

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**NÜKLEER SANTRALLERDE YANGIN GÜVENLİK
SİSTEMLERİNİN ANALİZİ VE GELİŞTİRİLMESİNE
YÖNELİK ÖNERİLER**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şenol AY

Enstitü Anabilim Dalı : YANGIN GÜVENLİĞİ VE YANMA

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Yılmaz UYAROĞLU

Haziran 2019

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NÜKLEER SANTRALLERDE YANGIN GÜVENLİK
SİSTEMLERİNİN ANALİZİ VE GELİŞTİRİLMESİNE
YÖNELİK ÖNERİLER

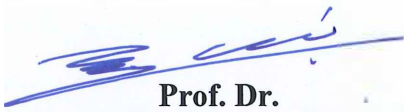
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şenol AY

Enstitü Anabilim Dalı

YANGIN GÜVENLİĞİ VE YANMA

Bu tez 12/06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.



Prof. Dr.
Yılmaz Uyaroğlu
Jüri Başkanı



Prof. Dr.
İhsan Pehlivan
Üye



Doç. Dr.
Hüseyin Altundağ
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Şenol AY

12/06/2019

TEŐEKKÖR

Yüksek lisans eğitiminin boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Prof. Dr. Yılmaz UYAROĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLOLAR LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	ix
SUMMARY	x

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
1.1. Dünyada ve Ülkemizde Enerji İhtiyacı.....	1
1.1.2. NGS güvenliği	4
1.1.3. NGS'nin yangın ve kaza sonrası etkileri	6
1.1.4. Bölümlerin içerikleri.....	8

BÖLÜM 2.

DÜNYA GENELİNDE YAŞANAN NGS KAZALARI VE OLAYLARININ KAZA KÖK NEDEN ANALİZİ YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ	10
2.1. Dünyada Kullanımda Olan NGS	10
2.2. Dünyada Meydana Gelen Nükleer Kazalar	16
2.3. Dünya Genelinde NGS Yangınlarının Kaza Kök Nedenleri ve Olayların İncelenmesi	24
2.3.1. 1968 San Onofre, ABD	24
2.3.2. 1975 Brown's Ferry, ABD.....	25
2.3.3. 1975, Greifswald, Almanya.....	26
2.3.4. 1984, Kalinin, Rusya	27

2.3.5. 1995, Waterford, ABD	27
2.3.6. 1993 Narora, Hindistan	28
2.3.7. 2010 Kalinin, Rusya	29
2.3.8. 1979 Barseback, İsveç	29
2.3.9. 1989 Vandellos, İspanya	30

BÖLÜM 3.

NGS SANTRALLERİ KURULUMU İŞLETİMİ VE KULLANILAN YAPI ELEMENLARININ YANGIN RİSKİ YÖNÜNDE İNCELENMESİ	32
3.1. Akkuyu NGS Hakkında Genel Bilgiler	34
3.1.1. NGS’de kullanılan yakıtlar	34
3.2. Nükleer Güç Santrallerinde Elektrik Üretimi	36
3.2.1. Manyetik alanda iyon hareketi	37
3.2.2. Gazlı difüzyon ayrıştırıcısı	38
3.2.3. Gaz santrifüjü	39
3.2.4. Uranyum zenginleştirme.....	40

BÖLÜM 4.

NÜKLEER SANTRALLERDE YANGIN ALGILAMA VE ÖNLEME.....	42
4.1. Nükleer Santrallerde Güvenlik ve Önleme Sistemleri.....	42
4.2. Nükleer Santrallerde Yangın Analizleri ve Modelleri.....	49

BÖLÜM 5.

NGS’DE REAKTÖR KAYNAKLI KAZALARIN İNCELENMESİ VE FUKUŞİMA KAZASI ÖRNEĞİ ÜZERİNDEN PATLAMA SENARYOLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	51
5.1. Fukuşima Daiichi Kazası.....	51

BÖLÜM 6.

SONUÇ	64
KAYNAKLAR	73

ÖZGEÇMİŞ	76
----------------	----

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AECL	: Siemens ve Fransız Framatorme konsorsiyumu
ANI	: Amerikan Nükleer Sigortacılar Organizasyonu
HES	: Hidroelektrik santral
IAEA	: International Atomic Energy Agency
IEEE-383	: Standard for Qualifying Electric Cables and Splices for Nuclear Facilities
INES	: The International Nuclear and Radiological Event Scale
Kv	: Kilo-volt
KWh	: Kilowatt saat
MW(e)	: Megawatt elektrik gücü
NAPS	: Narora Atomic Power Station
NEA	: Nabızsız elektriksel aktivite.
NGAR	: Nihai Güvenlik Analizi Raporu
NGR	: Nükleer Güç Reaktörü
NGS	: Nükleer Güç Santralleri
NRC	: ABD’de bulunan Nükleer Düzenleme Komisyonu
ONTIKA	: Finlandiya Ulusal Kaza Veritabanı
PWR	: Parliament of the World's Religions
RCIC	: Reaktör yalıtım soğutma
TAEK	: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
TEAŞ	: Türkiye Elektrik Üretim İletim A.Ş.
TWh	: Terawatt saat
UN-OCHA	:The United Nations Office for the Coordination of

Humanitarian Affairs

VVER-1000 : Series of pressurised water reactor

WHO : World Health Organization

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Türkiye’de Yıllara Göre Nüfus Artışı Ve Harcanan Elektrik Enerjisi (TÜİK Verileri Kullanılarak Oluşturulmuştur) [4].....	3
Şekil 1.2. Belarus'ta 1992'den 2001'e Çernobil Harcamalarının Ulusal Bütçe İçindeki Payı (UN-OCHA, WHO, 2002) [6].....	5
Şekil 2.1. İnşa Edilen NGS'nin Yıllara Göre Dağılımı	12
Şekil 2.2. INES Ölçeğine Göre Nükleer Olayların Basamaklandırılması [27].....	18
Şekil 3.1. Akkuyu NGS Güç Ünitesi Ve Güvenlik Akış Şeması [33].....	33
Şekil 3.2. Kütle Spektrografı [35].....	37
Şekil 3.3. U 235 Bolluk Oranı İşaretlenmiş Gazlı Difüzyon Aşaması [35].....	38
Şekil.3.4. Gaz Santrifüjü [35]	39
Şekil 4.1. NGS’lerde Güvenlik Stratejisinde Fiziksel Bariyerler Ve Koruma Kademeleri Arasındaki İlişki [44]	45
Şekil 4.2. Nükleer Santral Reaktörlerindeki Bileşenler (TAEK, 2008: 6).....	48
Şekil 4.3. Nükleer Santral Tesis Prosesi	50
Şekil 5.1. Fukuşima Genel Elektrik Mark I İle BWR Kabı Ve Reaktör Kor Yalıtımı Soğutma Sistemi(RCIC) [35]	52
Şekil 5.2. Fukuşima Genel Elektrik Santrali Hidrojen Gazı Patlama Anı Ve Sonrası [35]	53
Şekil 5.3. Suyun Mol Sayısına Karşılık Oluşum Entalpisi	56
Şekil 5.4. Suyun Mol Sayısına Karşılık Bağ Kırılması İçin Gereken Enerji (Kj) .	60
Şekil 6.1. Dünya Genelinde Kurulu Nükleer Güç Reaktörleri Ve Toplam Kapasiteleri.....	65
Şekil 6.2. Nükleer Sızıntı Kaza Ve Olayların Ülkelere Göre İnes Ölçeği Bazında Gösterimi	67
Şekil 6.3 Yanma Üçgeni	70
Şekil 6.4. Patlama Limitleri	71

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Çernobil Kazasından En Fazla Etkilenen Üç Ülkede; Etkilenen Nüfus Sayısı, Aralık 2000 (UN-OCHA, WHO) [6].....	6
Tablo 2.1. Nükleer Enerjinin Tarihsel Gelişimi Çerçevesinde Dünyadaki Toplam Nükleer Enerji Güç Reaktörleri Verileri [10].....	11
Tablo 2.2. İnşaa Halinde Olan Nükleer Enerji Reaktörlerinin Ülkelere Göre Dağılımı [10]	13
Tablo 2.3. Üretime Devam Eden Nükleer Enerji Reaktörlerinin En Yüksek Üretim Kapasitesine Sahip Olanların Ülkelere Dağılımı [12].....	14
Tablo 2.4. Uluslar Arası Atom Enerjisi Kurumu Verilerine Göre Dünyada Gerçekleşen Nükleer Sızıntı Kaza Ve Olayları	18
Tablo 2.5. Kablo Kaynaklı NGS Yangınları [31].	23
Tablo 5.1. Suyun Oluşumu İle Alakalı Termodinamik Veriler [39].....	54
Tablo 5.2. Suyun Mol Sayısına Karşılık Oluşum Entalpi Değerleri.....	55
Tablo 5.3. H ₂ O Molekülü Oluşum Entalpi Değerleri	59
Tablo 5.4. Bazı Gazların Alt Ve Üst Patlama Limitleri [41] (20 °c Ve 1 Atm Basınçta)	61
Tablo 6.1. Dünya Genelindeki Nükleer Kaza Ve Olayları İle İNES Ölçekleri	66
Tablo 6.2. Patlamaya Neden Olan H ₂ Gazı Teorik Hesaplama Sonuçları.....	68

ÖZET

Anahtar kelimeler: Nükleer güç santralleri, yangın, radyoaktif ışıma, yangın güvenliği, nükleer enerji

Ülkemizde ve dünyada çoğalan nüfus ile birlikte enerji ihtiyacı sürekli artmakta ve tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de, artan enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla farklı çözüm yolları arayışı içine girilmektedir. Çevreye zarar verme oranının az olması, genellikle kaynaklarının doğal olması, daha önemlisi hükümetlerin teşvikleri nedeniyle içinde bulunduğumuz dönemde yenilenebilir enerji kaynaklarının, elektrik üretimindeki oranı tüm dünyada hızla artmaktadır. En yaygın kullanılan yenilenebilir enerji kaynağı güneştir. Güneş enerjisinden elektrik üretimi yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretiminde en yaygın ve en çok tercih edilen yöntemlerdendir. Tüm dünyada 40'tan fazla ülkede güneş enerjisinden elektrik üretimi yatırımları için teşvikler kanunlaştırılması da bu yöntem ile elektrik üretiminin en büyük paya sahip olmasında önemli bir etken olmuştur.

Bu çalışmada NGS'de gerçekleşen zincirleme reaksiyon sonucu açığa çıkan enerji kontrol altında tutulamadığı durumlarda ne gibi sonuçlar ile karşılaşılacağı incelenmiş, yeni kurulacak NGS'ler için referans olabilecek sonuçlar nicel hesaplamalar ile verilmiştir.

Fukuşima Daiichi NGS'de meydana gelen olay her ne kadar tsunami dalgalarının tahminlerin üzerinde olduğu yönünde kamuoyunda bilinse de yapılan hesaplamalarda çıkan sonuçlar, tahminler ve hesaplamalar dışında H₂O moleküllerinin hidrolizine sebep olarak patlamaya neden olan H₂ gazının açığa çıkmasına sebep olduğunu göstermektedir.

Patlama yaşanmaması için tasarlanan havalandırma sistemleri yanlış öngörüler nedeniyle yeterli kapasitede olmadığından havadan çok hafif olan H₂ gazı üst kısımlarda birikmiş, patlama olayının gerçekleşmesi için gerekli olan tüm şartlar meydana gelmiş, sonuç olarak yaşanan patlama sonrası güvenlik sistemlerinin hasar görüp işlevini yitirmesi nedeni ile yakıt çubukları aşırı ısınmaya devam etmiş ve çevreye radyasyon yayılmış, sonuçları önlenemeyen ulusal ve uluslar arası güvenlik sorunları ile karşı karşıya kalınmıştır.

Bu çalışmada meydana gelen durumun aslında önlenemez bir kaza olduğu, kurulum aşamasında yapılan hesaplama hatalarının bu sonuçları ortaya çıkardığı nicel veriler ve hesaplamalar ile ortaya konmuştur.

FIRE SAFETY SYSTEMS IN NUCLEAR POWER PLANTS

SUMMARY

Keywords: Nuclear power plants, fire, radioactive radiation, fire safety, nuclear energy

With the population growing in our country and in the world, the need for energy is constantly increasing and, as in the whole world, our country is in search of different solutions to meet the increasing energy needs. The use of renewable energy sources in electricity networks in recent years; they have shown a rapid increase thanks to their clean, environmentally friendly nature and, most importantly, the supportive policies of the countries. The most common form of renewable energy comes from the sun. Solar energy generation has emerged as one of the fastest growing renewable sources in the world. Around 40 countries around the world have implemented the pricing law for energy production from the sun, and the growth in the energy market has increased significantly.

The installation and plans of the new NPPs continue throughout the world despite the Fukushima accident in 2011. When the data were analyzed, it was seen that the reactors increased periodically from 1965 to 2010 but it was detected that there was a decrease for the first time in 2010. This is due to the reactions against nuclear energy and the efforts to improve nuclear power plants.

Although the event at Fukushima Daiichi NGS was known by the public that the tsunami waves were more than predictions, but the results of calculations shows that apart from the predictions and the calculations, by causing the hydrolysis of H₂O molecules it caused the release of H₂ gas causing explosion.

As ventilation systems designed to prevent explosion was not sufficient due to incorrect predictions, the H₂ gas, quite lighter than the air, accumulated in the upper parts, all the conditions necessary for the explosion occurred. After the explosion the security systems were damaged and they lost their function so fuel rods continued to overheat and radiation spread out to the environment, national and international security problems that can not be prevented its consequences were faced. In this study, it was revealed with the graphic and the calculations that the situation was actually a preventable accident, the calculation errors in the installation stage caused these results.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Dünyada ve Ülkemizde Enerji İhtiyacı

Ülkemizde ve dünyada çoğalan nüfus ile birlikte enerji ihtiyacı sürekli artmakta ve tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de, artan enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla farklı çözüm yolları arayışı içine girilmiştir.

Çevreye zarar verme oranının az olması, genellikle kaynaklarının doğal olması, daha önemlisi hükümetlerin teşvikleri nedeniyle içinde bulunduğumuz dönemde yenilenebilir enerji kaynaklarının, elektrik üretimindeki oranı tüm dünyada hızla artmaktadır. En yaygın kullanılan yenilenebilir enerji kaynağı güneştir. Güneş enerjisinden elektrik üretimi yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretiminde en yaygın ve en çok tercih edilen yöntemlerdendir. Tüm dünyada 40'tan fazla ülkede güneş enerjisinden elektrik üretimi yatırımları için teşvikler kanunlaştırılması da bu yöntem ile elektrik üretiminin en büyük paya sahip olmasında önemli bir etken olmuştur [1].

Güneşten elektrik enerjisi üretmek maksadıyla güneş panellerinin kurulacağı yerin seçiminde hem maliyet hem de verimlilik açısından dikkat edilmesi gereken çok sayıda faktör bulunmaktadır. Bunların en önemlileri güneş enerjisi santralının kurulacağı yerin ekonomik değeri, yerin tarımsal verimliliği, yer şekilleri, eğim, şebeke hatlarına uzaklık ve güneş alma oranının yeterli olmasıdır.

Güneş enerjisi günümüz teknolojik imkanları ve ülkenin coğrafi ve iklim yapısı değerlendirildiğinde Türkiye'nin ihtiyacı olan elektrik enerjisi açığını kapatabilecek gelişmişliğe ulaşmamakla birlikte dünya genelinde geleceğin en temiz ve ulaşılabilir enerji kaynağı olma özelliğini taşımaktadır. Bu konudaki araştırmalar desteklenmeli ve gerekli imkan sağlanmalıdır.

Rüzgâr enerjisi, santral kurulum maliyetlerinin hızla düşmesi ve elektrik şebekelerinde daha çok kullanılmasından dolayı günümüzde önemi artan bir yenilenebilir enerji kaynağı olmuştur. Rüzgâr enerjisi kararsız ve tamamen tahmin edilemeyen bir karakteristiğe sahiptir. Bu sebeple, yüksek miktarda rüzgâr enerjisi elektrik şebekelerine enjekte edildiğinde, şebekelerdeki enerji üretim-tüketim dengesini sağlamak zorlaşmaktadır [2]. Elektrik enerjisi üretiminde en eski ve yaygın yöntemlerden biriside hidroelektrik santralleridir.

Dünya’da tüketilen elektrik enerjisinin yaklaşık % 20’si hidroelektrik enerjiden sağlanmaktadır. Ülkemizin toplam kurulu hidroelektrik enerji miktarı 433 milyar kWh kadar olup, henüz değerlendirilmemiş hidroelektrik enerji potansiyeli 216 milyar kWh/yıl olduğu tahmin edilmektedir [3]. 2015 yılı TÜİK verileri dikkate alındığında 2015 yılı elektrik enerjisi tüketimi 217,3 kWh civarındadır ve her yıl Şekil 1.1 deki grafikte görüldüğü gibi hızla artmaktadır.

Asya kıtasının bazı bölgelerinde, Latin Amerika ve Afrika kıtasında gelişmekte olan ülkeler ile, Kanada, Türkiye ve Rusya gibi su kaynaklarının bulunduğu ülkelerde hidroelektrik santralleri için kullanılmamış potansiyel bulunmaktadır [3]. HES’lerin hem kuruluş, hem de işletme esnasında çevresel etkileri yüksek olabilmekte ve doğaya zarar verebilmektedir. Özellikle baraj yapılırken, bulunduğu bölgede doğaya ve doğal yaşam ekosistemine ciddi derecede olumsuz etkiye bulunabilir. HES’lerin kurulum maliyetlerinin yüksek olması ve sağlanan elektrik enerjisi birim maliyetinde yüksek bir orana sahip olması da HES’lerin olumsuzlukları arasındadır. Hidroelektrik santrallerin kurulum sürelerinin uzun ve iş güvenliği önlemlerinin alınmasının zor olması da bir diğer olumsuzluktur.

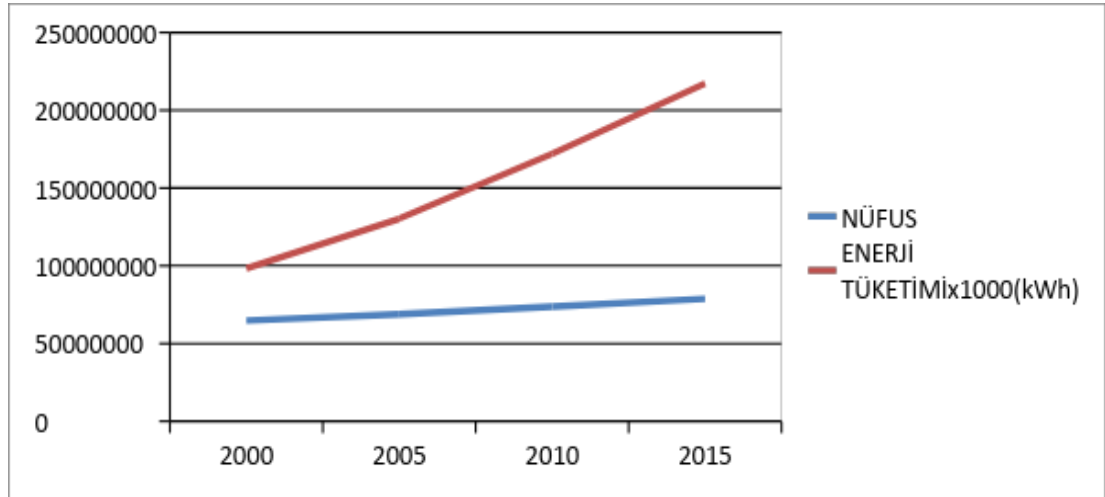
Tüm bu veriler dikkate alındığında Türkiye’nin dünya ile rekabet edebilme yeteneğinin oluşup sürdürülebilmesi için nükleer santral projeleri gündeme gelmiş ve gerekli fizibilite çalışmaları yapılarak projelere başlanmıştır.

Türkiye’nin enerji ihtiyacı Şekil 1.1.’de görüldüğü üzere nüfus artış oranından çok daha hızlı bir şekilde artış göstermektedir. Son zamanlarda dış politikada görülen hızlı değişimler ve bölgedeki sorunlar dikkate alındığında özellikle Avrupa’da

bulunan sanayisi gelişmiş ülkeler ve ABD Türkiye'ye sattıkları askeri ve diğer kritik öneme sahip makine ekipmanları yedek parçalarını göndermemekte, bu durumu bir koz olarak ellerinde bulundurmaktadırlar.

Tüm bu gelişmeler dikkate alındığında ülkenin kendi enerjisini üretme ve kendi öz kaynakları ile oluşturduğu teknolojisini kullanması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu yöndeki çalışmaların ürünü olarak ülkemizde nükleer santral projeleri oluşturulmuş ve kurulum aşamasına başlanmıştır.

Ülkemizde 2000 ile 2015 yılları arasındaki nüfus artışı ile harcanan enerji arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir.



Şekil 1.1. Türkiye'de yıllara göre nüfus artışı ve harcanan elektrik enerjisi(TÜİK verileri kullanılarak oluşturulmuştur) [4].

1.1.1. Nükleer enerji geçiş süreci

Türkiye'de nükleer santraller kurulmasıyla ilgili ilk adım 15 Ekim 1997 tarihinde AECL, Nuclear Power International (Siemens ve Fransız Framatome ortaklığı) ve ABD Westinghoues-Japon Mitsubishi ortaklığının Türkiye'ye tekliflerini iletilmesiyle gerçekleşti ve teklifler TEAŞ (Türkiye Elektrik Üretim İletim A.Ş.) Nükleer Santraller Dairesi ve danışman şirket Empresarios Agrupados International S:A tarafından tekliflerin değerlendirilmesi ile başladı. 2000 yılında ise Mersin Akkuyu

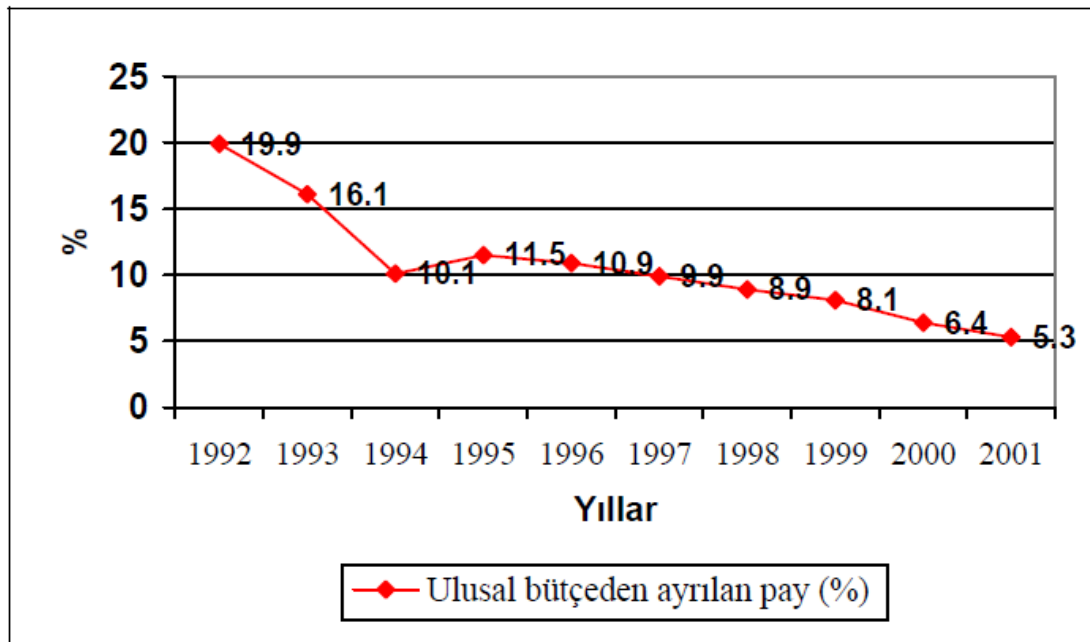
santrali için ihale hazırlandı fakat belli bir kesim nükleer enerjinin olumsuzluklarını öne sürerek yaptıkları propaganda sonucu dönemin Başbakanı Bülent Ecevit başkanlığındaki hükümet kurulması planlanan projenin tamamıyla yeterli teknolojiye sahip olmadığını belirterek ve nükleer enerji santrallerinde yeni teknolojilerin kullanılmaya başlanacağı gerekçesiyle ihaleyi iptal etti. Süreçte öngörülen şekilde yenilikler oldu ve açılan yeni ihale Rus Devlet Nükleer Şirketi'ne bağlı bulunan NGS AŞ'ye verildi. Rusya ve Türkiye arasındaki nükleer santral yapımını öngören hükümetler arası anlaşma 2011 yılında açıklandı. Yapılan açıklamada; Akkuyu'da yapılması planlanan nükleer santralin Rus tedarikçi şirketi Rusatom Overseas'in Başkan Yardımcısı Jukka Laaksonen: Akkuyu'da santral inşaatına 2015 yılı sonunda başlanması planlanıyor, Mersin (Akkuyu) ve Sinop'da (İnceburun) 2023 yılında iki nükleer santralinde üretime başlayacağını belirtti. Bu arada Sinop'ta kurulacak nükleer santralin yapım işi Japon Mitsubishi ve Fransız Areva konsorsiyumu tarafından yapılması kararlaştırıldı. Japonya'da 9,0 büyüklüğünde 11 Mart 2011 günü meydana gelen deprem ve sonrasındaki tsunami felaketinden sonra kendi ülkelerinde tüm nükleer santraller kapatılırken bir Japon firması yurt dışında nükleer santral ihalesi kazanmış oldu. Böylece ironik bir neoliberal süreç gerçekleşmiş oldu [5].

1.1.2. NGS güvenliği

NGS doğru bir yönetimle yüksek miktarlarda elektrik üretimine olanak sağlasa da yanlış yönetim sebebiyle de bir o kadar tehlikeli ve ölümcül olabilmektedirler. Kurulum aşamasında tüm riskler doğru şekilde analiz edilmeli ve elde edilen veriler doğru şekilde değerlendirilmelidir. Aksi takdirde sadece bulunduğu bölgeyi değil komşu ülkeleri de kapsayan büyük bir kazaya neden olabilecek potansiyel tehlike kaynakları ve riskleri içermektedir. 26 Nisan 1986'da Rusya Federasyonu'nda bulunan Çernobil Nükleer Santrali patlamıştır. Kaza sonrası radyoaktif saçılım başta Ukrayna, Belarus ve Rusya Federasyonu olmak üzere tüm Kuzey Yarı Küre'yi etkilemiştir [6].

Patlama ilk başlarda doğrudan ölümlere neden olmuş, Daha sonraki süreçlerde ise radyoaktif parçacıkların çevreye yayılmasıyla, besin zincirine girmiş ve insan sağlığını on yıllar boyunca olumsuz yönde etkileyecek bir süreç başlatmıştır.

Tüm bu veriler göz önüne alındığında hayata geçirilecek olan NGS projesinin en başından itibaren her aşamasında gereken güvenlik tedbirlerinin düşünülmesi, risk değerlendirmesinin yapılması, ve gerekli tedbirlerin alınarak güvenli bir işletimin sağlanması, yaşanacak bir kimyasal veya radyoaktif sızıntıdan sonra ülke ekonomisinde oluşturacağı ekonomik kayıp ile kıyaslanamayacak kadar azdır. Tablo 1.2. de Çernobil'de yaşanan kazadan en fazla etkilenen ülkelerden birisi olan Belarus'ta 1992'den 2001'e kadar geçen sürede Çernobil harcamalarının ulusal bütçe içindeki payı gösterilmiştir. Tablo incelemeleri göz önüne alındığında ülkemizin 2017 yılı için bütçede eğitime %5,1 pay verildiği göz önüne alındığında, Çernobil nükleer kazası sonrası Belarus'un kazanın etkilerini azaltmak için kullandığı kaynak ülke ekonomisinin yaklaşık kaza sonrası ilk yıl için %20'sidir ve ülkemizde 2017 yılında eğitime ayrılan payın yaklaşık 4 katıdır. Bu sonuçlar göstermektedir ki etkin bir güvenlik politikası izlenmesi gerekmektedir.



Şekil 1.2. Belarus'ta 1992'den 2001'e Çernobil harcamalarının ulusal bütçe içindeki payı (UN-OCHA, WHO, 2002) [6].

Ekonomik kayıpların yanı sıra Şekil 1.3.' te sosyoekonomik sonuçlarının da oldukça ağır olduğu görülmektedir. Radyoaktif sızıntı sonrası yapılan araştırmalar göstermektedir ki nükleer sızıntıya bağlı sağlık sorunları, kanserler ve sakat doğumlar 10-15 ve hatta 40 yıl sonrasında dahi görülebilmektedir. Tablo detaylı incelendiğinde kazanın sosyoekonomik etkileri nicel olarak görülmektedir.

Tablo 1.1. Çernobil kazasından en fazla etkilenen üç ülkede; etkilenen nüfus sayısı, Aralık 2000 (UN-OCHA, WHO) [6].

ETKİLENME BİÇİMİ	Belarus	Rusya	Ukrayna	Toplam
Yer değiştiren nüfus	135.000	52.400	163.000	350.400*
Bulaşlı bölgede yaşayan halk	1.571.000	1.788.600	1.140.813	4.500.413
1986/87 temizlik işçileri	70.371	160.000	61.873	292.244
1988/89 temizlik işçileri	37.439	40.000	488.963	566.402
Geçersizler**	9.343	50.000	88.931	148.274
Toplam	1.823.153	2.091.000	3.189.477	7.103.630

*Gönüllü yer değiştirenleri de içermektedir. **Üç ülke arasında tanımlamadaki farklılıklar

1.1.3. NGS'nin Yangın ve kaza sonrası etkileri

İçinde bulunduğumuz dönemde bir toplumda; sanayi üretimi ve bireysel ihtiyaçlar için kullanılan en temel zorunluluk olan elektrik enerjisinin en az maliyet ile, ekosisteme verilen zarar en az olacak şekilde, kesintisiz, ve sürekli olarak sağlanabilmesi, ülkelerin gelişmişlik düzeyini gösteren bir parametre olmasının yanında enerji güvenliği politikasının vazgeçilmez unsurları arasındadır. Türkiye'de ekonomik büyüme ve tüketim kalıplarındaki gelişme ile birlikte artan enerji talebinin, yerli kaynaklar yerine ağırlıklı olarak dış kaynaklardan karşılanması; enerji arz güvenliği sorununun sürekli olarak gündemde kalmasına neden olmaktadır [7]. Bu sorunun çözümü için atılan adımlardan birisi ve en kapsamlısı olan NGS'lerdir. Güvenli teknoloji kullanıldığında ve doğru yönetildiğinde dünyadaki bir çok gelişmiş ülkede olduğu gibi sorunsuz olarak üretim yapılabilen, fakat gelişen teknolojiye ayak uydurulmadığında ve santral yönetimi ile çalışanlarda yeterli güvenlik kültürü oluşturulmadığında NGS'de oluşacak bir kaza milyonlarca kişiyi etkilemektedir. Çernobil örneğinde olduğu gibi zararın etkilerinin azaltılabilmesi için ülke

ekonomilerine %30-40'a yakın yük binmekte ve ne yazık ki bu oran da oluşacak felaketin etkilerini tamamen yok edememekte ve sadece bu zararların etkilerinin azaltılmasında kullanılmaktadır.

Bu çalışmanın amacı Türkiye'de kurulması planlanan Akkuyu NGS modeli üzerinden yangın patlama riskini değerlendirerek NGS'de kullanılan en uygun yangın güvenlik sistemlerinin ortaya konması, doğru modellerin oluşturulması, toplumda bilgisizlikten kaynaklanan NGS'lere karşı ön yargıların kaldırılarak ülke çıkarları doğrultusunda kamuoyunun yapıcı eleştirilerde bulunmasını sağlamaktır.

NGS'de birçok emniyet ve güvenlik sistemleri kullanılmaktadır. Tüm bu güvenlik sistemlerini bir anda etkisiz kılabilecek olaylardan bir tanesi de NGS'de yangın çıkmasıdır. Doğru bir yangın güvenlik sisteminin oluşturularak uygulanması NGS'de var olan bu riski en aza indirecektir.

Bu çalışmada doğrudan yangın sistemlerine değinilmeyecek, yangına sebep olan durumlar dünya genelinde yaşanan nükleer olaylar incelenerek kısaca değinilecek, ağırlıklı olarak bir model üzerinden patlama olaylarının nedeni kimyasal olarak açıklanacaktır. Doğrudan yangına değinilmemesinin sebebi; NGS'de oluşacak bir çok yangın tipi diğer elektrik santrallerinde de yaşanabilmekte, nükleer yakıt yani nükleer santrale enerji sağlayan radyoaktif elementin neden olabileceği patlama olayının Fukuşima NGS'deki patlamaya neden olan durumdaki gibi, çok kısa sürelerde ve müdahaleye fırsat vermeden gerçekleşmesinden dolayı; patlama olaylarının nedenleri araştırılarak bilimsel veriler ışığında alınması gereken yangın ve patlamaya karşı güvenlik tedbirleri önerilecektir.

Yanma organik maddelerin yanma ısı enerjisi ile buluşmasıyla, oksijen ile girdikleri kimyasal tepkime olarak tanımlanırken, yangın ise bu reaksiyonun kontrol edilemeyecek derecede ilerlemesi şeklinde tanımlanır. Yanma olayı ekzotermik bir reaksiyon olduğundan yangın olayında büyük enerji çıkışının beklenmesinin yanında kimyasal ve fiziksel risklerinde oluşması kaçınılmaz bir durumdur. İdeal yanmanın genel formülü;

$C_XH_Y + (X+Y/4)O_2 + ISI \rightarrow X CO_2 + Y/2 H_2O + ISI$ şeklindedir [45].

Maddeyi oksijenli ortamda karakteristik tutuşma sıcaklığına kadar ısıtan bir enerjinin bulunması yanma reaksiyonunun başlaması için yeterlidir.

1.1.4. Bölümlerin içerikleri

Çalışmanın birinci bölümünde ülkemizin enerji ihtiyacı değerlendirilmiş, nükleer enerji santrali kurulmasının önemi anlatılarak Çernobil nükleer santrali kazasının etkileri sayısal veriler kullanılarak açıklanmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde dünya genelinde kurulu nükleer elektrik santralleri ve bu santrallerin kurulu reaktör güçleri ülke bazında tablolar halinde verilerek bunlar hakkında kısa bilgiler verilmiş, Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı'nın verilerine göre dünya genelinde yaşanan nükleer santral kazaları ve sızıntı seviyeleri incelenerek, kazalara neden olan yangınlar; kablo yangınları, jeneratör odası yangınları, türbin yangınları, çalışan kaynaklı yangınlar ve hidrojen gazı patlaması olarak sınıflandırılmıştır.

Çalışmanın üçüncü bölümünde ülkemizde kurulması planlanan Akkuyu NGS kurulumu işletimi ve reaktör tipi hakkında bilgiler verilerek, Akkuyu nükleer santralinde kullanılacak nükleer yakıtın (U-235) cevher halinden yakıt haline getirilmesi yani uranyum zenginleştirme işleminin hangi yöntemler ile yapıldığı şekiller ve hesaplamalar ile anlatılmıştır.

Çalışmanın dördüncü bölümünde nükleer santrallerde güvenlik sistemleri ve güvenlik sistemlerini meydana getiren elemanlar anlatılmış, bu bağlamda NGS'ler deki güvenlik ve önleme sistemlerinin gereklilikleri sıralanmış, Nükleer santrallerde meydana gelebilecek ve güvenliği tehdit edebilecek her türlü yangın olayı yangın analizleri ile incelenmiştir.

Çalışmanın beşinci bölümünde önceki bölümlerden elde edilen veriler ışığında Fukushima Daiichi Kazası teknik raporu üzerinden santralde yaşanan patlamanın nedeni suyun hidrolizi sonucu ortamda biriken H₂ gazı olduğu öngörülmüş, Gibbs serbest enerjisi (ΔF_r^0) formülü ile su molekülündeki atomlar arası bağların kırılması için gerekli enerji, soğutma ünitesini besleyen yedek jeneratörün devre dışı kalmasıyla yakıt çubuklarındaki kontrolsüz enerjinin (ΔF_r^0) öngörülen tez için yeterli olduğu sonucuna varılmış ve öngörülen tezin ispatı yapılmıştır.

Çalışmanın altıncı bölümünde ulaşılan sonuçlar sayısal veriler ile tartışılmıştır.

BÖLÜM 2. DÜNYA GENELİNDE YAŞANAN NGS KAZALARI VE OLAYLARININ KAZA KÖK NEDEN ANALİZİ YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ

2.1. Dünyada Kullanımda Olan NGS

Nükleer enerji birçok açıdan üzerinde durulması gereken önemli enerji kaynaklarından birisidir. Birçok olumlu yönü bulunmasına rağmen nükleer enerji daha çok olumsuzlukları ile ön plana çıkmaktadır.

Nükleer enerji, birçok enerji kaynağı ile beraber kullanılarak çok büyük enerji elde edilebilir. Nükleer enerjinin ilk kullanılmaya başlandığı günden bu yana, bu yönde çalışmalar yapılarak nükleer enerjinin maliyetleri azaltılmaya çalışılmıştır.

Nükleer enerjinin gelişmeye başladığı dönem, küreselleşmenin dünya genelinde paralel olarak artması ile gerçekleşmiştir. Rekabet ortamının gelişmesi, nükleer enerjiyi sağlayacak olan diğer enerji kaynaklarının elde edilmesi ve ticareti ile nükleer enerji tesislerinin kurulumu ve maliyetleri, bilim ve teknolojinin ilerlemesi ile nükleer enerjiyi uluslararası çapta geliştirmiştir. Önceleri sadece çok gelişmiş ülkeler ile sınırlı olan nükleer enerji giderek yaygınlaşmaya başlamıştır ve bu doğrultuda dünyada kurulan nükleer enerji tesislerinin sayısı giderek artmıştır.

1905 yılından sonra ülkeler bazında gelişmeye başlayan nükleer enerji, nükleer enerjinin kullanılabilceği alanlar arttıkça geliştirilmiştir. Savaş sanayi, elektrik ve ısı üretimi gibi birçok alanda gelişme imkânı bulan nükleer enerji, günümüzde inşası halen devam etmekte olan santraller ile gelişmeye devam etmektedir.

Uranyum'un fisyon yapma özelliğinin keşfedilip geliştirilmesi ile zincir reaksiyonu ve geliştirilmesinden hareketle ilk çekirdek reaktörü, ABD'de Chicago

Üniversitesi'nde, 1951 yılında ise Uranyum ve fisyon yapma bileşenlerinin geliştirilmesi ile nükleer enerjiden ilk elektrik üretimi gerçekleştirilmiştir [8]. Bu durum, nükleer enerjinin de bir nevi kaderini belirlemiştir ve bu doğrultuda yapılan çalışmalar, bilim adamlarını santral kurmaya teşvik etmiştir.

İlk kez ticari açıdan bir nükleer güç santrali, ABD'de Shippingport Pennsylvania'da kurulmuştur ve 1957 yılında faaliyete girerek elektrik üretimine başlamıştır. Enerji üretimi kapsamında ise ilk güç reaktörü Rusya'nın Obninsk kentinde 27 Ocak 1954 tarihinde Sovyetler Birliği'nde üretime hazırlanmış olup üretilen elektrik dağıtım aşamasına girmiştir [9]. Elektriğin sadece tek bir yolla değil nükleer enerji ile de elde edilebilmesinin ve insanlara sunulmasının deneylerle ve ticari şartlarla da sağlanması, yine nükleer enerji için bir dönüm noktası olmuştur.

Nükleer güç santrali ile ilgili olarak tarihsel arka planı da incelendiğinde Sovyetler Birliği, ABD, Çin Halk Cumhuriyeti, İngiltere ve Fransa gibi ülkeler ön plana çıkmaktadır. Özellikle nükleer enerjinin olağanüstü geliştiği bir dönemde Sovyetler Birliği ve ABD bilim adamlarının karşılıklı rekabet ortamının verdiği bir politik kaygı ile hızla çalışmaları, bu ülkelerde nükleer güç santrallerinin sayısını artırmıştır. Nükleer enerjinin tarihsel gelişimi incelendiğinde, TAEK verilerine göre 1965 yılından 2010 yılına kadar olan süreçte, dünyadaki toplam nükleer enerji güç santrali ve üretim yapan tesislerin reaktör sayıları aşağıdaki tabloda verilmiştir. Tabloda 2010 yılındaki azalma dikkat çekmektedir.

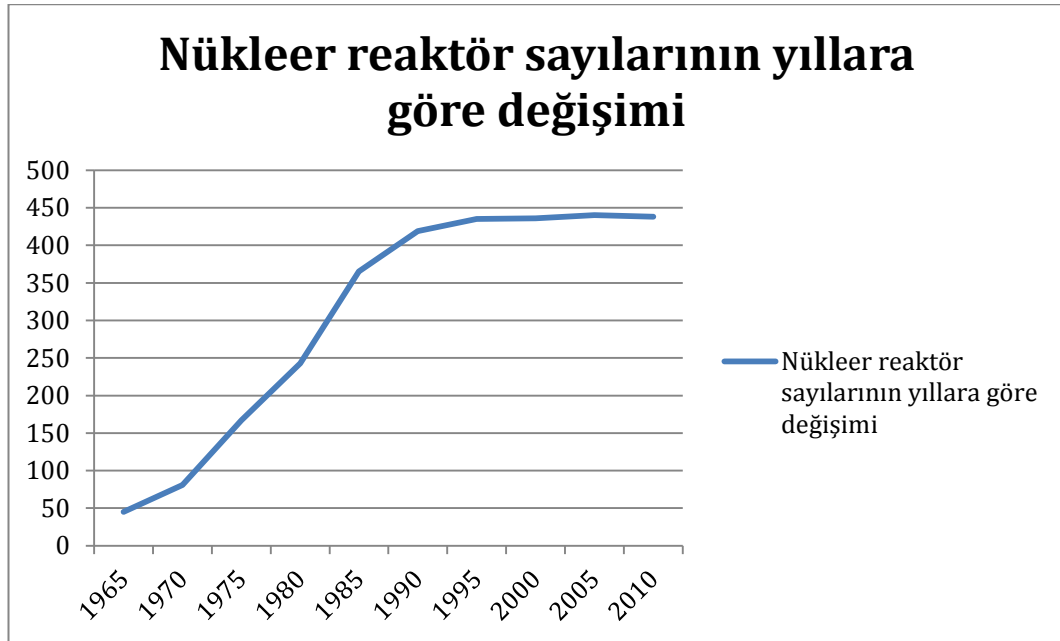
Tablo 2.1. Nükleer enerjinin tarihsel gelişimi çerçevesinde dünyadaki toplam nükleer enerji güç reaktörleri verileri [10].

Periyodik Olarak Yıllar	Reaktör Sayıları
1965	45
1970	81
1975	167
1980	243
1985	365
1990	419

Tablo 2.1. (Devam)

Periyodik Olarak Yıllar	Reaktör Sayıları
1995	435
2000	436
2004	440
2010	438

Veriler incelendiğinde, 1965 yılından 2010 yılına kadar reaktörlerin periyodik olarak yıllarla doğru orantılı olarak arttığı görülmüştür ancak 2010 yılında ilk defa azalma olduğu saptanmıştır. Bunun sebebi nükleer enerjiye karşı oluşan tepkiler ve nükleer enerji santrallerinin iyileştirilmesine yönelik olan çalışmalar sebebiyle gerçekleşmiştir. Bu değişim aşağıdaki grafikte daha iyi gözlemlenmektedir.



Şekil 2.1. İnşa edilen NGS'nin yıllara göre dağılımı

Bu grafik incelendiğinde 1975 ile 1995 yılları arasında nükleer santral sayıları çok hızlı şekilde arttığı görülmektedir. 2010 yılında ise çok düşüğe olsa azalma olduğu anlaşılmaktadır. Bu sonuç dünya genelinde yaşanan NGS kazaları dolayısı ile bazı santrallerin işletmeden çıkartıldığı ve yerine yenilerinin açılmadığı şeklinde yorumlanabilir. Tüm bu veriler ışığında Türkiye'de kurulması planlanan NGS aslında geç kalındığı sonucu da çıkarılabilir. Dünyada bazı ülkeler NGS güvenliği

konusunda endişe duymakta ve günümüzde NGS kurulumunu azaltmaktadır. Gelişmiş ülkeler çevreye etkisi az olan yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim göstermekte ve bu konuda yeni araştırmalar yapmaktadır.

Dünyada; günümüzde inşa halinde olan birçok nükleer enerji reaktörü mevcuttur. Aşağıda Tablo 2.2.'de dünya genelinde inşa halinde olan nükleer enerji reaktörlerinin ülkelere göre dağılımı verilmiştir:

Tablo 2.2. İnşaa halinde olan nükleer enerji reaktörlerinin ülkelere göre dağılımı [10].

Ülkeler	İnşa Halinde Olan Reaktör Sayıları
Arjantin	2
Beyaz Rusya	1
Brezilya	1
Çin	28
Finlandiya	1
Fransa	1
Hindistan	6
Japonya	2
Güney Kore	5
Pakistan	2
Rusya	10
Slovakya	2
Birleşik Arap Emirlikleri	2
Ukrayna	2
Amerika Birleşik Devletleri	5
Toplam	72

Nükleer enerji reaktörleri, dünya genelinde incelendiğinde geniş alanlara yayılmıştır. Nükleer enerjinin günümüzde kullanımı, gelişmiş ülkeler ile sınırlı olmadığı açıkça görülmektedir. Özellikle son yıllarda gelişmekte olan ülkeler yarış içine girmiştir. Nükleer enerjinin birçok bakımdan maliyetlerinin azalması ve elektrik üretimini birçok boyutuyla artırması, gelişmemiş olan ülkeleri bile nükleer enerjiye

yönelmiştir. Aşağıda Tablo 2.3.'de üretime devam eden nükleer enerji reaktörlerinin en yüksek üretim kapasitesine sahip olanlarının ülkelere göre dağılımı sıralanmıştır:

Tablo 2.3. Üretime devam eden nükleer enerji reaktörlerinin en yüksek üretim kapasitesine sahip olanların ülkelere dağılımı [12].

Ülkeler	Toplam Kapasite (MWe)	Ünite Sayısı
Fransa	63130	58
Japonya	42388	48
Güney Kore	20710	23
Çin	16914	21
Kanada	13500	19
Rusya	23643	33
Ukrayna	13107	15
İsveç	9474	10
Hindistan	5308	21
Belçika	5927	7
Almanya	12068	9
İngiltere	9231	16
İspanya	7121	7
İsviçre	3308	5
Amerika Birleşik Devletleri	9853	100

Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı'nın 'Güç Reaktörü Bilgi Sistemi – Power Reactor Information System'- (PRIS) verilerine göre dünyada 31 ülkede 447 nükleer enerji reaktörü enerji üretir durumdadır (15 Ağustos 2017). 2016 yılı kayıtlarında ise dünyada elektrik enerjisi üretiminin yaklaşık olarak %10'u 2476 TWh ile nükleer santrallerden sağlanmıştır. 16 ülkede 58 nükleer reaktör inşası da devam etmektedir [13].

Tablo 2.3. detayı incelendiğinde Amerika Birleşik Devletlerinde mevcut durumda çalışır vaziyette 99 nükleer reaktör bulunmasına karşılık elektrik üretim kapasitesinin düşük olması dikkat çekmektedir.

ABD’de 99 nükleer güç reaktöründe enerji üretimi devam ederken, 2016 yılında elektrik enerjisi ihtiyacının %20’sini bu reaktörlerden karşılamıştır. 2 Nükleer enerji reaktörü ise kurulum aşamasındadır [14]. Rusya’da 35 nükleer güç reaktörü enerji üretir durumdadır. Rusya elektrik enerjisi ihtiyacının yaklaşık %17’sini nükleer enerji santrallerinden karşılamakta olup 7 nükleer reaktör inşa halindedir [15]. Rusya, ilk yüzen nükleer santral, ticari işletmesi olan yeni nesil ilk hızlı nötron reaktörü (BN-800 ve BN-1200) gibi öncü çalışmalar yapmaktadır [16].

Çin Halk Cumhuriyeti’nde 38 nükleer reaktör enerji üretir durumda olup, 18 nükleer enerji reaktörü de kurulum aşamasındadır. Çin elektrik enerjisi ihtiyacının %3.5’ini nükleer enerjiden karşılamaktadır. Çin nükleer santralleri yerleştirme noktasında önemli adımlar atmış olup, şu anda kendi nükleer santral tasarımına sahip olmakla kalmayıp uluslararası piyasaya kendi tasarımını reaktörleri pazarlamaktadır [33].

Birleşik Krallıkta 15 nükleer reaktör işletme halindedir ve üretilen elektriğin %20’si nükleer santrallerden karşılanmaktadır. Birleşik Krallık 2006’da yayımladığı politika belgesiyle toplam 16 GW’lık yeni nükleer santral yapmayı planladığını açıklamıştır [34]. Fransa’da 58 nükleer reaktör işletme halindedir. Elektrik üretiminin %72’si nükleer santrallerden karşılanmaktadır. Bir nükleer reaktör de inşaat halindedir [35].

Dünyada yaşanan birçok nükleer güç reaktörü kazası, nükleer enerji hakkında birçok tartışmaya yol açmıştır. Yaşanan nükleer kazaların etkileri dolayısıyla, her ne kadar gün geçtikçe nükleer enerji üzerine yapılan araştırmaların etkisiyle nükleer enerjinin kullanım alanı genişlese de bazı ülkelerin çevre politikaları gereği birçok noktada nükleer enerji konusunda yasal yollar başta olmak üzere birçok yola başvurulmuştur. Bu bağlamda inşa edilmiş olup üretime devam eden nükleer enerji reaktörlerinin yanı sıra üretim aşamasındayken durdurulup kapatılan nükleer enerji reaktörleri de bulunmaktadır.

Japonya ve İspanya, üretime devam ederken kapatılacak olan iki nükleer enerji reaktörüne sahiptir. Güç ve üretim kapasitelerinin diğer ülkelerdeki reaktörlere göre fazla olmasının yanı sıra, birçok faktör de reaktörlerin kapatılmasında etkili

olmuştur. Nükleer enerjinin karşısında yenilenebilir enerji bir alternatif olarak hem çevreciler hem de birçok politikacı tarafından sık sık gündeme getirilmektedir. Yaşanan nükleer kazalar öne sürülerek dünyanın geleceği konusunda tepki çekmeye çalışan hem çevreciler hem de politikacılar birçok noktada başarılı olmuşlardır. Nükleer enerji konusunda kendisini yeni yeni geliştirmekte olan ve atılım yapan Türkiye’de nükleer enerji konusunda uluslararası arenada dünyanın geleceği ve nükleer enerji konularında tartışmalara katılan ülkeler arasındadır. Akkuyu Nükleer Santrali de bu tartışmaların en başında gelmektedir. Nükleer enerjinin gereksiz olduğuna dair öne sürülen argümanlar ile yenilenebilir enerjinin santrallerden daha sağlıklı bir şekilde enerji üretebileceğini ve santrallerin çevreye zararının katkılarından daha fazla olduğu hususunda hem fikir olan çevrecilerin baskıları, nükleer enerjiye karşı oluşturulan olumsuz hususların başında gelmektedir.

2.2. Dünyada Meydana Gelen Nükleer Kazalar

Nükleer enerji atomların reaksiyonu sonucunda ortaya çıkmaktadır. Atomların bu reaksiyonları sırasında yüksek miktarda enerji açığa çıkmaktadır. Zincirleme reaksiyon sonucunda ortaya çıkan yüksek düzeylerdeki enerji NGS’lerdeki elektrik üretiminin temelini oluşturmaktadır. Bu zincirleme reaksiyonlar, NGS’lerde kontrollü bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Dolayısıyla bu reaksiyonların kontrolden çıkmaları NGS’ler için büyük bir risk faktörünü oluşturmaktadır.

Nükleer tesislerdeki enerji üretim sürecinde reaksiyonların ve süreç sonundaki atıkların kontrol dışına çıkarak insanlara ve doğaya zarar vermesi nükleer kaza olarak tanımlanmaktadır [20]. Nükleer kazaların nedenleri hususunda insan kaynaklı hata, eksiklik ve yanlışlıklar, tesis bileşenlerinde ve araçlarda meydana gelen problemler ve doğal afetler gibi faktörler öne çıkmaktadır.

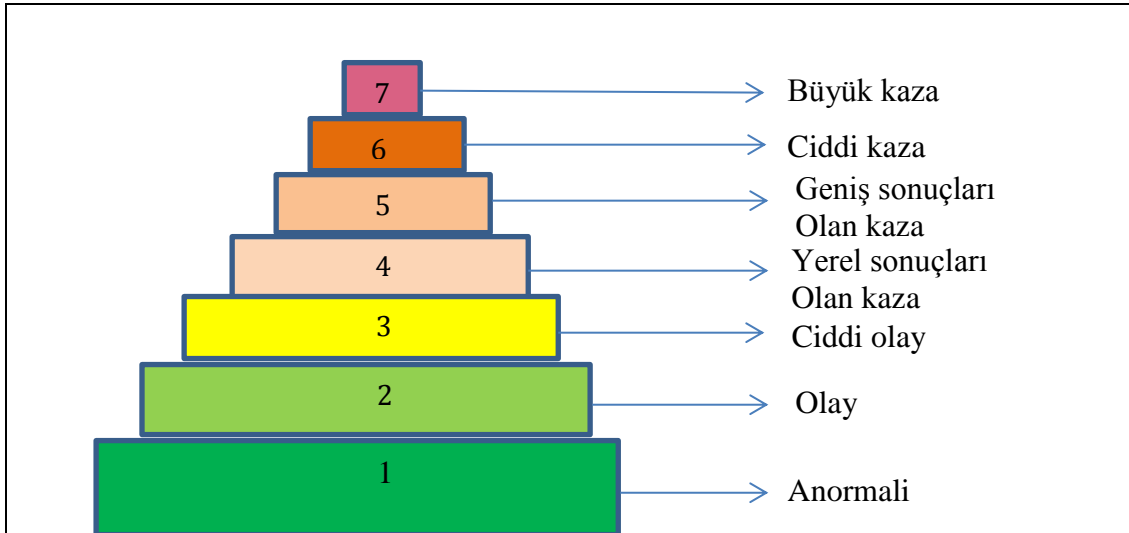
Dünya genelinde meydana gelen nükleer kazaların nedenleri incelendiğinde büyük çapta zararların meydana geldiği kazalarda NGS’lerin soğutma sistemlerinin devre dışı kalmasının önemli bir payı olduğu görülmektedir. Fukuşima’da meydana gelen nükleer kaza örneğinde de görüldüğü gibi doğal afetler nükleer kazaların meydana

gelmesinde önemli bir faktör sayılmaktadır. Bu bağlamda doğal afetleri, nükleer kazalardan ve felaketlerden ayrı düşünmemek gerekmektedir [21]. Özellikle yangın gibi afetler nükleer kazaların oluşumunda veya sonucunda etkili olarak kazaların zararlarını daha üst boyutlara çıkarmaktadır.

Nükleer kazaların büyüklüğü Uluslararası Atom Enerji Ajansı ve OECD tarafından geliştirilen ve 1989 yılından itibaren aktif olarak kullanılan ‘Uluslararası Nükleer ve Radyolojik Olay Ölçeği Sistemi (INES) ile belirlenmektedir [22]. Bu ölçek bağlamında, nükleer kazalar ve olaylar büyüklüklerine göre yedi basamakta ele alınmaktadır. Buna göre bir ile üçüncü basamaklar arasında küçük nükleer olaylar, dört ile yedinci basamaklar arasında ise nükleer kazalar tanımlanmaktadır [23].

Nükleer tesislerde her ne kadar teknolojinin gelişmesine paralel olarak önlemler artırılrsa da nükleer kazaların tamamen engellenmesi mümkün görünmemektedir. Tarihte bilinen ilk nükleer kaza, 1957 yılında İngiltere’de yer alan Windscale askeri tesisinde bulunan reaktörde meydana gelmiştir. Atom bombası yapımında kullanılan gaz soğutmalı reaktörde, 7 Ekim 1957 tarihinde meydana gelen kazada kontrol altında tutulamayan sıcaklık artışı reaktördeki üç ton uranyumu tutuşturarak büyük bir yangına sebep olmuş ve yangın sonucunda ciddi boyutlarda radyoaktif gaz çevreye salınmıştır. Meydana gelen bu yangın ve nükleer kaza sonucunda onlarca hatta yüzlerce insan hayatını kaybetmiştir [24].

Sovyetler Birliği sınırları içerisinde bulunan Ural dağlarında yer alan Kistim kasabasının doğusunda 1957 yılında meydana gelen diğer bir nükleer kazada da nükleer atıkların doğru şekilde imha edilememesinden dolayı oldukça büyük çaplı bir felaket meydana gelmiştir. Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı tarafından hazırlanan rapora göre, 1987 ile 2013 yılları arasında INES ölçeğine göre çeşitli büyüklüklerde 611 olay ve kaza raporlanmıştır. INES ölçeği seviyelerine göre meydana gelen olayların 6’sı dört ve üstü seviyede ve nükleer kaza olarak sınıflandırılırken, 41’i üçüncü seviye ciddi olay olarak sınıflandırılmıştır [25].



Şekil 2.2. INES Ölçeğine göre nükleer olayların basamaklandırılması [27].

Geçmişte meydana gelen nükleer kazalardan en öne çıkanları 10 Ekim 1957 tarihinde İngiltere’de bulunan Sellafield’te meydana gelen kaza, 28 Mart 1979 tarihinde Amerika Birleşik Devletleri’nin Pensilvanya eyaletinde bulunan Harrisburg’da meydana gelen kaza, 26 Nisan 1986 tarihinde Ukrayna’nın Pripyat bölgesinde bulunan Çernobil’de meydana gelen ve Türkiye dahil birçok ülkeyi etkileyen kaza ve 11 Mart 2011 tarihinde Japonya’da bulunan Fukuşima’da meydana gelen ve birçok kişiyi etkileyen kaza olarak sıralamak mümkündür.[28] Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı’nın verilerine göre dünyada gerçekleşen nükleer sızıntı ve seviyeleri aşağıda Tablo 2.4.’de görülmektedir. Tablo detaylı olarak incelendiğinde Rusya ve Japonya’da İnes seviyesi 5 ve üzeri olan kazalar dikkat çekmektedir.

Tablo 2.4. Uluslar Arası Atom Enerjisi Kurumu verilerine göre dünyada gerçekleşen nükleer sızıntı kaza ve olayları

No	Yıl	Olay	INES seviyesi	Ülke
1	2011	Fukushima	5	Japonya
2	2011	Onagawa	-	Japonya
3	2006	Fleurus	4	Belçika
4	2006	Forsmark	2	İsveç
5	2006	Erwin	-	ABD
6	2005	Sellafield	3	İngiltere
7	2005	Atucha	2	Arjantin
8	2005	Braidwood	-	ABD
9	2003	Paks	3	Macaristan

Tablo 2.4. (Devamı)

No	Yıl	Olay	INES seviyesi	Ülke
10	1999	Tokaimura	4	Japonya
11	1999	Yanangio	3	Peru
12	1999	İkitelli	3	Türkiye
13	1999	Ishikawa	2	Japonya
14	1993	Tomsk	4	Rusya
15	1993	Cadarache	2	Fransa
16	1989	Vandellos	3	İspanya
17	1989	Greifswald	-	Almanya
18	1986	Chernobyl	7	Ukrayna
19	1986	Hamm-Uentrop	-	Almanya
20	1981	Tsuraga	2	Japonya
21	1980	Saint Laurent des Eaux	4	Fransa
22	1979	Three Mile Island	5	ABD
23	1977	Jaslovské Bohunice	4	Çekoslovakya
24	1969	Lucens	-	İsviçre
25	1967	Chapelcross	-	İngiltere
26	1966	Monroe	-	ABD
27	1964	Charlestown	-	ABD
28	1959	Santa Susana Field Laboratory	-	ABD
29	1958	Chalk River	-	Kanada
30	1958	Vinča	-	Yugoslavya
31	1957	Kyshtym	6	Rusya
32	1957	Windscale Pile	5	İngiltere
33	1952	Chalk River	5	Kanada

IAEA açıklaması

1. 2011 Sendai depremi ve tsunami sonrasında reaktör kapanması; acil soğutmanın çalışmaması patlamaya neden oldu.
2. 2011 Sendai depreminden sonra reaktörün kapatılması ve tsunami yangına neden oldu.
3. Yüksek radyasyon dozu tespit edilmesi sonucu ticari radyoloji tesisindeki bir çalışan için ciddi sağlık etkileri tespiti.

4. Nükleer santraldeki acil durum güç kaynağı sisteminde arıza nedeniyle güvenlik fonksiyonlarının bozulması sonucu nükleer sızıntı.
5. Transfer sırasında sızdırılmış 35 litrelik çok zengin uranyum çözeltisi çevreye yayılması.
6. Tesis içinde bulunan çok miktarda radyoaktif madde salınımı tespiti.
7. Yıllık limiti aşan bir güç reaktöründe Bbr NGR yıllık limiti aşan doz tespiti, bir çalışmada aşırı radyasyon dozu tespiti.
8. Nükleer madde sızıntısı.
9. Kısmen harcanmış yakıt çubukları kırılmış ve radyoaktif yakıt peletleri nedeniyle sızıntı.
10. Bir nükleer tesiste kritik olay sonrasında yüksek radyasyon sızıntısı.
11. Radyografi kaynağıyla ilgili ciddi radyasyon yanıklarıyla sonuçlanan olay.
12. Radyoaktif bir Co-60 kaynağının kaybedilmesi sonucu radyoaktif sızıntı.
13. Kontrol çubuğu arızası
14. Basınç birikimi sonucu patlama ve sonucunda mekanik arıza oluşması.
15. Nükleer Kirlenmenin yönetim tarafından beklenmeyen bir alana yayılması.
16. Nükleer güç istasyonunda güvenlik sistemlerinin zarar görmesine neden olan yangının sonucu kimyasal sızıntı.
17. Aşırı ısınma sonucu 10 yakıt çubuğu zarar görmesi.
18. Yaygın sağlık ve çevre etkileri. Reaktör çekirdek stokunun önemli bir bölümünün kontrolsüz olarak serbest kalması.
19. Reaktöre yakıt elementleri vermek için kullanılan boruya küresel yakıt çakıl taşı yerleştirildi.
20. 155 milyondan yüksek doza 100'den fazla işçi maruz kaldı.
21. Reaktördeki bir yakıt kanalı eritilerek sitenin dışında serbest bırakılması sonucu 100'den fazla işçi günde 155 milimetrelik radyasyon dozlarına maruz kaldı.
22. Reaktör çekirdeğinde ciddi hasar ile sonuçlanan olay.
23. Hasar görmüş yakıt bütünlüğü, yakıt kaplamasının geniş korozyon hasarı ve radyoaktivitenin serbest bırakılması.
24. Soğutucu ünite devre dışı kalması nedeniyle, deneysel reaktörde ısı yükselmesi sonucu patlamaya neden oldu.

25. Grafit molozu bir yakıt kanalını tıkadı ve yakıt elementinin erimesine ve yangına neden oldu
26. Sodyum soğutma sistemi arızası.
27. Santralde bir çalışan tarafından yapılan hata sonucu kritik durum oluştu.
28. Kısmi çekirdek erimesi
29. Yetersiz soğutma nedeniyle hasar gören bir uranyum yakıt çubuğu yanarak ikiye ayrıldı.
30. Deney esnasında bir doz yükselişi tespit edilmesi sonucu altı bilim adamı tarafından inceleme yapıldı
31. Bir deney sırasında doz artışı tespit edilemedi. Yüksek etkinlikli atık depolarının patlamasından çevreye radyoaktif maddenin salınması.
32. Bir reaktör çekirdeğinde bir yangın sonrasında radyoaktif maddenin çevreye salınması.
33. Birkaç operatör hatasıyla birleştirilmiş bir reaktör kapama çubuğu arızası, iki katından fazla doz yükselmesine yol açtı.

Nükleer kazaların nedenleri ve büyüklüklerinin yanı sıra önemli olan diğer bir hususta kazaların yangın gibi başka afetlerle etkileşim halinde gerçekleşmesidir. Yangınlar nükleer kazaların sebebi ve sonucu olarak oldukça büyük oranda zararlara neden olabilmektedir.

Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan Nükleer Düzenleme Komisyonu (NRC) ve Amerikan Nükleer Sigortacılar Organizasyonu (ANI) işbirliğiyle hazırlanan raporlarda 1955 ile 1978 yılları arasında hafif sulu reaktörlerde (LWR) 37 raporlanmış yangın meydana gelirken, 1978 ile 1982 yılları arasındaki 4 yıllık süreçte bu sayı 74'e çıkmıştır [29].

Nükleer tesislerde meydana gelen yangınlar hususunda tesislerin içerdiği malzemelerin önemli bir yeri bulunmaktadır. Özellikle kablolar, NGS'lerde meydana gelen yangınlarda önemli bir rol oynamaktadır. Buna göre yangının başlamasına sebep olan malzemenin içerdiği risk değeri, yangının sıçramasına ve yayılmasına sebep olabilecek malzeme yapıları, yangının nükleer güvenliği tehlikeye

düşürebilecek sistemlere ulaşma süresi, nükleer güvenliği sağlayan sistem malzemelerinin yapısal dayanıklılığı gibi hususlar yangının boyutlarını ve etkilerini de belirlemektedir.

Nükleer tesislerde meydana gelen yangınları analiz etme noktasında kablolar başta olmak üzere malzemelerin yangına direnç gösterme durumları ve içerdikleri standartlar, fiziksel yedeklik ve iletim hatlarındaki çeşitlilik gibi etmenler göz önünde bulundurulmaktadır. Bu etmenlerin yanı sıra analizlerde kullanılan ve yangının çıkmasına neden olan hata ve unsurları belirlemede rol alan diğer etmenleri şu şekilde sıralamak mümkündür [30]:

1. Tesisin türü
2. Tesisin hali
3. Meydana gelen yangının derecesi
4. Yangını başlatıcı unsur
5. Yangının meydana geldiği bölge
6. Yangının meydana gelme sebebi
7. Yangını algılama metodu
8. Yangını söndürme metodu
9. Söndürücü madde

Nükleer tesislerde meydana gelen yangınlar hususunda yapılan analizlerde genellikle kabloların yedeklilik prensibi göz önünde tutulmakta ve kabloların bir ve birkaçının yanması ve arızalanması durumunda NGS'lerin güvenlik sistemlerinin yetkinliği ve sürdürülebilirliği anlaşılmaya çalışılmaktadır. Dolayısıyla NGS'lerde meydana gelen yangınları kablo kaynaklı meydana gelen yangınlar ve kablo kaynaklı olmayan yangınlar olarak iki sınıfta ele almak mümkündür.

Kablo kaynaklı olarak meydana gelen yangınlardan en büyük etkilere sahip olanları Tablo 2.5.'de gösterilmiştir. Tablo 2.5.'de görüldüğü gibi geçmişte NGS'lerde meydana gelen yangınların önemli bir kısmı kablolardan kaynaklı olarak meydana gelmiştir. Kabloların türü, niteliği ve sahip olduğu özelliklerin yanı sıra kablolarla birlikte kullanılan diğer donanımların ve malzemelerin özellikleri veya insan hataları

gibi sebepler ile NGS'lerde kablo kaynaklı olarak meydana gelen yangınlarda etkili olmaktadır. Tablo 2.5.'de dünya genelindeki kablo kaynaklı NGS yangınları görülmektedir.

Kablo kaynaklı Nükleer Güç Santrali yangınları günümüzde görülme olasılığı son derece düşmüş olmasının nedenleri arasında; kullanılacak kablo özelliklerini içeren bir standartın tüm nükleer güç santrallerinde uyulmasının zorunlu hale getirilmesidir. Tablo detaylı olarak incelendiğinde 1995 yılı sonrasında dünya genelinde nükleer güç santrallerinde kablo kaynaklı yangın görülmediği anlaşılmaktadır.

Tablo 2.5. kablo kaynaklı NGS yangınları [31].

Etkilenen Tesisi Ünitesi	Olay Tarihi	Yangın Türü
San Onofre, Ünite 1 (ABD)	12.03.1968	Kablo tasarımı boyutundaki değişiklik nedeniyle kablolarda kendiliğinden tutuşma
Brown's Ferry, ünite 1 ve 2 (ABD)	22.03.1975	İnsan kaynaklı kablo yangını
Greifswald, ünite 1 (Almanya, DDR)	07.12.1975	Ana şalterde ve kablolarda çıkan yangın
Beloyarsk, ünite 2 (Rusya, SSCB)	31.12.1978	Türbin binasında kablolarda çıkan yangının diğer tesis alanlarına yayılması yedekli ekipmanlarda ciddi hasara sebebiyet vermiştir.
Güney Ukrayna, ünite 2 (Ukrayna SSCB)	14.12.1984	Korunak binasında çıkan kablo yangını çeşitli bölgelere yayılmıştır.
Zaporoshye, ünite 1 (Ukrayna, SSCB)	27.01.1984	18 saat süren geniş çaplı kablo yangını farklı tesis alanlarında hasara sebep olmuştur.
Kalinin, Ünite 1 (Rusya, SSCB)	18.12.1984	Türbin binasındaki bir güç kablosunda çıkan birden fazla yangın.
İgnalina, Ünite 2 (Litvanya, SSCB)	05.09.1988	Çeşitli kabloların hasar görmesine sebebiyet veren büyük kablo yangını
Waterford, ünite 3 (ABD)	10.06.1995	Dikey kablolar ve yangın bariyerleri üzerinde yatay kablo kanallarına yayılan ana şalter yangını

Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı'nın verileri incelendiğinde NGS'de yaşanan kazaların büyük çoğunluğu yangın sonrası Nükleer sızıntının yaşanması veya farklı nedenlerle nükleer sızıntı oluşması nedeniyle yangın çıkması şeklindedir.

NGS'lerde geçmişte meydana gelen yangınlardan edinilen işletim tecrübeleri ve yangın güvenliği değerlendirmeleri yangın ve patlamaların NGS güvenliği üzerinde azımsanamayacak etkilere sahip olduğunu göstermiştir. Bir NGS'de yangın çıkma ihtimali her zaman devam ettiğinden, tasarım aşamasından işletilmesine ve işletmeden çıkarılmasına kadar geçen işletme ömrü boyunca NGS'lerin yangından korunması oldukça önemlidir [32].

Tablo 2.5.'deki veriler incelendiğinde kablo kaynaklı yangınların genelde önlenebilir olduğu, basit kontrol ve kurulum aşamasındaki mühendislik hesaplamalarının doğru yapılmasıyla bu tür yangınların önüne geçilebileceği anlaşılmaktadır.

2.3. Dünya Genelinde NGS Yangınlarının Kaza Kök Nedenleri ve Olayların İncelenmesi

2.3.1. 1968 San Onofre, ABD

Kaliforniya eyaleti, San Celemente Bölgesine yakın bir alanda kurulu, 436 MW(e) kapasiteye sahip olan bu santral, Westinghouse Tipi Bir PWR olan San Onofre NGS'si, 1980 yılında üretimini sonlandırmıştır. Isıl ve mekanik olarak stres altında kalan kabloların 340 voltluk üç fazlı devrelerin her bir fazındaki hataları düzeltmek için uygun sigortaların kullanılmaması sonucunda yangın kaçınılmaz olmuştur. Ayrıca kabloların, tasarımdaki hesaplamalarının doğru yapılmamasından dolayı geçerli yükleri kaldırabilecek boyutların altında kaldığı da göze çarpmıştır [32].

Bir NGS'de kablo kaynaklı olarak çıkan ilk yangın olmasından dolayı San Onofre yangını, literatürde önemli bir olay olarak kabul edilmiştir. Yangın üç adet kablo kanalına yayılmış ve 5 metreye yakın kablonun tutuşmasına sebep olmuştur.

Bu olay nedeniyle yapılan araştırmalar; endüstride kablo yeterliliklerinin araştırılmasına yönelik bir adım olmuş ve izin verilen akım şiddeti limitlerini belirleyen standartların ve kabloların alev alma davranışlarının araştırılmasına geliştirilmesine ve bu konularda standartların oluşturulmasına öncülük etmiştir. Neticede oluşturulan standartlar; kabloların izin verilen akım şiddeti standartları endüstride benimsenmiş ve uygulanmıştır. Alev alma standartları genel nükleer kablo yeterlilik standartları kapsamında, IEEE-383 içinde yer almıştır [32]. Kaza yangın kor soğutma kapasitesinin tamamının devre dışı kalmasına veya kor hasarına neden olmamış, herhangi bir radyasyon salınımına ya da tesis personeli ile halkın yaralanmasına sebep olmamıştır.

1968 yılında meydana gelen bu yangın neticesinde yapılan değişiklikler, günümüz Olasılıklı Risk Analizlerinde tam olarak uygulanabilir durumda değildir. Bunun en önemli nedeni ise San Onofre santralinin teknolojik olarak günümüz koşullarındaki NGS'lerde kullanılan sistemlerden farklı olmasıdır. Bu kaza NGS'lerde ısınma dolayısı ile ortaya çıkabilecek kablo yangınlarının oluşabileceğini, büyüyüp NGS 'de istenmeyen güvenlik sorunlarına sebebiyet verebileceğini göstermiştir. Olasılıklı Risk Analizlerinde kendiliğinden tutuşabilen kablo yangınlarının "kalifiye olmayan" kablolardan kaynaklı çıktığı ortak bir uygulama iken, bu tür yangınların IEEE-383 alev alma standartlarına sahip kablolarda çıkmasının mümkün olmadığı kabul edilmiştir. San Onofre kazasından sonra meydana gelen on iki adet kendiliğinden tutuşmuş ciddi kablo yangınlarındaki nedenler araştırıldığında bu kabulleri destekler nitelikte sonuçlar ortaya çıkmıştır [32].

2.3.2. 1975 Brown's Ferry, ABD

22 Mart 1975'te, Decatur, Alabama yakınlarındaki Browns Ferry Nükleer Santrali'nde yangın çıktı. Özel İnceleme ekibi, bu olayın nedenlerini belirlemek ve bu veriler ışığında geleceğe yönelik öneride bulunmak için, Nükleer Düzenleme Komisyonunun Operasyonları Genel Müdürlüğu (NRC) tarafından yangından hemen sonra görevlendirildi. Gözden Geçirme Grubunu yeniden düzenleme gerektiği yönünde rapor sunmadığı sürece, bu raporun yayınlanması ile birlikte doğru olarak

kabul edilir. Gözden Geçirme Grubunun önerileri çeşitli konuları kapsar. Çeşitli tavsiyelerin uygulanmasının sorumluluğu genel olarak Nükleer Düzenleme Komisyonuna ve özellikle NRC içindeki uygun ofislerin yetkisi dahilindedir.

Bu reaktörde, kontrol odasının hemen altından kablo dağıtım odası bulunmaktadır. Browns Ferry tesisi, her biri 1067 MW(e)'lık elektrik üretmek üzere tasarlanmış üç kaynar su reaktöründen oluşur. Yangın sırasında 1 ve 2 numaralı birimler aktif, 3. birim hala yapım aşamasındadır. Yangının en büyük nedeni, izolasyon amacıyla kullanılan poliüretan köpüğün tutuşmasıydı.

Yangın, kablo dağıtım odası ile Unite 1 reaktör binası arasındaki duvar kısmında gerçekleşmiştir. Yangın 5 metrelik kablo ve oda ile sınırlıydı ve yangın kurulu karbondioksit söndürme sistemi ve manuel yangın söndürme çabaları ile söndürülmüştür.

2.3.3. 1975, Greifswald, Almanya

1973 Aralık tarihinde işletmeye alınan 1.Ünitede bulunan 6kV'lık şalter odasında 1975 Aralık ayında bir yangın çıkmıştır. Yangın hakkındaki raporlardan birine göre bir elektrik teknisyeninin hatasından dolayı kablolardan birkaç dakika boyunca geçen yüksek akım kısa devreye, devamında otomatik devre kesicilerin arızalanmasına yol açmıştır. Yangın 1.5 saate yakın sürmüştür ve kabloların büyük bir kısmını tahrip etmiştir. Başka bir rapora göre, yangın hemen hemen bir santral kararmasına sebebiyet vermiştir [32].

Buharla çalışan soğutucu pompaların bulunmadığı tesiste, yangın nedeniyle tüm ünitelerin ana soğutucu pompalarında güç kaybı yaşanmıştır. Dolayısıyla tesis doğal devir daimle soğutulmuş ve reaktör soğutması için buhar üreticinin ikinci tarafındaki güvenlik vanaları boyunca buhar salımı gerçekleşmiştir. 4-5 saat sonra, ikinci kısımda bulunan su tükenmiş ve reaktör sıcaklığı ve basıncı yükselmeye başlamıştır. Bu durum basınç ayarlayıcı güvenlik vanalarının otomatik olarak açılmasına sebep olmuş, açılan vanaların düzgün bir şekilde tekrar kapanması mümkün olmamış

reaktör soğutucusu kaybı yaşanmaya devam etmiştir ve olay soğutucu kaybı kazasına dönmüştür. Sonuç olarak reaktör basıncı alçalmış ve düşük basınç pompası girişinde alçak basınç noktasına ulaşılmıştır. Bu durum operatörlerin düşük basınç acil durum soğutma pompalarını devreye sokarak reaktöre soğutucu tedarik edebilmelerini sağlamıştır [32].

2.3.4. 1984, Kalinin, Rusya

Yangın; VVER-1000 tipi 4 adet reaktör bulunan Kalinin NGS'de 1984 yılında türbin binasında meydana gelmiştir. Yangın yaklaşık 2 saat sürmüş, duman tahliye planlamasının da kötü olmasından dolayı yangın yerinde oldukça fazla miktarda duman birikmiştir. Yangının kontrol altına alınmasında bölümde sorumlu personelin zamanında yaptığı etkili müdahalenin rolü önemli bir paya sahiptir. Bu yangın olayı aynı zamanda şunu öğretmiştir ki; sadece uzun süren, geniş alanlara yayılan yangınlar nükleer güvenliği etkilemesinin yanında bazen de kısa süreli ve kritik noktalarda çıkan küçük çaplı yangınlar da oldukça ciddi nükleer olaylara neden olabilmektedir.

Kazayla ilgili ilginç bir nokta ise, üç farklı yerde çıkan üç farklı yangının ortak sebebi olmasıdır. Bu üç farklı yer su pompası, elektrik mekanizması kabini ve bir 6 kV'lık kablodur. Ortak bağlantı ise hepsinin aynı elektrik devresi üzerinde bulunmasıdır. Üç yangından en ciddiisi türbin binasında çıkan, kendiliğinden tutuşan kablo yangınıdır. Kablo boyunca birden fazla tutuşma olsa da, her biri türbin binası içinde kalmıştır. Kaza sonucunda görülmüştür ki yangınlar birbirlerinden bağımsız olarak gelişebilir ve bundan dolayı aynı anda gerçekleşme durumu çok da uzak değildir [32].

2.3.5. 1995, Waterford, ABD

PWR tipi tasarıma sahip Waterford'da, 3.ünite sahadaki tek nükleer güç ünitesidir. Ana şalter odasında gerçekleşen ve çok ciddi olmayan kaza, güvenliği ilgilendiren

işlevler üzerinde çok az bir etki bırakmıştır. Ana şalter yangınları bir NGS'de en çok görülebilen yangınlar arasındadır.

Kaza nedeniyle ilgilenilen noktalardan biri ana şalter kabinine ve kabin üzerindeki kablolara ne olduğudur. Üç kabinde ağır derecede hasar gerçekleşmiş ve dördüncü az miktarda hasar görmüştür. Dahası, yangın çelik panel üzerinden dikey kablo kanalına sıçramış, oradan 3 metre yukarıdaki başka bir dikey kanala ve 2,5 metre ötedeki bir yatay kanala gidene kadar herhangi bir yangın bariyeri tarafından engellenmemiştir. Kapalı elektrik panellerindeki dışarıya yayılma potansiyeli bu zamana kadar bu denli bir önem arz etmemiştir. Fakat bu kaza böyle bir ihtimalin varlığını açıkça ortaya koymuştur [32].

2.3.6. 1993 Narora, Hindistan

NAPS 1.Ünitesinin türbin binasında çıkan yangın 17 saatlik bir güç kaybına sebep olmuştur. Kazada, düşük basınçlı türbinin son aşamasındaki iki adet türbin kanadının arızalanması sonucu, turbo jeneratörde ciddi bir dengesizlik baş göstermiş ve bu dengesizlik neticesinde kopan hidrojen contaları ile motor yağı hatları yangına sebebiyet vermiştir. Yangın kısa bir süre zarfında birçok kablo kanalı, röle paneli gibi bileşenlere sıçramıştır. İşletim ekibi manüel tetikleme ile birinci durdurma sistemini kullanarak reaktörü aniden durdurmuş ve hızlı soğutma sürecini başlatmıştır. Yangın Türbin binası içindeki jeneratör dağıtım kanalı ve kablolar üzerinden ekipman kontrol odasına yayılmıştır. Havalandırma sistemi boyunca kontrol odasına dolan duman, operatörleri odayı boşaltmaya zorlamıştır. Destekleyici kontrol odasında bulunan yedek göstergeler de kontrol kablolarının yanmasından dolayı kullanılamaz hale gelmiştir. Kontrol kablolarında olduğu kadar güç kablolarında da geniş çaplı hasarlar meydana gelmiştir. Dolayısıyla güç kaynakları erişilebilir olsalar dahi, gerekli ekipmanlara şebekeden ya da dizel jeneratörler ile bataryalardan güç aktarımı gerçekleşmemiştir. Bu durumda da kaza yaşandıktan sadece 7 dakika sonra 17 saatlik bir süre zarfında güç desteği kaybına sebebiyet vermiştir. Bu uzun kararına süresince, operatörler buhar üreteçlerinin ikincil tarafına yangın söndürücü su sıkışmışlardır. Kaza neticesinde radyolojik bir etki meydana

gelmemiştir. Esas yangın ise yaklaşık 1.5 saat sonra etkisiz hale getirilmiştir. Kaza, INES Ölçeğine göre seviye 3 olarak belirlenmiş, yani vaka olarak kalmıştır [32].

2.3.7. 2010 Kalinin, Rusya

3 adet 1000 MW(e) gücünde VVER 1000 tipi bir NGS olan ve 4. ünitesi yakınlarda işleme geçen Kalinin 1. Ünitesini besleyen dış mekanda bulunan trafonun ana şalterinde meydana gelen yangın neticesinde reaktör durdurulmuştur. Kamuoyuyla paylaşılan yangın sebebi olarak da yağ ile beslenen şalterin hasar görmesi ve yağ sızdırması olarak belirtilmiştir. Böyle bir durum trafonun işlevini sekteye uğratması için yeterli bir sebeptir ve yakınındaki reaktöre güç iletimi sağlanamamaktadır. Aynı santralin yaklaşık 3 yıl önce de aynı türden bir patlamaya sahne olduğu bilinmektedir. Bu durum göstermiştir ki trafolarında meydana gelen kazalar NGS'leri ciddi manada etkilemektedir ve bu kazaların başlıca sebepleri arasında elektrikle çalışan ekipmanlardan yağ sızıntısı ve akabinde tutuşma neticesinde yangın başlamasıdır. 2010 yılının şubat ayında Rusya'nın Murmansk bölgesindeki Kola NGS'de meydana gelen bir trafo patlaması sonucunda havaya dağılan parçalar tesiste bulunan diğer ekipmanların hasar görmelerine sebep olmuştur. Aynı kaynaktan edinilen bilgi doğrultusunda Kola NGS'sinde meydana gelen patlama sadece iki üniteye giden güç hatlarını kesmekle kalmamış aynı zamanda sahada bulunan kullanılmış yakıt deposuna ait soğutmayı da sekteye uğratmıştır. Rus kaynaklar bu tür kazaları Uluslararası Nükleer Olay Ölçeğinde (INES) 0 düzeyli vakalar olarak tanımlamaktadır [32].

2.3.8. 1979 Barseback, İsveç

Türbin kanatlarında meydana gelen kırılma neticesinde yağ sızıntısı yüzünden tutuşma meydana gelmiştir. Fıskiye sistemindeki püskürtücüler fırlayan parçacıklar tarafından darbeye maruz kalmış, yangın etrafa yayılmış ve bu durum diğer sistemleri etkilemiştir.

2.3.9. 1989 Vandellos, İspanya

Türbin binasında yağlama borularında meydana gelen bir kırık sonucunda kısa bir süre zarfında ortama yağ sızıntı gerçekleşmiştir. Sızan yağın tutuşması neticesinde zincirleme sistem arızaları yaşanmış ve bu arızalara özellikle alt katların yangını söndürme suları ve çeşitli devrelerden gelen suların altında kalmasına neden olmuştur. Tüm bunlar da elektrik sistemlerine ciddi zararlar vermiştir [32].

Yukarıda incelenen yangın kaynaklı kazaların bazılarıdır. Bunların dışında da dünya genelinde bir çok yangın kaynaklı NGS kazaları meydana gelmiş olup nedenleri incelendiğinde genel olarak yukarıdaki nedenler ile benzerlik görülmüştür.

Japonya'da 1966-1999 yılları arasında kayıtlı, yangın kaynaklı vaka sayısı 9 adettir [32]. Finlandiya Ulusal Kaza Veritabanı olan ONTIKA [32], 1994 ve 1995 yılları arasında rapor edilen elektrik kaynaklı yangın kazalarının %70'inden fazlasının kısa devrelerden ve kabloların yerleşim hatasından kaynaklandığını göstermektedir. Bahsi geçen kazalar geçmişte NGS'lerde çıkan yangınlar sonucu meydana gelenlerden sadece bir kaçıdır [33]. Yangın sebepli nükleer kazaların geçmişine bakıldığında Almanya'da 1971-2001 yılları arasında, 594 reaktör işletilmiş olup, rapor edilen 4860 vakanın 25 tanesi yangın vakası iken temel sebepleri de şu şekilde verilebilir; Makine yağı kaynaklı yangınlar, Hidrojen yangınları, Elektriksel ekipman yangınları, Mekanik / diğer ekipman yangınları [32].

1994-2001 yılları arasında UAEA bünyesinde, üye ülkeler tarafından geçmişte yaşanan yangınların masaya yatırıldığı teknik toplantılarda, bu kazaların genel özelliklerinin yangın algılama sistemlerindeki eksiklikler, yedekli kabloların yetersiz ayrılması ve tutuşabilir materyallerin sık kullanılması üzerine ortak kanıya varılmıştır. 2004 yılında hazırlanan bu dokümanda, UAEA/NEA tarafından hazırlanan Olay Raporlama Sistemi (IRS) içindeki bilgiler ve 2001 yılında UAEA tarafından Viyana'da düzenlenen teknik toplantılarda katılımcı ülke raporları kullanılmıştır. Elde edilen teknik bilgiler ışığında, 2200 adet nükleer güvenliği

ilgilendiren olay raporlandığı ve bunlardan 66 tanesinin doğrudan yangın kaynaklı olmak üzere, 119 tanesinin yangın kazası olduğu belirtilmiştir [32].

Tüm bu veriler değerlendirildiğinde; Türkiye’de kurulması gündemde olan NGS için bir yangın güvenliği politikası oluşturmak için bilimsel verileri ortaya koyacak bu çalışmada, NGS çekirdeği için soğutmanın önemi, NGS çekirdeğinin yangına sebebiyet verdiği durumlar ve önleme politikası, kablo yangınları ile NGS soğutmasında önemli bir rol oynayan jeneratör odası yangınları incelenmiş, hidrojen gazı patlamasının hangi durumlarda yaşanabileceği hesaplamalar ile ilerleyen bölümlerde belirtilecektir.

BÖLÜM 3. NGS SANTRALLERİ KURULUMU İŞLETİMİ VE KULLANILAN YAPI ELEMANLARININ YANGIN RİSKİ YÖNÜNDEN İNCELENMESİ

Çalışmanın bu bölümünde model olarak Akkuyu NGS ele alınacak ve incelenecektir.

AKKUYU NGS Projesi'nin gerçekleştirilmesinde 4 aşamalı bir program öngörülmektedir. Gerekli lisans ve izinlerin alınmasının ardından ilk ünite, 7 yıl içerisinde devreye alınacaktır.

1. Aşama – Hazırlık Dönemi

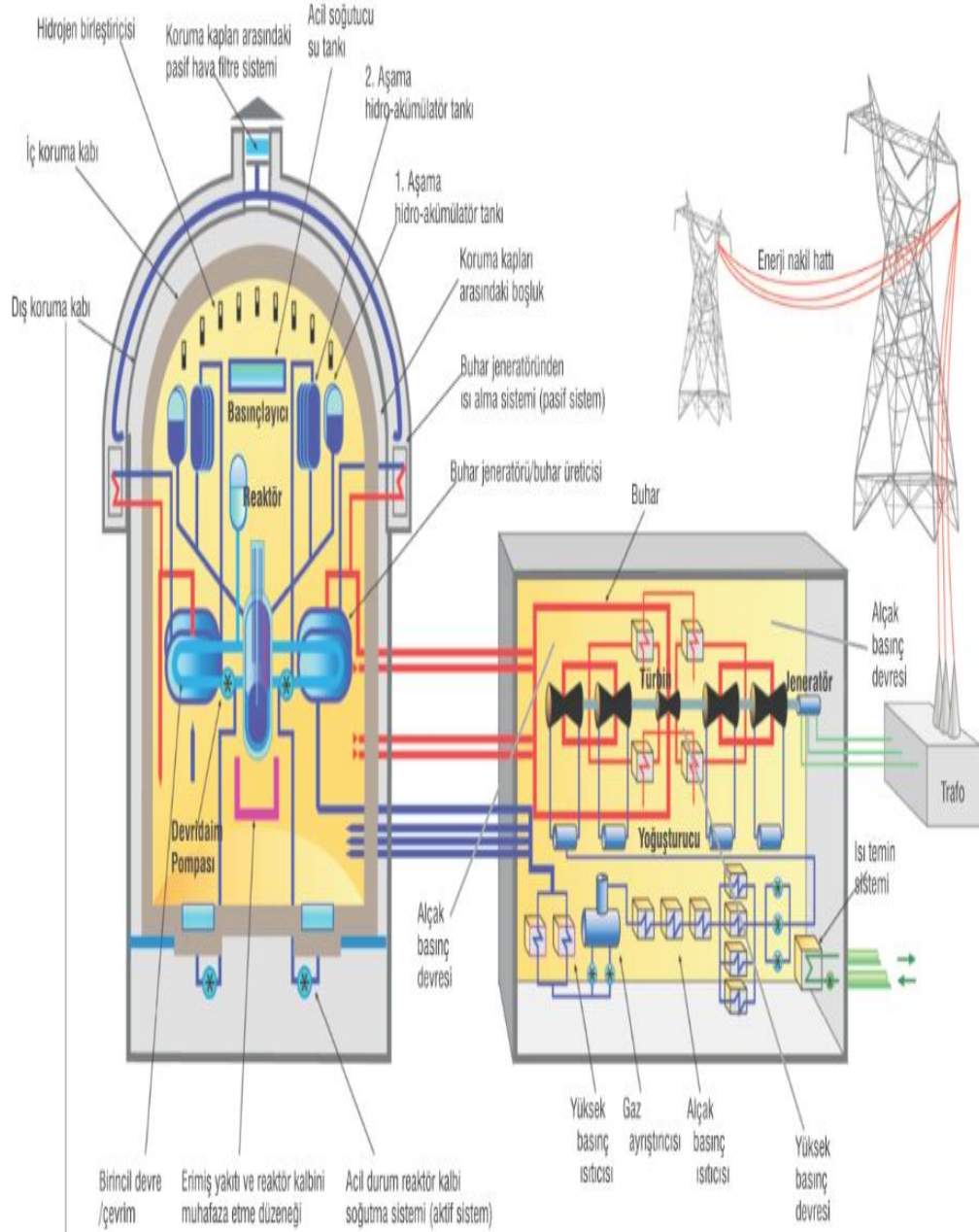
Bu dönemde; Akkuyu NGS Elektrik Üretim Anonim Şirketi'nin kurulması, AKKUYU NGS inşaatı için yüklenici şirkete yer tahsisinin gerçekleştirilmesi, mühendislik etütlerinin yürütülmesi, halkın katılımının sağlanması, AKKUYU NGS'nin kurulumu için şartların yerine getirilerek lisans ve izinlerin alınması; inşaat için ön hazırlık çalışmalarının yapılması planlanmıştır.

- 2. Aşama – Akkuyu NGS İnşaatı**
- 3. Aşama – Akkuyu NGS'nin çalıştırılması ve teknik Destek**
- 4. Aşama – Nükleer Santralin İşletmeden Çıkarılması**

NGS yangın güvenlik sistemlerinin incelenmesinden önce NGS üretim prosesi hakkında bilgi sahibi olunması, kullanılan yapı elemanlarının tanınması ve incelenmesi elektrik üretiminden tüketiciye ulaşmasına kadarki aşamaların bilinmesi gerekmektedir. Bu amaçla ülkemizde çok önemli adımlar atılmış, konunun tam anlamıyla anlaşılması için yurt dışına eğitim için mühendisler gönderilmiştir.

Tarihten alınan dersler ve yapılan bilimsel çalışmalar ile sınırlarımız dibinde Ukrayna'da yaşanan nükleer felaket gibi bir felaket ile karşılaşılması için gerekli

tüm çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Ukrayna’da yaşanan nükleer felaket inceleme ve sonuç raporundaki yetersiz güvenlik kültürü ibaresi ders alınması gereken bir sonuçtur.



Şekil 3.1. Akkuyu NGS Güç Ünitesi ve Güvenlik Akış Şeması [33].

Yukarıda Şekil 3.1.'de NGS prosesi görülmektedir. İşlemin gerçekleştirildiği reaktör kısmı ve bu kısım için güvenlik ve ikincil koruma tedbirlerinin yer aldığı yedek jeneratörler görülmektedir.

Dünya genelindeki nükleer kazaları incelendiğinde yangına neden olan ve daha ileri derecede felakete neden olabilecek durumların yedek güç sağlayan jeneratörler, kablo iletim hatları ve tesiste belli bölgelerin kontrolünün yapıldığı kontrol ve otomasyon odalarının yangından etkilenmesi durumunda ciddi sonuçlarının olduğu görülmektedir. Bunun yanında yine dünya genelinde meydana gelen NGS yangınlarını incelediğimizde kablo yangınları da önemli bir kaza ve yangın nedeni olduğu görülmektedir.

3.1. Akkuyu NGS Hakkında Genel Bilgiler

Akkuyu NGS Projesi, her biri 1200 MWe gücünde 4 ünite olarak planlanmıştır. Akkuyu NGS Projesi'nin teknik referans santrali, Rusya'da yapımı devam eden AES-2006 projeli Novovoronejskaya-2 Nükleer enerji santrali'dir. Akkuyu Nükleer enerji santrali önemli bir kaza veya olay yaşanmaz ise 60 yıl süreyle elektrik üretimine devam edecektir. Yakıt türü hafif zenginleştirilmiş UO_2 'dir.

3.1.1. NGS'de kullanılan yakıtlar

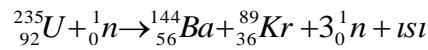
Nükleer enerji radyoaktif özelliğe sahip elementlerin çekirdek bölünmesi reaksiyonu (filyon) ile ortaya çıkan enerjidir. Ağır atom çekirdeklerinin nötronlarla bombardımanı neticesinde bu çekirdeklerin parçalanması sonucu olan tepkimeye "filyon" adı verilmektedir. Her bir parçalanma tepkimesi sonucunda filyon ürünleri, enerji ve 2-3 adet de nötron oluşmaktadır. Nükleer enerji reaktörleri radyoaktif ışıma sonrası oluşan enerjiyi elektrik enerjisine çeviren sistemlerdir. Filyon tepkimesi sonrasında açığa çıkan nükleer enerji nükleer yakıt ve diğer bileşenler içerisinde ısı enerjisine dönüşür. Oluşan ısı bir soğutucuya aktarılarak türbin sistemini hareket ettirerek kinetik enerjiye dönüşür ve daha sonra da jeneratör sisteminde elektrik enerjisine dönüştürülür [37].

Atom çekirdeğinin yapısı yapılan tüm bilimsel araştırmalara rağmen günümüzde tam olarak bilinmemektedir. Atom çekirdeğinin özgül ağırlığı 2×10^{11} kg/cm³ tür.evrende

bulunan maddelerin özgül ağırlıkları bu değerden milyarlar mertebesinde küçüktür. Buradan atom çekirdeğinin hacminin çok küçük olduğu sonucuna ulaşılabilir. Evrende fazla miktarda kararlı atom çekirdekleri bulunmasının yanında kararsız atom çekirdekleri de vardır. Kararsız (radyoaktif) çekirdekler doğada bulunmasının yanında laboratuvar şartlarında yapay olarak ta üretilebilmektedirler. Kararsız atom çekirdeklerinin kendiliğinden parçalanması veya birbiri ile etkileşmesi sonucu verdiği çekirdek reaksiyonları esnasında farklı atom çekirdekleri ve büyük ölçüde enerji açığa çıkmaktadır. Nükleer güç santrallerinde açığa çıkan bu ısı enerjisi kinetik enerjiye çevrilerek elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaktadır.

İzotop atomlar Sir Frederich Soddy tarafından şu şekilde tanımlanmıştır; atom numaraları ve kimyasal özellikleri aynı olduğu halde kütle numaraları farklı olan atomlara izotop atomlar denir. Bir elementin doğal izotoplarının molar kütlelerinin ağırlıklı ortalaması o elementin molar kütlesi olarak alınmaktadır. Nükleer santrallerde yakıt olarak kullanılan Uranyumun en fazla bulunan izotoplarının kütle numaraları 232, 233, 234, 235, 236 ve 238 dir. Bu izotoplardan nükleer güç santrallerinde kullanılan ise U-235'tir. Çünkü normal şartlar altında normal sıcaklıktaki nötronlar ile bombardıman edildiği zaman kolaylıkla fisyon reaksiyonu başlayan izotop U-235'tir. Bu özelliği dolayısı ile nükleer enerji santrallerinde yakıt olarak kullanılmaya en uygun izotoptur.

Nötronlar tarafından bombardıman edilen U-235 izotopunun fazla sayıdaki parçalanma olasılığından bir tanesi şu şekildedir [46];



Parçalanma ürünlerinin analizinden Ba ve Kr gibi oluşan diğer elementlerin kütle numaraları 70-160 arasında, atom numaralarının ise 34-58 arasında farklılık gösterdiği görülmüştür. Nöron bombardımanı sonrası oluşan izotop ürünler radyoaktif özelliğe sahiptir ve farklı sayılarda β - ışını yayarak kararlı hale geçerler [34].

Doğal uranyum cevherinin içinde Uranyum-235 izotopunun oranı % 0,7 dir. Bu haliyle nükleer güç santralinde kullanılması mümkün değildir. Uranyum cevheri içindeki U-235 izotopunun nükleer santrallerde kullanılacak şekilde ayrılması işlemine uranyum zenginleştirme işlemi denmektedir. Uranyum zenginleştirme işlemi için farklı yöntemler uygulanabilirken en çok kullanılan $^{235}\text{UF}_4$ ve $^{238}\text{UF}_4$ gazlarının difüzyon hızlarının farkından faydalanılarak yapılan zenginleştirme işlemidir.

Uranyum 235 izotopunun parçalanması kontrol altında tutulamaz ise dallanmış zincir tepkimesi yürüdüğünden atom bombası ortaya çıkar. Nükleer enerji santrallerinde fisyon reaksiyonları kontrollü olarak yürütülmektedir. Çekirdek proton ve nötronlardan oluşur. Ancak çekirdeğin kütlesi daima protonların ve nötronların toplam kütesinden daha düşüktür. Aradaki bu kütle farkı çekirdeğin bir arada tutan çekirdek bağlanma enerjisinin bir ölçüsüdür. Dolayısıyla bir çekirdeğin bölünebilmesi için çekirdek bağlanma enerjisi kadar enerjiye ihtiyaç vardır. Bağlanma enerjisi kütle numarası yani toplam proton ve nötron sayısı arttıkça belli bir atom numarasına kadar artar.

3.2. Nükleer Güç Santrallerinde Elektrik Üretimi

Tez çalışmasının bu bölümünde fisyon reaktörleri ile elektrik üretiminde gerçekleşen olayların incelenmesi sonucunda Japonya'nın Fukuşima kentinde meydana gelen nükleer reaktör kazasının ana nedeni araştırılacak; aşırı ısı nedeniyle suyun hidrolizi sonucu ortaya çıkan hidrojen gazı patlaması olayının fizikokimyasal hesaplamalar ile açıklanması üzerinde çalışılacaktır. Bu konunun tam olarak anlaşılabilmesi için reaktörde kullanılan zenginleştirilmiş uranyum elementinin özellikleri ve proseste nasıl davrandığının incelenmesi, enerjinin açığa çıkması ve gerçekleşen bu reaksiyonun kontrol edilmesi aşamalarının araştırılması üzerinde durulacaktır. Nükleer santrallerde kullanılan yakıtlar sıradan kimyasal ve mekanik süreçler ile zenginleştirme ve kullanılabilir hale getirilmesi pek mümkün olmamaktadır. Bununla birlikte nükleer alanda U-235 ve H-2 (döteryum) gibi özel izotoplara gerek duyulur [35].

Bir elementin izotopları aynı atom numarası (Z)'na sahip olduklarından aslında kimyasal olarak özdeşler ve bu nedenle kütle numarası (A) üzerine temellendirilmiş, parçacıklar arasında ayırım yapan fiziksel bir yöntemin bulunması gerekmektedir. Bu amaçla kullanılan dört yöntem bulunmaktadır;

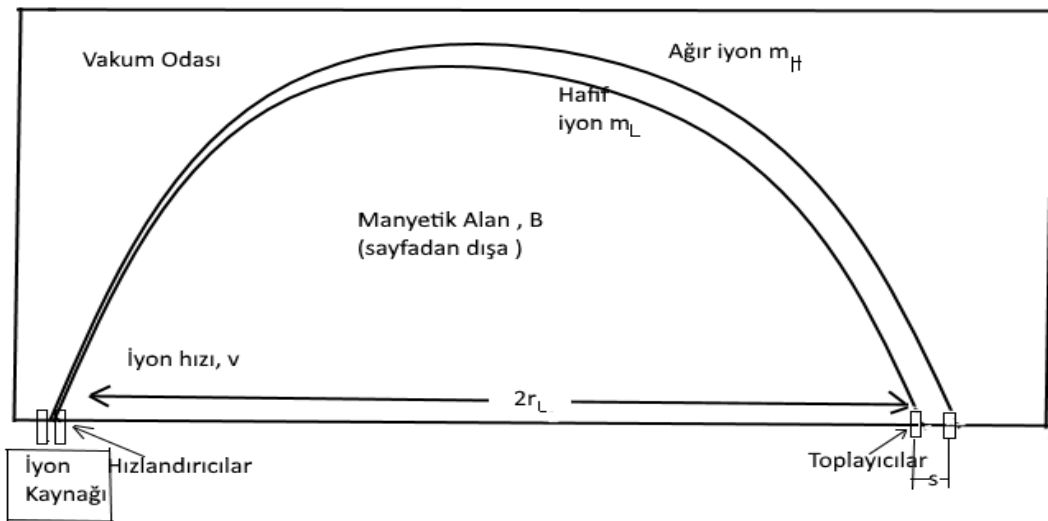
1. Manyetik alanda iyon hareketi
2. Bir zar vasıtası ile parçacıkların difüzyonu
3. Merkezkaç etkisi ile hareket
4. Bir lazer demetine atomik tepki [35].

3.2.1. Manyetik alanda iyon hareketi

m kütleli, q yüklü ve sürati v olan bir parçacığın, şiddeti B olan bir manyetik alan içine dik olarak girdiğinde r yarıçaplı çembersel bir yörüngede;

$$r = m \cdot v / Qb$$

Bağıntısına göre hareket eder. Kütle spektrografında izotopları ayrıştırılacak olan elementin iyonları bir elektrik boşalmasında üretilmiş ve bir kinetik enerji sağlamak için V potansiyel farkı vasıtası ile hızlandırılmıştır.



Şekil 3.2. Kütle spektrografı [35].

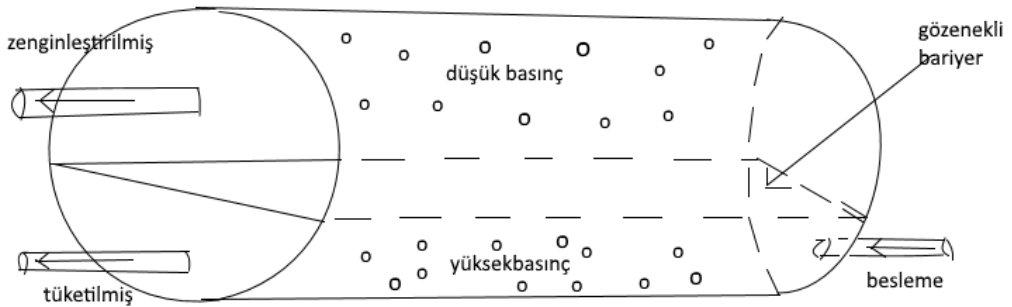
$$\frac{1}{2}mv^2 = qV$$

Yükler oldukça düşük gaz basıncında tutulan bir bölme içerisinde, manyetik alan ile yönlendirilmiş yarı çembersel yörüngelerde serbestçe hareket ederler. Daha ağır iyonlar hafif iyonlardan daha büyük hareket yarıçapına sahiptirler ve bu fark nedeniyle ayrı olarak toplanabilirler. Kütle spektrografi belli bir oranda doğrulukla kütleleri ölçmek, bir örnekteki izotopların bağıl bolluklarını belirlemek veya istenen belirli bir izotoptaki bir elementi zenginleştirmek için kullanılabilir [35].

3.2.2. Gazlı difüzyon ayırıcısı

Bu sürecin prensibi bir kutu gözenekli bir zar ile ikiye bölünmüştür ve hava her iki taraftan içeri girmektedir. Şekil 3.3.'de gerçekleşen işlem görülmektedir.

(Hava hacimce % 79 Azot $A=14$, ve % 21 Oksijen , $A= 16$ karışımı olduğunu hatırlayınız.) eğer bir taraftaki basınç yükselirse, diğer taraftaki Azotun bağıl oranı azalır. Ayırıştırma etkisi, parçacık süratlerine dayanarak açıklanabilir. Bir gaz karışımında, ağır (H) ve hafif (L) molekülleri ortalama kinetik enerjileri aynıdır. ($E_H=E_L$) fakat kütleleri farklı olduğundan tipik parçacık hızları bir oran taşır [35].



Şekil 3.3. U 235 Bolluk oranı işaretlenmiş gazlı difüzyon aşaması [35].

$$\frac{V_L}{V_H} = \frac{\sqrt{m_H}}{\sqrt{m_L}}$$

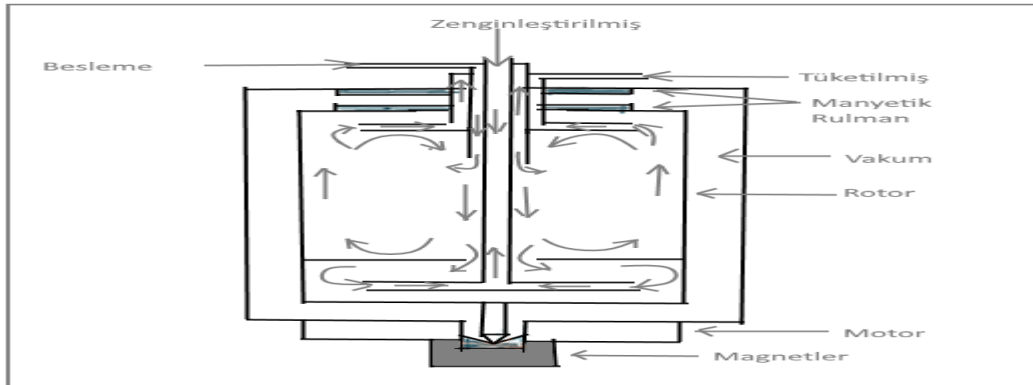
Sistemde her saniyede zara çarpan, moleküllerin sayısı n_V ile orantılıdır. Bu nedenle, daha yüksek hızlı olanlar bariyer olarak adlandırılan, gözenekli zar içindeki boşluklardan daha yüksek olasılıklarla geçerler. İnce nikel bir alaşım bariyer malzemesi olarak görev yapar. Bu aşamada uranyum hegz florür bileşiği (UF_6) formundaki gaz pompalanır. $^{238}UF_6$ azalma ile birlikte $^{235}UF_6$ zenginleştirilmiş ve diğeri tükenmiştir [35].

Herhangi bir izotop ayırıştırma süreci iki ürün moleküllerinin bağıl sayısında bir değişikliğe neden olur. n_H ve n_L bir gaz örneğindeki moleküllerin sayısı olsun. Bunların bolluk oranı şöyle tanımlanır.

$$R = \frac{n_L}{n_H}$$

3.2.3. Gaz santrifüjü

Oldukça yüksek süratleri içerdiğinden dolayı ultrasantrifüjü olarak da adlandırılan izotopları ayırıştırma için kullanılan bu aygıt 1940'lardan beri bilinmektedir. Şekil 3.4.'te görüldüğü gibi, santrifüjler vakumda oldukça yüksek hızlarda dönen rötör silindirik bir bölümden oluşurlar.



Şekil.3.4. Gaz santrifüjü [35].

Rötar manyetik olarak sürülür ve desteklenir. Gaz uygulanır ve merkezkaç etkisi onu dıştaki bölgeye sıkıştırma eğilimindedir fakat termal çalkalanma gaz moleküllerini bütün hacim boyunca yeniden dağıtma eğilimindedir. Hafif moleküller bu etkide tercih edilirler ve konsantrasyonları merkez eksek yakınlarında daha yüksektir. Çeşitli yollarla, rotorun zıt taraflarına ağır ve hafif izotopları taşımaya meyilli olan, UF₆ gazının bir karşı akım akışı kurulmuştur.

Merkezkaç etki ile ayrıştırmanın teorisi bir kütle çekimi alanındaki gaz yoğunluk dağılımı için verilen formül ile başlar,

$$N=NO \exp(-mgh)$$

Burada potansiyel enerji mgh 'dır. Dönen bir gaza ifadeyi uygulayacak olursak; r yarıçapındaki kinetik enerji:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m\omega^2r^2$$

Burada ω , v/r açısal hızdır. Uzaklığın bir fonksiyonu olarak bolluk oranını elde etmek için m_H ve m_L kütleli iki gaza uygulayarak;

$$R = R_0 \exp[(m_H - m_L)\omega^2r^2 / (2kT)]$$

Sonucuna ulaşırız. Ayrıştırmanın, gazların kütlelerinin kare köklerine bağlı olan gazlı difüzyon için verilen ifadeden ziyade kütlelerin farkına bağlı olduğu görülmektedir [35].

3.2.4. Uranyum zenginleştirme

Gazlı difüzyon ve gaz santrifüjü ayrıştırma süreçlerinden her ikisi de paralel ve seri olarak bağlanmış çoklu birimlere gereksinim duyar. UF₆ akışı ve bu nedenle ayrık basamaklar boyunca uranyum veya tüm tesis malzeme dengeleri kullanılarak analiz

edilebilir. Akış sürekli olduğu için, parçacıkların sayısı, moller veya kilogramlar izlenebilir. Üç akım ; girdi (F), ürün (P) ve kuyruk olarak da adlandırılan atık (W) için uranyum akışının birimi olarak günde kilogramı kullanmak uygun olacaktır. Buradan;

$$F=P+W$$

x, akıştaki U-235 için ağırlık kesirleri olmak üzere, hafif izotopun dengesi;

$$xF_F = x_P P + x_W W$$

benzer bir denklem U-238 için yazılabilir fakat aynı noktaya gelecektir. İki denklem girdi ve ürün kütle oranlarını elde etmek için çözülebilir. W eleyerek ;

$$\frac{F}{P} = \frac{x_P - x_W}{x_F - x_W}$$

Bu kısmın formüllerinde kütle kesirlerinin kullanımı atom yüzdesinden ziyade U-235 ağırlık yüzdesi cinsinden tanımlanmış olan zenginleştirme anlaşmasına dayanır. w/o kısaltması tipik olarak ağırlık yüzdesini gösterir [35].

BÖLÜM 4. NÜKLEER SANTRALLERDE YANGIN ALGILAMA VE ÖNLEME

Nükleer santrallerde yangının algılanması ve önlenmesi oldukça önemlidir. Nükleer santrallerin güvenlik konseptlerinin önemli bir parçasını yangın algılama ve önleme stratejileri ve sistemleri oluşturmaktadır.

4.1. Nükleer santrallerde güvenlik ve önleme sistemleri

Nükleer santrallerde enerji üretiminin temelinde yer alan fisyon sürecinin kontrol dışına çıkması durumunda yaşanabilecek olumsuzluklar NGS'lerde güvenlik sistemlerini önemli bir hale getirmektedir. NGS'lerde güvenlik konusu bir konsept içerisinde belirli stratejiler, yasal zorunluluklar, güvenlik sistemleri ile karakterize olmaktadır. Nükleer santrallerde radyoaktif maddelerin işlenmesi sırasında kazaların meydana gelmesi her ne kadar düşük bir ihtimal olsa da insanların, doğanın ve diğer canlıların zarar görmemesi için NGS'lerde kapsayıcı bir güvenlik konseptine ihtiyaç vardır. Bu noktada nükleer santraller için geliştirilmiş güvenlik sistemleri ortaya çıkmaktadır.

Nükleer santrallerde güvenlik sistemleri ve güvenlik sistemlerini meydana getiren elemanlar en az iki olmak üzere veya daha fazla sayıda yedeklik olacak şekilde düzenlenmektedir. NGS'lerde yangın başta olmak üzere yaşanabilecek kazalarda kritik önemdeki sistemlerin zarar görmemesi için oluşturan yedekli sistemde birbirinden bağımsız olan sistemler ve elemanlar söz konusudur. NGS'lerin güvenlik sistemlerinde kullanılan yedekli sistem sayesinde bir sistem veya unsurda oluşabilecek hata, arıza ve kaza bağımsız olan ve aynı fonksiyona sahip olan diğer sistemi ve unsuru etkilememektedir. Sistemin enerjisini sağlayan güç kaynakları, ölçüm aletleri ve sinyal ulaştırma hatları birbirlerinden bütünüyle bağımsız ve

farklıdır. Dolayısıyla sistemlerin çalışma esasları da birbirinden oldukça farklıdır [44].

Nükleer santrallerde güvenlik sistemleri yapılandırılırken yangın başta olmak üzere dış kaynaklı afetlerin ve olayların yanı sıra iç kaynaklı arıza ve kazalar da göz önünde bulundurularak en olumsuz durumda dahi santralin, yapıların ve sistem unsurlarının güvenliğinin sağlanması ve insanların ve doğanın zarar görmemesinin sağlanması amaçlanmaktadır. İnsanların ve doğanın radyolojik zararlardan korunması NGS'lerdeki güvenlik ve önleme sistemlerinin en temel amacını oluşturmaktadır. Bu bağlamda NGS'lerdeki güvenlik ve önleme sistemlerinin gerekliliklerini şu şekilde sıralamak mümkündür:

1. Kazaların ve istenmeyen olayların meydana gelmesini önlemek,
2. Alınan bütün önlemlere rağmen kaza meydana gelmesi durumunda kazanın sonuçlarının en az seviyeye indirilmesini sağlamak,
3. Meydana gelme ihtimali en az olan kazalar da dahil olacak şekilde, tesisin dizaynında göz önünde bulundurulmuş tüm kazalar ve istenmeyen olaylar için, radyolojik sonuçların etkilerinin belirlenen sınırların üstüne çıkmasını engellemek,
4. Ağır radyolojik etkileri olabilecek büyük boyutlardaki kazaların meydana gelmesi ihtimalinin makul düzeyde düşük olmasını sağlayacak her türlü önlemin alınmasını sağlamak.

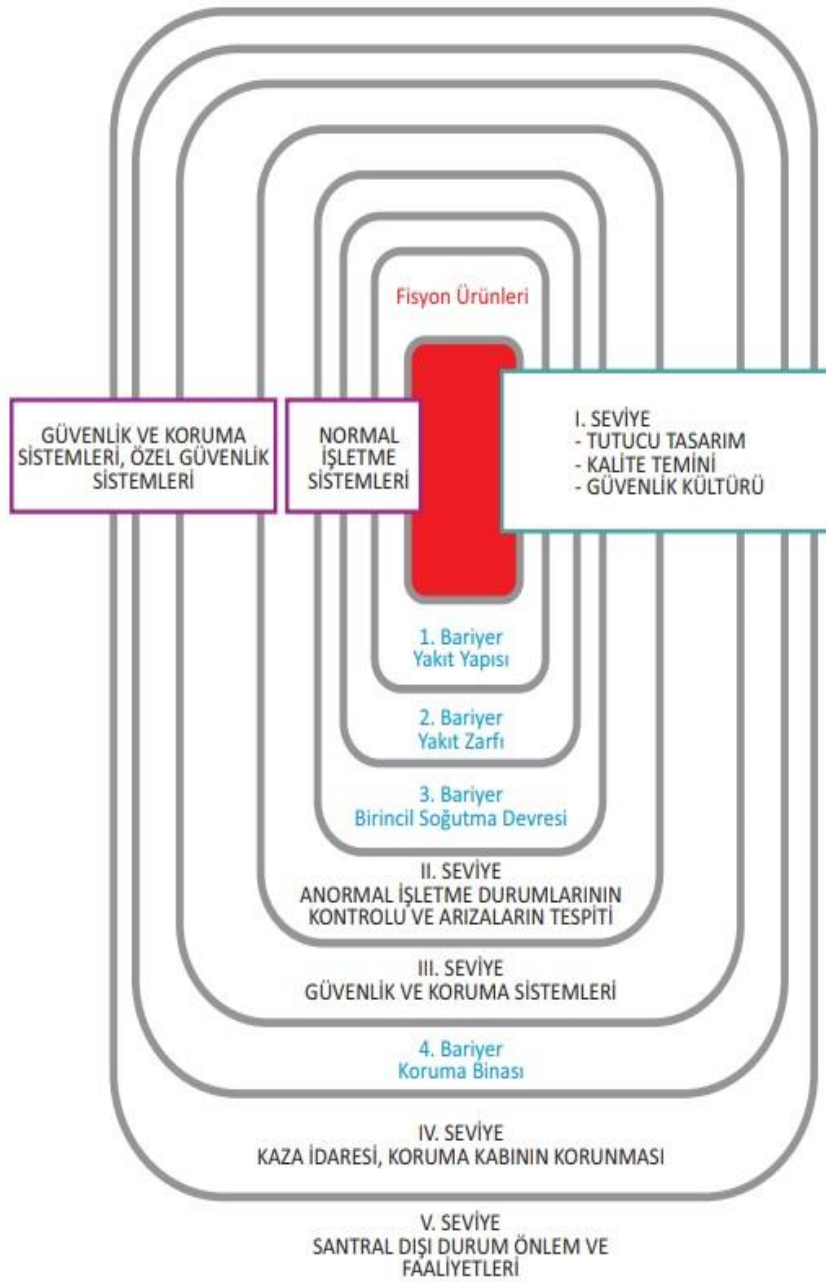
Nükleer santrallerde yapılandırılacak güvenlik ve önleme sistemlerinin gerekliliklerden yola çıkarak sistemin bir stratejiye dayanması gerektiğini söylemek mümkündür. NGS'lerin güvenliği konusunu bütünlüklü bir şekilde ele alması gereken güvenlik stratejileri, kaza ve istenmeyen olay durumlarında santral içerisindeki önemli yapı ve unsurların zarar görmesini engelleyen ve NGS'lerin içindeki radyoaktif maddelerin dışarıya çıkmasını engelleyen karşılıklı olarak etkileşimde olan bir çok bileşeni içermektedir. Bu bağlamda, NGS'lerde ortaya çıkabilecek insan ve donanım hatalarını gidermek, fisyon ürünlerinin santral dışına çıkmasını engelleme noktasında işlev gören fiziksel bariyerlerin aktivitesinin her

şartta sağlanması ve fiziksel bariyerlerin fonksiyonunu devam ettirememesi durumunda bile insanların ve doğanın zarar görmesinin engellenmesi gibi amaçlara odaklanması gereken güvenlik stratejisinin uygulamada beş kademedен oluştuğunu söylemek mümkündür.

Nükleer santrallerde oluşturulan güvenlik stratejilerinin hayata geçirilmesi noktasında normal işletme şartlarından sapmaların önlenmesini içeren birinci kademedē, tesisin inşa kalitesi ve personel kalifikasyonu gibi hususlar öne çıkmaktadır. Santralin inşasında ve dizaynında işlemlerin olağan seyrinde devam edebilmesi için istenmeyen olayların önlenmesini sağlayacak şekilde yapı unsurlarının yapılandırılması, dizaynda en son teknolojilerin kullanılması, insan unsurunun payının mümkün olduğunda azaltılması ve personelin uygun şartlarda seçilmesi ve düzenli olarak eğitime tabi tutulması gibi hususlar birinci kademenin içeriğini oluşturmaktadır [44].

Nükleer santrallerde güvenlik stratejilerinin hayata geçirilmesinde olağan işletme koşullarından sapmaların tespit edilmesi ve öngörülen olayların dizaynda içerilen kazalara dönüşmesinin güvenlik sistemleri ile önlenmesini içeren ikinci kademedē, tesisin ve sistem bileşenlerinin olağan işleyişin dışına çıkmasını önlemek veya olağan işleyiş dışına çıkılması durumunda en kısa sürede olağan duruma geri dönülmesi hususu öne çıkmaktadır. Bu bağlamda tesis ekipmanlarında ve sistemlerinde hata ve arıza oluşmasını engelleyecek otomatik denetleme ve koruma sistemlerine yer verilmektedir. Ortaya çıkabilecek istenmeyen olayları önlemek amacıyla otomatik sıcaklık, basınç ve güç kontrol sistemlerinin aktif olmasını sağlayan sistemler ve arıza ve olağan dışı olayları haber veren uyarı sistemleri yapılandırılmaktadır.

Mevcut güvenlik ve erken uyarı sistemlerinin varlığına rağmen 2. Bölümde de incelendiği gibi nükleer santrallerde kazalar gerçekleşebilmektedir. Ne yazık ki bu kazaların büyük bölümü basit insan hataları dolayısı ile oluşurken küçük bir kısmı da öngörülemeyen kazalar olarak kabul edilmektedir.



Şekil 4.1. NGS'lerde Güvenlik Stratejisinde Fiziksel Bariyerler ve Koruma Kademeleri Arasındaki İlişki [44].

Nükleer santrallerde güvenlik stratejilerinin hayata geçirilmesi hususunda, dizaynda içerilen kazaların dizayn ötesi kazalara dönüşmesinin güvenlik sistemleri ile önlenmesini ifade eden üçüncü kademede, güvenlik stratejisinin önceki iki kademesinde çok az bir ihtimalle dahi olsa engellenemeyen olayların ve kazaların etkilerini en aza indirmek ve bu olay ve kazaların etkilerini kabul edilebilir sınırların altında tutmak için yapılandırılmış özel güvenlik sistemleri bulunmaktadır. Bu

güvenlik sistemleri ile kazalarda başta reaktör koruma kabı olmak üzere fiziksel bariyerlerin fonksiyonunu devam ettirmesi ve kaza durumunda dahi çevreye ulusal ve uluslararası yasal düzenlemelerde belirlenen sınırın üzerinde radyasyon salınmasının engellenmesi amaçlanmaktadır.

Nükleer santrallerde güvenlik stratejilerinin hayata geçirilmesi hususunda, ciddi kaza durumlarında kazanın boyutlarının daha fazla büyümesinin önlenmesi ve kaza gerçekleşmesi durumunda, kazanın daha fazla büyümesinin önlenmesi ve kazanın sonuçlarının etkileri azaltacak şekilde denetim altında tutulması noktalarını içeren dördüncü kademedeki gerçekleşme ihtimali çok az da olsa önceki üç kademeyi aşacak büyüklükte bir kazanın meydana gelmesi durumunda farklı kaza senaryoları oluşturularak bu senaryolara göre talimatnameler hazırlanarak olayın etkileri en aza indirilmeye çalışılmaktadır. Diğer üç kademeyi aşacak boyuttaki bir kaza durumu göz önünde bulundurularak reaktör koruma kabı iç ve dış darbelere karşı dayanıklı ve sızdırmak bir yapıda dizayn edilmektedir. Dolayısıyla en ileri teknolojiler ile oluşturulan basınç kabının devre dışı kalmasında halinde bile radyoaktif maddelerin önemli bir bölümü reaktör koruma kabının içinde tutularak bu maddelerin çevreye salınımı engellenmektedir.

Nükleer santrallerde güvenlik stratejilerinin hayata geçirilmesinde, meydana gelebilecek kazaların radyolojik etkilerinin, saha içi ve dışı acil durum planları ile ağır kaza yönetimi kılavuzları aracılığıyla hafifletilmesini içeren beşinci kademedeki halkın doğrudan etkilenmesi söz konusu olduğu için resmi makamlar hazırladıkları acil durum planları kapsamında insanların belirlenmiş alanlarda koruma altında tutulması, insanlara yönelik iyot tabletlerin sağlanması, bölgedeki insanların tahliye edilmesi, radyasyondan etkilenmiş ürünlerin tüketiminin engellenmesi gibi önlemleri almaktadırlar [44].

Nükleer santrallerde güvenlik stratejilerinin oluşturulmasında ve hayata geçirilmesinde zincirleme nükleer fisyon reaksiyonunun etkin bir şekilde denetlenmesi, reaktörün sağlıklı bir şekilde soğutulması ve radyoaktif maddelerin çevreye salınımının önlenmesi gibi üç temel güvenlik işlevinin yerine getirilmesi

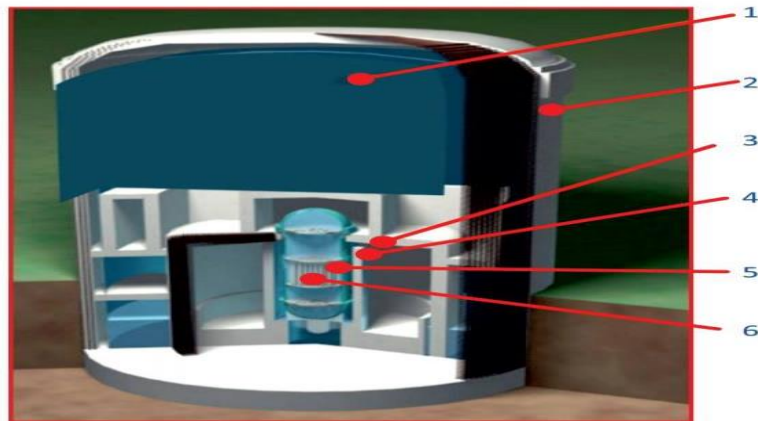
gerekmektedir. Bu üç temel güvenlik işlevi, NGS'lerde meydana gelebilecek kazalarda ve olaylarda güvenliğin sağlanabilmesi için oldukça önemlidir. Dolayısıyla NGS'lerde yapılandırılmış güvenlik ve önleme sistemleri, bu üç işlevin yerine getirilmesi ve insan faktörüne gerek duyulmadan otomatik olarak aktif hale gelerek kaza senaryolarını önlemek veya etkilerini en aza indirme hususları temelinde dizayn edilmektedir.

Nükleer santraller bağlamında güvenlik ve önleme sistemlerinin yukarıda açıklanan güvenlik esaslarını ve işlevlerini yerine getirebilmeleri için belli ilkeler temelinde yapılandırılmaları gerekmektedir. Tek arıza, yedeklilik, farklılık ve fiziksel ayrılık ilkeleri olarak sıralanabilecek bu ilkeler güvenlik ve önleme sistemlerinin işlev görmesinde rehber niteliğindedir. Bu ilkelerin içerdikleri hususları şu şekilde açıklamak mümkündür.

1. Nükleer santrallerde güvenlik ve önleme sistemlerinde 'tek arıza ilkesi' ile herhangi bir sistem veya unsur arızasının güvenlik sistemlerinin işlevini engellememesi sağlanmaktadır,
2. 'Yedeklilik ilkesi' ile öngörülen güvenlik ve önleme işlevlerini yerine getirecek sistem ve unsurların birbirlerinden bağımsız ve birden çok sayıda olması sağlanarak kaza veya arıza durumlarında güvenlik ve önleme sistemlerinin aksamaması sağlanmaktadır.
3. 'Farklılık ilkesi ile yedeklilik ilkesi ile bağlantılı biçimde ortak nedenli arızaları ve kazaları önlemek için sistemlerin ve unsurların birbirinden farklı özelliklere ve çalışma esaslarına sahip olması sağlanmaktadır. Bu şekilde bir arıza olması durumunda bu arızanın kazaya dönüşmesi önlenmektedir.
4. 'Fiziksel ayrılık ilkesi güvenlik sistemlerinin fiziksel olarak birbirlerinden ayrı konumlara ve binalara yerleştirilmesi ile birlikte ortak nedenli arıza ve kazaların önlenmesi sağlanmaktadır. Bu şekilde, ortak nedenli arıza ve kaza durumlarında tüm yedek sistem ve unsurların işlevlerini kaybetmesi önlenmektedir [44].

Nükleer santrallerde güvenlik stratejilerinin ilkeler çerçevesinde hayata geçirilmesinde güvenliğin sağlanması işlevleri göz önünde bulundurularak hareket edilmektedir. Bu bağlamda güvenlik sistemlerinin işlev görmesinde insan unsurunun rolü mümkün olduğu kadar azaltılarak süreklilik ve istikrar sağlanmaktadır. Bunun yanında güvenlik ve önleme sistemlerinin sürekli yeniden test edilecek şekilde yapılandırılması da gerekmektedir. Nükleer santrallerde yer alan başlıca güvenlik ve önleme sistemlerini; durdurma sistemi, acil durum kor soğutma sistemi ve koruma kabı sistemi olarak sıralamak mümkündür.

Günümüzde aktif olan nükleer santral reaktörlerinin güvenlik ve önleme sistemlerinde aktif ve pasif olarak nitelendirilen bileşenlerin bir arada kullanılması söz konusudur. Bu şekilde, olağandışı olaylarda ve kazalarda aktif sistemlerin ve bileşenlerin çalışmaması durumunda enerji gerektirmeden doğal dolaşım, ısı yayımı, yer çekimi, basınç enerjisi gibi olaylar ile çalışan pasif sistemlerin ve unsurların otomatik olarak devreye girmesi ile güvenlik sağlanabilmektedir. Günümüzde kullanılan yeni tip reaktör sistemlerinde ayrıca eriyen yakıtı muhafaza etmek amacıyla reaktör kalbinin alt kısmında yer alan kor kabı (core catcher) olarak isimlendirilen başka bir bileşen de bulunmaktadır. Modern bir reaktörün güvenlik ve önleme bileşenleri şekil 4. 2’de gösterilmektedir. Bu bileşenler uyum içerisinde işlev görerek olağan işleyişi sağlamanın yanı sıra olağandışı olaylarda ve kazalarda da önleyici ve korumacı işlevleri yerine getirmektedirler [44].



Şekil 4.2. Nükleer Santral Reaktörlerindeki Bileşenler (TAEK, 2008: 6)

- 1- ve 2 - Koruma kabı: iç kaplaması 4 cm kalınlığında çelikten oluşan 1 metre kalınlığında öngerilimli beton.
- 3- Koruyucu duvar: 1,5 metre kalınlığında öngerilimli beton.
- 4- Biyolojik zırh: 1,2 metre kalınlığında kurşunlu beton ve iki tarafından 4 cm kalınlığında çelik kaplama (geliştirilmiş reaktörlerde iç ve dış iki tane biyolojik zırh vardır. Bunlar BC ihtiva eden betonlardır.)
- 5-Basınç kabı: 20-25 cm arası kalınlıkta çelik.
- 6- Yakıt demetleri.

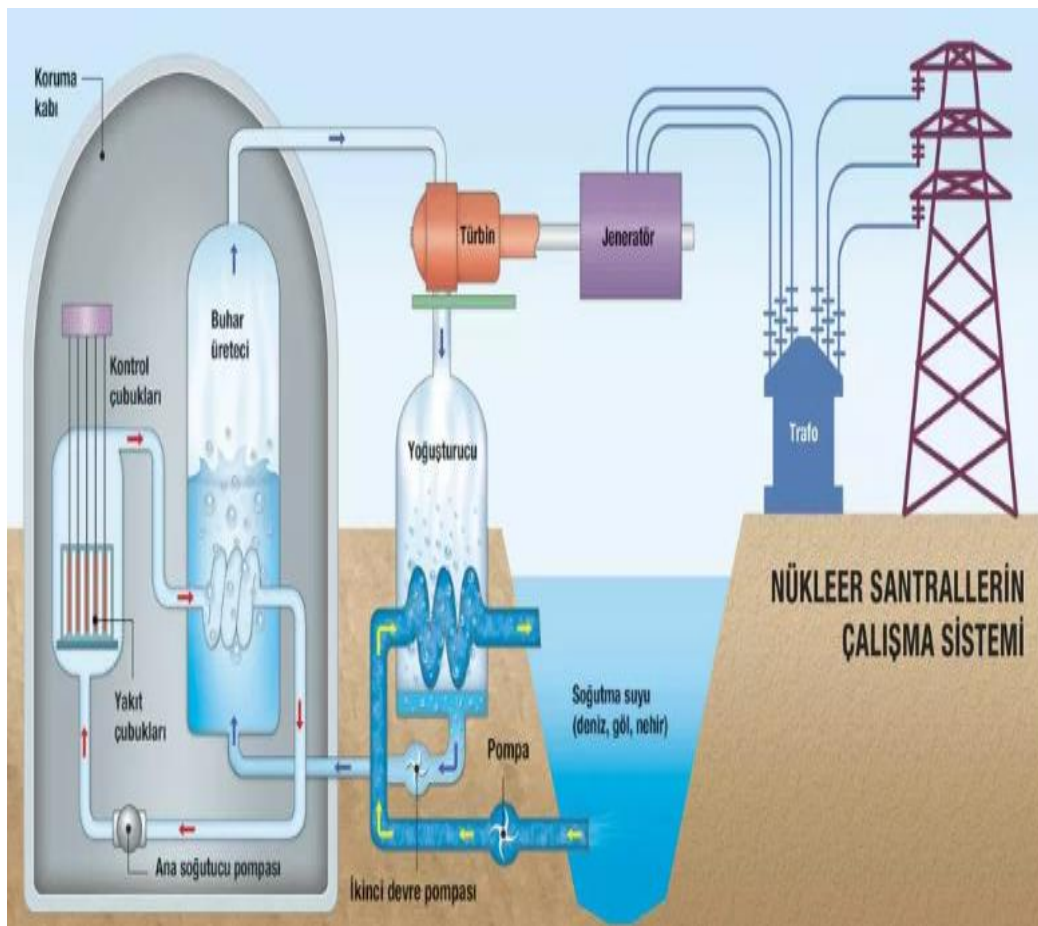
4.2. Nükleer santrallerde yangın analizleri ve modelleri

Nükleer santrallerde güvenlik ve önleme sistemlerini genel olarak açıkladıktan sonra yangın gibi olağandışı durumlarda nükleer santrallerin güvenlik ve önleme sistemlerini en iyi şekilde yapılandırmak için yangın analizleri ve modellerine bakmak gerekmektedir. Günümüzde NGS'lerin faaliyete geçmesi için gerekli olan lisanslama sürecinde sunulması gereken belgelerden birisi olan Nihai Güvenlik Analizi Raporu (NGAR), yangın analizlerinin yer aldığı Yangından Korunma Programı ile birlikte sunulmak zorundadır. Bahsi geçen Yangından Korunma Programı kapsamında yer alan yangın analizlerinin amacı, nükleer santral reaktörünün olağan işleyişinde ortaya çıkan artık ısıyı soğurup, radyoaktif maddeleri koruyacak şekilde reaktörün güvenli kapanmasını sağlamanın yanı sıra nükleer santral sistemlerinin ve unsurlarının olağandışı durumlarda ve yangınlarda bile bu fonksiyonlarını yerine getirebileceklerini ortaya koymaktır [43].

Nükleer santrallerde meydana gelebilecek ve güvenliği tehdit edebilecek her türlü yangın olayı yangın analizleri ile incelenmektedir. Yangın analizleri, reaktörün işleme geçmesinden önce gerçekleştirilmekte ve işletim süresince reaktörde gerçekleştirilecek değişikliklere göre güncellenmektedir. Yangın analizleri altı adımdan oluşmaktadır. Bu adımları şu şekilde sıralamak mümkündür [38].

1. Veri toplanması: Nükleer santrallerde güvenliğe etki eden bütün sistem ve unsurların tespit edilmesi ve tanımlanması,

2. Yangın büyüme analizi: Veriler ışığında olası yangın büyümesinin tüm boyutlarıyla analiz edilmesi,
3. Sonuç analizi: Nükleer santral reaktörlerinde yer alan bariyerlerin yangında direnç seviyelerin tespit edilmesi,
4. Yeterlilik değerlendirmesi: Nükleer santralde yangından korunma ve algılama türlerinin tespit edilmesi,
5. İyileştirme çalışmaları: Nükleer santralde ek yangın ayırma veya yangın önleme sistemlerinin gerektiği durumların tespit edilmesi ve tanımlanması,
6. Analizlerin tekrarı: Nükleer Güvenlik Standartları'nın 216. paragrafında da yer verildiği şekilde [38], reaktörün olağan işleyişinin sağlanmasını, radyoaktif maddelerin korunması sağlayan güvenlik sistemlerinin olası yangınların etkilerine karşı korunması sağlayacak şekilde analizlerin tekrar edilmesi.



Şekil 4.3. Nükleer santral tesis prosesi

BÖLÜM 5. NGS'DE REAKTÖR KAYNAKLI KAZALARIN İNCELENMESİ VE FUKUŞİMA KAZASI ÖRNEĞİ ÜZERİNDEN PATLAMA SENARYOLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

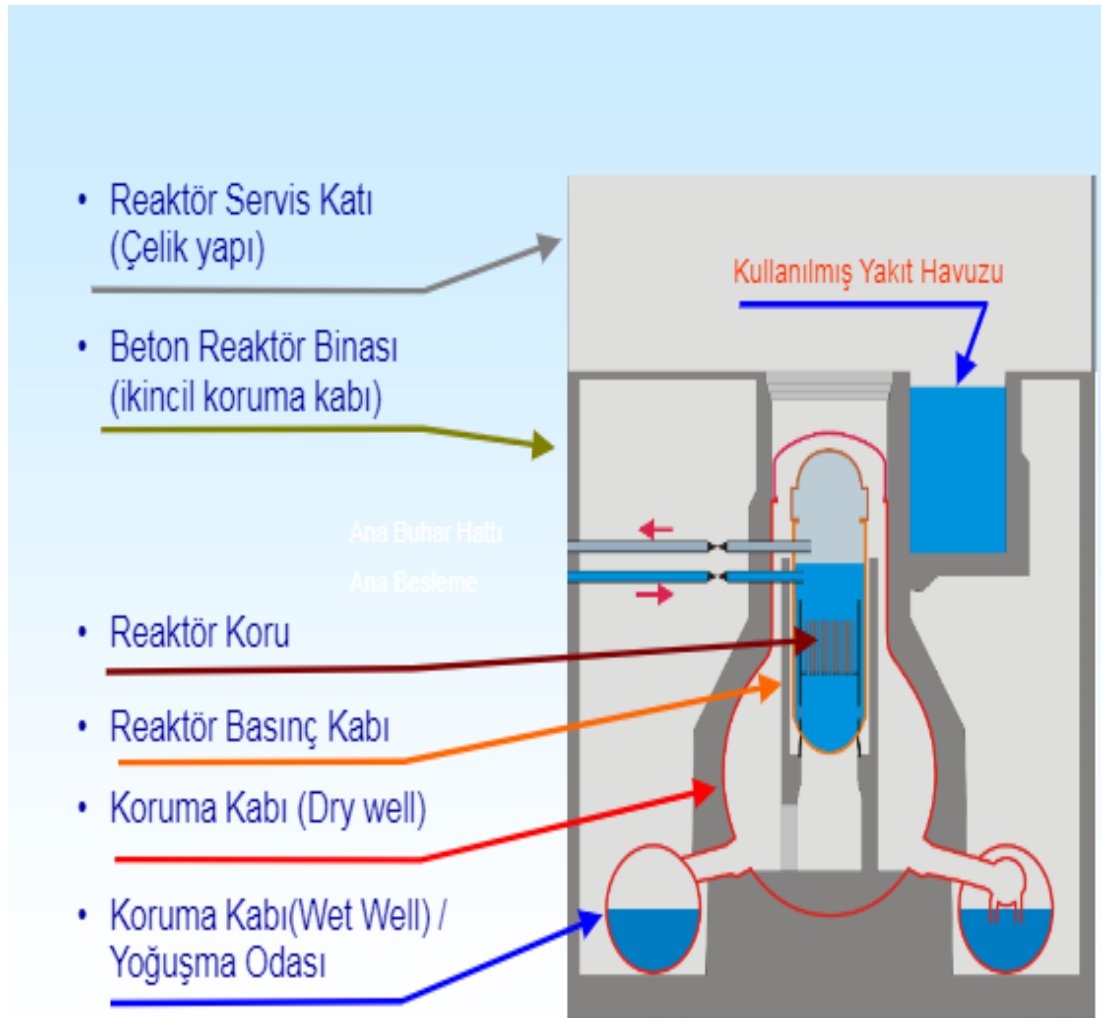
Tezin bu bölümünde nükleer güç reaktörlerinde meydana gelebilecek proses hataları veya doğal afet nedeni ile yangın ve patlama olaylarının Fukuşİma Daiichi kazası model alınarak incelenecektir. Diğer bölümlerde meydana gelebilecek yangın olayları nükleer santral dışında da aynı olduğundan yangın önleme ve söndürme sistemlerinde farklılık beklenmemektedir. Bu nedenle nükleer reaktör bölümünde meydana gelebilecek bir soğutma arızası nedeniyle Fukuşİma Daiichi kazasında olduğu gibi sıcaklığın aşırı yükselmesi dolayısı ile suyun hidrolizi ve açığa çıkan hidrojen gazı patlaması olasılığı ve şartları araştırılacak ve konu ile alakalı nicel veriler ortaya konacak, hesaplamalar ile alınması gereken tedbirler belirlenecektir.

5.1. Fukuşİma Daiichi Kazası

Önceki bölümlerde Fukuşİma Daiichi Kazası ile alakalı kısa bilgiler verilmişti. Bu bölümde yaşanan kaza detaylı olarak incelenecek ve kazaya sebebiyet veren durumlar tam olarak ortaya konacaktır.

11 mart 2011 de Japonyanın kuzey doğu kıyı şeridinde Fukuşİma Daiichi santralinde kaza meydana gelmiştir. Saat akşam 2:46'da 9 büyüklüğünde bir deprem doğu kıyısının 180 km üstünü vurdu. Halı hazırda çalışır durumda olan santralin 1,2,3, birimlerinin otomatik olarak kapanmasıyla sonuçlanmıştır. Deprem tesis dışı güç kaybıyla sonuçlanan bir zarara neden oldu fakat acil durumlar için bulunan dizel jeneratör bu 3 BWR (boiling water reactor) için soğutma sistemlerinin çalışabilmesi için devreye girmiştir. Depremden yaklaşık bir saat sonra 14, 15 metre yüksekliğinde bir tsunami santral alanını sular altında bırakmıştır. sonuç olarak tsunami ve sel acil durum dizel motorlarını ve diğer gerekli elektriksel şalterlerini çalışamaz hale

getirmiştir. Hem tesis dışı hem de tesis içinde yaşanan enerji kaybı sonrası santral bir karartma durumuna geçmiştir. Bu noktada, sadece ünite 3 teki güç kaynakları bağlı aletler ve kontrol sistemlerine güç sağlıyordu. Bu enerji pompalar gibi yüksek enerji gerektiren prosesler için yeterli değildi. Santral kontrolden çıktığı zaman, fisyon süreci durmuş olmasına rağmen fisyon bozunma ısısı ürünleri büyük ısı uzaklaştırma sistemleri gerektirir.



Şekil 5.1. Fukuşima genel elektrik mark I ile BWR kabı ve reaktör kor yalıtımı soğutma sistemi(RCIC) [35].

Yukarıda Şekil 5.1. ünite 4'teki BWR sistemleri için ters ışık ampul-şekilli birincil kabı resmeder ki bu sistemler 1970'lerde çalışmaya başlamıştır. Ünite I, pasif bir yalıtım yoğunlaştırıcısı (IC) sistemini birleştirir ancak tsunaminin buraya varmasıyla kapatılmıştır. Ünite 2 ve 3, bir reaktör yalıtım soğutma (RCIC) sistemine önem verir.

RCIC pompası, normal soğutma suyu sağlayıcısı mevcut olmadığında su sağlamak için reaktördeki buhar yoluyla çalışır. Toroidal yağ kuyudan sıvı su, reaktöre pompalanır, reaktör içerisinde buhar var iken, RCIC t r b n  basıncı bastırmak için yağ kuyuda yoğunlaştırılır. Bununla birlikte, bunu çalıştırmak için sisteme gereken g c sonunda tükenecektir. Ek olarak, bu kapalı sistem bu sıcaklığı ortam ısı kaybetme mekanizmasını ötesine dağıtmak için yeterli kapasiteye sahip değildir. Isı yayılması olmaksızın (orneğin, reaktör yalıtım pompası durduğu zaman) reaktördeki soğutucu basınç, bozunma ısı devam ettiği için reaktördeki soğutma basıncını artırmıştır. Kurtarma vanaları, buharı yağ kuyuya boşaltmak ve reaktör basıncını indirmek için açılmıştır. Daha çok suyun reaktöre girişi olmadan, kaptaki sıvı dengesi a aldı ve korun en üstü sıvı dışında kalmıştır. Bundan dolayı kaplama ve yakıt aşırı ısınmaya başladı. Reaktör kazanına fisyon ürünleri gazları serbest kaldı.

Hidrojen gazı doğada bilinen en yanıcı gazlardan bir tanesidir. Aşağıdaki resimde Hidrojen gazı patlama anı ve patlama olayından sonra santralin durumu görülmektedir.



Şekil 5.2. Fukuşima genel elektrik santrali hidrojen gazı patlama anı ve sonrası [35].

Bu durum göz önünde bulundurulduğunda yangından daha yıkıcı etkiye sahip patlama olayının önceden değerlendirilmesi ve şartların patlayıcı ortam oluşturma ihtimalinin ortadan kaldırılması gerekmektedir. NGS patlamaya sebep olabilecek durumlar giden yol birbirini ilgilendiren  c farklı senaryo ile değerlendirilecektir.

Birinci ihtimal; Fukuşima genel elektrik santralinde yaşanan patlama olayı; soğutma ünitesine güç sağlayan jeneratörün su altında kalması dolayısı ile soğutma suyunun aşırı ısınması ile hidroliz olması ve açığa çıkan H₂ gazının patlamaya neden olmasıdır. Bu durumun olabirliğini değerlendirmek için suyun oluşum ile alakalı Gibbs serbest enerjisini belirlenmelidir.



Tepkimesi ile alakalı termodinamik veriler aşağıdaki gibidir.

Tablo 5.1. Suyun oluşumu ile alakalı termodinamik veriler [39].

	O ₂ (g)	H ₂ (g)	H ₂ O(s)
ΔH_f^0 (kcal/mol)	0	0	-285.83
S^0 (J/mol-K)	130.8	205.04	69.91
ΔF_f^0 (kJ/mol)	0	0	-273

Bu çizelgeden faydalanarak bir mol suyun oluşumunda ortaya çıkabilecek reaksiyon Gibbs serbest enerjisi (ΔF_r^0) bulunabilir. Bulunan bu değer aynı zamanda suyun parçalanması için verilmesi gereken enerjidir. Soğutma suyu reaktörde gerçekleşen arıza sonrasında Uranyum yakıtının oluşturduğu enerji ile hidrojen gazı oluşturacak enerjiye ulaşım ulaşmayacağı yapılan hesaplamalar ile açıklanacaktır.

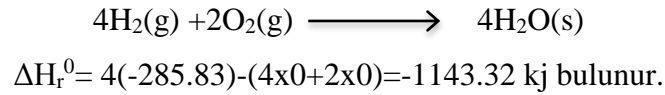
Tüm durum fonksiyonlarının kimyasal reaksiyona yönelik sayısal değerleri sırasıyla; çizelgeden yararlanarak ve mol sayıları gözetilerek ürünlerin standart oluşum değerleri toplamıyla reaktanların benzer işlemlerle belirlenen değerlerinin toplamalarının farkları şeklinde tanımlanabilmektedir. Belirtilen büyüklükler; aşağıdaki işlem ve sonuçlar ile elde edilebilmektedir. Tüm durum fonksiyonlarında (r) indisi; reaksiyonu karakterize etmekte kullanılmaktadır. Bu durumda seçilen reaksiyonla ilgili olarak reaksiyon entalpi değeri;

$$\Delta H_r^0 = 2(-285.83) - (2 \times 0 + 1 \times 0) = -571.66 \text{ kJ}$$

olarak bulunur. Benzer şekilde oluşum entalpilerini sırasıyla 4, 6, 8, 10,12, 14, 16,

18, 20 mol su için bulunduğunda buradan bir grafik oluşturabilir ve buna göre soğutma ünitesindeki durum değerlendirilebilir.

4 mol H₂O molekülünün oluşum entalpisi hesaplanır ise;



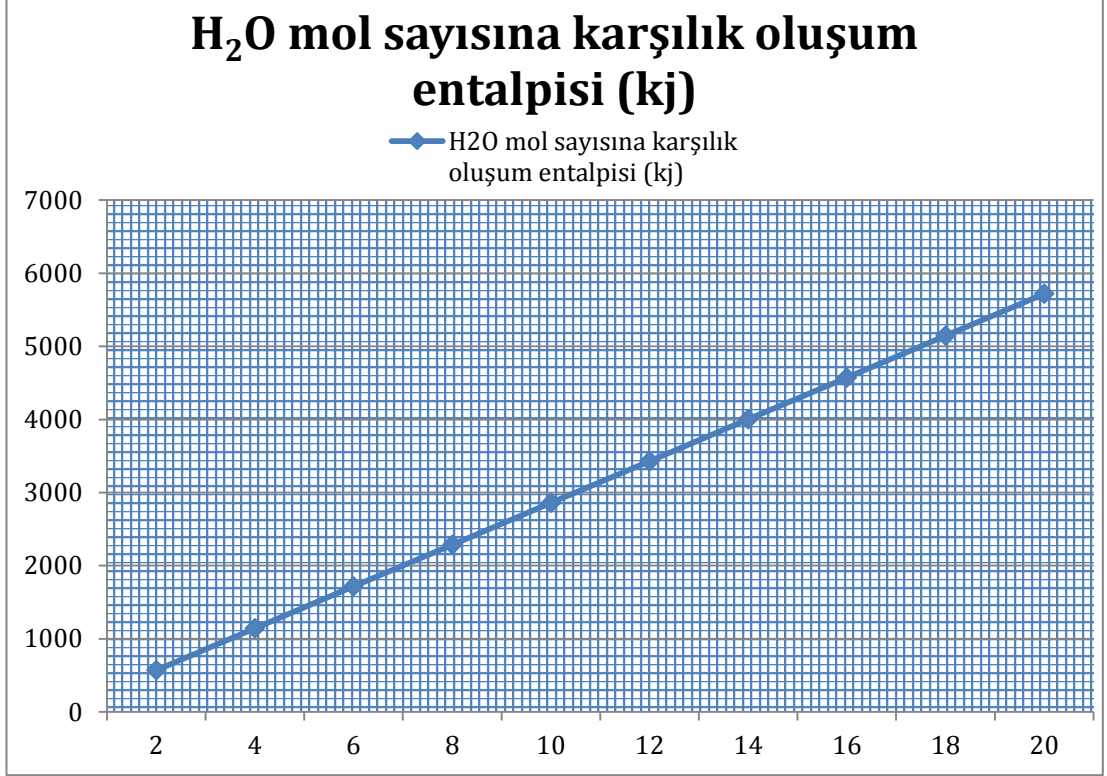
Tüm bu hesaplamaları 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20 mol su için yapıldığında sırasıyla aşağıdaki tabloda verilen değerlere ulaşılır.

Tablo 5.2. Suyun mol sayısına karşılık oluşum entalpi değerleri

H ₂ O mol sayısı (mol)	ΔH_r^0 (reaksiyon entalpi değeri)(kJ)
2	-571.66
4	-1143.32
6	-1714.98
8	-2286.64
10	-2858.3
12	-3429.96
14	-4001.62
16	-4573.28
18	-5144.94
20	-5716.6

Bu değerler göz önüne alınarak mol sayısına karşılık oluşum entalpisi grafiği oluşturulduğunda bu sonuçlar nükleer santral soğutma suyunun atomlar arası bağların kırılarak H₂ (g) oluşması için gerekli enerjinin Uranyumun bozunması ile oluşup oluşamayacağına değerlendirilebileceği verilere ulaşılmış olur.

Su molekülünde atomları bir arada tutan kuvvetlerin suyun oluşmasında dışarıya verdiği enerji ile aynı büyüklükte bir enerji dışarıdan verildiğinde su molekülündeki atomlar arası bağı kırarak serbest atomların oluşması beklenen bir sonuçtur.



Şekil 5.3. suyun mol sayısına karşılık oluşum entalpisi

Mol sayısından suyun miktarını hesaplamak için aşağıdaki formülden faydalanılır.

$$n = \frac{m}{M_A}$$

1 mol için ; suyun kütlesini aşağıdaki gibi bulunur.

$$2 = \frac{m}{18} = 18 \times 2 = 36 \text{ kg}$$

(Suyun M_A değeri 18,01508 yaklaşık olarak değerlendirilecek ve 18 alınacaktır).

NŞA suyun öz kütlesi 1 kabul edilir ise ;

$$d = \frac{m}{v}$$

Suyun hacmi 10 L olarak bulunur.

Suyun oluşum entalpi değerleri belirtilen reaksiyonun tam tersi ilerlediğinde, sudaki atomlar arası bağların kırılabilmesi için gerekli enerji olarak değerlendirilir. Bu kapsamda Fukuşima genel elektrik santralinde olayın yaşandığı reaktörde kullanılan Uranyum miktarını ve bozunma sonucu açığa çıkan enerjinin kaç mol H₂O molekülünün hidroliz olayıyla parçalanabileceğini ve bu parçalanma sonucu açığa çıkan H₂ gazının patlama limitlerine ulaşacağı hacim ile değerlendirerek meydana gelen patlama olayının nedenini Fizikokimyasal olarak doğrulanması amaçlanmaktadır.

Böylece W.s'lik enerji elde etmek için gereken fisyonların sayısı;

$$\frac{1}{w} = \left(\frac{1 \text{ fisyon}}{190 \text{ MeV}} \right) \left(\frac{1 \text{ MeV}}{1.602 \times 10^{-13} \text{ J}} \right) = 3.29 \times 10^{10} \frac{\text{fisyon}}{\text{W.s}} \quad [35].$$

Olur. Her fisyon bir yakıt atomunun yanmasını gerektirir. Bir reaktörün bir günlük çalışmasında termal güç (MWt) başına , fisyon ile yanan U-235 çekirdeklerinin sayısı;

$$\left(\frac{10^6 \text{ W}}{\text{MW}} \right) \left(\frac{3.29 \times 10^{10} \text{ fisyon}}{\text{W.s}} \right) \left(\frac{86.400 \text{ s}}{\text{g}} \right) = 2.84 \times 10^{21} \frac{\text{atom}}{\text{MWt.g}} \quad [35].$$

Formülüyle hesaplanır.

Bir günde 1 MW termal güç üretmek için tüketilen U-235 miktarı yukarıdaki verileri kullanarak hesaplandığında;

$$\left(2.84 \times 10^{21} \frac{\text{bölünen - atomlar}}{\text{MWt.gün}} \right) \frac{\sigma_a}{\sigma_f} = \left(2.84 \times 10^{21} \right) \left(\frac{582.6 + 98.3}{582.6} \right) = 3.32 \times 10^{21} \frac{\text{atomlar}}{\text{MWt.g}}$$

Olarak bulunur. Buradan açıkça görülmektedir ki, çeşitli yakıtlar kendi tesir kesitlerine bağlı olarak farklı miktarlarda üretilecektir. 235 g. Atomların avogadro

sayısına denk geleceğinden harcanan U-235 kütlesi;

$$\frac{(3.32 \times 10^{21} \text{ atom} / MW.g)(235 \text{ g} / \text{mol})}{6.022 \times 10^{23} \text{ atom} / \text{mol}} = 1.30 \text{ g} / MWt.g$$

olarak bulunur. Gerçekte bölünen veya yanan U-235 kütlesi ise aşağıdaki gibidir;

$$\frac{(2.84 \times 10^{21} \text{ atom} / MW.g)(235 \text{ g} / m)}{6.022 \times 10^{23} \text{ atom} / \text{mol}} = 1.11 \text{ g} / MWt.g$$

Riechter ölçeğinde 8.9 büyüklüğündeki depremin ardından gelen tsunami ile Fukuşima Nükleer Santralinde bulunan hafif su kaynar su tipi reaktörlerden üçüne güç sağlayan sistemler devre dışı kalmıştır. Santralde altı adet nükleer reaktör bulunmaktadır. 1,2 ve 3. reaktörler otomatik olarak kapanmıştır. Deprem sırasında 4. ünite yakıt bulunmamaktadır ve 5. ve 6. üniteler rutin bakım sebebiyle soğuk kapama durumundadır [40].

Bu durum göz önüne alındığında patlamaya neden olan reaktörlerin 1,2,3 numaralı reaktörler olduğu kabul edilir. Birinci ünite 460 MWe , ikinci ve üçüncü ünitelerde ise 784 MWe kapasite ile çalıştığı yukarıda belirtilmiştir.

784 MWt üreten bir reaktörde U-235 tüketimi ;

$$mc = (1.3 \text{ g} / MWt.g)P_{th} = (1.3 \text{ g} / MWt.d)(2028 MWt) = 2,6364 \text{ kg}$$

Olur.

2,6364 kg U-235 kullanılarak üretilen güç 2028 MW olarak bulunur.

Deprem olayı 11 mart tarihinde gerçekleşmiş deprem olayından yarım saat sonra ise reaktörlerdeki enerjiyi kontrol altında tutan soğutma ünitelerinin ve yedek jenaröterlerin devre dışı kalmasına neden olan tusunami olayı gerçekleşmiştir. Patlama olayı 14 mart saat 11:00 da meydana geldiği bilinmektedir. Yaklaşık üç

günlük bir süre sonunda patlama olayının gerçekleşmesi reaktörlerde bulunan 3.0576 kg U-235 izotopunun her bir reaktör için tüketildiği gerçeğini göstermektedir. Bu durum en az 2352 MW enerjinin oluştuğunu, üretim esnasında sürtünme vb. nedenlerle kaybolan, kullanılmayan enerji de düşünüldüğünde bu değerden daha büyük bir enerjinin kontrolsüz olarak serbest kaldığı anlaşılmaktadır.

1 MW= 100 KJ/s birim çevirme işlemi yapıldığında;

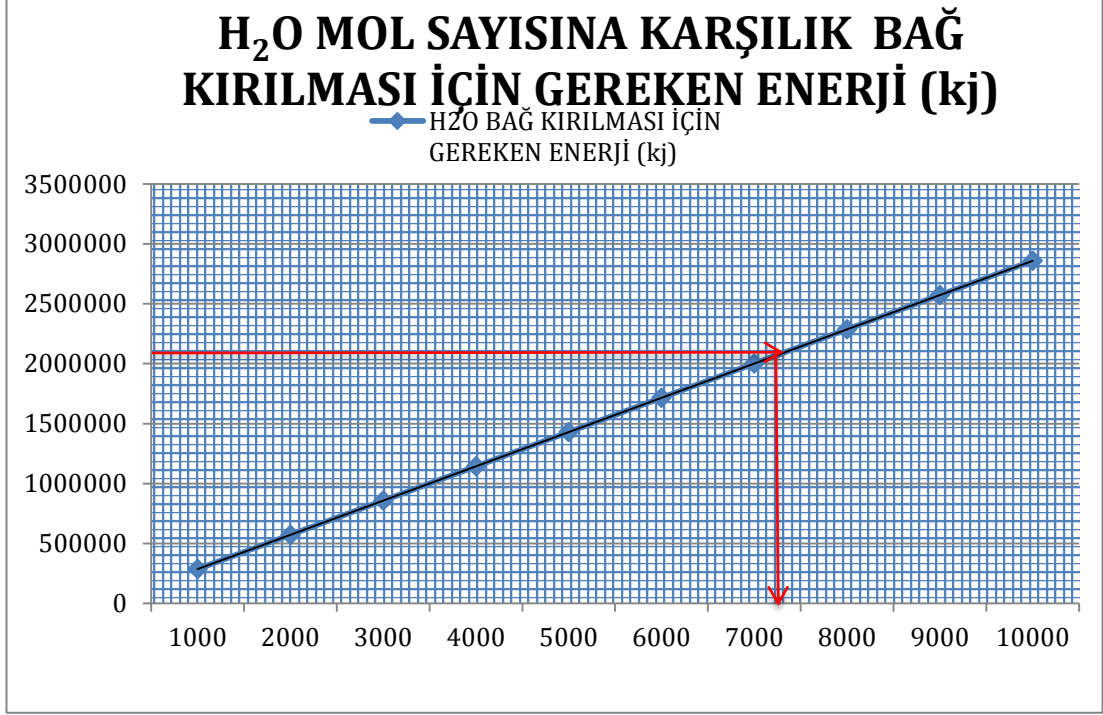
2028 MW= 2028000 K j/s

2028000 Kj/s enerji bir ünite için bulunur. Bir ünite için suyun oluşum entalpisi grafiğinde karşılık gelen mol sayısı hesaplanıp elde edilen sonuçlar saat başına üç reaktör de kontrolsüz kalan enerjidir. Patlama olayı 67 saat sonunda gerçekleştiği teknik rapordan anlaşıldığından 67 saat sonunda oluşacak H₂ gazı miktarı aşağıda hesaplanacaktır.

Nükleer güç santrallerinde yaşanan patlama olayının tam olarak açıklanabilmesi için soğutma suyu olarak kullanılan suyun farklı hacimlerde olduğu varsayılarak bu hacimlerdeki suyun mol sayıları bulunup buna karşılık gelecek olan reaksiyon entalpi değerleri bulunarak grafiğe aktarıldığında sonuçlar grafikten bulunabilir.

Tablo 5.3. H₂O molekülü oluşum entalpi değerleri

H ₂ O mol sayısı (mol)	ΔH_r^0 (reaksiyon entalpi değeri)(kj)
1000	285830
2000	571660
3000	857490
4000	1143320
5000	1429150
6000	1715100
7000	2000810
8000	2286640
9000	2572470
10000	2858300



Şekil 5.4. suyun mol sayısına karşılık bağ kırılması için gereken enerji (kj)

Model olarak alınan 1. Üniteye yaklaşık olarak 6692 mol H₂O molekülünü hidroliz ederek H₂ gazı açığa çıkmasına neden olacağı görülmüştür.



Reaksiyonuna göre 6692 mol H₂O molekülünün parçalanması sonucu açığa çıkacak H₂ gazı yukarıdaki reaksiyona göre k 6692 mol olacaktır.

$$n = \frac{m}{M_A}$$

(H₂(g)M_A= 2.016 g/mol)

Formülüne göre 6692 mol H₂(g) 13491 g olarak bulunur.

Yapılan hesaplamalara göre Hidrojen gazının alt patlama ve üst patlama limit değerleri karşılaştırıldığında meydana gelen patlama olayının fizikokimyasal olarak

oluşması ispatlanmış olur. Patlama olayının yaşanmaması için ne kadar kapasitede bir havalandırma sisteminin olması gerektiğinin hesaplanabilmesi için gerekli teorik bilgiler bulunmuş olur.

H₂ gazı için alt patlama ve üst patlama limitleri incelendiğinde oldukça geniş bir aralıkta olduğunu görülmektedir. Bazı gazlara ait patlama limitleri karşılaştırma yapılabilmesi için aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 5.4. Bazı gazların alt ve üst patlama limitleri [41] (20 °C ve 1 atm basınçta)

Madde ismi	LEL	UEL	Spesifik ağırlık (hava :1)	Kendiliğinden tutuşma sıcaklığı (°C)
Hidroojen	4	75	0,07	565,5 – 578,9 °C
Metan	4,4	15	0,656	450

Karşılaştırma için metan gazı ile birlikte H₂ gazı değerleri verilmiştir. Tablo incelendiğinde hidrojen gazının patlama limitlerinin çok geniş aralıkta olduğu görülmektedir. Ayrıca spesifik ağırlığının havaya göre çok az olması da H₂ gazının oluştuğu ortamda çok hızlı bir şekilde yukarı yönlü hareket edeceği, çatı kısımlarında birikeceği görülmektedir. Hidrojen gazının öz kütlesi -273 °C 76 kg/m³ olduğu bilinmektedir.

Bu verilere göre 13491 g H₂ gazının hangi hacimlerde patlayıcı ortam oluşturabileceği aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$d = \frac{m}{v}$$

$$76 \text{ kg/m}^3 = \frac{13,491 \text{ kg}}{v} = v = 0.17756 \text{ m}^3$$

Bulunur. Bu değer 67 saat sonunda 11,8925 m³ olur.

Teorik olarak hesaplanan değerler neticesinde oluşan H₂ gazı 15,8566 m³ ile 297,31

m^3 hacimlerde patlama konsantrasyonuna erişmiş olur. Bu değerler U-235 yanma sonrası elektrik enerjisi oluşturduğu verilere göre yapılmış olup, sürtünme ve yer çekimi dolayısı ile kaybolan enerji dikkate alınmamıştır. Kaybolan enerji de düşünüldüğünde bu değerlerin üstünde verilere ulaşılacağı açık şekilde görülmektedir.

Fukuşima genel elektrik santralinde yaşanan patlama olayı değerlendirildiğinde havalandırma sistemi bulunduğu ve olay esnasında çalıştığı teknik raporda anlaşılmaktadır. Burada santralin yapımında dikkate alınmayan durumun kayıp enerji olduğu düşünülmektedir. Bunun yanında soğutma ünitesinin devre dışı kalmasından dolayı suyun ısı enerjisi ile hidrolize uğrayarak H_2 gazı oluşturabileceği de değerlendirilmediği sonuç incelendiğinde anlaşılmaktadır. Havalandırmanın yapılması durumunda ortamda arka planda kalan H_2 gazı dikkate alınmalıdır.

$$t_d = \frac{f}{c} x \ln \frac{x_b}{x_{crit}} [42].$$

t_d = kalıcılık zamanı(saat)

x_b = arka plan konsantrasyonu

x_{crit} = kritik konsantrasyon

c = odadaki hava değişim frekansı

f = kalite değeri

Ortamda yapılan havalandırma sonucu bir miktar H_2 gazı arka plan konsantrasyonunda sürekli kalmaktadır. Havalandırmanın kapasitesi hesaplanırken bunun da dikkate alınması olası bir patlama olayının önüne geçilmesi için gerekmektedir.

$$x_b = \frac{fxQ_g}{Q_a / 3600} [42].$$

x_b = arka plan konsantrasyonu

f = kalite değeri

Q_g = oluşan gazın volumetrik oluşma hızı

Q_a = havanın volumetrik akış hızı (havalandırmanın etkinliği)

Yukarıda belirtilen faktörler de ortamda biriken gazın konsantrasyonuna etki eden faktörler arasındadır.

BÖLÜM 6. SONUÇ

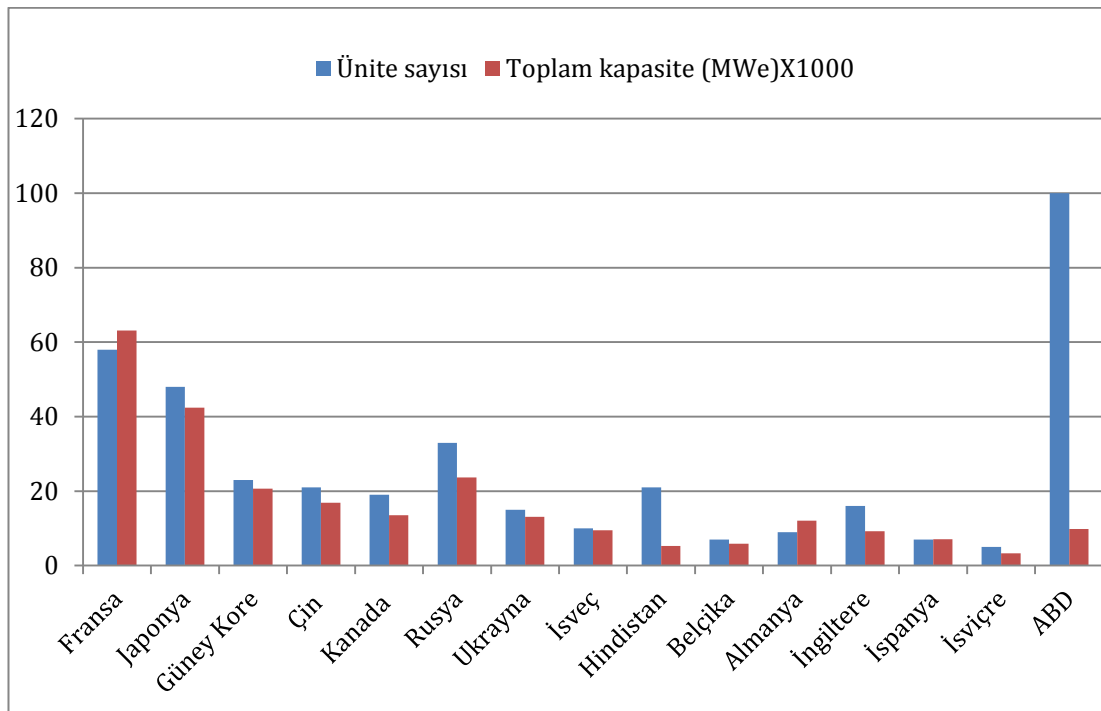
Birçok insanın düşüncesinde, nükleer gücün olağan dışı ürkütücülüğünden dolayı, bombalar ve reaktörler arasında bir ayrım yoktur. Ülkemizdeki bir grup insan ise yabancı ülkelerde ticari amaçlı nükleer santrallerin geliştirilmesinin, ülkenin nükleer silah üretme kapasitesi için gerekli başarıya ulaşmasına yol açacağına inanmaktadır. İkinci dünya savaşı hatırlandığında; bu durumu açıklamaya yardım edecektir. 1942 yılında Enrico Fermi'nin ekibi tarafından inşa edilen ilk nükleer reaktör, kendi kendini sürdürebilen zincir reaksiyonun mümkün olduğunu doğrulamak ve aynı zamanda güçlü bir silah için plütonyum üretebilecek bir aygıt test etmek için tasarlanmıştır. Bu deney, Hanford/washington'da plütonyum üretim reaktörlerinin yapımı için bir temel taşı olarak hizmet etmiştir. İlk atom bombası için sağlanan bu malzeme Alamogordo ve Nev Mexico'da denendi ve daha sonra da bomba olarak Nagasaki'ye düştü.

Bu reaktörler elektrik enerjisi değil ısı üretti ve Plütonyum-239 üretimini desteklemek için tasarlandı. Yakın zamanlara kadar Güney Caroline'da Savannah Nehri santralinde ki reaktörler silahlar için plütonyum üretmiştir. İkinci dünya savaşı esnasında Oak Ridge'deki izotop ayırma üretim tesislerinde yaklaşık %90 oranında zenginleştirilmiş U-235 üretildi. Orallory olarak isimlendirilen bu madde Hiroshima'da kullanılan bombanın içine konulmak üzere üretildi [35].

İçinde bulunduğumuz çağda nükleer enerjinin dünyadaki egemen güçler ile rekabet edebilmek adına geç kalınmış bir adım olarak yukarıdaki değerlendirmeler neticesinde görülmektedir. Ülkemizde barışçıl amaçlar ile artan nüfus, çağın gerektirdiği teknolojik cihazların ve sanayi üretiminin ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisini üretmek için kurulmaya başlanan NGS'nin kurulumunda ve işletilmeye başlandığında, günümüze kadar yaşanan NGS kazalarından ders çıkararak doğru

yöntemlerin tercih edilmesi ve tarihte yaşanan olaylara benzer hataların gerçekleşmemesi için NGS yangınları incelenmiş, basit yangınlara kısaca değinilmiş, fakat gerçekleşmesi saniyenin onda birinden daha kısa süren patlama olayının nedenleri araştırılmış ve bu olayların yaşanmaması için kurulum aşamasında dikkat edilmesi gereken mühendislik uygulamaları teorik hesaplamalar ile açıklanmıştır.

Yeni NGS'nin kurulumu ve planları tüm dünyada 2011'deki Fukuşima kazasına rağmen devam etmektedir. Çalışmada da belirtildiği gibi; veriler incelendiğinde, 1965 yılından 2010 yılına kadar reaktörlerin periyodik olarak yıllarla doğru orantılı olarak arttığı görülmüştür fakat 2010 yılında ilk defa azalma olduğu saptanmıştır. Bunun sebebi nükleer enerjiye karşı oluşan tepkiler ve nükleer enerji santrallerinin iyileştirilmesine yönelik çalışmalar sebebiyle gerçekleşmiştir. Dünya genelinde kurulu NGS ve toplam kapasiteleri aşağıda Şekil 6.1.'de ayrıntılı olarak görülmektedir.



Şekil 6.1. Dünya genelinde kurulu nükleer güç reaktörleri ve toplam kapasiteleri

Şekil 6.1. incelendiğinde; ABD, Hindistan, Rusya ve İngiltere gibi ülkelerde ünite sayısının fazla olmasına karşılık üretilen elektrik enerjisinin düşük olduğu görülmektedir. Bu durum ülkelerin NGS'ni farklı amaçlar için kullanabileceğini doğrular niteliktedir.

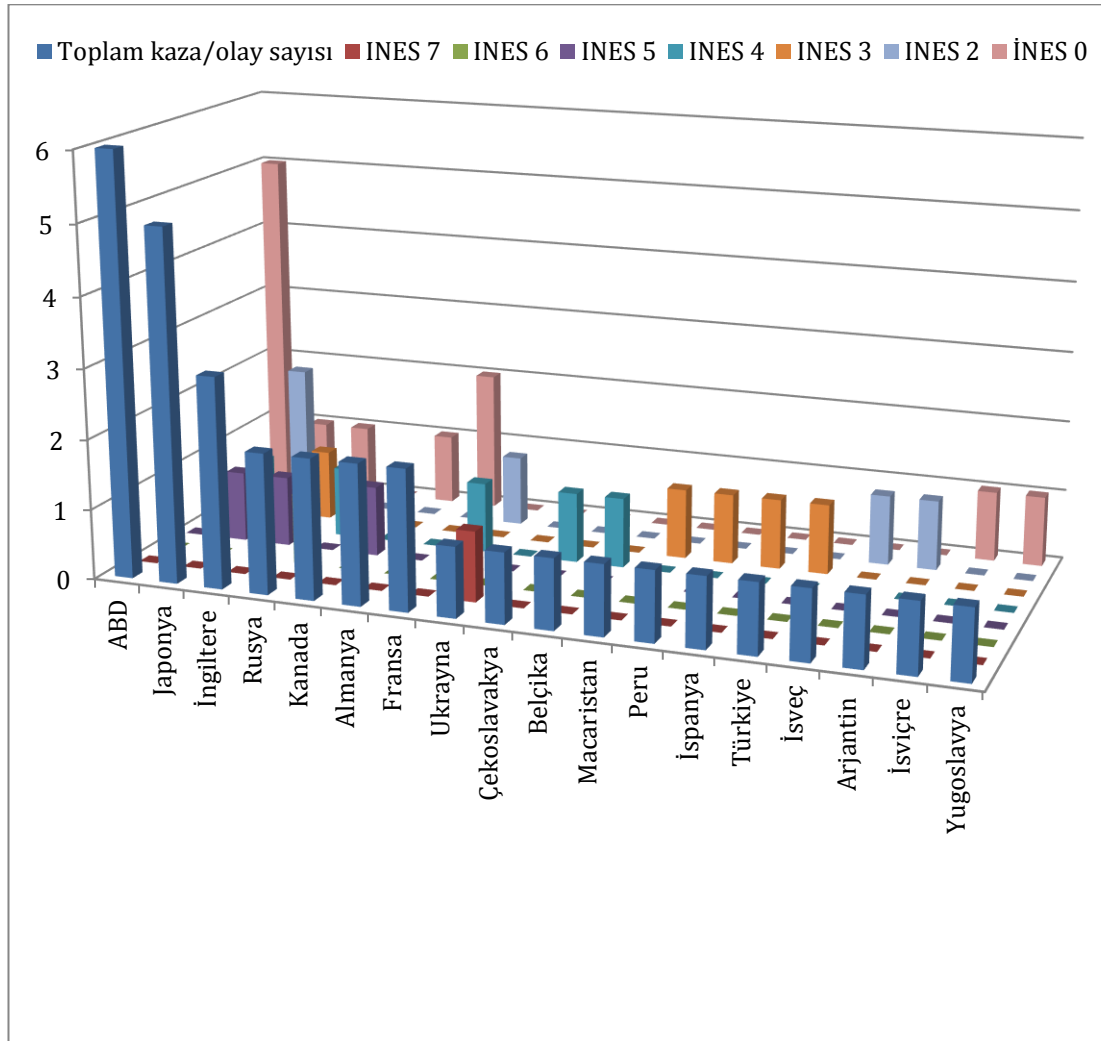
Dünya genelinde yaşanan Nükleer kaza ve olayları incelendiğinde bazılarının yangın veya patlama nedeniyle oluştuğu, bazılarının ise olay sonrasında yangın veya patlamaya neden olduğu görülmektedir. Tablo 6.1.'de dünya genelinde meydana gelen Nükleer sızıntı kaza ve olayları ve bunların İNES dereceleri görülmektedir.

Tablo 6.1. Dünya genelindeki Nükleer kaza ve olayları ile İNES ölçekleri

	Toplam	İNES						
	kaza/ olay sayısı	INES 7	INES 6	INES 5	INES 4	INES 3	INES 2	0
ABD	6	0	0	1	0	0	0	5
Japonya	5	0	0	1	1	0	2	1
İngiltere	3	0	0	1	0	1	0	1
Rusya	2	0	1	0	1	0	0	0
Kanada	2	0	0	1	0	0	0	1
Almanya	2	0	0	0	0	0	0	2
Fransa	2	0	0	0	1	0	1	0
Ukrayna	1	1	0	0	0	0	0	0
Çekoslovakya	1	0	0	0	1	0	0	0
Belçika	1	0	0	0	1	0	0	0
Macaristan	1	0	0	0	0	1	0	0
Peru	1	0	0	0	0	1	0	0
İspanya	1	0	0	0	0	1	0	0
Türkiye	1	0	0	0	0	1	0	0
İsveç	1	0	0	0	0	0	1	0
Arjantin	1	0	0	0	0	0	1	0
İsviçre	1	0	0	0	0	0	0	1
Yugoslavya	1	0	0	0	0	0	0	1

Tablo 6.1. incelendiğinde bazı ülkelerde kaza sayısının fazla olduğu fakat kaza etkilerinin düşük olduğu görülmektedir. Japonya dışındaki gelişmiş ülkelerde İNES ölçeği 4 üzerinde olan nükleer sızıntıya sebep olabilecek kaza veya olayın yaşanmadığı görülmektedir. Dünya tarihinde yaşanan en büyük nükleer sızıntı kazalarının ise yangın ve patlama sonrası meydana geldiği 2. Bölümde de anlatıldığı üzere Tablo 2.4. ve sonrasındaki IAEA açıklamalarında görülmektedir. Yangın ve patlamaya neden olan durumlar her ne kadar farklı olsa da sonuçlar ve etkiler benzer şekilde olmaktadır.

Tablo 6.1.'deki veriler kullanılarak ülkelerde yaşanan Nükleer sızıntı kaza ve olayları gösterilmiştir



Şekil 6.2. Nükleer sızıntı kaza ve olayların ülkelere göre İnes ölçeği bazında gösterimi

Şekil 6.2.'deki veriler incelendiğinde dünya genelinde yaşanan en büyük NGS felaketi Ukrayna'daki Çernobil faciası olarak görülmektedir.

Türkiye, 1. Bölüm Şekil 1.1.'de görüldüğü gibi enerji talebi sürekli artış gösteren bir eğilim gösterdiği için, enerji ihtiyacını yerli ve dışa bağımlı olmadan çözmesi ülkenin milli güvenliği için gereklidir. Enerji talebinin karşılanması için, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Stratejik Planı (2010-2014)'nda belirtildiği gibi 2023 yılına kadar bütün yerli kaynakların tüketimine dayalı bir planlama yapılmaktadır. Tüm bu planlamalardan da anlaşılacağı üzere tamamen tükeneceği öngörülen yerli kaynaklarımızın alternatifinin olması bir zorunluluktur. Elektrik üretiminin

yarısından fazlasını karşılayan doğalgazın neredeyse hepsi ithal edilmektedir. Dışa bağımlılığın oldukça fazla olmasının sonucu olarak enerji talebinin karşılanması ise cari açığı ortaya çıkaran önemli bir etken olarak görülmektedir.

Çalışmada Fukuşima genel elektrik santralinde Hidrojen gazı patlamasını nedenleri incelenerek sürece giden yolun tahmin edilemeyen durumlarının neticesinde patlama olayının gerçekleşmesinin nedenleri fizikokimyasal hesaplamalar ile ortaya konulmuştur.

Sonuç olarak ;

- 1) NGS’de gerçekleşen zincirleme reaksiyon sonucu açığa çıkan enerji kullanım amacı dışında H₂O moleküllerinin hidrolizine sebep olarak patlamaya neden olan H₂ gazının açığa çıkmasına sebep olmuştur.

Tablo 6.2. patlamaya neden olan H₂ gazı teorik hesaplama sonuçları

H ₂ (g)	H ₂ (kg)	H ₂ (m ³)	H ₂ (LEL)	H ₂ (UEL)
13491/h	13,491	11,8925	4	75

- 2) Ortamda biriken yanıcı ve patlayıcı gazı tahliye etmek için tasarlanan havalandırma sistemleri yanlış öngörüler nedeniyle yeterli kapasitede olmadığından havadan çok hafif olan H₂ gazı üst kısımlarda birikmiş,
- 3) Patlama olayının gerçekleşmesi için gerekli olan tüm şartlar meydana gelmiş,
- 4) Sonuç olarak yaşanan patlama sonrası güvenlik sistemlerinin hasar görüp işlevini yitirmesi dolayısı ile çevreye radyasyon yayılmış ve sonuçları önlenemeyen ulusal ve uluslar arası güvenlik sorunları ile karşı karşıya kalmıştır.

Bu çalışmada NGS’de meydana gelen Hidrojen gazı patlamasının nedeni niceliksel bir analiz modeli uygulanarak açıklanmaktadır.

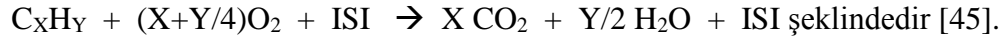
Teorik hesaplamalara dayalı olarak, hazırlanan bu çalışma ve bununla birlikte, fiili olayların mantıksal gelişimi göz önüne alınarak yapılacak çalışmalarda tarihte görülmemiş fakat görülme ihtimali olan, NGS’de patlama veya yangına neden

olabilecek durumlar önceden bilinerek gerekli tedbirlerin alınması için önceden fikir sahibi olunması amaçlanmaktadır. Yapılan çalışmada mevcut riskin inceleme parametreleri istatistiki veriler esas alınarak gerekli hesaplamalar yapılmış ve çıkan sonuçlara göre yeni kurulacak NGS için göz önünde bulundurulması gereken hususlar belirtilmiştir.

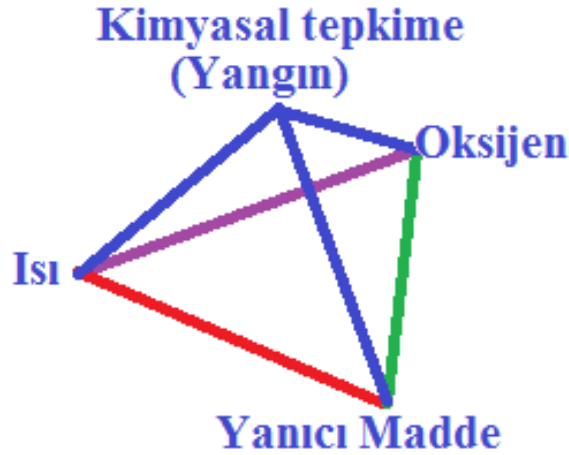
Yangın, bina ve binayı kullanan kişiler arasındaki etkileşim, çok sayıda olası senaryonun ortaya çıkmasını sağlar. Çok sayıda bina tasarımı ve kullanım yönteminin bulunması, bütün NGS'lere doğrudan uygulanabilecek tek bir hesap ve yöntem serisinin belirlenmesine imkan vermemektedir. Mevcut bilgi birikiminde halen çok sayıda eksik bulunma ihtimali vardır ve bu nedenle, NGS'lere adım adım uygulanabilecek işlemler kurulum aşamasından başlanarak belirlenmeli ve en önemlisi işletim aşamasında ortaya çıkacak tüm sorunlar değerlendirilerek bu çalışmada olduğu gibi bilimsel verilere dayanan çözümler üretilmelidir.

Bu çalışmada yangın olayları literatür taramalarından edinilen bilgilere göre değinilmiş, patlama sonrası oluşan yangın olayları detaylı olarak incelenmiştir. Bu durumun nedeni ise yangın olması durumunda müdahale ederek olayı kontrol altına alma imkanı var iken, patlama olayı ve etkileri önceden değerlendirilip tedbir alınmaması durumunda zararın ve etkilerinin kontrol altına alınmasının çok güç ve hatta imkansız olmasıdır. Yanma ve patlama olayı karşılaştırıldığında; yanma olayı için üç şartın aynı anda ortamda gerçekleşmesi yeterliyken patlama olayı için beş şartın aynı anda sağlanması gerekmektedir. Bu durumda patlama olayı olasılığı düşük bir durum olarak beklemesine rağmen etkisi çok daha büyük bir durum olarak yapılan araştırmalarda görülmektedir.

Yanma organik maddelerin yanma ısı enerjisi ile buluşmasıyla, oksijen ile girdikleri kimyasal tepkime olarak tanımlanırken, yangın ise bu reaksiyonun kontrol edilemeyecek derecede ilerlemesi şeklinde tanımlanır. Yanma olayı ekzotermik bir reaksiyon olduğundan yangın olayında büyük enerji çıkışının beklenmesinin yanında kimyasal ve fiziksel risklerinde oluşması kaçınılmaz bir durumdur. İdeal yanmanın genel formülü;



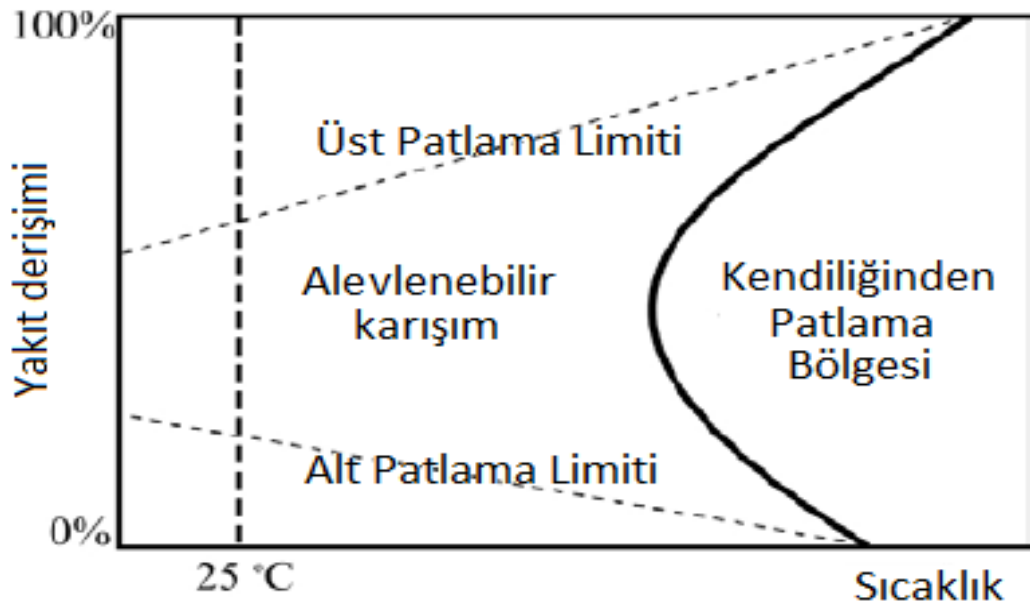
Maddeyi oksijenli ortamda karakteristik tutuşma sıcaklığına kadar ısıtan bir enerjinin bulunması yanma reaksiyonunun başlaması için yeterlidir.



Şekil 6.3 yanma üçgeni

Patlama olayı ise Bir yanıcı maddenin patlayabilmesi için hava ile belirli bir oranda karışması gerekmektedir. Bu oran her bir yanıcı madde için farklı olup, bir alt ve üst sınır değer şeklinde, yani bir değer aralığı biçiminde ifade edilir. Bir yanıcı maddenin hava içinde patlayabileceği en alt sınıra; APS (Alt Patlama Sınırı) (LEL-Lower Explosion Limit) hava içinde yanmasını sürdürebileceği en üst sınıra ise; ÜPS (Üst Patlama Sınırı) (UEL -Upper Explosion Limit) adı verilir.

Hava içinde bulunan yanıcı madde buharlarının patlama sınırlarına gazlarda sıcaklık ile hacim arttığından bu durum yanıcı gaz veya sıvı buharları için yanabilecekleri (patlayabilecekleri) aralıkları göstermektedir. Buna göre Hidrojen, hava içerisinde çok kolaylıkla tutuşabilecek (daha doğrusu patlayabilecek) yanıcı bir karışım oluşturabilmektedir. Yangın güvenliğinin sağlanabilmesi için, ortamdaki yanıcı madde buharlarının, LEL değerlerinin altında olması gerektiği açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 6.4. patlama limitleri

Kararlı olmayan katı, sıvı ve gaz maddelerin sürtünme, darbe, titreşim (vibrasyon) ısı ve radyoaktif ışına etkisi altında, fiziksel genişleme veya kimyasal tepkime sonucu (yanma tepkimesi, patlama tepkimesi), aniden genişleme ve sıcaklık artışı meydana getirmelerine patlama denir. Patlamada alev iletimi şok dalgalarıyla olur (yaklaşık 100 m/s – 1.000 m/s hızında) ve aynı zamanda gaz karışımı kimyasal bir reaksiyon ile yanar.

UVCE (Unconfined Vapor Cloud Explosion), atmosfere karışmış ve yanıcılık sınırları içinde olan gaz bulutunun, bir enerji kaynağı ile buluşması sonucu meydana gelen, patlama veya hızlı yanma ile sonuçlanan olaya verilen isimdir. UVCE de çoğu zaman BLEVE'den daha tehlikeli sonuçlar doğurabilmektedir. Hacim patlaması olarak da bilinen bu olay medya ve kamuoyunda 'gaz sıkışması sonucu patlama' gibi yanlış bir tabirle gündeme getirilmektedir. İncelenen patlama olayının da UVCE (Unconfined Vapor Cloud Explosion) olduğu görülmektedir [45].

Sonuç olarak yapılan hesaplamalarda 3,0576 kg U-235 kullanılarak üretilen güç 2028 MW olarak bulunmuştur. Deprem olayı 11 mart tarihinde gerçekleşmiş deprem olayından yarım saat sonra ise reaktörlerdeki enerjiyi kontrol altında tutan soğutma

ünitelerinin ve yedek jenaröterlerin devre dışı kalmasına neden olan tusunami olayı gerçekleşmiştir. Patlama olayı 14 mart saat 11:00 da meydana geldiği bilinmektedir. Yaklaşık üç günlük bir süreve 67 saat sonunda patlama olayının gerçekleşmesi reaktörlerde bulunan 3.0576 kg U-235 izotopunun her bir rektör için tüketildiği gerçeğini göstermektedir. Bu durum en az 2352 MW/h enerjinin oluştuğunu, üretim esnasında sürtünme vb. nedenlerle kaybolan, kullanılmayan enerjiyi de düşündüğümüzde bu değerden daha büyük bir enerjinin kontrolsüz olarak serbest kaldığı ve bu kontrol edilemeyen enerjinin de patlama olayına neden olan H₂ gazının oluşması için yeterli olduğunu gösterilmiştir.

Elde edilen bu çalışma sonuçları ile sayısal teorik değerler bulunmuş, ilerleyen dönemlerde yapılacak çalışmalara kaynak sağlayacak değerli bilgilere ulaşılmıştır. Ülkemizin de nükleer enerjiye geçtiği düşünüldüğünde bu çalışma bundan sonra yapılacak daha ileri çalışmalara yardımcı olabilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] Nükleer Güç Santralleri ve Ülkemiz, Prof. Dr. Meral Eral Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü Nükleer Teknoloji Anabilim Dalı 12/1/2015
- [2] www.tuik.gov.tr (25-88). (Erişim Tarihi: 01.02.2019).
- [3] Akkuyu NGS resmi internet sayfası, <http://www.akkunpp.com/nukleer-guc-santrali-ngs>. (Erişim Tarihi: 01.02.2019).
- [4] Beynam, M. (2008). Nükleer Santral Güvenliği, Elektrik Mühendisleri Dergisi, 309-310, 130-143.
- [5] Climate Skeptics. (2013). “Nuclear Power in Europe”, <http://www.climatesceptics.org/ines-level/table>. (Erişim Tarihi: 01.02.2019).
- [6] Çernobil Nükleer Kazası Sonrası Türkiye’de Kanser ISBN 975-6984-80-5.
- [7] Dr. Mahir E., Ocak 16/10/2014.
- [8] Energy Policy, 105 (2017) 320–331.
- [9] Fırat Üniv. Mühendislik Bilimleri Dergisi 23 (2), 119-128, 2011.
- [10] Fizikokimya 1 cilt II- Prof. Dr. Mustafa Cebe.
- [11] Fizikokimya genişletilmiş 8. Baskı Prof. Dr. Yüksel Sarıkaya.
- [12] FUKUŞİMA NÜKLEER SANTRAL KAZASI Kaza Hikayesi, Geline Son Durum Özeti ve Kazanın Etkileri, Veda DUMAN, ISBN: 978-605-01-0226-0.
- [13] Gunter, P. (2004). Natural Disasters and Safety Risks at Nuclear Power Stations. NIRS (Nuclear Information and Resource Service). Washington, DC. USA. <http://www.nirs.org/factsheets/naturaldisaster&nuclearpower.pdf>, (Erişim Tarihi: 01.02.2019).
- [14] Güler, T. (2006). Nükleer Enerji Üretim Sürecinde Kazalar, Nükleer atıklar ve Çevre Sorunları. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Ankara. Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Kamu Yönetimi.

- [15] <http://namrc.co.uk/intelligence/uk-new-build-plans/>. (Erişim Tarihi: 01.02.2019).
- [16] . (e.t 01.02.2019).<http://nukleerakademi.org/nukleer-enerji/dunyada-nukleer-enerji/>. (Erişim Tarihi: 01.02.2019).
- [17] <http://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/UnderConstructionReactorsByCountry.aspx>. (Erişim Tarihi: 01.02.2019).
- [18] <http://www.nei.org/Knowledge-Center/Nuclear-Statistics/US-Nuclear-Power-Plants>. (Erişim Tarihi: 01.02.2019).
- [19] http://www.rosatom.ru/en/nuclear_industry/russian_nuclear_industry/. (Erişim Tarihi: 01.02.2019).
- [20] <http://www.rte-france.com/en/sustainable-development/eco2mix/national-data/power-generation-by-energy-source>. (Erişim Tarihi: 01.02.2019).
- [21] IAEA (1998). Preparation of fire hazard analyses for nuclear power plants. IAEA Safety Series, No. 8.
- [22] IAEA, 2004: 53.
- [23] IAEA. (2011). The International Nuclear and Radiological Event Scale. IAEA Web Site. <http://wwwns.iaea.org/tech-areas/emergency/ines.asp>, (Erişim Tarihi: 01.02.2019).
- [24] Kazarians, M., Apostolakis, G. (1981). Fire Risk Analysis for Nuclear Power Plants. School of Engineering and Applied Science, University of California.
- [25] Keski-Rahkonen, O., Mangs, J. (2002). Electrical ignition sources in nuclear power plants: Statistical, modeling and experimental studies. Nuclear Engineering and Design.
- [26] Krasner, L. M. ve ark. (1985). Evaluation of Available Data for PRA of Fire Events at Nuclear Power Plants. Brookhaven National Laboratory.
- [27] Nuclear Energy An introduction to the concepts , systems and Applications of nuclear processes.
- [28] Nükleer enerji ve türkiye'nin ilk nükleer santrali "akkuyu" Ocak - Şubat 2015 Cilt: 30 Sayı: 1.
- [29] Nükleer Santrallerde Yangından Korunmanın Önemi ve Compbrn III Kodu Kullanılarak Tipik Bir Dizel Jeneratör Odasında Yangının Modellenmesi, Miraç Bahadır Öztemiz- Yüksek Lisans Tezi.
- [30] Öztemiz, 2013: 23.

- [31] Pamukkale Univ. Muh Bilim Derg, 22(5), 361-366, 2016.
- [32] Pamukkale Univ. Muh. Bilim Derg, 23(4), 343-351, 2017.
- [33] Patlayıcı Atmosferlerin (ATEX) Patlama Davranışları The Explosion Behaviors of Explosive Atmospheres (ATEX) Abdurrahman İnce.
- [34] Power Reactor Information System (PRIS).
- [35] PowerReactorİnformatinSystem<https://pris.iaea.org/pris/worldstatistics/underconstructionreactorsbycountry.aspx>. (e.t 01.02.2019).
- [36] Patlayıcı ortamlarda iş güvenliği, Nihat Eğri, Ankara 2008.
- [37] Whistleblowing ethical and legal issues in expressing dissent, James C, Petersen and Dan Farrel.
- [38] SAUSEM yangın sunumu- Prof. Dr. Murat Teker.
- [39] TAEK, 2008: 5.
- [40] TAEK. (2009). Uluslararası Nükleer ve Radyolojik Olay Ölçeği (INES). Türkiye Atom Enerjisi Ajansı Web Sayfası. <http://www.taek.gov.tr/bilgi-kosesi/kaza-ve-tehlike-durumu/115-kaza-ve-tehlikedurumu/297-uluslararası-nukleer-olay-olcegi-ines.html>, (Erişim Tarihi: 01.02.2019).
- [41] TS EN 60079-10-1-2 2015 Standardı.
- [42] Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Temmuz 2010, Günümüzde Nükleer Enerji.
- [43] Türkiye’de kurulması düşünülen nükleer santrallere ilişkin öğretim elemanlarının görüşlerinin değerlendirilmesi (Sinop örnekleme) İrfan Makul.
- [44] Uluslararası atom enerjisi kurumu verileri.
- [45] Ülgen, S. Saygın, H., Or, İ., Kumbaroğlu, G., & Atiyas, İ. (2011). Nükleer Enerjiye Geçişte Türkiye Modeli.

ÖZGEÇMİŞ

Şenol Ay, 01.01.1986'da Trabzon'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Sakarya'da tamamladı. 2003 yılında Mithatpaşa Şükrü Ayna Lisesi'nden mezun oldu. 2005 yılında başladığı Karadeniz Teknik Üniversitesi Kimya Bölümü'nü 2010 yılında bitirdi. 2015 yılında Sakarya Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. 2017 yılında mezun oldu. Akabinde yüksek lisans eğitimine Sakarya Üniversitesi Yangın Güvenliği Ve Yanma Eğitim Ana Bilim Dalında başladı. 2010 yılından beri Sakarya'da özel sektör kuruluşlarına iş sağlığı ve güvenliği alanında danışmanlık hizmeti vermektedir. Halen Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yangın Güvenliği ve Yanma Eğitim Ana Bilim Dalında eğitime devam etmektedir.