçaklarını azaltma ve yüksek ısı kapasitesi nedeniyle tercih grafit edilirler. Grafit blok ortalama 12,8 m çapında çelik bir kazanda bulunur. 7 m yüksekliğindeki reaktör kalbinde grafit blokların içinde 1659 adet yakıt kanalı ile 211 adet kontrol çubuğu kanalı vardır. Bu NGS'nin reaktör ve kapasite özellikleri aşağıda Tablo 2'de detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 2. Çernobil Nükleer Santralinin Özellikleri (FMO,2011)

Reaktör Özellikleri	Kapasite
Isıl gücü	3200 MWt
Elektrik gücü	1000 MWe
Yavaşlatıcı (Moderatör)	Grafit
Soğutucu	Hafif su
Yakıt	%2 zenginlikte UO <sub>2</sub>
Yakıt elemanı zarf malzemesi	Zirkonyum
Her bir yakıt demetindeki yakıt elemanı sayısı	18
Kalp içindeki yakıt demeti sayısı	1659
Herbir yakıt demetindeki uranyum miktarı	114,7 kg
Kalp çapı	12 m
Kalp içindeki toplam uranyum miktarı	190,2 ton
Kontrol çubuğu sayısı	211
Kalp yüksekliği	7 m
Yakıt değiştirme	Reaktör çalışırken

Grafit blok ile yakıt kanalları arasında basınçlı helyum- azot karışımı gaz bulunur. Bu gaz karışımının nem ve sıcaklık ölçümü yapılarak yakıt kanalında sızıntı takip edilir. Reaktörü soğutma işlemi zirkonyum alaşımından yapılmış basınç tüplerinde akan su ile yapılır bu tüpler grafit blok içinden dikey olarak geçer. Soğutma sistemi iki bağımsız döngüden oluşur ve 4 çevrim pompası bulunur. Normalde 3 pompa çalışmakta olup 4'üncü pompa yedek olarak tutulmaktadır. Soğutucu su, kalbin altından girerek aşağıdan yukarıya doğru yakıt kanallarına pompalanır. Bu esnada yakıtlardan aldığı ısı ile su kaynamaya başlar ve kalp çıkışında 284 °C sıcaklığında ve 70 atm basınç değerinde buhar üretilir. Oluşan buhar reaktör kalbinin üzerinde yer alan ve buhardaki kalan su damlacıklarını ayıran buhar ayırıcılardan geçer ve elde edilen kuru buhar doğrudan türbine gönderilir. Türbinin buhar gücüyle dönmesi ve türbin şaftına bağlı jeneratöründe dönmesi sonucu elektrik üretilmektedir. Şekil 3'de RBMK tipindeki reaktörlerin fonksiyonel kesit şeması verilmiştir.



Şekil 3.RBMK Reaktörün Basit Şeması (nukleer.web.tr,2017)

Bu tip reaktörler belirli miktardaki basınç artışlarına göre tasarlanmış olup reaktör binasının taban kısmında ve su barındıran yoğuşturma havuzuna bağlıdır. Yerel boru kırılması halinde açığa çıkan buhar bu havuzda yoğuşturularak basıncın sınırlarda tutulması sağlanmaktadır. Fakat soğutucu kaybına bağlı bir kaza için bu tür reaktörlerde, radyoaktivite yayılımını önleyebilmesi için basınca dirençli koruma kabı bulunmamaktadır. 211 adet kontrol çubuğu ile santralin gücü ayarlanır. Bu çubuklar, gücü belli bir seviyede tutmaya ve reaktör kalbinde meydana gelebilecek dengesiz güç dağılımını önlemeye yararlar. Kontrol çubuklarının hareket hızının 0,4 m/sn olması nedeniyle acil hallerde kapatma yavaş gerçekleşmektedir. RBMK reaktörlerinde suyun olumsuz bir etkisi vardır. Su, her zincirleme reaksiyonda meydana gelen nötronların bir miktarını yutar. Yutulan nötronlara rağmen Reaktör normal işletme şartlarında, kritik halde kalabilmektedir.

### 3.1.1. Kazanın Gelişimi

25 Nisan 1986 tarihinde Reaktörün 4'üncü ünitesi bakım için durdurulup, elektrik kesintisinin olması halinde, kalp soğutmasının devam edip etmeyeceğini tespit etmek üzere deney yapılmasına karar verilmişti. Bu deneyde amaç, şebeke elektriği kesilmesi halinde yavaşlayarak duracak olan türbin, acil durum dizel jeneratörleri devreye girene kadar acil durum ekipmanı ile kalp soğutma pompalarına yeterli güç sağlanabilecek miydi, tespit edilmek isteniyordu. Böyle bir deney daha önce yapılmış ancak yeterli sonuç alınmadığı için tekrarına karar verilmişti. Deneyi hazırlayanlar bu deneyi santralin nükleer olmayan kısmıyla ilgili olduğunu düşünüyorlardı, deneyden sorumlu personel ile işletme ve güvenlikten sorumlu personel arasında yeterli bilgi alışverişi ve iş birliği sağlanamamış ve işletme personeli deneyin güvenlik ve potansiyel tehlikeleri konusunda uyarılmamıştı. Deneyde, reaktör kalbinin soğutulmasını sağlayan acil durum kalp soğutma sisteminin devre dışı bırakılması planlanmıştır. Bu durum kazaya etkisi olmamakla beraber, sistemin devre dışı bırakılması güvenlik prosedürlerinin uygulanmadığını göstermektedir. Reaktör yarı güce düşürülerek durdurulmak istenmiş, sorumlu personel bu duruma şebekeye güç ihtiyacının olması gerekçesiyle daha fazla güç düşürülmesine karşı çıkmıştır. Programa uygun olarak deney yürütülürken, yarı güçte (1600 MWt) çalışan reaktörün acil durum kalp soğutma sistemi devre dışı bırakıldı. 25 Nisan saat 23:00'te güç daha fazla azaltıldı. Bu deneyde reaktörün, durdurulmasından önce 1000 MWt gücünde sabitlenmesi gerekirken, işletme hatası nedeniyle güç, pozitif boşluk katsayısının baskın olduğu 30 MWt'a düşmüştür. Operatörler tarafından güç 700-1000 MWt yükseltmek için, kontrol çubuklarını otomatik olarak çalışmasını sağlayan sistem devre dışı bırakılmışlardır. Reaktör gücü 26 Nisan saat 01:00 dolaylarında 200 MWt civarında dengelenmiştir. Reaktörün kontrolünde 30 kontrol çubuğu kullanılması gerekirken deneyde 6-8 tane kullanılmıştır. Kontrol çubuklarının büyük kısmı, gücün düşürülmesi sonucu oluşan nötron yutucu ksenon birikimini telafi etmek amacıyla kalbin dışında tutulmuştur. Buda reaktörün hızlı kontrolüne ve durdurulmasına engel teşkil etmiştir. Saniyeler ile ifade edilen bir zaman diliminde hızla artan güce karşılık tamamı yukarıda bulunan kontrol çubuklarının kalbe girerek reaktörü durdurması için 20 saniyelik bir zaman gerektireceği dikkate alınmadan deneye devam edilmiştir. Bununla birlikte kontrol çubuğu tüplerinin bulunduğu suyun dışarı bırakılması sebebiyle pozitif reaktivite düzeyi daha da artış göstermiştir. Deney esnasında yedek pompaların devreye alınarak soğutucu akışında artış sağlanmış bununla beraber buhar basıncı düşmüştür. Reaktörün normal çalışmasında buhar basıncı düştüğü zaman reaktörü durdurmak için kullanılan otomatik sistem bu deney yapılırken devre dışı bırakılmıştır. Gücü korumak için operatörler, kalan kontrol çubuklarının tamamına yakını dışarı çıkartmışlardır. Bunun sonucu reaktör kararsız duruma gelmiş operatörler ise gücü sabit tutmak amacıyla birkaç saniye aralıklarla düzenleme yapma gerekliliği duymuşlardır. Buhar basıncının artması için besleme suyu akışı azaltılmış, bu esnada, türbin yavaşlamış ve türbin tarafından beslenen ana soğutucu pompalarından reaktöre giden soğutma suyu da azalmıştır. Soğutma suyundaki bu azalma reaktörü daha da kararsız bir hale getirmiş ve soğutma kanallarında buhar üretimini (pozitif boşluk katsayısı nedeniyle) arttırmıştır. Operatörler nominal gücün (Bir

motorun kısa süreli olarak güvenli bir şekilde verebileceği en yüksek güç) 100 katına kadar güç artışı önleyemezler. Isı üretimindeki büyük artış kalpteki yakıt bütünlüğünü bozar, hasar gören yakıtlardan kopan parçacıklar su ile reaksiyona girer ve sonuçta bir buhar patlamasına sebep olur. Reaktörün kalbi hasar görmüştür. Birkaç saniye sonra yakıt zarf elemanı olan zirkonyum elementi ile su buharı tepkimesi sonucu ortaya çıkan hidrojen kaynaklandığı düşünülen bir patlama daha olur (CHERNOBYL Assessment of Radiological and Health Impacts 2002 Update of Chernoby: Ten Years On ,2002).1000 ton beton ve çelik karışımı üst biyolojik zırh, patlamaların basıncıyla fırlayarak kalbi açığa çıkardı. Patlamaların tam olarak nedeni bilinmemektedir. Yapılan değerlendirmeler şiddetin 1 ton TNT patlamasının şiddetine eşdeğer olduğunu düşündürmektedir.

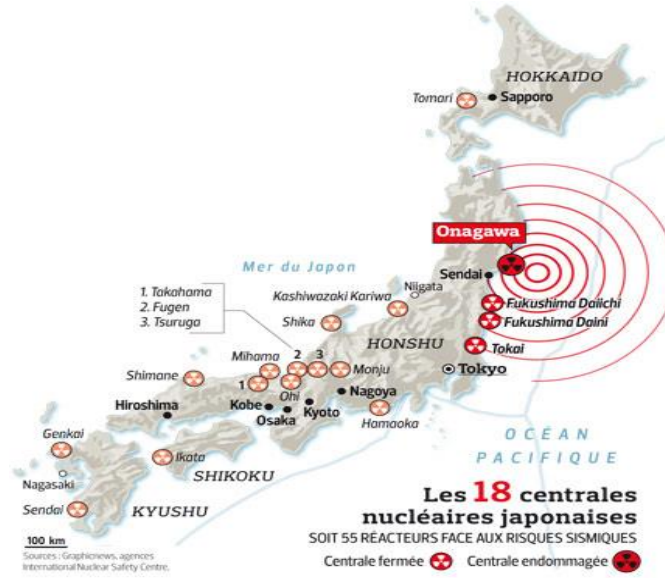
### 3.1.2. Grafit Yangını

Grafit yangını konusunda bilgi ve deneyim o yıllarda sınırlıydı bu nedenle yangınla mücadelede tereddütler meydana gelmiştir. Meydana gelen yangın ve radyoaktif madde salınımını ilk önlem olarak kontrol etmek adına, reaktörün hasar görmüş göçük oluşmuş kısmına nötronları yutacak ve yangını kontrol edecek malzeme boşaltılmıştır. Bu işlem için reaktör üzerine toplam 5000 tondan oluşan malzeme boşaltılmıştır. 1800 helikopter uçuşu ile boşaltma işlemi gerçekleştirilmiştir. İlk helikopter uçuşları reaktörün üzerinde durarak boşaltma şeklindeydi, fakat helikopter pilotlarının fazla doz alması nedeniyle malzemeler helikopter uçuşu esnasında bırakılmaya başlandı, bu durumda da sağlam yapılar hasar görmüş ve radyoaktif kirlilik daha da yayılmıştır. Kullanılan malzemelerin kimyasal özellikleri ise radyasyonu soğurmak için kurşun, zincirleme reaksiyonu engellemek için nötron yutucu özellikli borkarbür, yangını boğmak için dolomit ve parçacıkların dağılmasını önlemek içinse kum ve çakıl şeklinde sıralanabilir. Reaktördeki yıkıntıların ve yangın dumanının görüşü engellemesine rağmen taşınan malzemeler reaktördeki göçüğün üzerine boşaltılabilmektedir. Koryum kazanın sekizinci gününde, alt biyolojik zırh aşır tabana akmıştır, koryumun hareketi yüzey alanını artırarak radyonüklitlerin salınımını kolaylaştırmıştır. Koryumla basınç baskılama havuzu suyunun teması buhar üretimini neden olarak radyoaktif aerosol açığa çıkarmıştır. Bu olay aktif periyodun son evresindeki ani radyonüklit salınım artışı açıklamaktadır. Grafit yangınından dolayı uzun süreyle geniş alanlara yakıt malzemesi salınmıştır. Yakıt parçacıklarının büyük olanları daha dar bir alana, küçük parçacıkları ise daha geniş alanlara yayılmıştır. Grafit yangını 9 Mayıs'ta söndürülerek reaktörün altında takviye beton katman oluşturma ve santralin 3'üncü ünitesinin altında tünel açma çalışmalarına başlanmıştır. Beton katmanın oluşturulması çalışması 400 kişi ile 15 gün sürmüştür. Bu katman çalışmasının amacı, gerektiği zaman koryumu soğutarak radyoaktif malzemelerin yer altı suyuna karışmasını engellemektir. Kazadan sonra çevreye salınan radyonüklitlerin miktarını belirlemek için koryum ve reaktör enkazına ait analizlerden yararlanılmıştır. 1986'dan beri yapılan ölçüm ve değerlendirmeler ile başta  $^{131}\text{I}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  olmak üzere çevreye salınan radyonüklitlerin miktarları belirlenmiştir. Halkın maruz kaldığı radyolojik açıdan en önemli radyonüklitler  $^{131}\text{I}$  ve  $^{137}\text{Cs}$ 'dir. Yapılan çalışmalar sonucu, yakıttaki  $^{137}\text{Cs}$ 'nin %20-%40'ının ( $85 \pm 26 \text{ PBq}$ ),  $^{131}\text{I}$ 'in ise %50- %60'ının çevreye salındığı kabul edilmiştir. Ayrıca ksenon gibi asal gazlarda tamamen yakıttan ortama dağılmışlardır. Uçucu bileşik ve elementler havada aerosollere bağlı olarak taşınmıştır.  $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{95}\text{Nb}$ ,  $^{140}\text{La}$ ,  $^{141}\text{Ce}$ ,  $^{144}\text{Ce}$  gibi daha büyük parçacıklar uranyum matrisinin içinde gömülü olarak yakıt parçacıklarıyla taşınmıştır. Yarılanma ömrü kısa radyonüklitlerin 10 günlük toplam salınımına ait ilk ve sonradan yapılan değerlendirmelere göre;  $^{131}\text{I}$ ,  $^{132}\text{I}$ ,  $^{133}\text{I}$ ,  $^{134}\text{I}$ ,  $^{135}\text{I}$  ve  $^{132}\text{Te}$  için sırasıyla 1760, 1040, 910, 25, 250 ve 1040 PBq olduğu tahmin ediliyor. İlk günlerde tespit edilen yüksek salınımlar, nükleer yakıtın patlaması esnasında mekanik hasar görmesinden dolayı meydana gelmiştir. Salımın içeriği uçucu radyonüklit, iyot ve sezyumdan oluşmaktadır. Kazanın 7'nci ve 10'uncu günler arasında kalbin ergimesi sonucu ikinci büyük salım gerçekleşmiştir. Altındaki zırha doğru koryumun akarak hızla soğuması 10'uncu günden sonra görülen radyoaktif salımın keskin düşüşünün sebebi olduğu düşünülmektedir. Kazanın 9 ve 10'uncu günleri olan 5 ve 6 Mayıs tarihlerinde radyoaktif salım nispeten azalmıştır. Kazadan sonraki 40 gün içerisinde düşük düzeyde salım devam etmiştir.

Sovyetler Birliği tarafından, onbinlerce işçi, 400.000 m<sup>3</sup> kadar beton ve 7000 ton metal malzemeye 206 gün içinde "lahit" adı verilen bir koruma binası inşa edilmiştir. Lahitin içinde 7x10<sup>17</sup> Bq aktiviteye sahip ışınlanmış halde nükleer yakıt mevcuttur. Lahitin içindeki radyoaktif malzemelerin durumunun izlenmesi yüksek radyasyon sebebiyle halen mümkün değildir. Bu izleme işlemi için yüksek radyasyon düzeylerinde çalışabilecek yeni ekipmanlara ihtiyaç vardır. Bugün dahi lahit binasının zarar görmesi halinde dışarıya radyoaktif toz ve suyun salınma tehlikesinin bulunduğu düşünülmektedir.

### 3.2. Fukushima Nükleer Güç Santrali ve Kazasının Oluşumu

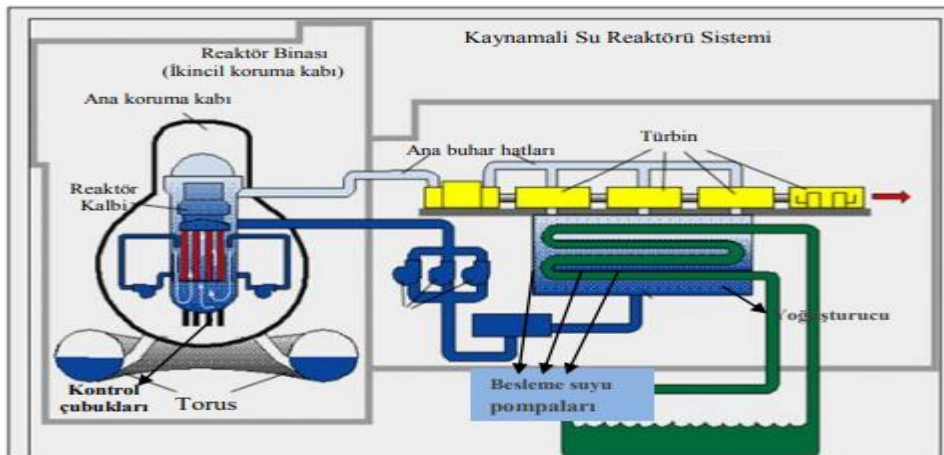
Fukushima Nükleer Güç Santrali, Japonya'nın Fukushima şehrine yakın sahil kenarına kurulmuştur. 11 Mart 2011 tarihinde Sendai şehriden 130 km uzaklıkta meydana gelen 9.0 büyüklüğündeki deprem ve onu takip eden tsunami sonucu, nükleer santral tarihinin en büyük ikinci kazası meydana gelmiştir. Merkez üssüne 180 km uzaklıkta bulunan Fukushima santralinde kaydedilen sismik bilgi, santral için 0.56 g ivmelenme göstermektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Fukushima haritası (URL-1).

Daiichi santrali için ilk olarak tasarlanan tsunami yüksekliği 3.1 metreydi. Bu değer, 1960 da Şili'de gerçekleşen tsunami göz önüne alınarak belirlenmiştir. Santral deniz seviyesinden 10 metre yüksekliğe inşa edilmiş ve deniz suyu pompaları ise deniz seviyesinden 4 metre yükseklikte bulunmaktadır. 2002 yılında tasarım, 5.7 metre tsunami için geliştirilmiştir. Deprem olduğu sırada oluşan 23 metre yüksekliğindeki tsunami sahile vurduğunda yüksekliği 15 metreye düşmüş ve türbin binasını 5 metre su altında bırakmıştır.

Fukushima reaktörleri 1960'ların başlarında tasarımı General Elektrik (GE) Firmasına ait ikincil koruma kabı tipi "MARK-I" olarak bilinen kaynamalı su reaktörleri olarak inşa edilmiştir (Şekil 5). Fukushima santrali toplam 6 adet üniteden oluşmaktadır. Yakıt olarak uranyum dioksit kullanılmıştır. Mark-I kaynamalı su reaktörlerinde ana koruma kabı, ampul şeklinde 30 mm çelik destekli betondan yapılmış kuru kuyu koruma kabıdır. Bu koruma kabının altında torus (simit) şeklinde ıslak kuyuya bağlıdır. Bu kuyu yaklaşık olarak 3000 m<sup>3</sup> su ve basınç rahatlatma havuzu içerir (USNRC,1975). Kuru kuyu koruma kabı ve ıslak kuyu birlikte ana koruma kabını meydana getirirler. Kaza anında enerjinin soğurulması görevini basınç rahatlatma havuzu üstlenir. Kuru koruma kabındaki basıncın artması durumunda havuzdaki su basıncı düşürmek üzere kullanılır.



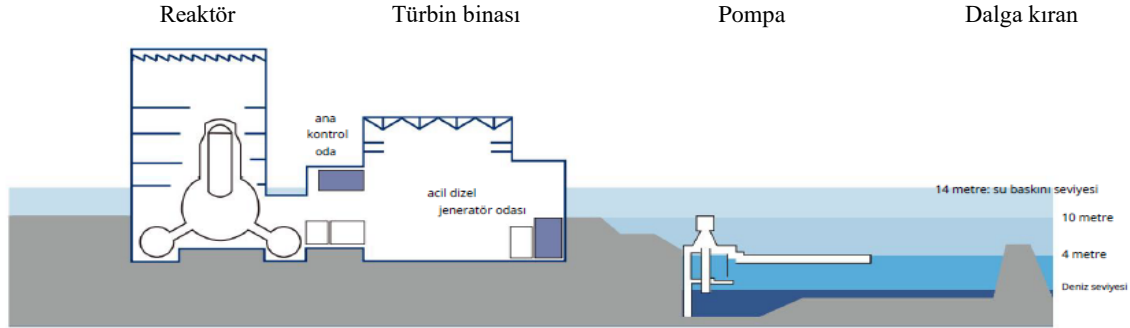
Şekil 5. Kaynamalı Su Reaktörü (URL-2).

Nükleer santrallerdeki en kötü durum senaryoları, birikmiş radyoaktivitenin reaktör çekirdeğinden çevreye doğrudan salınmasıyla sonuçlanan kazalardır (USAEC,1957). Böyle bir duruma neden olabilecek iki tür kaza, nükleer enerji gelişiminin başlangıcından beri endişe kaynağı olmuştur: güç dalgalanması kazaları ve soğutma sıvısı kaybı kazaları. 1986'daki Çernobil Nükleer Santrali (NPS) kazası eski gruba aittir: güç dalgalanması, reaktörü ve binasıyla birlikte anında yok eden bir patlamaya yol açan fisyon zincir reaksiyonlarını kontrol edememe sebep olmuştur (USSR State Committee on the Utilization of Atomic Energy, 2011). 2011'deki Fukushima-1 kazası ikinci gruba aittir: art deprem ve tsunami daha sonra hem saha dışı hem de sahadaki güç



kaynağının kaybına neden oldu ve Fukushima-1 NPS'deki altı üniteden üç reaktörde reaktör çekirdeğinin erimesine yol açtı (Japon Hükümeti Nükleer Acil Müdahale Karargâhı, 2011).

Fukushima-1 NGS sahasında altı adet kaynar su reaktörü (BWR) ünitesi vardı 11 Mart 2011 tarihinde saat 14:46'da meydana gelen depremde, üç ünite (Ünite 1, Ünite 2 ve Ünite 3) tam güçte çalışmaktaydı ve geri kalan üç ünite ise yıllık bakım için hizmet dışıydı.

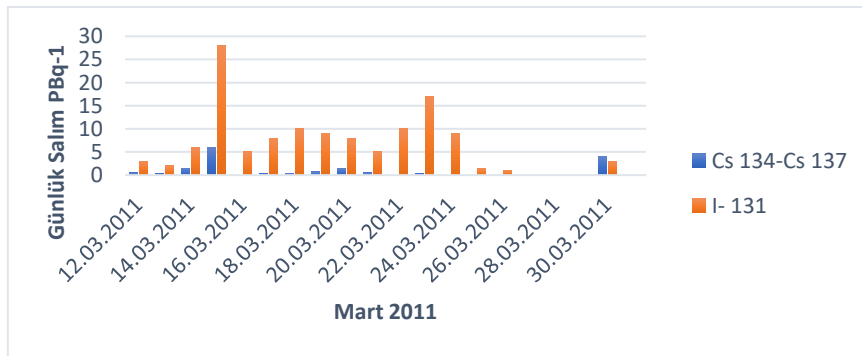


Şekil 6. Tesisin Enine Kesiti ( Povinec,2013)

Sismik dalgaların gelmesi esnasında bir güç iletim kulesi düştü ve trafo merkezindeki trafo hasarlarından dolayı saha dışı güç kaynağının iletim hattı kesildi. Reaktörün karartılmasını önlemek için Acil Durum Dizel Jeneratör (EDG) her ünitelerde otomatik olarak çalıştırıldı. Yaklaşık 40 dakika sonra, bir dizi tsunami dalgası Fukushima-1 reaktörüne çarptı ve dalga yükseklikleri 10 m'yi aştı (Şekil 6). Tsunamiye karşı koruma ~ 6 m için tasarlanmıştı. Ünite 1'den Ünite 4'e kadar olan tüm Acil Durum Dizel Jeneratör'leri türbin binalarının bodrum katına yerleştirilmişti. Bu katlar tsunami nedeniyle deniz suyuyla doldu ve sonuç olarak, reaktör çekirdeklerini soğutmak için AC gücü kaybedildi. Ayrıca, Ünite 1 ve Ünite 2'de proses aletlerine ve kontrol valflerine güç sağlayan DC piller kullanılamaz hale geldi.

Reaktör kapatıldıktan sonra soğutma sistemi çalışmadığında, çekirdekteki fisyon ürünlerinden kaynaklanan bozunma ısı, soğutucu suyunun hem sıcaklığında hem de basıncında artışa sebebiyet verip nihayetinde reaktör çekirdeğinin erimesine neden olacaktır. Ünite 1'de, reaktör çekirdeği 11 Mart akşamı hasar görmeye başladı ve gece yarısı 840 kPa'lık yüksek bir Muhafaza Tankı (CV) basıncı kaydedildi ve bu, tasarlandığı basınçtan yaklaşık iki kat daha yüksekti (427 kPa). Bu aşamada Muhafaza Tankı imhasının reaktördeki en kötü durum anlamına geleceği açıktı. 12 Mart saat 14:30 civarında, muhafaza tankı basıncını azaltmak için nihayet muhafaza tankı havalandırması yapıldı. Daha sonra saat 15:36'da reaktör binasının üst kısmında bir hidrojen patlaması meydana geldi. Ünite 1'in itfaiye motorları ile çekirdek soğutması 12 Mart akşamı başladı. Ünite 3'te, tsunami çarpmasından sonra, çekirdek soğutma 12 Mart'ta 11:36'ya kadar Reaktör Çekirdek İzolasyon Soğutma Sistemi (RCIC, Reactor Core Isolation Cooling) tarafından sağlandı.

Şekil 7. Günlük  $^{131}\text{I}$  ve  $^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$ 'nin Salınımı (Imanaka vd., 2015)



Reaktör Çekirdek İzolasyon Soğutma Sistemi (RCIC) durduktan sonra, yüksek basınçlı soğutucu enjeksiyon sistemi (HPCI, High pressure coolant injection) otomatik olarak harekete geçti ve 13 Mart 02:42'ye kadar çalışmaya devam etti. Çekirdek hasarının 13 Mart sabahı başladığına inanılıyor. 14 Mart saat 11:01'de reaktör binasının içinde bir hidrojen patlaması meydana geldi. Tsunami vurduğunda Ünite 2'de Reaktör Çekirdek İzolasyon Soğutma Sistemi çalışıyordu. 14 Mart saat 13:25'e kadar DC gücü olmadan çalışmaya devam etti. Çekirdek hasarının 14 Mart akşamı başladığına inanılıyor. Muhafaza Tankı havalandırması denendi ancak başarısız oldu. Gece boyunca 600 kPa'lık yüksek bir Muhafaza Tankı basıncı kaydedildi ve bu yüksek basınç ertesi sabaha kadar devam etti. 15 Mart saat 06:00 civarında Muhafaza Tankı basıncında hızlı bir düşüş gözlemlendi ve

bu, Ünite 2'nin Muhafaza Tankı bütünlüğünde ciddi hasar olduğunu gösterdi. Bu, Fukushima-1 kazası sırasında meydana gelen en büyük radyoaktivite salınımı ile sonuçlandı. UNSCEAR (UNSCEAR, 2013) tarafından yapılan tahminlere dayalı olarak Fukushima-1 reaktöründen  $^{131}\text{I}$  ve  $^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$ 'nin günlük radyoaktivite deşarjı yukarıda verilen grafikte (Şekil 7) gösterilmektedir.

Hem Çernobil hem de Fukushima-1 kazaları, Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı'nın (IAEA) Uluslararası Nükleer Olay Ölçeğindeki (INES) en kötü seviye olan Seviye-7 olarak sınıflandırılmıştır.

### 3.3.Radyoaktivite Salınımının Her İki Kazadaki Durumu

Çernobil ve Fukushima-1 için atmosfere salınan radyoaktivite Tablo.3'te karşılaştırılmıştır. UNSCEAR ve Çernobil Forumu'nun bulgularının karşılaştırılması sonucu Fukushima-1'den  $^{131}\text{I}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  salınımları ile ilgili emisyonların Çernobil'in aynı tür salınımlarının %7'si ve %10'u olduğunu göstermektedir (Çernobil Forumu, 2005). UNSCEAR değerleri temel olarak ortamdaki izleme verilerini, salınan radyoaktivitenin atmosferik taşıma simülasyonunun sonuçlarıyla birleştiren bir tersine çevirme tekniğine dayanmaktadır (Terada ve ark., 2012). Fukushima-1'den salınan  $^{131}\text{I}$  ve  $^{137}\text{Cs}$ 'nin Çernobil'den önemli ölçüde daha azdır.

Fukushima-1'den  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{239}\text{Pu}$  ve diğer radyonüklidler şeklinde salınan radyoaktivitenin, Çernobil'den salınandan çok daha az olduğu kabul edilmektedir. Çünkü Çernobil kazasında, reaktör çekirdeğinin içinde patlama meydana geldiğinden reaktör malzemelerinin kendileri (nükleer yakıtlar ve grafit bloklar vs.) atmosfere dağılmıştır.

**Tablo 3.** Çernobil ile Fukushima NGS Radyonükleid Salınımı (Imanaka vd., 2015)

RADYONÜKLEİD	ÇERNOBİL	FUKUSHİMA
$^{133}\text{Xe}$	6500	7300
$^{131}\text{I}$	1760	120
$^{132}\text{Te}$	1150	29
$^{134}\text{Cs}$	47	9,0
$^{137}\text{Cs}$	85	8,8
$^{90}\text{Sr}$	10	Ölçülemedi
$^{95}\text{Zr}$	84	Ölçülemedi
$^{103}\text{Ru}$	168	Ölçülemedi
$^{106}\text{Ru}$	73	Ölçülemedi
$^{140}\text{Ba}$	240	Ölçülemedi
$^{141}\text{Ce}$	84	Ölçülemedi
$^{239}\text{Np}$	400	Ölçülemedi
$^{239}\text{Pu}$	0,013	Ölçülemedi

**Tablo 4.** Kontaminasyon Oranları (Imanaka vd., 2015)

Yer	Kontaminasyon Yoğunluğu Bq m <sup>-2</sup>		
	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{239,240}\text{Pu}$
Litate köyü örnek 1	1000000	390 <sup>2</sup>	0,03
Litate köyü örnek 2	590000	300 <sup>2</sup>	0,07
Litate köyü örnek 3	2200000	790 <sup>2</sup>	0,2
Kiev altı örnek ort.	25000	5800	160

Böylece, Çernobil'den boşaltılan radyonüklidlerin bileşimi, reaktör çekirdeğinde bulunana benzerdi. Bunun aksine, Fukushima-1'de reaktör çekirdekleri patlamadı ve radyoaktivite deşarjı çoğunlukla hasarlı ve erimiş reaktör

çekirdeklerinden yayılan gaz halindeki ve uçucu radyonüklidlerden oluşmaktaydı. Fukushima-1'de Ünite 1 ve Ünite 3'ün reaktör binasının çatısı altında iki hidrojen patlaması meydana geldi, ancak bunlar muhafaza tanklarının içinde değildi. Fukushima-1'den atmosfere  $^{90}\text{Sr}$  ve  $^{239,240}\text{Pu}$ 'nun Çernobil'den çok daha az deşarj olduğu toprak örneklerinin ölçümüyle doğrulanmıştır. Kiev'den alınan toprak örnekleriyle (Garger vd.,1996), Fukushima Litate köyünden alınan toprak örneklerinde (Imanaka vd., 2012)  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{239,240}\text{Pu}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  kontaminasyonu oranları yukarıda Tablo 4'te verilmiştir. Ayrıca INES ölçeğine göre 7 seviyesindeki bu iki kazanın genel olarak bir karşılaştırılması ise aşağıda Tablo 5'te verilmiştir.

**Tablo 5.** Fukushima ve Çernobil Kazalarının Genel Karşılaştırması

<b>Kaza Özellikler</b>	<b>FUKUSHİMA DAİİCHİ KAZASI</b>	<b>ÇERNOBİL KAZASI</b>
Kaza tarihi	11 Mart 2011	26 Nisan 1986
INES Ölçeğine göre kaza seviyesi	7. Seviye – Önemli kaza	7. Seviye – Önemli kaza
Reaktör sayısı	Altı reaktör bulunur üç tane reaktör kullanım halindedir.	Dört reaktör bulunmakta olup. Kaza bir reaktörde meydana gelmiştir.
Reaktör tipi	Kaynamalı su reaktörüdür (BWR).	Grafit moderatörlü kaynamalı su reaktörüdür.
Kazaların Özeti	8.9 şiddetindeki deprem ve tsunami, santralin elektrik sistemine zarar verip soğutma sistemini çökertip hidrojen gazı patlamasına sebep olmuştur.	Reaktörün sistem testi esnasında meydana gelen ani güç dalgalanması sonucu reaktör basınç kabı zarar görmüş ve bunu bir dizi patlama izlemiştir. Reaktördeki yangın 10 gün sürmüştür.
Etkilenen alan	Santralin kuzeybatı yönünde 60 km, güney-güneybatısında yönünde 40 km'den uzakta radyasyon sınır değerlerin üzerinde ölçülmüştür.	BM bildirimine göre, santralden 500 km uzağa kadar radyasyon salımı ulaşmıştır.
Tahliye edilen bölge	20-30 km insanların gönüllü olarak tahliye olduğu bölge olup farklı beş bölgeden de halk tahliye edilmiştir.	30 km bölge tahliye edilmiştir.
Tahliye edilen insan sayısı	78.000 kişi bölgeden tahliye edilmiştir.	1986'da 115 bin kişi tahliye edilmiş sonrasında çeşitli bölgelerden yaklaşık 220 bin kişi taşınmıştır.
Kazaya bağlı ölümler	Radyasyonun sebep olduğu ölüme rastlanmamıştır.	BM raporunda, 2008 yılı itibariyle radyasyon nedeniyle 64 ölüm vakası bildirilmiştir.
Güncel durum	Radyoaktif sızıntıyı engellemek için reaktörlerin etrafına koruyucu yapılar inşaa edilmektedir. Reaktörlerin halen soğutulmasına devam edilmektedir.	Hasarlı reaktör beton bir kaplama lahit ile tamamen kaplanarak sızıntı engellenmeye çalışılmıştır.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada verilen bütün tablolarda, grafiklerde ve şekillerde görüldüğü gibi, Çernobil ve Fukişima Nükleer Güç Santralleri kazalarının sonuçları her ne kadar benzer gözüksede bu iki büyük kazanın nedenleri farklılık göstermektedir. Bu büyük kazalardan ilki olan Çernobil santralindeki kazanın ana nedeni insan hatası olarak gözükmekte ve bu yönü ile alınacak dersler kapsamında önlemler alınmalıdır. Bunun yanı sıra Fukişima nükleer güç santralindeki kazanın ana nedeni doğal felaket gözükmekle beraber, yinede minimum düzeyde de olsa insan faktörü baz alınarak, bu yönü ile daha sıkı önlemlerin alınması gerektiği düşüncesi ortaya çıkmaktadır. Böylece NGS kazalarından alınan derslerle birlikte yapılması gerekenler ve alınması gereken önlemler alt başlıklar halinde sıralanacaktır.

#### 4.1. NGS Kurulumunda ve İşletilmesi Esnasında Alınabilecek Tedbirler

Santral ünitelerinde kullanılmış olan yakıt havuzlarının soğutma yetenekleri çeşitli sebeplerden dolayı kaybolabilir. Depolanmış kullanılan yakıtın yeterli şekilde soğutulmasını sağlamaya yönelik, kamera gibi sistemlerle fiziksel gözetim yapılarak, radyasyon monitörleri kullanılarak, havuz sıcaklığını kontrol edecek monitörler bulundurularak, havuz suyu seviyesinin takip etmek için monitörler yerleştirilip, havuz tamamlama suyu sağlayacak şekilde ek önlemler alınmalıdır (NRC, 2014).

Seviye 7 gibi büyük kazaların olması halinde gerçekleştirilecek olan aksiyonlar fazlar halinde yazılı yönetmelik haline getirilerek yürürlüğe konulmalıdır. Fukushima'dan öğrenilen dersler rehberliğinde nükleer bir kazanın olası etkilerini hafifletmek için saha içi ve dışı yapılması gereken aksiyonları Faz-1, Faz-2, Faz-3 şeklinde Takahashi ve Kitamura tarafından açıklanmaya çalışılmıştır (Takahashi ve Kitamura, 2014). Bu fazlar şunlardır;

**Faz 1:** Bu fazda kurulu olan batarya ve pompaların kullanılabilirliği önemlidir. Kaza başladığı zaman, santraller de buharla çalışan pompalar, batarya bazı güç sistemleri gibi kurulu olarak bulunan ekipmanlar kullanılmaktadır. Nükleer santralde kurulu bulunan ekipmanların zarar görmeden 2. Faza geçebilecek şekilde tasarlanmalıdır.

**Faz 2:** Pompa ve jeneratör ekipmanının kullanımını içermektedir. Bu ekipmanlar reaktöre yakın konumlandırılarak afetlere karşı daima korunması sağlanmalıdır. Faz 2 kaynakları güvenliğinin sürdürülebilmesi için gerektiğinde reaktörlere taşınıp bağlanabilmelidir. Bu faz boyunca santral dışında bulunan depolardan jeneratör ve diğer ekipmanların çalışacağı diğer bölgelere yakıt transferi yapılabilmelidir. Yakıtın 3. Faza geçmeye yetecek şekilde depolanmasına önem verilerek tasarımlar bu yönde yapılmalıdır. Bu faz boyunca geri besleme pompaları, dizel jeneratörler ve hortumların kullanımı önemli olup kullanılacak yakıtların ise santral dışında bulundurulması önemlidir.

**Faz 3:** Dışardan yardımın ulaşmasıyla faz 3 evresi başlar. İhtiyaç olan ekipman ve diğer kaynakların taşınması gerektiği için nükleer santral yönetimi sorumlu olan merkezlerle haberleşir. Tsunami ve selleri engellemek için alınabilecek önlemler ise; sahadan suyu uzaklaştıracak kalıcı ve geçici pompalar kullanılabilir. İnsan yapımı veya doğal drenaj sistemleri, taşkın sularını enerji santrali bölgesinden uzağa yönlendirerek taşkını azaltabilir. Taşkın duvarları, elektrik santral sahasına taşkın sularının girişini engeller. Bu duvarlar ayrıca sel etkileri olan dalga hareketi, erozyon ve moloz akışımında azaltırlar. Siperler, kum torbası veya şişirilebilir siperler bir selden önce alanı kuru tutmak için geçici olarak kurulan su geçirmez bariyerlerdir. Nükleer santral sahasının kalıcı olarak arttırılan kot yüksekliği, sel kaynaklarının sahayı etkileme ihtimalininde azaltır. Gemilerde olanlara benzer su geçirmez özel tasarlanmış kapılar, sel sularını reaktör sistem ve ekipmanları için hayati önemdeki acil durum jeneratörlerinden uzak tutmaya yardımcı olarak sahanın korunmasını gerekli desteği verirler (Acton ve Hibbs, 2012).

#### 4.2. Gıda ve Solunum Yolu ile Alınabilecek Tedbirler

Bir nükleer santral kazasında radyoaktivite salınması halinde, santralin yakınında bulunan kara, deniz, nehir ve yapılar, radyonüklidlerin bir karışımıyla kirlenebilir, bireyler bu fisyon ürünleri vasıtasıyla radyasyona maruz kalabilirler. Gıdalarda bulunan radyonüklidlerin oranı gıdanın türü ve gıdanın üretilmiş olduğu coğrafi bölgeye göre değişir. Potasyum-40 (K-40), radyum-226 (Ra-226) ve uranyum 238 (U-238) en sık rastlanan gıdalardaki radyonüklidlerdir. K-40 en yaygın olan doğal radyoizotoptur. Sütte K-40 seviyeleri 50 Bq/L seviyelerindedir ve potasyum zengini diğer gıdalar olan et, muz gibi ürünlerde birkaç yüz Bq/kg'a kadar ölçülebilir. Reaktör kazası sonucu büyük miktarlarda radyoizotopun çevreye salınması, gıda ve hayvan yeminin yüzeyine düşebilir. Hava kirliliği yağmur suyu veya kirliliği kar vasıtasıyla da gıdalar kontamine olabilir. Radyoaktif madde su, nehir, deniz ve deniz ürünlerinde birikebilir bu durumda gıda zincirinde kirlenmeye neden olmaktadır. (Singleton, 1958). Bir nükleer santral kazasından sonra çevreye salınım olması halinde kısa ve uzun yarı ömürlü çok sayıda fisyon ürünü atmosfere yayılabilir. Bu fisyon ürünleri arasında kısa yarı ömürlü olanları (ortalama birkaç gün) Xe-133, I-131, Te-132/I ve uzun yarı ömürlü olanları (2,06 ve 30,2 yıl) Cs-134 ve Cs-137 en önemlileri olarak sıralanabilir. Söz konusu sıralamaya, Sr-90 ve uzun ömürlü plütonyum izotopları da eklenebilir. Gıdalara bulaşmasından endişe edilen radyonüklidler, I-131'dir. Geniş bir alana dağılarak kontamine yemden süte hızla geçebilir. Bununla beraber, I-131 kısa yarılanma ömrüne sahiptir ve birkaç hafta içinde tükenme durumuna gelir. Buna karşılık, radyoaktif sezyum daha erken tespit edilebilir ancak daha uzun ömürlüdür ve çevrede uzun süre kalabilir. Serbest kalması halinde uzun vadeli endişe yaratabilecek diğer radyoizotoplar arasında stronsiyum ve plütonyum sayılabilir. Stronsiyum-90 yaklaşık 29 yıl, Plütonyum ise uzun yarılanma ömrüne sahiptir (Pu-239: 24100 yıl, Pu-240: 6564 yıl ve Pu-238: 88 yıl). Gerek stronsiyum gerekse plütonyum nispeten hareketli olup geniş alanlara yayılmaz. Bitkiler radyonüklidlerin atmosferik salınımından etkilenebilirler ve radyonüklidler yapraklı bitkilerden

tespit edilebilirler. Büyük yapraklı sebzeler nükleer bir kazada erken safhada kontamine olmaktadır. Sütte aynı şekilde radyoaktif maddelerin hızlı transferi sebebiyle erken kontamine olan bir gıdadır. Radyonüklidler topraktan geçtiği için, çilek, mantar ve av eti gibi doğadan toplanan yiyecekler de radyoaktivite birikebilir. Bazı radyonüklidleri balık ve su mikroflorası biyolojik olarak konsantre edebilir. (WHO, 1999). Yüksek radyasyon maruziyetinde uzun vadede bireyler için temel sağlık endişesi kanserdir. IAEA, ortalama doğal kaynaklardan radyasyon maruziyet sınırı yıllık yaklaşık 2,4 mSv olduğunu tahmin etmektedir. Rakamlar konuma bağlı olarak da değişebilmektedirler. Gıdalardaki radyoaktif iyot (I-131), tiroid bezine hızlı geçiş özelliğinden dolayı endişe kaynağıdır. Radyoaktif iyotun solunma veya yutulması halinde, tiroid bezinde birikerek tiroid kanseri riskini artıracaktır. Radyoaktif sezyum (Cs-134 ve Cs-137), uzun yarı ömre sahip olması nedeniyle çevrede uzun süre kalarak yıllarca gıda ve gıda üretimi için sorun teşkil edip insan sağlığına tehdit oluşturabilir. Cs-137 vücuda eşit olarak dağılıp vücutta kısa bir süre kalmaktadır. Cs-137'e maruz kalmada diğer tüm radyo nüklitler olduğu gibi kanser riskini arttırmaktadır (WHO, 1999). Büyük bir nükleer reaktör kazasında kısa sürede en etkili olan izotop radyoaktif I-131'dir.

Bütün bu insan sağlığı üzerindeki etkileri en aza indirmek için iyot tabletleri kullanılması gerekmektedir. Buna göre, nükleer kazalar öncesinde, önlem ve hazırlık safhasında sağlık ocaklarında, okullarda, hastanelerde ve eczanelerde iyot tabletleri stoklanmalıdır. İlk yardım çantalarına da eklenecek olan iyot tabletleri kaza sonrasında hemen kullanılacak şekilde saklanmalıdır. İyot tabletleri ve kullanma talimatı kaza öncesi hazır olmalı gerekli bilgiler iyot tabletlerinin bulunduğu yerlere asılmalıdır. Tabletlerin kullanımında zamanlama çok kritiktir. Geç alınması halinde tiroit bezleri radyoaktif iyodu absorbe edecek, çok erken alınması halinde ise radyoaktif olmayan iyot etkisini yitirerek radyoaktif iyotun emilimine neden olacaktır. İyot tabletleri kullanılırken ortama ne kadar radyoaktif iyot yayıldı, kaza bölgesine olan mesafe ne kadar, rüzgâr ve hava şartları nasıl etkiler gibi koşullar dikkate alınmalıdır. KI tabletleri 24 saat etkili olmaktadır uzmanların tavsiyesine göre hareket edilmelidir. KI tabletleri 5 ve 7 yıl arasında raf ömrüne sahip olup, nemin olmadığı karanlık ve serin bir ortamda muhafaza edilmelidir. KI tabletleri sıvı veya hap şeklinde alınabilir. Nükleer kazalarda en önemli risk grubu çocuklar olduğu için iyot takviyesinde öncelikli grup olarak ele alınmalıdır.

#### 4.3. Alınabilecek Genel Tedbirler

Bütün elde edilen bu verilerden çıkarılan genel sonuçlar şöyle sıralanabilir;

- Bu kaza göz önüne alındığında NGS'lerin sel ve deprem gibi doğal afetlere karşı korunması için olması, konuma göre okyanus veya iç deniz bazlı durumlar nazara alınarak gereken yükseklikte tsunami duvarları örülmelidir.
- NGS reaktörünün bulunduğu bölüm ile bağlantısı bulunan kapıların su geçirmez özellikte olmasına hassasiyet gösterilmelidir.
- Aşırı ısınma ve sonuçta patlama durumlarının önlenmesi için soğutucu pompa ve dizel jeneratörlerin büyük önemi olmakla birlikte, santral içindeki bulunan bu cihazlara ek olarak dışardan taşınabilir durumda jeneratör ve pompalar santralde hazır bulundurulmalıdır. Böylece reaktörün iç basıncının güvenli olarak kontrol altında tutulma süresinin uzun olması, çevredeki halkın ve NGS personelinin tahliyesi için gereken zamanı kazandıracaktır. Bu önlemler, bu yönü ile önemlidir.
- Ülkemiz yüksek riskli deprem kuşakları üzerinde yer almaktadır. Bu nedenle, sismik etkilere karşı koruma yöntemlerinde sahadaki deprem etkilerinin zararını en aza indirme üzere, ekipmanlar yüzeye mekanik olarak bağlanarak santral ekipmanına gelebilecek olası hasarlar en aza indirilmelidir.

#### KAYNAKÇA

Acton, J. M. ve Hibbs, M. (2012), Why Fukushima was preventable . Washington, D.C., Carnegie Endowment.

Anadolu Ajansı (AA), (2013), Dünyanın İlk Nükleer Santrali Güvenli Enerjinin Sembolü.

Bayülken, A (2006), Nükleer Çağın Türkiye'deki 50 Yılı.,<https://docplayer.biz.tr/>,[13.07.2022,WEB;]

Bor D.,( 2015), Radyasyon Nedir? Halkımız için Bilgilendirme Kılavuzu, Ankara üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fizik Mühendisliği Bölümü.

CHERNOBYL Assessment of Radiological and Health Impacts.,(2002). Update of Chernoby: Ten Years On.

Coşkun, Ö., (2011), İyonize Radyasyonun Biyolojik Etkileri. SDU Teknik Bilimler Dergisi, Cilt 1,Sayfa 13-17.

Çerezci vd.,(2017), Electromagnetic radiation interaction and pollution measurements. Paper presented at the Electric Electronics, Computer Science, Biomedical Engineerings' Meeting (EBBT).

Çernobil Forumu.,(2005), Çernobil'in mirası: sağlık, çevresel ve sosyo-ekonomik etkiler ve Belarus, Rusya Federasyonu ve Ukrayna hükümetlerine tavsiyeler.

Fizik Mühendisleri Odası, (2011)., Nükleer Enerji Raporu.

Garger vd.,( 1996), Çernobil verilerini kullanarak model testi: III. Çernobil serpintisinden etkilenen Ukrayna bölgelerinde radyonüklidlerin atmosferik yeniden süspansiyonu. Sağlık Fiziği Cilt 70, Sayfa 18– 24.

IAEA.,( 2005 ), Chernobyl: The True Scale of the Accident. Retrieved from.

Imanaka T. vd.,( 2015 ), Comparison of the accident process, radioactivity release and ground contamination between Chernobyl and Fukushima-1.

Japon Hükümeti Nükleer Acil Müdahale Karargâhı.,(2011), Japon Hükümetinin IAEA Nükleer Güvenlik Bakanlar Konferansına Raporu – TEPCO'nun Fukushima Nükleer Santrallerinde Yaşanan Kaza. Haziran 2011. <http://japan.kantei.go.jp/kan/>. [17.04.2022,WEB;]

Kupnyj, V.,(1996), I. Chernobyl NPPs shelter site yesterday, today and tomorrow. Present status and prospects; Objekt Ukrytie: vchera, segodnya, zavtra. Nyneshnee sostoyanie i perspektivy Chernobylskovo sarkofaga, <https://khosann.com/cernobil-nukleer-reaktoru-neden-patladi/>. [01.05.2022,WEB;]

NRC., (2014), Lessons Learned from the Fukushima Nuclear Accident for Improving Safety of U.S. Nuclear Plants. Washington, DC., The National Academies Press.

Nükleer Enerji Enstitüsü.,(2021), Nuclear Fuel, <http://www.nukleer.web.tr/tarihce/tarihce.html> [17.04.2022,WEB;]

Ocaktan, M. E., ve Akdur, R.,(2008), Cep telefonu teknolojisi ve sağlık. Türkiye Klinikleri Journal of Medical Sciences, Cilt 28, Sayfa 58-65.

Ojino vd., (2017), First successful pre-distribution of stable iodine tablets under Japan's new policy after the Fukushima Daiichi Nuclear Accident. Disaster medicine and public health preparedness, Cilt 11, Sayfa 365-369.

Singleton, W. R.,(1958), Nuclear radiation in food and agriculture. Singleton, W. R.(edt.) Nuclear radiation in food and agriculture Sayfa 359, Singleton Van Nostrand Princeton, N.J

SSCB Devlet Atom Enerjisinden Yararlanma Komitesi.,(1986), Çernobil nükleer santralindeki kaza ve sonuçları. Takahashi ve Kitamura, (2014), Actions contributed to disaster level reduction of the Fukushima accident.

T.C. Kuzey Anadolu Kalkınma Ajansı., (2016), Nükleer enerji ve Sinop Raporu.

Terada vd.,(2012), Fukushima Dai-ichi Nükleer Santrali Kazası sırasında radyonüklidlerin atmosferik deşarjı ve dağılımı.

UNSCEAR. (2011), Büyük Doğu-Japonya Depremi ve Tsunamisinden Sonra Nükleer Kaza Nedeniyle Radyasyon Maruziyetinin Düzeyleri ve Etkileri.

UNSCEAR 2013 Raporu Ek A.(2014), [http://www.unscear.org/docs/reports/2013/13-85418\\_Report\\_2013\\_Annex\\_A.pdf](http://www.unscear.org/docs/reports/2013/13-85418_Report_2013_Annex_A.pdf). [13.07.2022,WEB;]

UNSCEAR.(2013), Levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident after the 2011 Great East-Japan Earthquake and tsunami. Scientific Annex A in Sources, Effects, and Risks of Ionizing Radiation, [http://www.nukleer.web.tr/nukleer\\_santral\\_turleri/rbmk\\_ana.html](http://www.nukleer.web.tr/nukleer_santral_turleri/rbmk_ana.html) [13.07.2022,WEB;]

URL-1- <https://tr.econologie.com/forumlar%C4%B1/enerjiler-fosil-n%C3%BCkleeer/Kaza-n%C3%BCkleeer-au-Japonya-a-%C3%87ernobil-Japon-t10579.html> [13.07.2022,WEB;]

URL-2- [http://www.nukleer.web.tr/nukleer\\_santral\\_turleri/bwr\\_ana.html](http://www.nukleer.web.tr/nukleer_santral_turleri/bwr_ana.html) [13.07.2022,WEB;]

USAEC. (1957), Theoretical possibilities and consequences of major accidents in large nuclear power plants.

USNRC.(1975), Reaktör güvenlik çalışması.

USSR State Committee on the Utilization of Atomic Energy (2011), The accident at the Chernobyl nuclear plant and its consequences.

Ülgen,S.,(edt.),(2011), Nükleer Enerjiye Geçişte Türkiye Modeli,İstanbul, Tor Ofset Sanayi ve Ticaret Ltd Şti.  
World Health Organization (1999), Guidelines for iodine prophylaxis following nuclear accidents.

#### **Araştırmacıların Katılım Oranları**

Bu çalışmamızda sorumlu yazar olan BAŞAR Z., çalışmanın ana kavram ve fikrini oluşturmuş, tasarım ve dizaynını yapmış, literatür taramasını gerçekleştirmiş ve yazıyı kaleme almıştır. Bu nedenle BAŞAR Z.'nin katılım oranı %75'tir. Çalışmada ikinci yazar olan TÜRKAN, N., çalışmanın veri toplama, istatistiksel analizler ve analizlerin yorumlanmasını sağlamıştır. Bu nedenle TÜRKAN, N.'nin katkı oranı %25'tir.

#### **Conflict of Interest / Çıkar Çatışması**

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.