

T.C.
SİNOP ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
DISİPLİNLERARASI NÜKLEER ENERJİ VE ENERJİ
SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI



Sinop İli için Nükleer Santral Kaza Senaryoları: Santral Dışı Eylem
Stratejilerinin Araştırılması ve Belirlenmesi

MERTCAN PEHLİVAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi ALİ TİFTİKÇİ

SİNOP - 2022

TEZ KABUL

Mertcan PEHLİVAN tarafından hazırlanan “**SİNOP İLİ İÇİN NÜKLEER SANTRAL KAZA SENARYOLARI: SANTRAL DIŞI EYLEM STRATEJİLERİNİN ARAŞTIRILMASI VE BELİRLENMESİ**” başlıklı bu çalışma, 18.01.2022 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak, jürimiz tarafından **YÜKSEK LİSANS tezi** olarak kabul edilmiştir.

Başkan

Prof. Dr. Tuncay BAYRAM
Karadeniz Teknik Üniversitesi/Fen Fakültesi

İmza

**Üye
(Danışman)**

Dr. Öğr. Üyesi Ali TİFTİKÇİ
Sinop Üniversitesi / Mühendislik Mimarlık Fakültesi

İmza

Üye

Doc. Dr. Meryem SEFERİNOĞLU
Sinop Üniversitesi / Mühendislik Mimarlık Fakültesi

İmza

Enstitü Müdürü

Doc. Dr. Erkal ARSLANOĞLU

.....

ETİK BEYANI

Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

MERTCAN PEHLİVAN

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SİNOP İLİ İÇİN NÜKLEER SANTRAL KAZA SENARYOLARI: SANTRAL DIŞI EYLEM STRATEJİLERİNİN ARAŞTIRILMASI VE BELİRLENMESİ

MERTCAN PEHLİVAN

SİNOP ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
DISİPLİNLERARASI NÜKLEER ENERJİ VE ENERJİ SİSTEMLERİ ANABİLİM
DALI

DANIŞMAN: DR. ÖĞR. ÜYESİ ALİ TİFTİKÇİ

Nükleer enerji ülkelerin enerji üretmekte kullandıkları sürdürülebilir bir enerji modelidir. Buna rağmen geçmiş nükleer kazalar (Çernobil, Three Mile Island ve Fukuşima) ülkelere bu modelin risklerini belirlemeye ve herhangi bir kaza durumunda saha içi ve dışı bir takım hazırlıklar yapmaya odaklanmasını zorunlu kılmıştır. Çalışmamızda kurulması planlanan Sinop Nükleer Güç Santrali'nde oluşabilecek büyük bir kaza sonrasında ve öncesinde yapılması gereken acil durum eylem planlarına yardımcı olabilecek stratejik öneriler ve yenilikçi fikirler sunulmaktadır. Bu öneri ve fikirler saha dışı eylemlere odaklanacaktır. Sinop NGS için hazırlanan bu stratejiler yayılan radyasyonun ölçülmesi, halkın boşaltılması, bölgede üretilen gıda tüketimi ve iyot tabletlerin kullanılması noktasında çözümler üretecektir. Şehrin boşaltılması, hastaneler, ceza evleri, okullar, devlet kurumları gibi detaylı bir boşaltma stratejisi sunulmuştur. Geçmiş kazalardan ders alınarak (özellikle Fukuşima kazası) saha dışı eylemlerde kullanılabilecek teknik adımlar tanımlanmıştır. Radyasyonun ölçülmesi hususunda konvansiyonel metotlara ek olarak yeni çözüm yolları sunulmuştur. Bölgede üretilen gıda özelinde radyasyon kontaminasyonu noktasında teorik bilgiler verilmiş ve kullanılacak potasyum iyodür tabletlerinin kullanımı noktasında dozlar belirtilmiştir. Çalışmamız Sinop ili özellikleri düşünülerek, radyasyonun yayılımı açısından hâkim rüzgâr yönü incelenerek, dağların konumu, çevre illere ulaşım süreleri, çevre illerdeki havaalanları gösterilerek hazırlanmıştır. İleride kullanılmak üzere kamu ve özel sektör paydaşlarının kullanımına sunulmuştur.

ANAHTAR KELİMELER: Nükleer Kaza; Acil Durum Eylem Planı; Fukuşima Kazası ;INES ;IAEA ;Sinop

Şubat 2022, 57 Sayfa

ABSTRACT

MSC THESIS

NUCLEAR POWER PLANT ACCIDENT SCENARIOS FOR SİNOP : INVESTIGATION AND SPECIFICATION OF OFF-SITE STRATEGIES

MERTCAN PEHLİVAN

**SINOP UNIVERSITY INSTITUTE OF GRADUATE PROGRAMS
DEPARTMENT OF INTERDISCIPLINARY NUCLEAR ENERGY AND ENERGY
SYSTEMS**

SUPERVISOR: ASSIST. PROF. DR. ALİ TİFTİKÇİ

Nuclear energy is a sustainable energy model that countries use to produce energy. However, past nuclear accidents (Chernobyl, Three Mile Island and Fukushima) have obligated countries to focus on identifying the risks of this model and making some on-site and off-site preparations in case of any accident. Our aim is to present strategic suggestions and innovative ideas that can help the emergency action plans to be made before and after a major accident that may occur at the Sinop Nuclear Power Plant planned to be established in our study. These suggestions and ideas will focus on off-site actions. These strategies prepared for Sinop NPP will produce solutions for measuring emitted radiation, evacuation of the public, consuming food produced in the region and using iodine tablets. A detailed evacuation strategy is presented, such as evacuation of the city, hospitals, prisons, schools, government institutions. Taking lessons from past accidents (especially the Fukushima accident), technical steps that can be used in off-site actions are defined. In addition to conventional methods for measuring radiation, new solutions have been presented. Theoretical information on radiation contamination at the food point produced in the region is given and the doses are specified at the point of use of potassium iodide tablets to be used. Our study has been prepared by considering the characteristics of Sinop province, by examining the prevailing wind direction in terms of radiation spread, by showing the location of the mountains, the arrival times to the surrounding provinces, and the airports in the surrounding provinces. It is made available to public and private sector partners and state officials in the future.

KEYWORDS:Nuclear Accident; Nuclear Emergency Response Plan; Fukushima Accident; INES; IAEA;Sinop

February 2022, 57 Page

TEŞEKKÜR

Çalışmamı anneme ithaf ediyorum.

MERTCAN PEHLİVAN



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEZ KABUL	ii
ETİK BEYANI.....	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
SEMBOLLER ve KISALTMALAR LİSTESİ.....	xi
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	4
2.1. Nükleer Santraller ve Nükleer Santral Kazaları	4
2.1.1. Nükleer Santrallerde Enerji Üretimi	4
2.1.2. Nükleer Santral Türleri	4
2.1.3. Nükleer Santral Kazaları.....	6
2.1.3.1. Çernobil Nükleer Santrali Kazası	6
2.1.3.2. Fukuşima Nükleer Santrali Kazası	7
2.2. Acil urum eylem planı	7
2.2.1. Acil Durum Eylem Planı (ADEP) Nedir?.....	7
2.2.2. Nükleer Kazalarda Acil Durum Eylem Planı (ADEP) Uygulamaları	8
2.2.3. Fukuşima’da Saha Dışı Uygulamalar: Halkı Boşaltma	10
2.3. Afet ve Acil Durumlarda ADEP	11
2.3.1. Nükleer Tesislerin Siber Güvenliği ve ADEP Stratejileri	11
2.3.2. Dünya Geneline Yaşanılan birkaç NGS Yangınlarının Kaza Kök Nedenleri ve ADEP	12
2.3.2.1. 1968 San Onofre, ABD.....	13
2.3.2.2. 2010 Kalinin, Rusya	14
2.3.3 Tsunami ve Depreme Karşı Fukuşima’da Uygulanan ADEP Yöntemleri	14
2.4. Fukuşima Kazası.....	15
2.4.1. Deprem ve Santral Dışı Elektrik Gücünün Kesilmesi	15

2.4.2. Tsunami ve Saha Kararması	17
2.4.3. Ünite 1,2 ve 4 ‘te DC Güç Kaynağının Kesilmesi.....	17
2.4.4. Ünite 3,5 ve 6 da Uygulanan Eylemler	18
2.5. Fukuşima’dan Kazanılan Dersler.....	19
2.5.1. Hafifleştirici Eylemler	19
2.5.2. Sel ve Depreme Karşı Savunma	20
2.5.3. Sismik Koruma Yöntemleri	21
2.5.4. Kullanılan Yakıt Havuzu Entrümansyonu	21
2.5.5. Fukuşima’dan Kazanılan Saha Dışı Dersler: İyot Tabletlerinin Kullanımı.....	21
2.6. Diğer Nükleer Santral Kazalarında Saha Dışı Müdahale	22
2.6.1. Çernobil Sonrası Ülkelerde ADEP Faaliyetleri	22
2.6.1.1. Sovyet Rusya’da ADEP Faaliyetleri.....	22
2.6.1.2. Almanya’da ADEP Faaliyetleri	23
2.6.2. Three Mile Island Kazasında Uygulanan Saha Dışı Eylemler	24
2.7. URAP ve TAMP Özelinde Organizasyonel Yönetimin ve İdarenin İncelenmesi...	26
2.8. Sinop İli İçin Genel Bilgiler.....	29
2.8.1. Nüfus.....	29
2.8.2. Sinop İli Dağları.....	29
2.8.3. Tarım, Hayvancılık, Balıkçılık ve Ormancılık	29
2.8.4. Bölgenin İklimi	30
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	30
3.1. Materyal	30
3.2. Yöntem.....	30
4. BULGULAR, TARTIŞMA VE SONUÇ.....	31
4.1. Sinop İli Özelinde Saha Dışı Acil Durum İçin Öneriler	31
4.2. INES 7 Ölçeği	32
4.3. Tahliye Yolları ve Sinop’un Tahliye Bölgelerine Ayrılması.....	33
4.3.1. Bölge 1	37
4.3.2. Bölge 2	38
4.3.3. Bölge 3	44
4.4. Gıda ve İyot Tabletleri	47
4.4.1. Gıdalardaki Radyonüklidler.....	48
4.4.2. Sağlık Etkileri	49
4.4.3. İyot Tabletlerinin Kullanımı	50

4.5. Tartışma ve Sonuç	51
KAYNAKLAR	53
ÖZGEÇMİŞ	57



TABLÖLAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1 TMI Kazası Sonrası Uygulanan KI Tabletlerinin Dozları	25
Tablo 2.2 Prusya Mavisinin Sezyum ve Talyum Yarı Ömrü üzerindeki Etkisi	25
Tablo 4.1 Sinop Meteoroloji İstasyonu Ortalama ve Maksimum Rüzgâr Hızı Değerleri (1960 - 2016)	45
Tablo 4.2 Uygulanacak KI Tabletlerinin Dozları	51



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Basınçlı Su Reaktörü Şematiği	5
Şekil 2.2 Sinop Nükleer Güç Santrali	6
Şekil 2.3 Fukuşima Bölgesinden Ayrılan İnsanların Sayısı	11
Şekil 2.4 TAMP Algoritması	27
Şekil 2.5 Sinop İli Dağları	29
Şekil 4.1 INES Skalası	32
Şekil 4.2 Sinop NGS Yapılması Düşünülen Alan	36
Şekil 4.3. Sinop Acil Durum Bölgeleri	37
Şekil 4.4 Sinop'taki Okullar	39
Şekil 4.5 Sinop İli Devlet Kurumları	40
Şekil 4.6 Sinop Atatürk Devlet Hastanesi	41
Şekil 4.7 Sinop Havaalanı	43
Şekil 4.8 Çevre İllerdeki Havaalanları	43
Şekil 4.9 Bir Soft Robot	44
Şekil 4.10 Bölge 3'ten Samsun Merkeze Ulaşım Süresi	46
Şekil 4.11 Bölge 3'ten Kastamonu Merkeze Ulaşım Süresi	46
Şekil 4.12 Bölge 3'ten Çorum Merkeze Ulaşım Süresi ve Farklı Güzergâhlar	47
Şekil 4.13 Bölge 3'ten Amasya Merkeze Ulaşım Süresi ve Farklı Güzergâhlar	47

SEMBOLLER

Bq: Becquerel

Sv: Sievert

I-131: İyot -131

Cs: Sezyum

KI: Potasyum İyodür

KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

TEPCO	:Tokyo Electric Power Co.
INES	:International Nuclear Event Scale
TAEK	:Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
TAMP	:Türkiye Afet Müdahale Planı
URAP	:Açıklaması veya Adı
NGS	:Nükleer Güç Santrali
ADEP	:Acil Durum Eylem Planı
IAEA	:International Atomic Energy Agency
NERHQ	:Nuclear Emergency Response Headquarters
NRC	:Nuclear Regulatory Commission
NEA	:Nuclear Energy Agency
AFAD	:Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
PWR	:Pressurized Water Reactor
MİT	:Milli İstihbarat Teşkilatı
EGM	:Emniyet Genel Müdürlüğü
JST	:Japan Standard Time
İAADM	:İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü
IMIS	:Integrated Measurement and Information System
TMI	:Three Mile Island
IEEE	: The Institute of Electrical and Electronics Engineers

1. GİRİŞ

Dünyada enerjiye duyulan ihtiyaç her geçen gün giderek artmaktadır. Dünyanın küreselleşmesi hem bireysel hem kurumsal anlamda enerji ihtiyacının artması nükleer enerjiye olan ilginin artmasına neden olmaktadır. Nükleer enerji santralleri maliyetli olmasına karşılık yakıt ve işletme giderleri düşük olduğundan ulus devletlerin enerjide birinci önceliği konumuna gelmiştir. Diğer enerji türleriyle (kömür, doğalgaz, hidroelektrik vb.) kıyaslırsak sürdürülebilir anlamda daha çok güç üretmektedir (Jin ve Kim, 2018). Tüm bunlarla beraber nükleer santrallerin güvenilirliği kamuoyunda kuşkuyla karşılanmıştır. Bunun sebebi geçmişte yaşanmış büyük nükleer reaktör kazalarıdır. Çernobil ve Fukuşima’da yaşanan bu kazalar, kaza durumlarında acil durum yönetimi ve hazırlık gibi bir dizi acil durum eylem planının hazırlanmasını zorunlu hale getirmiştir (IAEA, 2013).

Nükleer santrallerde acil durum eylem planları santral içi ve santral dışı olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır. Gelişmiş ülkelerde hazırlanan acil durum eylem planları öncelikle kazanın ciddiyetine göre kategorize edilmekte ve senaryoların hangisinin gerçekleştiğinin tespit edilmesiyle başlamaktadır. İkinci olarak kazaya yol açan faktörlerin veya olaylar silsilesinin bulunmasıyla devam etmektedir. Son olarak birinci adımda tespit edilen kazanın/olayın ve ikinci adımda belirlenen nedenlerin üstesinden gelebilmek için eylem planının adımları oluşturulur. Yapılan tez çalışmasında, Sinop’a kurulması planlanan nükleer santral için santral dışı acil durum eylem planı üzerine tasarlanacak stratejiler araştırılmıştır. Tezde, yaşanmış büyük ölçekli nükleer reaktör kazaları incelenip bu kazalardan çıkarılacak dersler Sinop’ta kurulması planlanan nükleer santral için oluşturulacak Acil Durum Eylem Planı’na (ADEP) ek öneriler sunulması hedeflenmiştir.

Santral dışı eylem planı kaza bölgesinden insanların tahliyesi, radyasyonun ölçülmesi, gıda ve su gibi insani ihtiyaçların lojistik planlanmasının yapılması gibi saha dışı stratejileri için önemle değerlendirilmelidir. Bu yüzden Sinop kara yolları, deniz ve hava yolları tahliye için değerlendirilecek, toplam kara taşıtı, deniz araçlarının kullanılması ve uçakların seferlerinin tahliye için yeterli olup olmadığı yorumlanacaktır. Büyük bir kaza durumunda saha ve saha dışına yerleştirilen radyasyon ölçüm cihazlarıyla radyasyonun ölçülmesi sağlanmaktadır. Ancak, Fukuşima kazasında

yaşanan saha kararması durumları (*station blackout* durumunda) için insansız hava ve kara araçlarına yerleştirilecek radyasyon ölçüm cihazlarının kullanılması düşünülmektedir.

Radyoaktif maddeler bitkiler, toprak veya su üzerinde biriktiğinde besin zincirine girebilirler. İlk durumda, bitkiler ve hayvanlar kontamine olabilir ve solunum yoluyla veya radyolojik olarak kontamine besinlerin alınmasından veya yutulmasından sonra doku kontaminasyonu meydana gelebilir. Çok miktarda kontamine gıda veya bitki yiyen hayvanların dokularında radyoaktivite konsantrasyonu artabilir. Bu doku kontaminasyonu zamanla azalacaktır. Yüzey kontaminasyonu yıkama ile büyük ölçüde giderilebilirken, doku kontaminasyonu bu şekilde giderilemez (Yoshida ve Takahashi, 2012). İnsanlar, kontamine maddeleri yemiş olan hayvanların (balık dâhil) ürünlerini yiyerek bu maddelere doğrudan veya dolaylı olarak maruz kalabilirler. Bu gıdaları yutarak veya suları tüketerek, olaydan uzun bir süre sonra bile olsa radyolojik olarak kontamine olabilirler (Romney vd., 1963).

Acil durum eylem planları dünyada kurulmuş ve kurulacak tüm nükleer santraller için hazırlanmaktadır (NRC, 1980). Burada asıl önemli olan tasarlanacak nükleer santralin lokasyonuna göre hazırlanmış, şehrin demografik özellikleri dikkate alınarak, ulaşım karakteristikleri incelenerek, şehrin doğal afetlerle hangi sıklıkla karşılaşp karşılaşmadığı araştırılarak, hâkim rüzgar yönü gibi özellikler göz önünde bulundurularak hazırlanacak bir acil durum eylem planıdır. Yapılan tez çalışmasında, bu parametreler göz önüne alınarak Sinop özelinde acil durum eylem planı için stratejiler önerilmektedir.

Literatür araştırması sonucunda daha önce Sinop için hazırlanmış bir ADEP çalışması bulunmadığı tespit edilmiştir. Ancak dünyada kurulmuş nükleer santraller için aynı ülkede farklı ADEP'ler olabilmektedir. İstanbul ve Çanakkale illeri için hazırlanmış nükleer olmayan acil durum çalışmaları olmakla birlikte bu çalışmalar tezimizin nükleer enerji temelli bir araştırma olmasından dolayı gerekli katkıyı yapamamaktadır (Buldurur ve Kurucu, 2015). AFAD tarafından hazırlanan Ulusal Radyasyon Acil Durum Planı (URAP) ulusal ölçekte gerçekleşebilecek radyasyon temelli acil durumlarda kullanılmak üzere hazırlanmış bir stratejidir (Kızılova, 2014). URAP, nükleer acil durum senaryolarında çalışacak olan kurum ve kuruluşlar hakkında bilgi verdiği için organizasyonel bir yapılanma hakkında bilgi verir ve bu bilgiler Sinop ili düzeyinde değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır. Yapılan tez çalışması, kamu ve özel sektör

paydaşlarının incelemesine açık olacağı için bu paydaşların stratejik olarak uygulamalarında kullanacakları bir rehber olarak da değerlendirilebilir.

INES (International Nuclear Event Scale), 1990 yılında Uluslararası Atom Ajansı (IAEA) ve Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü'nün (OECD / NEA) Nükleer Enerji Ajansı tarafından geliştirilmiştir (IAEA, 2008). INES ölçeği ilk olarak nükleer santrallerdeki olayları/kazaları sınıflandırmak için uygulanmış olup (Watanabe, 2001), sivil nükleer endüstri ile ilgili tüm tesislerde de kullanılabilmesi amacıyla genişletilmiş ve uyarlanmıştır. Daha sonra, radyoaktif malzeme ve radyasyon kaynaklarının kullanımı, depolanması ve taşınması ile ilgili tüm olayları kapsamı için güncellenmiştir (Watanabe, 2001). Tez çalışmasında *worst case scenario* olarak en kötü durum modelleneyeceği için INES 7 skalasında değerlendirmeler yapılmıştır.

INES 7 skalasında oluşacak nükleer kazalarda radyasyonun ölçümü veya yayılması ile ilgili simülasyonlar halk sağlığı için büyük önem arz etmektedir. Eğer bir tsunami veya deprem oluşmuşsa radyasyonun ölçülmesi ve değerlendirilmesi için yeni nesil son segment *drone*'lar ve yerli üretim insansız kara araçları kullanılarak ve acil durum yönetiminde insan odaklı eylemlerin uygulamaya konulması önerilmiştir.

Deprem veya sel gibi doğal afetlerde, hayatta kalanların kurtarılması için kurtarma ekiplerinin afet bölgesine ulaşmasının zor ve tehlikeli olması "*soft robotics*" alanlarında çalışmaların artmasına neden olmuştur (Della Santina vd., 2020). Kurtarma faaliyetleri için tasarlanan robotların arkasındaki fikir, insanlar ve kurtarma köpekleri için çok tehlikeli olabilecek bölgelere seyahat edebilen robotlar yaratmaktır. Robotlar, durumu değerlendirmek, mahsur kalabilecek kişileri bulmak ve kurtarma ekiplerine bilgi geri aktarımı yapmaları için kullanılabilir. Böylece arama kurtarma faaliyetleri afetzedelerin olduğu bilinen alanlarda yoğunlaşabilir. Tıbbi malzeme ve yiyecekleri taşımak için robotlar da geliştirilmektedir (Hashima vd.,1997), böylece robotlar kaynakları en çok ihtiyaç duyulan yerlere odaklayabilirler. Arama kurtarma görevi için mobil robotik alanındaki ana araştırma konuları, robotların dayanıklılığı ve kullanılabilirliği - kolay taşınabilir, her türlü hava koşulunda verimli çalışabilen ve uzun ömürlü güce sahip robotların nasıl tasarlanacağı ve navigasyon yapabilen robotların nasıl tasarlanacağıdır. Depremlerde, büyük yıkımlarda, sellerde, tsunamilerde ve yangınlarda kaybolan insanların bulunması, hayati durumlarda yıkım altında kalan insanların kurtarılması için kullanılan yeni nesil robotlar geliştirilmektedir (Della Santina vd.,2020) Yumuşak robotlar olarak Türkçe'de yer alan robotlar yapay zekâ temelli yazılımlarla yönetilmekte

ve insanların erişemediği, römork ve vinçlerin kaldıramadığı ağırlıklarda yumuşak özellikleri sayesinde insan kurtarma operasyonlarında kullanılabilecektir.

Tez çalışmasında öncelikle nükleer santral çeşitlerinden ve çalışma prensiplerinden bahsedilmiştir. İkinci olarak acil durum eylem planları tanımlanarak afetlerde (yangın ve tsunami) ADEP uygulamaları tanıtılmıştır. Daha sonra Fukuşima kazası detaylı olarak açıklanarak Fukuşima'dan kazanılacak dersler anlatılmıştır. Organizasyonel bir iş akışı oluşturmak için URAP modeli irdelenmiştir. Tez çalışmasının özü olan halkın tahliyesi, gıda ve iyot tabletlerinin kullanımı stratejik olarak değerlendirilip yorumlanmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Nükleer Santraller ve Nükleer Santral Kazaları

2.1.1. Nükleer Santrallerde Enerji Üretimi

Nükleer santraller günümüzde fisyon temelli reaksiyonları kullanarak ısı enerjisi elde edip bu enerjiyi buhar türbinleri vasıtasıyla jeneratörler yardımıyla elektrik enerjisi üretmeyi amaçlayan bir tesis modelidir. Dünyada üretilen elektriğin %17'si nükleer santrallerden karşılanmaktadır (Pioro,2013).

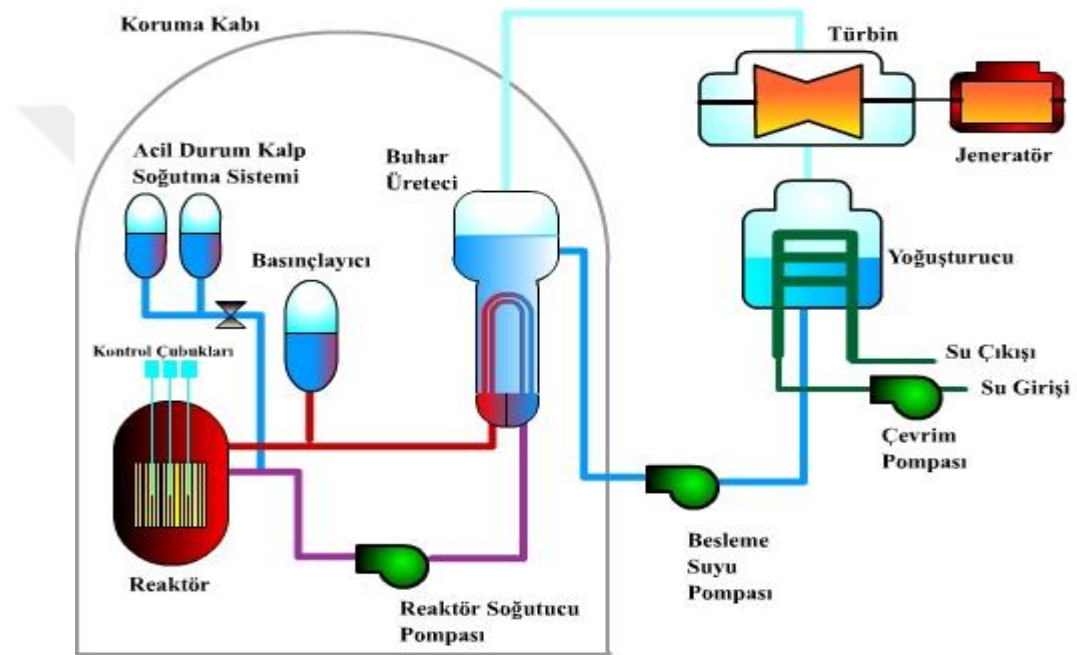
Nükleer santrallerde genel olarak U-235 radyoaktif elementinin nötronla tepkimesi sonucunda oluşan U-236'nın bölünmesi sonucu iki ya da üç nötron oluşur. Bu oluşan nötronlar farklı U-235 elementleriyle fisyon reaksiyonu gerçekleştirir ve böylece her bir reaksiyonda ortalama 200 MeV enerji açığa çıkaran bir zincir reaksiyon oluşur. Bu reaksiyonlar sonrasında ortalama 20000 ton TNT enerjisinde bir enerji oluşur (Hyde vd.,2008). Nükleer santrallerde bu reaksiyonlar kontrollü olarak gerçekleşir.

2.1.2. Nükleer Santral Türleri

Nükleer santraller kullandıkları soğutucu türüne, nötron enerjisine ve yavaşlatıcılarına göre sınıflandırılmaktadır. Oransal olarak santrallerin yüzde seksen beşi soğutucu olarak suyu kullanmaktadır ve bu reaktörler hafif su reaktörleridir. Hafif su reaktörleri basınçlı su reaktörleri ve kaynar su reaktörleri olarak ikiye ayrılır.

En yaygın olarak kullanılan reaktör tipi basınçlı su reaktörüdür (Fernández-Arias vd., 2020). Bu reaktörler yüzde 3-5 seviyelerinde zenginleştirilmiş U-235 izotopu

kullanılmaktadır. Şekil 2.1’de gösterildiği gibi basınçlı su reaktörleri üç adet soğutucu suyu döngüsünden oluşur. Birinci döngü ikinci döngüdeki suyu kaynatır. İkinci döngüde oluşan yüksek enerjili buhar türbinleri döndürür. Denizden ya da akarsulardan, büyük göllerden alınan soğuk suyun oluşturduğu üçüncü döngü türbinden enerjisini kaybetmiş olarak çıkan buharı yeniden buhar üreticine döndürülmek amacıyla yoğunlaştırmaktadır. Basınçlı su reaktörlerinde üretilen enerjiyi kontrol etmek amacıyla nötronları soğurma özelliğine sahip kontrol çubukları reaktör kor bölgesine yerleştirilir. Ayrıca reaktörde üretilen güç dağılımını düzenlemek amacıyla yakıt peletlerine sabit zehir denen nötron soğurucu materyaller entegre edilir.



Şekil 2.1 Basınçlı Su Reaktörü Şematiği (Anonim,2021a)

Kaynar su reaktörleri, basınçlı su reaktörlerine göre suyu daha düşük basınçta tutar ve iki adet soğutma döngüsü ihtiva eder. Birinci döngü suyun reaktör koruna pompalanmasından oluşur ve fisyon reaksiyonuyla oluşan ısı ile burada buharlaşarak türbinleri döndürerek jeneratörü çalıştırır böylece elektrik üretilir. İkinci döngüde harici bir kaynaktan sağlanan (deniz veya nehir) su, kondenser aracılığı ile birinci döngüde alçak basınç türbininden çıkan suyun yoğuşmasını sağlar. Bu döngüdeki su, kondenserde kazandığı ısı enerjisini (atık ısı) soğutma kulelerinde buharlaşarak atmosfere bırakır.

Sinop Nükleer Güç Santrali Elektrik Üretim Anonim Şirketi (EUAS) tarafından fonlanmış olan EUAS International ICC himayelerinde gerçekleştirilecektir (ÇED,

2020). Sinop NGS Sinop ili Abalı köyünde kurulması planlanan basınçlı su reaktörü tipinde bir santraldir. Türkiye Cumhuriyeti Devleti'nin sahiplendiği bir proje olarak, kurulacak bir proje şirketi sayesinde inşa edilecektir. Japon MHI, Fransız Areva ve Türk yatırımla kurulması planlanan santral 1120MW gücünde 4 reaktörle yaklaşık 4480 MW'lık toplam güce sahip olacaktır. Reaktörler için 10 ATMEA 1 reaktör tasarımı seçilmiştir (ÇED, 2020). Şekil 2.2.'de Sinop NGS modelinin üç boyutlu gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.2 Sinop NGS (ÇED, 2020)

2.1.3. Nükleer Santral Kazaları

2.1.3.1. Çernobil Nükleer Santrali Kazası

Kiev şehrinde kurulan 4 üniteli RMBK-1000 tipi bir kaynamalı hafif su reaktörüdür (Nosovsky,1995). Yakıt olarak zenginleştirilmiş uranyum, moderatör olarak da grafit kullanılmıştır. Acil durumda devreye giren güç kaynağı arızalandığında türbinlerin ana pompalara ne kadar süre güç sağlayacağını belirlemek için Çernobil reaktörünün 4. Ünitesi operatörlerince bir deney yapılmak istenmiştir. Önceden yapılan deneyde türbinlerin çok kısa sürede verdiği gücün sıfırlandığı görülmüştür. Deney yeni kurulan voltaj düzenleyiciyi denemek için de yapılmıştır. Operatörler tarafından 26 Nisan 1986'da deney başlatılmıştır. Operatörler reaktörü kapadıklarında reaktörler stabil değildi (kararsızdı) ve kontrol çubuklarının farklı yapıları nedeniyle (çubukların uçları grafitten yapılmıştı) reaktöre bu çubuklar girdiğinde (önce grafit uç girdiğinden ve kontrol çubuklarının çubuk kanallarındaki suyu değiştirmesi nedeniyle) güçte artış olmuştur. Isınan yakıt çubuklarının soğutucu su ile reaksiyonu sonucu yakıt çubukları parçalanmış ve reaktör içi basıncı yükseltmiştir. Basıncın yükselmesi reaktörün üst kapağının ayrılmasına neden olmuştur. Oluşan buhar tüm reaktörü kuşatmış ve buhar patlamasına yol açmıştır. Reaktörde oluşan yangınlar sonucunda çevreye radyasyon

yayılmıştır. Yayılan dozun aktivite değeri 14×10^{18} Bq olarak ölçülmüştür (Borovoi ve Gagarinskii, 2001). Reaktöre radyoaktif izotopların yayılmasını önlemek amacıyla 5000 ton bor, dolomit, kum, kil ve kurşun helikopterler ile yanan korun üzerine atılmıştır. Çernobil'den Hiroşima ve Nagazaki'ye atılan atom bombasının toplamından 400 kat daha fazla radyoaktif madde salındığı tahmin edilmektedir (Takeichi vd., 1994). Bu, kabaca 100.000 kilometrekarelik araziye etkilemiştir (Borovoi ve Gagarinskii, 2001).

2.1.3.2. Fukuşima Nükleer Santrali Kazası

Fukuşima nükleer santrali Japonya Fukuşima şehrine kurulmuştur. Tüm reaktörler kaynar su reaktörü tipindedir. 11 Mart 2011 tarihinde 9.0 büyüklüğünde deprem ve sonrasında oluşan tsunami sonucu kaza meydana gelmiştir. Deniz seviyesinden 10 metre yükseğe kurulmuş santral 15 metre yükseklikteki tsunami sonrası 5 metre su altında kalmıştır (Holt vd., 2012).

Deprem sonrasında reaktörler zamanında kapanıp, dizel jeneratörler tarafından reaktörün soğutulması sağlanmıştır. Tsunami dalgaları soğutma devrelerinin deniz suyu pompalarına zarar vermiştir. Bu dalgalar dizel jeneratörlere de hasar vermiştir ve soğutucu sistemler çalışamaz duruma gelmiştir. Ayrıca santral tahliye yolları da su altında kalmıştır.

Santralin üç ünitesi kapatılmıştır fakat reaktördeki fisyon ürünlerinin varlığından dolayı güç üretilmeye devam etmiştir. Oluşan ısı soğutulamadığından kaynar su buhara dönüşmüştür. Bu yüksek sıcaklıktaki buhar zirkonyumla etkileşmiş ve bunun sonucunda da hidrojen gazı açığa çıkmıştır. Açığa çıkan hidrojen gazları hidrojen patlamalarına sebep olarak kazanın şiddetini artırmıştır (Holt vd., 2012).

2.2. Acil Durum Eylem Planı

2.2.1. Acil Durum Eylem Planı (ADEP) Nedir?

Çalışma ve günlük yaşamımızda arzu edilmeyen ve beklenmeyen durumlarla karşılaşılabilir. Bu durumların etkileri hem maddi hem manevi olabilmekte ve insan hayatına mal olmaktadır. Bu durumların kötü etkilerinden korunabilmek için acil durum eylem planına (ADEP) 'e ihtiyaç duyulur. İnsanların maddi ve manevi tehlikeye düşüren olağandışı gelişmelerin sonuçlarından en az hasarla kurtulabilmek için doğru zamanlamayla, etkili ve kararlı bir şekilde atılması gereken adımların sistemleştirilerek

planlanması acil durum eylem planıdır. Acil durumlar hakkında yönetmeliğe göre ADEP acil durumlarda özel sektör ve devlet teşebbüslerinde atılması gereken adımların ve işlemlerin ve eylemlerin yer aldığı stratejidir (Perry ve Lindell, 2003).

Acil durumlarda eylem planları acil durumlara hazırlıklı olmak, acil durumların yol açtığı zararlardan hızlı bir şekilde kurtulmak, acil servis araçlarının kaza mahalline ulaşana kadar durumu kontrol etmek gibi nedenlerden ötürü önemlidir.

Acil durum planı belirlenmeden önce risk analizleri/değerlendirmeleri yapılmalıdır. Olası risk ve tehlike durumları belirlenip gerekli önlemler alınmalıdır. Risk analiz verilerine bağlı olarak ilgili tesis/kurum-kuruluş için acil durumlar belirlenir. İlgili kuruluşun bağlı olduğu Acil Durumlar Hakkında Yönetmeliğe göre, acil durumların önlenmesi ve gerekli sınırlayıcı tedbirlerin belirlenmesi, müdahale ve tahliye plan/prosedürlerini içeren bir acil durum eylem planı oluşturulur.

ADEP önleme, hazırlık, müdahale ve yenilenme aşamalarından oluşur. Yangında, patlamada, doğal afetlerde, gıda zehirlenmesinde, nükleer kazalarda ve bunun benzeri kazalarda bir rehber niteliği taşır. İşyeri kazalarında yüksek can kayıplarının ADEP yapılmamış işyerlerinde yaşandığı bilinmektedir. Bu bağlamda, ilgili tesislerde ADEP uygulama planının tüm çalışanlara anlatılması kritik bir eylemdir.

2.2.2. Nükleer Kazalarda Acil Durum Eylem Planı (ADEP) Uygulamaları

1950'li yıllardan itibaren sivil nükleer enerjinin gelişimiyle beraber nükleer tesisler için gerekli önleyici, koruyucu ve hafifletici güvenlik önlemlerinin sağlanması yönünde çok fazla çaba sarfedilmektedir. Bunun sonucu olarak, nükleer santrallerin maliyetleri artmış ancak saha dışı etkileri olan nükleer kaza sayısı nadir seviyelere düşürülmüştür. Bununla beraber, saha dışı sonuçları olan kaza olasılığını tamamen ortadan kaldırmak mümkün değildir.

Çoğu ülkede nükleer güvenlik, ilk dört seviyenin esas olarak sahadaki YPB (yapılar, sistemler ve bileşenler)'ye dayandığı derinlemesine savunma felsefesinin (IAEA, 2012a) beş seviyesine göre değerlendirilir. YPB maliyetli olabilir ve özellikle yalnızca olası olmayan olaylar için gerekliyse, maliyet etkin olup olmadığına karar verilmelidir. Saha dışında acil duruma hazırlık, Seviye 5'teki başlıca azaltıcı güvenlik önlemleridir. Bununla birlikte, bu tür düzenlemeler genellikle uluslararası yönergelerle karşılaştırıldığında, aşağıdaki faktörlere bağlı olarak farklı ulusal politikalar arasında önemli

farklılıklar gösterebilmektedir: (a) siyasi kabuller, (b) kamuoyu algısı ve radyolojik riskten kaçınma, (c) ilgili makamlara kamu güveni ve (d) beklenmedik durumlarla başa çıkmak için ulusal yaklaşımlar. Acil durum müdahalesine yönelik düzenlemeler ve yaklaşımlar zaman içinde değişmiştir ve son 70 yılda öğrenilen derslerin bir özeti IAEA'da (IAEA, 2012b) bulunabilir.

Tüm ülkelerde, bir kaza olması durumunda nükleer tesislerin çevresinde bir tür acil durum planlaması ve hazırlığı olması esastır. Bu gereklilik yasal düzenlemelerde yer almaktadır, ancak planların hazırlanması, temellerinin değerlendirilmesi, uygulanması ve gerekirse uygulanması sorumluluğu ülkeler arasında farklılık göstermektedir. IAEA tarafından 1994 yılında yayınlanan Nükleer Güvenlik Sözleşmesi'nin (IAEA,1994) 16.1'inci Maddesi "Her Akit Taraf, nükleer tesisler için rutin olarak test edilen ve bir acil durumda gerçekleştirilecek faaliyetleri kapsayan, saha içinde ve dışında acil durum planlarının olmasını sağlamak için uygun adımları atacaktır. Herhangi bir yeni nükleer tesis için, bu planlar, düzenleyici kurum tarafından kabul edilen düşük bir güç seviyesinin üzerinde çalışmaya başlamadan önce hazırlanacak ve test edilecektir." ile desteklenmektedir.

Saha dışı acil durum planının herhangi bir kaza durumunda eylemlerin gerçekleşip gerçekleşmeyeceği bölgeleri sınıflandırması gerekmektedir. 'Karşı önlemler' olarak adlandırılan bu eylemler belirlenir ve iyonlaştırıcı radyasyona maruz kalmaktan kaynaklanan riskleri ve kamu endişesiyle ilişkili riskleri en aza indirmek amacıyla bu tür önlemlerin uygulanmasına yönelik bir plan geliştirilir. Karşı önlemler tipik olarak tahliye, barınma, stabil iyot uygulaması, dekontaminasyon ve gıda yasağı faaliyetlerinden oluşur. Bazı önlemler kısa zaman dilimlerinde (tipik olarak bir radyasyon yayılma tehlikesinde veya yayılma sırasında erken müdahalede) ve diğerleri ise uzun zaman dilimlerinde (tipik olarak geri kazanım (*recovery*) aşamasında) uygulanabilir. Karşı önlemlere ek olarak, saha dışı acil durum planları komuta ve kontrol, iletişim, ulaşım ve trafik, temel altyapının bakımı vb. için prosedürleri detaylandırır.

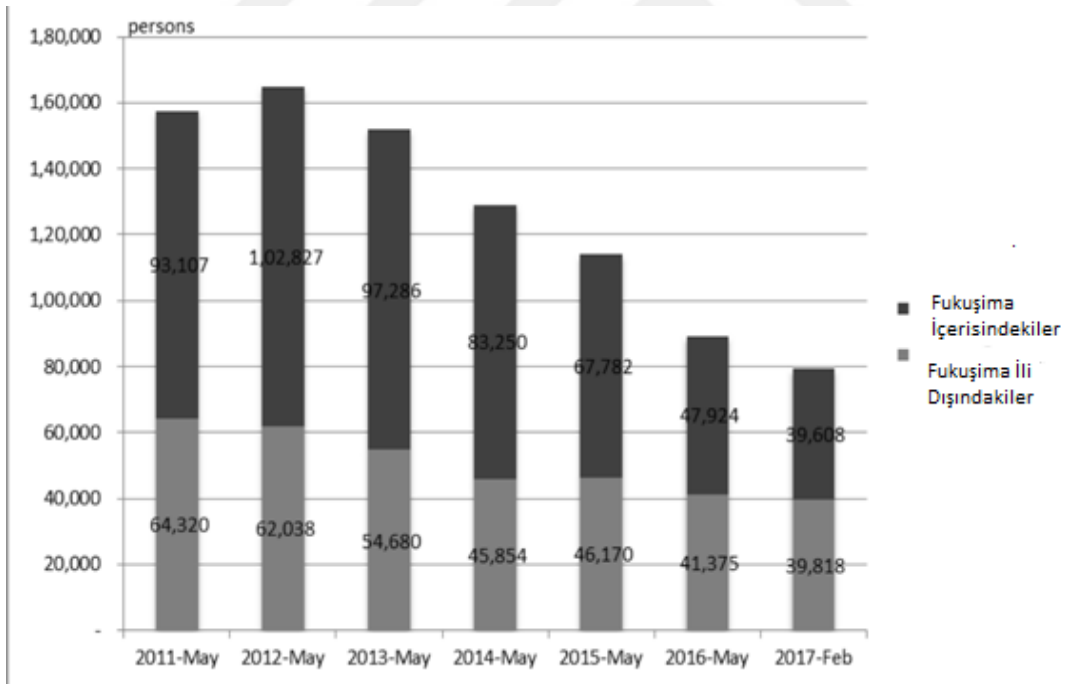
Nükleer kazalar yaşanan deneyimlerle nasıl önlem alınacağı, saha içi ve saha dışı hafifletici eylemlerin nasıl oluşturulacağı noktasında fikir vermiştir. Tarihte yaşanan iki büyük nükleer kaza olan Çernobil ve Fukuşima kazaları sonrası saha içi ve saha dışı acil durum planları yeniden gözden geçirilmiştir. Bu nedenle, Japonya'da Fukuşima öncesi ve sonrası uygulanan ADEP'ler değişiklik göstermektedir. Çünkü tarihe bakıldığında

Fukuşima’da gerçekleşen düzeyde bir deprem ve tsunami ilk defa yaşanmıştır. Örneğın, Fukushima kazası sonrasında soğutma için kullanılacak jeneratörlerle ilgili düzenlemeler yapılmıştır (Golding vd., 2021). Çernobil faciası sonrasında ise Almanya’da hazırlanmış örgütsel bir yapılanmanın varlığı gerekli kılınmıştır.

2.2.3 Fukuşima’da Saha Dışı Uygulamalar: Halkın Tahliyesi

Nükleer kazalarda acil durum eylem planı uygulamalarına örnek olarak Fukuşima kazası sonrası halkın tahliyesi verilebilir. Sahadaki elektrik kesintisi nedeniyle tahliye ve barınma kararları planlandığı gibi doz projeksiyonlarından alınamamıştır. Bunun yerine tesis koşulları (yani kor soğutma kaybı) temelinde alınabilmiştir (NERHQ, 2011). Nükleer santral sahasının 5 km uzağına konuşlandırılan ve nükleer acil durumlarda karar verme yetkisine sahip Tesis Dışı Merkez’in (*Off-site Center*) radyolojik durumların kötüleşmesi sebebiyle etkinleştirilememesi iletişim ve koordinasyon problemine yol açmıştır. 11 Mart 2011 tarihinde 20:50’de Fukushima Eyaleti, doğrudan TEPCO’dan alınan bilgilere dayanarak Fukushima Daiichi Nükleer Santrali’nin 2 km yarıçapında yaşayanlar için bir tahliye emri vermiştir. 21:23’te, Japon Hükümeti, santralin 3 km yarıçapındaki bir alan için bir tahliye emri ve 3-10 km’lik bir yarıçap içindeki bir alan için yerinde barınma (*sheltering*) emri yayınlamıştır. 12 Mart 2011 tarihinde 05:44’te, Japon Hükümeti yerinde barınma emri verilen alan için tahliye emri yayınlamış ve 18:25’te tahliye, tesisin 20 km yarıçapındaki bir alana genişletilmiştir. Yerel afet yönetimi telsiz iletişim ağı, gezici hoparlörler, polis araçları ve kapı kapı dolaşarak haberleşme gibi teknikler kullanarak tahliye kararlarının halka iletilmesi sağlamıştır. Tesis koşulları, koordinasyondaki zorluklar ve yetersiz ön planlama nedeniyle, tahliye ve barınma emirleri 24 saat içinde birkaç kez değiştirilmiş ve sonunda yaklaşık 78.000 kişinin yer aldığı 20 km yarıçaplı bir bölgenin tahliye edilmesi emredilmiştir. Deprem ve tsunamiden kaynaklanan altyapı hasarları ve iletişim-ulaşım sorunları nedeniyle tahliyede zorluklar yaşanmıştır. 20 km’lik tahliye bölgesi içindeki hastanelerden ve bakım evlerinden hastaların tahliyesinde de önemli zorluklarla karşılaşmıştır (örneğin, tıbbi malzemelerle uygun ulaşım ve tahliye barınaklarının sağlanması). Hasarlı yollara ve trafik sıkışıklığına rağmen, tıbbi desteğe ihtiyaç duymayan sakinlerin çoğu, tahliye emri verildikten birkaç saat sonra tahliye alanını terk etmeye başlamıştır. Santral çevresinde 20-30 km’lik bir yarıçap içinde yaşayan sakinlerin barınma emri 15 Mart’ta verilmiş ve 25 Mart’a kadar yürürlükte

kalmıştır. Bu uzun barınma süresi ve altyapının bozulması, insanların yaşamlarında ciddi aksamalara neden olmuştur. 25 Mart 2011'de, Japon Hükümeti tarafından 20-30 km'lik bölge içindeki sakinlere gönüllü tahliye için bir tavsiye yayınlanmıştır. Bununla birlikte, birçok sakin zaten bölgeyi gönüllü olarak terk etmişti (NAIIC, 2012). Fukushima nükleer felaketi, yaklaşık 164.000 kişinin felaket bölgelerinden zorunlu ve gönüllü olmak üzere tahliyesiyle sonuçlanmıştır. Tahliye edilenlerin sayısı, tesisteki durum istikrara kavuştuğundan ve önemli ölçüde dekontaminasyon ve yeniden yapılanma çabalarına girildiğinden, insanların evlerine dönmeleriyle beraber kademeli olarak azalmıştır (Şekil 2.3). İstatistiksel veriler, tahliye edilenlerin Japonya'nın 47 vilayetinin tümünde farklı yerlere taşındığını ve tahliyenin mekansal dağılımının zaman içinde değiştiğini ortaya koymaktadır. Maksimum tahliyenin gerçekleştiği Mayıs 2012'de, yerel halkın yaklaşık %62'si (102.000 kişi) Fukushima vilayetinin içinde ve %38'i (62.000 kişi) dışında tahliye edilmiştir. Şubat 2017'de, tahliye edilenlerin toplam sayısı yaklaşık 79.000 kişiye düşmüştür, bunların %50'si Fukushima vilayetinde kalmıştır ve %50'si dışında tahliye edilmiştir (Hasegawa vd.,2016).



Şekil 2.3 Fukushima Bölgesinden Ayrılan İnsanların Sayısı (Hasegawa vd., 2016)

2.3. Afet ve Acil Durumlarda ADEP

2.3.1 Nükleer Tesislerin Siber Güvenliği ve ADEP Stratejileri

Geleneksel analog sistemler yerine dijital enstrümantasyon ve kontrol (I&C)

sistemlerinin kullanılmasının kontrol ve operasyonel verimlilik, otomatik tesis koruma sistemlerinin teşhisi ve operasyonel güvenlik alanlarında avantajlar sağladığı belirlenmiştir (NRC, 2019). Bununla birlikte, sahip olduğu avantajların yanı sıra dijitalleşme, yeni siber güvenlik zorluklarını da beraberinde getirmektedir. Dünyada inşa edilmiş ve kullanılmakta olan nükleer güç santrallerinin hiçbirinin siber saldırılara karşı tamamıyla korunduğu söylenemez (IAEA, 2021). Özellikle, 2016-2018 yılları arasında siber atakların sayısının arttığı gözlemlenmektedir. Bu zaman çizelgesindeki iyi bilinen birkaç tehdit, 2010 Stuxnet virüsü (Langner, 2011), 2015 BlackEnergy kötü amaçlı yazılımı (ICS Alert, 2016) ve 2017 HatMan kötü amaçlı yazılımıdır (ICS-cert, 2017). Örneğin, Stuxnet virüsü, güvenlik duvarlarını devre dışı bırakarak bir flash sürücü tarafından İran nükleer zenginleştirme tesis sistemine sızmıştır. Virüs daha sonra Siemens WinCC/Step7 yazılımının çalıştığı sunucuları aramış ve santrifüjlerin hızını değiştirmek için programlanabilir mantık kontrolörlerine (PLC'ler) saldırmış ve 984 santrifüje zarar vermiştir (Langner, 2011). BlackEnergy kötü amaçlı yazılımı, kötü niyetli bir ekip tarafından Ukrayna elektrik şebekesine saldırmak için kullanılmış ve büyük ölçekli bir elektrik kesintisine neden olmuştur (ICS Alert, 2016). HatMan kötü amaçlı yazılımı, Triconex denetleyicilerine bulaşmak için kullanılmış ve ek kötü amaçlı kod eklemek için bellek içi ürün yazılımı değiştirilmiştir (ICS-cert, 2017). Nükleer santrallerin güvenlik hedefleri olan reaktiviteyi kontrol etme, yeterli kor soğutma faaliyetlerini sürdürme ve basınç bariyerinin bütünlüğünü korumadır. Bu üç hedeften herhangi birini tehlikeye atan bir siber saldırı, ciddi sonuçlara yol açabilir. Nükleer santrallerin devam eden işletimini hedef alan veya doğrudan bir tesis arızasına neden olan siber saldırılar, güç kullanılabilirliğini bozabilir ve halkın güvenliğini sarsabilir. Aynı zamanda, saha dışı müdahale gerektiren bir nükleer reaktör kazası durumunda iletişim ağlarını hedef alacak bir siber saldırı kaza durumunun daha da kötüleşmesine sebep olabilir. Bu nedenle, nükleer sektöre düzenlenebilecek siber atakların önlenmesi için ülkemizde de müdafa amaçlı siber güvenlik kapasitelerinin geliştirilmesi bir zorunluluk olarak görülmektedir.

2.3.2 Dünya Geneline Yaşanılan birkaç NGS Yangınlarının Kaza Kök Nedenleri ve ADEP

Kablolama, elektrik tesisatı ve diğer bileşenler NGS yangınlarının önemli sebepleri arasındadır. Yüksek güç üreten santrallerde bu gibi problemler geri dönüşü olmayan

arızalara hatta saha kararmasına bile neden olabilmektedir. Burada tarihte görülmüş en büyük NGS yangınlarından ikisi anlatılmış ve kaza kök nedenleri açıklanmıştır. ADEP stratejileri üzerine değinmek gerekirse bu gibi yangınlarda elimizde elektrik akımını aniden kesebilecek şalter ve elektrik ekipmanı kurulu bulunmalıdır. Aksi takdirde yangın büyüyüp nükleer kora zarar verebilir. Diğer bir ADEP formülü ise santrallerde güvenlik ilkesiyle kurulan soğutma sistemlerinin varlığıdır. Bu sistemlerin yangına müdahale noktasında başarılı olacakları varsayılmaktadır. Aşağıda anlatılan kazalar elektrik tesisatı ile ilgili olduğu için kablolama ve şalterleme sistemlerinin standardizasyonu hakkında bilgi vermektedir.

2.3.2.1 1968 San Onofre, ABD

Kaliforniya eyaleti, San Clemente mahallesinde inşa edilmiş, 436 MW(e) güçte çalışan Westinghouse modelinde bir basınçlı su reaktörü olan San Onofre NGS'si, 1980 senesinde üretimini bitirmiştir. Termal ve mekanik açıdan basınca maruz kalan kabloların 340 voltluk devrelerinin her bir fazındaki sorunları çözmek için uygun şalterlerin entegre edilmemesi sebebiyle yangın oluşmuştur (Katz,1987). Ayrıca kabloların, konsept tasarımında yapılan hesaplamalarda yapılan teknik hesap hatalarından dolayı standart elektrik yüklerini kaldırabilecek boyutların altında kaldığı da gözlenmiştir. Bir NGS'de elektrik kabloları nedeniyle ortaya çıkan ilk nükleer santral yangını olmasından dolayı San Onofre yangını, NGS tarihinde önemli bir olay olarak kabul görmüştür.

Yangın sonucunda gerçekleştirilen incelemeler; kablo sektöründe standartların araştırılmasına vesile olmuş ve akım şiddeti limitlerini içeren ve denetleyen standartların ve kabloların tutuşma davranışlarının incelenmesine ve bu konularda standartların oluşturulmasına öncülük etmiştir. Nihayetinde belirlenen standartlar; kabloların kabul gören amper değer standartları endüstride benimsenmiş ve kullanılmıştır. Tutuşma standartları genel nükleer kablo fizibilite standartları kapsamında, IEEE-383 (Hosticka vd., 1980) içinde belirtilmiştir. San Onofre yangını nükleer kor soğutucu yeteneklerinin tamamının devre dışı kalmasına veya kor kusuruna yol açmamış, radyasyon sızıntısına ya da teknisyenlerin ve şehir sakinlerinin zarar görmesine neden olmamıştır. Bu kaza nükleer santrallerde beklenmeyen ısınmalar sonucunda kablo yangınlarının oluşabileceğini göstermiştir. Bu tür yangınların IEEE-383 tutuşma standartlarına sahip kablolarda çıkmasının olanaksız olduğu belirtilmiştir.

2.3.2.2 2010 Kalinin, Rusya

Üç adet 1000 MW(e) kapasiteli VVER 1000 tipi NGS olan Kalinin Ünite 1 nükleer santrali dışındaki trafonun ana şalterinde çıkan yangın sonucu reaktör kapatılmıştır (Kovalevich vd., 1995). Halk, yangının yağ besleme şalterindeki hasar ve yağ sızıntılarından kaynaklandığı konusunda bilgilendirilmiştir. Bu durum sonucunda transformatörün işlevi bozulmuş ve komşu bir sonraki reaktöre güç aktarımı yapılamamıştır. Aynı elektrik santrali yaklaşık üç yıl önce de benzer bir olaya sahne olmuştur. Bu durum, trafo kazalarının nükleer santraller üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir ve bu kazaların başlıca nedenlerinden biri, elektrikle çalışan ekipmanlardan yağ sızması ve bunun sonucunda ateşleme sonucu yangın çıkmasıdır. Şubat 2010'da Rusya'nın Murmansk bölgesindeki Kola NGS'de meydana gelen trafo patlamasının ardından havaya dağılan parçalar tesisteki diğer ekipmanlara zarar vermiştir. Aynı kaynağa göre, Kola NGS'deki patlama sadece santralin soğutulmasını etkilememiştir. Ayrıca, sahadaki kullanılmış yakıt deposu, aynı zamanda iki ünitenin elektrik kablolarını da koparmıştır. Rus kaynaklarına göre, bu tür olaylar Uluslararası Nükleer Olay Ölçeğinde 0 seviyeli örnekler olarak sınıflandırılmaktadır (Kovalevich vd., 1995).

2.3.3 Tsunami ve Depreme Karşı Fukuşima'da Uygulanan ADEP Yöntemleri

2011 Büyük Doğu Japonya Depremi ve takip eden yıkıcı tsunami, Japonya'nın tsunami felaket yönetiminin uygulanabilirliğine ilişkin akıllarda şüphe bırakmıştır. Tsunami tehlike haritalarında hangi alanların risk altında olduğunu bilmek kritik öneme sahiptir. Ancak, bilim ve teknolojinin öngörü sınırlarının da sınırlı olduğunun bilinmesi gerekir. Tehlike haritaları, risk altındaki alanları her zaman doğru bir şekilde tahmin edemez. Günümüz gelişmiş bilgisayar teknolojileri kullanılarak yapılacak sayısal simülasyonlar felaketin gerçekleşip gerçekleşmeyeceğine dair ancak olasılıksal veri sunabilir. Tehlike haritalarının iki işlevsel yönü vardır. Biri, insanlara risk altında olduklarını söylemektir. Öte yandan, bir tehlike haritası, beklenen su baskını bölgesinin dışında yaşayan sakinlerin bölgelerinin risk altında olmadığına dair güvence verebilir. Bu, bir tehlike haritasına çok fazla güvenmenin olumsuz bir yönüdür (Goda ve Song, 2016).

Japonya'da harap olmuş bölgelerde gözlemlendiği gibi, 2 m'nin üzerindeki tsunami akış derinlikleri evlere ciddi şekilde zarar verme potansiyeline sahiptir. Sağlam kolonlara ve duvarlara sahip yüksek katlı betonarme binalar, 2 m'nin üzerindeki tsunami akış

derinliklerine dayanabilir ve tahliye için olanak sağlar. Ancak aynı zamanda en az sekiz betonarme veya çelik konstrüksiyon bina devrilmiş veya sular altında kalmış olarak bulunmuştur. Bu gerçek, özellikle tsunaminin etkilerine odaklanan tahliye binalarının yapısal tasarımına ilişkin gerekliliğin gözden geçirilmesine yol açmıştır.

Geniş bantlı sismometreler ve açık deniz tsunami izleme sistemleri kurarak genişletilmiş sismik / tsunami izleme ağının ardından, deprem büyüklüğü ve tsunamiyi daha hızlı ve daha doğru tahmin etme kabiliyeti artırılmıştır. Bununla birlikte, kazanılan deneyimlerle, bu kadar sınırlı bir zamanda kullanılabilecek teknolojilerin güvenilirliği konusunda hala sınırlamalar olduğu belirtilmelidir. Tsunami uyarı bilgileri insanları tehlikede oldukları konusunda bilgilendirebilir ancak insanların güvenliğini garanti edemez. (Katsumata vd., 2021).

Son olarak, halk eğitimi tsunami afet yönetiminin en önemli parçasıdır. Üç ilke stratejik olarak çok önemlidir: tehlike haritalarına güvenmemek (öngörü sınırlarını tanımak), her durumda en iyi çabayı göstermek ve bir toplulukta tahliye için inisiyatif almak; bunlar, tüm en kötü durum senaryolarını aşan bir felaketin üstesinden gelmek için şiddetle tavsiye edilen tutumlardır (Yamin,2011) .

2.4. Fukuşima Kazası

Fukuşima kazası tarihte yaşanmış en büyük nükleer kazalardan biridir. INES 7 seviyesindedir (Perko vd.,2019). Deprem ve tsunami ekstra büyüklüklerde santrali vurmuş ve soğutma sistemlerinin bozulması ve aşırı ısınmadan dolayı radyasyon çevreye yayılmıştır. Farklı ünitelerde farklı durumlar oluşmuştur ve kazaların ciddiyet seviyeleri de birbirinden farklıdır.

2.4.1. Deprem ve Santral Dışı Elektrik Gücünün Kesilmesi

1 Mart 2011 tarihinde gerçekleşen Büyük Japonya Depremi, Japonya'nın doğu kıyısı açıklarında, Japonya saat diliminde (JST), 05.46'da meydana gelmiştir. 9,0 büyüklüğündeki deprem (ana şok), birkaç önemli darbe ve artçı sarsıntı ile iki dakikadan fazla sürmüştür. Bu olay, Pasifik tektonik levhası boyunca yer alan bölgelerde meydana gelen, kaydedilen en büyük depremler arasındadır (Norio vd., 2011)

Deprem meydana geldiğinde, Fukuşima Daiichi NGS'deki altı kaynar su reaktöründen

üçü tam güçte çalışmaktaydı ve üçü yakıt ikmali ve bakım için kapatılmıştı. Ünite 1-3'te, tesisteki sensörler yer hareketini algıladığında reaktörler otomatik olarak kapatılmıştır. Bu otomatik eylem, reaktivitenin kontrolünü sağlamıştır. Kapatıldıktan sonra reaktör koru ısı üretmeye devam etmiştir. Nükleer yakıtın aşırı ısınmasını önlemek için, bu ısının esas olarak elektrik gücüyle çalıştırılan soğutma sistemleriyle uzaklaştırılması gerekiyordu. Reaktörün ısınmasının devam etmesi deprem ekipmanına, saha dışı trafo ekipmanına ve tesise saha dışı AC güç sağlayan elektrik hatlarına zarar vermiş ve saha dışındaki tüm elektrik gücünün kaybına neden olmuştur. Bu tür tesis dışı güç kaybı durumlarıyla başa çıkmak için tasarlanan yerinde yedek güç tesisleri - acil durum dizel jeneratörleri - altı ünitenin tümünde AC gücünü yeniden sağlamak için otomatik olarak başlatılmıştır (Hirano vd., 2012).

Ünite 1-3, güç kesintisi nedeniyle türbin sistemlerinden ayrılmış ve bozunma ısısı nedeniyle reaktörlerin sıcaklığında ve basıncında artışlara neden olmuştur (Hirano vd., 2012). Ünite 1'de, reaktör basıncı arttıkça, kondenser sisteminin her iki döngüsü de otomatik olarak başlamış ve reaktörü soğutmaya devam etmiştir. Her iki kondenser döngüsünün çalışması, reaktör basıncını ve sıcaklığını hızlıca düşürmüştür. Daha sonra, öngörülen bir aralıkta soğutma hızını kontrol etmek için operatörler tarafından kondenser döngülerinden sadece biri kullanılmıştır. Ünite 2 ve 3'de, reaktör basıncındaki artış tahliye vanalarını otomatik olarak aktive etmiştir. Bunun sonucunda reaktör su seviyelerinde azalma gerçekleşmiştir. Prosedür gereği operatörler reaktör koru soğutma sistemini manuel olarak aktive etmişlerdir.

Ünite 4-6'daki nükleer yakıttan kaynaklanan bozunma ısısının (*decay heat*) da elimine edilmesi gerekmiştir. Ünite 4'de, yakıt havuzu suyunun soğutulması ve tekrar doldurulması için kullanılan ekipman santral dışı gücünün kaybedilmesi sonucunda çalışmayı durdurmuştur. 1300'den fazla kullanılmış yakıt grubunu içeren Ünite 4 kullanılmış yakıt havuzu, tüm ünitelerin kullanılmış yakıt havuzları arasında en fazla bozunma ısısına sahip olanı olmuştur.

Ünite 5'de santral dışı elektrik gücünün kesilmesi sonucunda pompanın durmasıyla reaktör basıncı aniden düşüş göstermiştir. Sonrasında bozunma ısısından dolayı basınç artmıştır ama Ünite 2 ve 3'ün aksine tahliye vanalarını aktive etmek için gereken ısı miktarından çok düşük miktarda bir basınç oluşmuştur. Ünite 6'da, reaktör basıncı atmosfer basıncına yakındı ve korun içindeki yakıt sıcaklığı oda sıcaklığındaydı ve bozunma ısısı düşüktü (Hirano vd., 2012).

2.4.2. Tsunami ve Saha Kararması (*Station Blackout*)

Güçlü yer hareketine neden olmasının yanı sıra, deprem büyük miktarda suyu yerinden oynatarak bir dizi büyük tsunami dalgasına neden olmuştur. Bu tsunami dalgaları kıyıya ulaştığında geniş bir alanda yıkıcı bir etki yapmıştır (Tsuruda, 2013).

Tsunami dalgaları depremden yaklaşık 40 dakika sonra Fukushima Daiichi Nükleer Santrali'ne ulaşmaya başlamıştır. Alan, maksimum 5,5 m'lik tsunami yüksekliğine karşı koruma sağlamak üzere tasarlanmıştır (Tsuruda, 2013). Ancak, ilk dalgadan yaklaşık 10 dakika sonra, yüksekliği 14-15 m olan ikinci ve en büyük dalga santrali sular altında bırakmıştır. Deniz kıyısında bulunan tüm yapı ve ekipmanların yanı sıra ana binaları (reaktör, türbin ve hizmet binaları dâhil) da etkileyerek aşağıdaki olaylar dizisine neden olmuştur.

Dalga, kıyı şeridindeki deniz suyu girişlerinde bulunan deniz suyu pompalarını ve motorlarını basmış ve hasar vermiştir. Bu, su soğutmalı acil durum dizel jeneratörleri dâhil olmak üzere temel tesis sistemlerinin ve bileşenlerinin sürekli çalışmasını sağlamak için gerekli olan soğutmanın yapılamayacağı anlamına gelmiştir.

Tüm reaktör ve türbin binaları, ortak kullanılmış yakıt depolama binası ve dizel jeneratör binası dâhil olmak üzere binaları su basmıştır. Hava soğutmalı acil durum dizel jeneratörlerinden sadece biri - Ünite 6'nı - selden etkilenmemiştir. Ünite 6 güvenlik sistemlerine acil durum AC gücü sağlamaya devam ederek ve reaktörün soğutulmasını sağlayarak operasyonda kalmıştır. Bu olayların bir sonucu olarak, Ünite 1-5, tüm AC gücünü kaybetmiştir ve bu durum literatürde *saha kararması* olarak bilinmektedir. Ünite 1-5'deki saha elektrik kesintisi nedeniyle, tüm AC gücün kaybindan dolayı acil çalıştırma prosedürleri başlatılmıştır. Bundan böyle Nükleer Acil Durum Yasası olarak anılacak, Nükleer Acil Durumlara İlişkin Özel Tedbirlere İlişkin Kanun ile ilgili düzenlemelerde tanımlanan ve 'bazı güvenlik sistemlerinin kullanılamaz hale gelmesi' koşuluna dayanan bir özel durum ilan edilmiştir (Hirose, 2012). Operasyonel organizasyon TEPCO'nun yerinde acil müdahale merkezinin başkanı olan Şantiye Sorumlusu tarafından ilan edilmiştir. Sonuç olarak, Nükleer Acil Durum Yasası gerekliliklerine uygun olarak ilgili saha dışı kuruluşlara bilgi verilmiştir. Fukushima Daiichi NGS üniteleri, diğer santrallere benzer şekilde, yaklaşık sekiz saat boyunca saha elektrik kesintisine dayanacak şekilde tasarlandığı belirtilmelidir (Nomoto, 2015).

2.4.3. Ünite 1,2 ve 4 'de DC Güç Kaynağının Kesilmesi

Fukushima Daiichi NPP'deki tüm üniteler, acil durum güç kaynağı olarak yerinde DC kaynaklarıyla donatılmıştı, ancak yaşanan sel baskını Ünite 1, 2 ve 4'deki bu ekipmanı da etkileyerek DC pilleri, güç panellerini ve bağlantılarını su altında bırakmıştır. Sonuç olarak, selin ilk 10-15 dakikasında Ünite 1, 2 ve 4'de DC gücü kademeli olarak devre dışı kalmış ve bu da sahadaki elektrik kesintisiyle başa çıkmayı zorlaştırmıştır (Nomoto, 2015).

Tüm AC ve DC gücünün kaybı nedeniyle, Ünite 1 ve 2'nin operatörleri tarafından reaktör basıncı ve reaktör su seviyesi ve kor soğutma için kullanılan temel sistem ve bileşenlerin durumu gibi önemli tesis parametreleri izlenememiştir. Bununla birlikte, tüm ünitelerin kullanılmış yakıt havuzlarının soğutulması için gerekli olan soğutma suyu sağlanamamıştır. Ünite 1, 2 ve 4'deki ek DC gücü kaybı, operatörlerin bu ünitelerin yakıt havuzlarındaki su sıcaklığını ve seviyelerini artık izleyememelerine sebep olmuştur. Tüm AC ve DC gücünün kaybını ele alıp değerlendiren prosedürlerin yokluğunda, Ünite 1, 2 ve 4'ün operatörleri, bu koşullar altında bir saha kararıyla durumuyla nasıl başa çıkılacağına dair deneyime sahip değildi. Operatörler ve acil müdahale merkezi personeli, mevcut seçenekleri gözden geçirmeye ve gücü geri kazanmanın olası yollarını belirlemeye ve böylece tesisi izleme ve kontrol etme yeteneğini yeniden kazanmaya çalışmıştır.

2.4.4. Ünite 3,5 ve 6 da Uygulanan Eylemler

Ünite 3'de, reaktör kabını aşırı basınçtan korumak için emniyet tahliye vanaları otomatik olarak açılmıştır ve operatör teknikerler, mevcut DC gücüyle reaktör su enjeksiyonunu kontrol ederek reaktör korunun izolasyon soğutma sistemini manuel olarak yeniden başlatmışlardır. Ayrıca, saha kararının üstesinden gelebilmek adına gereken süreyi uzatmak için DC pillerin kullanılabilirliğini en üst düzeye çıkarmak istemişlerdir. Bu nedenle, diğer ekipmanlara sağlanan gücü kesmişlerdir.

Ünite 5 ve Ünite 6 deprem meydana geldiğinde kapalı durumdaydı. Ünite 5'de basınç testi yapılıyordu. Ancak, deprem nedeniyle bu iki ünite için aktif soğutma sistemleri geçici olarak çalışmadığından ünitelerde ısı kararsız haller (transient) meydana gelmiştir. Ünite 5 basınç testi nedeniyle pasif konumdaydı (reaktör kor izolasyon soğutma sistemi, yüksek basınçlı soğutma suyu enjeksiyon sistemi, otomatik basınç düşürme sistemi vb.). Emniyet tahliye vanaları, devre kesicilerin çekilmesi ve nitrojen hatlarının basıncının alınmasıyla devre dışı bırakılmıştı. Basınç testinin bir parçası

olarak düşük ayar noktalı güvenlik tahliye vanaları kilitliydi ancak yüksek ayar noktalı tahliye vanaları azot ve güç geri kazanımı ile yeniden çalıştırılabilir durumdaydı. Çalışanlar özel bir azot besleme hattını bağlayıp güvenlik vanasını açarak reaktör basıncını düşürmek için reaktör binasına girmek zorunda kaldılar. Ünite 6'daki hava soğutmalı acil durum dizel jeneratörü tsunamiden zarar görmemişti. Ünitenin kaza yönetimi stratejisinin bir parçası olarak hazırlanmış bir kablo kullanılarak Ünite 5'e bağlandı. Jeneratör daha sonra her iki üniteye de acil durum AC gücü sağlayabildi. Bu aynı zamanda, portatif ekipmanın konumlandırılması da dahil olmak üzere gelişmiş hazırlığın, Ünite 1-3 için mümkün olandan daha etkili bir yanıt sağladığının da önemli bir kanıtıydı. Ünite 6 bir saha kararına uğramamıştır çünkü AC güç çalışan acil durum dizel jeneratörleri tarafından soğutma sağlanmıştır (Nomoto, 2015). Burada, bütün odak noktası santral dışı güç kesildiğinde temel güvenlik fonksiyonlarını sürdürebilmektir. Reaktör atmosferik basınçta kalmıştır bu da soğutma suyunu enjekte etmek için düşük basınçlı sistemlerin kullanılmasını mümkün kılmıştır; ancak, bu sistemlerin gerekli bileşenlerinden bazıları sel ve gerekli onarımın gecikmesi nedeniyle hasar görmüştür.

2.5 Fukuşima'dan Kazanılan Dersler

Fukuşima kazasında koordinasyon problemi, böylesine büyük doğal afetlerde strateji eksikliği, yardımcı ekipmanın santrale yakın bir yerde konuşlandırılmadığından aşırı ısınmanın engellenememesi gibi faktörlerden dolayı birçok konuda ders çıkarılması gerekmektedir. Hafifletici eylemler noktasında gerçekleştirilecek aksiyonlar fazlar halinde sistemli bir şekilde yazılı yönetmeliğe geçirilmelidir. Bu noktada soğutucu pompa ve dizel jeneratörlerin kullanımı büyük önem taşıdığından santral içindeki ekipmana güvenilmemeli ve dışardan taşınabilir jeneratör ve pompalar santrale entegre edilmelidir. Bu hafifletici eylemler nükleer yakıtın erimesinin önlenmesi, reaktör iç basıncının kontrol edilmesi, personelin ve halkın tahliye edilmesi için gereken sürenin sağlanması gibi kritik parametrelerde bize avantaj sağlayacaktır. Ayrıca, sel ve deprem gibi durumlarda kullanılmak üzere tahmin edilenden daha yüksek tsunami duvarları inşa edilmeli, reaktörle bağlantılı kapıların su geçirmez özellikte olması gereklidir.

2.5.1. Hafifletirici Eylemler

Hafifletici eylemler uzun süren elektrik kesintileri sırasında santralin güvenliğini artırıcı

yetenekleri geliştirmek için uygulanır. Faz 1-2-3 Fukuşima'dan alınan dersler ışığında nükleer kazanın etkilerini hafifletmek, saha içi ve dışı yapılması gerekenleri açıklamak amacıyla tanıtılmıştır (Takahashi ve Kitamura, 2014).

Faz 1: Kaza başladıığında, santraller buharla çalışan pompalar, batarya bazlı güç sistemleri gibi kurulu ekipmanları kullanır. Santral kurulu ekipman bozulmadan 2. Faza geçebilir olarak tasarlanmalıdır. Bu fazda önemli olan kurulu batarya ve pompaların kullanılmasıdır.

Faz 2: İkinci fazda stratejiler santral dışında uygulanan taşınabilir ekipmanın kullanımını içerir. Bu ekipmanlar pompa ve jeneratörler olabilir. Bu ekipman reaktöre yakın konuşlandırılır ve ciddi sel ve deprem gibi afetlerden daima korunmalıdır. Faz 2 kaynakları gerektiğinde reaktörlere taşınır ve güvenlik fonksiyonlarının sürdürülmesi için reaktöre bağlanır. Bu faz boyunca santral dışında konuşlandırılmış tanklardan jeneratörlerin ve diğer ekipmanların çalışacağı yerlere dizel yakıt transfer edilmelidir. Santraller kesinlikle taşınabilir ekipmanın yakıtı veya enerjisi bitmeden 3. faza geçmeyi sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Bu fazda önemli olan geri besleme pompaları, hortumlar ve dizel jeneratörlerin kullanımıdır. Ayrıca kullanılacak yakıtların santral dışında konuşlandırılması da önemlidir.

Faz 3 : Final aşaması dışardan yardım ulaştığında başlar. Nükleer santral yönetimi sorumlu merkezlerle haberleşir çünkü ihtiyaç olan ekipmanın ve diğer kaynakların taşınması gerekir.

2.5.2. Sel ve Depreme Karşı Savunma

Tsunami ve selleri engellemek için kullanılacak ekipmanlar şu şekildedir:

- Kum Torbaları ve/veya Şişirilebilir Siperler: Alanı kuru tutmak için tasarlanmış, bir selden önce kurulacak geçici su geçirmez bariyerler.
- Pompalar: Geçici ve kalıcı pompalar, sahadan suyu uzaklaştırarak taşkın etkilerini hafifletebilir.
- Saha Drenajı: Bir sahanın tasarımı, taşkın sularını kritik önemdeki enerji santrali bölgesinden uzağa yönlendirerek taşkınları azaltabilir veya hatta önleyebilir. Drenaj sistemleri insan yapımı (drenajlar) veya doğal olabilir.
- Kalıcı Taşkın Duvarları: Öncelikle taşkın sularının bir elektrik santrali sahasına girmesini önlemek için tasarlanmış yapılardır. Mühendislik ve/veya doğal

malzemelerden inşa edilen bu duvarlar ayrıca erozyon, dalga hareketi ve moloz akışı ile ilişkili sel etkilerini de azaltır.

- Santral Yüksekliği: İnşaat sırasında bir nükleer santral sahasının kot yüksekliğinin kalıcı olarak arttırılması, potansiyel sel kaynaklarının sahayı etkileme olasılığının daha az olmasını sağlamaya yardımcı olur.
- Su Geçirmez Kapılar: Özel tasarlanmış gemilerde bulunanlara benzer kapılar, sel sularını acil durum dizel jeneratörleri gibi hayati reaktör sistem ve ekipmanlarından uzak tutar (Acton ve Hibbs, 2012).

2.5.3. Sismik Koruma Yöntemleri

- Ankrajlar ve Kısıtlamalar: Bir depremin sahadaki etkilerini önlemek için ekipmanın bir yüzeye mekanik olarak bağlanması. Bu, santral ekipmanının yanı sıra santral dışı ekipmana gelebilecek olası hasarı en aza indirir.
- Mekansal Ayırma: Bir deprem sırasında etkileşimlerini en aza indirmek için ekipman veya yapıların fiziksel olarak ayrılmasıdır.
- İzolasyon Sistemleri ve Damperler: Bir depremden etkilenen temel altyapıdan, ekipman veya yapıları önemli ölçüde ayıran yapısal elemanlar. Bu, izole edilmiş ekipmanın veya binanın yapısal bütünlüğünü korur

2.5.4. Kullanılan Yakıt Havuzu Entrümansyonu

Santral üniteleri kullanılmış yakıt havuzlarını soğutma yeteneklerini kaybedebilir. Tesis operatörleri kaza sırasında yakıt havuzlarındaki su seviyelerini belirleyemeyebilir. Herhangi bir kaza durumunda soğutma sağlanamayan kullanılmış yakıt havuzlarında suyun ısınması ve buharlaşması sonucu yakıt çubukları geri çekilen sudan çıkabilir ve potansiyel olarak önemli miktarda radyasyon yayabilir. Aynı zamanda, kullanılmış yakıt havuzlarından suyun çekilmesi durumunda hava ile zirkonyumun kimyasal reaksiyonu sonucu hidrojen gazı açığa çıkarak hidrojen patlamasına sebebiyet verebilir.

Fukuşima kazası, kullanılmış yakıt havuzlarındaki gerçek zamanlı koşulları ölçme, ciddi kazalar ve terör saldırıları sırasında depolanan kullanılmış yakıtın yeterli şekilde soğutulmasını sağlama yeteneklerini geliştirmeye yönelik ek önlemlerin alınması gerektiğini göstermiştir. Bu ek önlemler, sağlamlaştırılmış ve yedekli (1) fiziksel gözetim sistemleri (örneğin kameralar), (2) radyasyon monitörleri, (3) havuz sıcaklığı

monitörleri, (4) havuz suyu seviyesi monitörleri, ve (5) hasar veya yüksek radyasyon seviyelerinde havuzlara fiziksel erişimin sınırlı olduğunda bile havuz tamamlama suyu veya spreylere sağlama şeklinde sıralanabilir (NRC, 2014).

2.5.5 Fukushima'dan Kazanılan Saha Dışı Dersler: İyot Tabletlerinin Kullanımı

Fukushima santrali yakınında yaşayan yerel halka zaten tahliye edilmiş oldukları için az miktarda KI (iyot tableti) uygulanabilmiştir. Raporlar, zamanında tahliyeler sonucunda KI uygulaması için radyasyon eşiklerinin aşılmadığını göstermektedir (UNSCEAR, 2013b). Sonuç olarak, Fukushima santrali kazası sırasında iyot tabletlerinin tıbbi etkinliğine ilişkin tartışmalar çok anlamlı değildir. Ancak, kaza sırasında KI dağıtma çabaları, KI dağıtımının planlanması, ulusal ve yerel yönetimler arasındaki iletişim ve koordinasyon ile ilgili sorunları vurgulamaktadır. Bu sorunlar kısmen deprem ve tsunami nedeniyle iletişim altyapısının kaybolmasından kaynaklanmaktaydı. Buna karşılık, kararlı iyot tabletlerinin dağıtım politikasında bir yenileme yapılmıştır. Radyasyondan korunmada kararlı iyotun etkinliği, uygulamanın zamanlamasına bağlıdır. İhtiyati eylem bölgesinde yaşayanların, derhal tahliye etmeleri talimatı verildiğinde koruyucu önlemler için zamanları olmayacağından, hükümet, kararlı iyot tabletlerini önceden dağıtmaya karar vermiştir. Bu revizyonun ardından, Japonya'daki ilk ön dağıtım Kagoshima Eyaletinde gerçekleştirilmiştir (Ojino vd., 2017).

2.6. Diğer Nükleer Santral Kazalarında Saha Dışı Müdahale

2.6.1 Çernobil Sonrası Ülkelerde ADEP Faaliyetleri

2.6.1.1 Sovyet Rusya'da ADEP Faaliyetleri

Reaktörü Çevreleme

Çernobil nükleer reaktör kazası sonrası, radyoaktif malzemeyi ve reaktörün kalıntılarını gidermek için kompozit çelik ve betondan bir kalkan inşa edilmiştir. Bu süreçte işçilerin radyasyon güvenliğinin sağlanması gerekmektedir. Ne yazık ki, çalışanların birçoğuna verilen koruma düzeyi ve bilgi yeterli değildi. Bu nedenle, çalışma sırasında çoğu zaman son derece tehlikeli radyasyon seviyelerine maruz kalmıştır (Kupnyj,1996).

Tahliye

Tehlike çok hafife alındığından ve reaktör çalışanları, reaktörün kendisinin hasar

gördüğüne inanmadığından, hemen tahliye çağrısı yapılmamıştır. Ancak patlamadan birkaç saat sonra, yakınlardaki Pripyat şehrinin sakinleri şiddetli baş ağrıları, şiddetli öksürük nöbetleri ve kusma ile hastalanmışlardır. Reaktörün kendisi Ukrayna'da bulunuyordu, ancak Moskova'daki yetkililer tarafından yönetiliyordu. Bu durum, uygun kanallara olay hakkında zamanında bilgi verilmediği ve Ukrayna yetkililerinin başlangıçta potansiyel tehlikeden haberdar edilmediği için daha fazla komplikasyona neden olmuştur (Kupnyj,1996).

Kentin boşaltılması patlama saatinden yaklaşık 36 saat sonra tamamlandı. O zamana kadar 50'den fazla kişi radyasyona maruz kalma nedeniyle hastaneye kaldırıldı. Başlangıçta, tahliye bildirimi yalnızca yaklaşık 53.000 kişiye ev sahipliği yapan en yakın Pripyat şehri için düzenlenmişti. Vatandaşlara sadece üç günlüğüne tahliye etmeleri gerektiği söylendi, bu da çoğu sakinin yanlarına sadece temel eşyalarını aldığı ve mallarının çoğunu geride bıraktığı anlamına geliyordu. Ertesi gün, tahliye bölgeleri, reaktör sahasından 6,2 mil veya 10 kilometre yarıçapı içerecek şekilde genişletildi. Olaydan sonraki onuncu gün tahliye bölgesi 30 kilometreye veya 19 mil alana ulaşmak için daha da genişletildi. Bu tahliye edilen bölge şimdi Çernobil Nükleer Santrali Hariç Tutma Bölgesi olarak biliniyor (Kupnyj,1996).

2.6.1.2 Almanya'da ADEP Faaliyetleri

Çernobil kazası 1986'da ilk gerçekleştiğinde Alman yetkililerde ilk müdahale noktasında bir belirsizlik hâkimdi. Nükleer santrallerde kaza önleme amacıyla oluşturulmuş acil yardım noktasında görev alacak kurumsallaşmış bir örgüt bulunmamaktaydı (Peters,1992). İhtiyaçlar doğrultusunda yılın sonunda Doğayı Koruma ve Nükleer Güvenlik Birimi kuruldu. Takip eden 3 yılda Radyasyonu Engelleme Federal Ofisi kuruldu. Bu kurumun görevi çevresel güvenliği sağlama ve radyolojik kazalar engellemektir.

Radyoaktif ölçümler, Data Analizi ve İyot Tabletleri

Çernobil kazasından sonra eyaletler arasında değişkenlik gösteren ölçüm sonuçları ve data birleşik bir kaza raporu oluşturmayı zorlaştırmıştır. Bu problemi çözmek amacıyla Radyasyonu Engelleme Federal Ofisi tarafından Entegre Ölçüm ve Bilgi Sistemi (IMIS) oluşturulmuştur (Hennies,1986).

IMIS radyolojik durumu anlamak amacıyla Almanya'da 1800'den fazla ölçüm probu

bulundurmuş ve bu problemler çevre doz hızını ölçmüştür. Bu sistem kontaminasyon durumlarını erkenden tespit eder ve yüksek radyasyon seviyelerinde alarm verir (Henies,1986).

Belarus ve Ukrayna'da artan tiroit kanseri vakaları Alman Radyolojik Korunma Kurumuna bu radyasyonun etkilerini düşürmek amacıyla iyot tabletleri dağıtmak için teşvik etmiştir.

2.6.2 Three Mile Island Kazasında Uygulanan Saha Dışı Eylemler

Three Mile Island kazası Pensilvanya'daki NGS'nin 2 no'lu reaktöründe 28 Mart 1979'da gerçekleşmiştir. Kaza başlangıçta korun ikinci soğutma sisteminde oluşan bir aksaklık ile başlamış ve birincil su soğutma sistemindeki bir vananın sıkışarak açık kalması ile büyük miktarda soğutma suyu soğutma sisteminin dışına çıkarak reaktör korunda ısının artmasına ve sonunda reaktör korunun bir miktar erimesine neden olmuştur (Smith ve Fischer,1981). Kaza ABD'nin nükleer santrallerinde oluşmuş en büyük kazadır. INES ölçeğine göre Seviye 5 olarak kayıtlara geçmiştir.

1) Halkın Tahliyesi

Radyoaktivite salımları hakkında çelişkili ifadeler mevcuttu ve bu yüzden okullar kapatılmıştır ve şehir sakinlerine içeride kalmaları söylenmiştir. Çiftçilere hayvanlarını örtü altında korumaları ve depolanmış yemlerin de örtülü tutulması gerektiği söylenmiştir.

Three Mile Island tesisinin beş mil yarıçapındaki hamile kadınların ve okul öncesi çağındaki çocukların tahliye edilmesi tavsiye edilmiştir (Halperin,1989). Tahliye bölgesi 30 Mart Cuma günü 20 millik bir yarıçapa genişletilmiştir. Birkaç gün içinde 140.000 kişi bölgeyi terk etmiştir. 20 millik yarıçap içindeki 663.500 nüfusun yarısından fazlası o bölgede kalmıştır. Nisan 1979'da yapılan bir araştırmaya göre, tahliye edilenlerin %98'i üç hafta içinde evlerine dönmüştür (Cutter, 1982).

2) Medikal Terapiler

i) İyot Tabletleri

KI (İyot tabletleri) TMI'deki kaza sırasında ilgili nüfusa hemen dağıtılmak üzere stoklarda bulunamamıştır. Devlet kurumları ve özel şirketler, ilacın acilen üretilip Harrisburg'a gönderilmesi için ciddi bir hazırlık yapmışlardır. İlaç, TMI kazası

gerçekleştikten dört gün sonra tedarik edilmiştir. Bu deneyim, hızla tahliye edilemeyenlere uygulamak için risk alanlarında hastanelerin ve diğer kurumların KI stoklamayı düşünmesi gerektiğini göstermiştir.

Potassium Iyodür (KI) radyoaktif iyotun tiroit bezine girmesini engeller (Halperin,1989). Erkenden veya radyasyona maruz kalınmadan önce alınırsa en iyi etkiyi verecektir ve tek doz 24 saat koruyucudur.

Tablo 2.1 TMI Kazası Sonrası Uygulanan KI Tabletlerinin Dozları (Halperin,1989)

Dozlar	
Yetişkin ve/veya Hamileler	130 mg
Çocuklar	32 mg
Yeni Doğan /Bir ila 3 yaş Arası Çocuklar	32 mg
1 aya kadar Yeni Doğanlar	16 mg

ii) Prusya Mavisi

Bağırsaktaki radyoaktif sezyum ve talyumu bulup yakalar, emilimini sınırlar ve eliminasyonunu hızlandırır.

Tablo 2.2 Prusya Mavisinin Sezyum ve Talyum Yarı Ömrü üzerindeki Etkisi (Halperin,1989)

Biyolojik Yarı Ömür	Prusya Mavisinin Etkisi
Sezyum	110 Günden 30 Güne
Talyum	8 Günden 3 Güne

3) Diethylenetriamine Pentaacetate (DTPA):

Chelating agent: Kan dolaşımındaki metalleri sönümlene yoluyla metal zehirlenmesini tedavi etmede kullanılan bileşiklerdir ve DTPA bunlardan biridir. Plutonyum, amerikyum ve kuryumu bağlar. İki formda mevcuttur: Ca-DTPA ve Zn-DTPA. Ca-DTPA 10 kat daha etkilidir (Halperin,1989).

2.7. URAP ve TAMP Özelinde Organizasyonel Yönetimin ve İdarenin İncelenmesi

URAP, AFAD ile işbirliği içerisinde TENMAK tarafından hazırlanmıştır (Baskak ve Büyüksarac, 2020). Bu planın amacı, ülkemizde veya dışarıda oluşabilecek bir radyasyon acil durumu için ulusal seviyede ve il seviyesinde yapılacak planlamada, uygulanacak eylemlerin ve uluslararası etkileşim ve ilişkilerin yürütülmesinin esaslarını tasarlamaktır.

Radyasyon acil durumlarında uygulanacak eylemlerin il özelinde idare edilmesi gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda, Acil durum Yönetim Sistemi (AYS) dört servis birimi çevresinde uygulanır (Baskak, 2020):

- 1) Bilgi ve Planlama Servisi,
- 2) Operasyon Servisi,
- 3) Lojistik ve Bakım Servisi,
- 4) Finans ve İdari İşler Servisi.

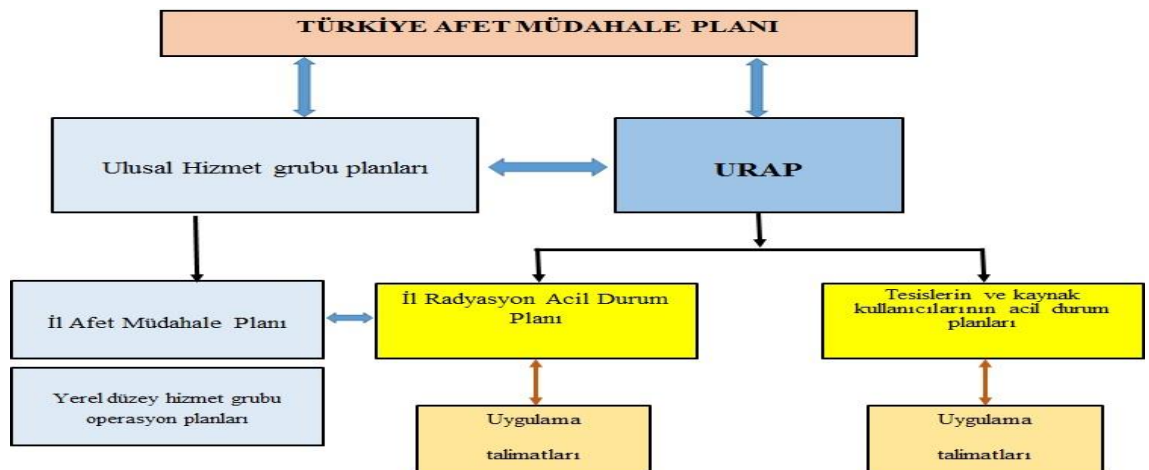
Seviye 7 ölçeği için (büyük radyolojik kaza anlamına gelir) belirlenen acil durum uygulaması amacıyla Acil Durum Müdahale Yöneticisi alttaki kıstaslara göre seçilir ve görevleri aşağıda belirtilmiştir:

- 1) Acil durumlar için Acil Durum Müdahale yöneticisi tesis işletmeni tarafından acil durum öncesinde belirlenir.
- 2) Saha içi ve dışı acil durumlarda, santral sahası özelinde uygulanacak işlemler santralin acil durum yöneticisi tarafından yönetilir.
- 3) Saha dışı acil durum eylem planlarının yönetimi, Acil Durum Müdahale Yöneticisi olan Vali ya da valinin seçeceği bir Vali Yardımcısı tarafından yönetilir. Acil durum stratejisi bölge içinde yer alan il ve ilçelerin valilik ve kaymakamlıkları arasındaki iş bölümü ve etkileşim AFAD tarafından sağlanır.

4) Farklı radyasyon acil durum koşullarında idare edecek kurum veya organizasyon belirli ise acil durum müdahale yöneticisi koordinasyonu sağlayan kişi tarafından acil durum planlarında bahsedilir. Acil durum müdahale yöneticisinin müdahale kapasitesinin ve yeteneklerinin aşıldığı olaylarda acil durum müdahale yöneticisi Vali Yardımcısıdır. Tüm acil durumlarda İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğüne (İAADM) bilgi verilir.

Acil Durum Yönetimi

- Lokal ve ulusal görevlilerden ve santral idarecilerinden oluşan kompakt bir yönetim yapısı kullanılır (Yönetim grubu).
- Yönetim grubu tüm müdahalenin işleyişinden sorumlu olan Acil Durum Müdahale yöneticisi tarafından yönetilmektedir.
- Acil Durum Müdahale yöneticisi ihtiyaç duyulduğunda yönetim personeline (Basın Sözcüsü, Güvenlik Sorumlusu/grubu, İrtibat Sorumlusu/grubu) görev, sorumluluk ve yetki verebilir.
- Yönetim grubu çoğu durumda Acil durum müdahale Yönetim Noktasında (AYN) sorumluluk alır.
- Yönetim grubu tarafından, yönetim sürecinde 12 – 24 saat içinde ve uzun dönem ile iyileştirme (mitigasyon) sürecinde uygulanacak olan yönetim eylemlerinin tasarlandığı Acil Durum Eylem Planları (ADEP) oluşturulur.
- Basın Sözcüsü, medyayı bilgilendirir ve iletişimi koordine eder. Medyanın ilgisini ve dikkatini çeken acil durumlarda bilginin sağlanması Halkı Bilgilendirme Merkezinde (HBM) gerçekleştirilir.



Şekil 2.4 TAMP Algoritması (Anonim,2021b)

TAMP Özelinde Organizasyon

Türkiye Afet Müdahale Planının (TAMP) hedefi; afet ve acil durumlarda uygulanacak müdahale eylemlerinde sorumluluk alacak hizmet grupları ve idare birimlerine ait rolleri tanımlamak, afet öncesi, sırası ve sonrasındaki (*pre accident, accident and post accident scenarios*) müdahale uygulamalarının temel yapı taşlarını kararlaştırmaktır. TAMP, Türkiye’de oluşabilecek her tür, ölçek ve şiddette, afet ve acil durumlarda hizmet verecek, kamu kurumları, özel kuruluşlar, sivil toplum kuruluşları ve gerçek kişileri içerir.

Afet müdahale planı etkili müdahale için hazırlık, müdahale ve ön iyileştirme olarak üç etaptan oluşur. Hazırlık çalışmaları;

- Mevcut kaynakları belirlemek,
- Planlama,
- Organize olmak,
- Alet-ekipman ve araçları hazırlamak,
- Kapasite geliştirmek, yeni teknolojilerden yararlanmak
- Erken uyarı sistemlerini kurmak, geliştirmek ve test etmek,
- Eğitim ve tatbikatlar düzenlemek ve
- Değerlendirme aşamalarından oluşur.

TAMP milli ve lokal ölçekte müdahale yönetim sistemini açıklamaktadır. İyileştirme çalışmaları (*mitigation actions*) ön iyileştirme ve uzun dönem iyileştirme çalışmaları (*Pre and post mitigation responses*) olarak iki kısımda incelenmiştir. Müdahale eylemlerinin sonunda ön iyileştirme ekiplerinin hazırladıkları stratejiler uzun dönem iyileştirme çalışmalarına temel oluşturacaktır. Afet ve Acil Durum Yüksek Kurulu tarafından tasarlanmasının kararlaştırıldığı olay türü planları haricinde, TAMP’daki hizmet grup planlarında ve bu plan doğrultusunda oluşturacakları modelde hizmetin bütünlüğünü bozmadan süreçleri bir bütün olarak göz önünde bulundurmaları gerekmektedir. Başka bir deyişle barınma hizmeti acil barınmadan kalıcı barınmaya kadar olan süreci, hasar tespit hizmetleri; ön hasar tespit, kesin hasar tespit, itirazlı hasar

tespit gibi hak sahipliği aşamasına kadar olan süreci kapsamalıdır.

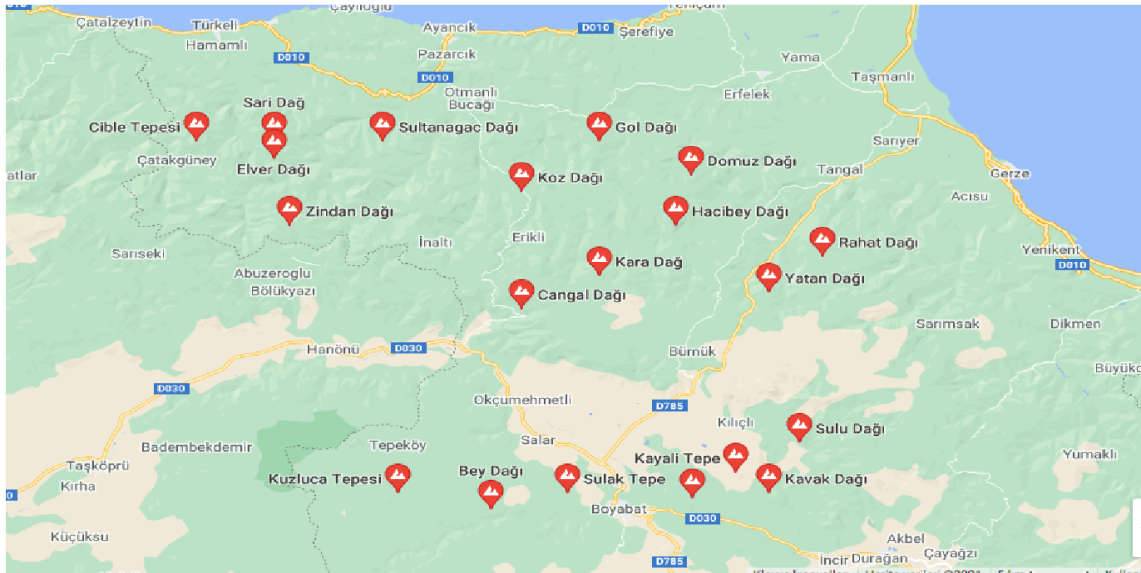
2.8. Sinop ili için Genel Bilgiler

2.8.1 Nüfus

2016 yılı nüfus sayımı verilerine göre Sinop İli'nin total nüfusu 205.478 kişidir. Buradaki popülasyonun %58,04'ü kentlerde, %41,96'sı ise kırsal kesimde ikamet etmektedir. NGS bölgesi merkezli 30 km yarıçaplı alan, yüz ölçümü bakımından Sinop Merkez İlçesi'nin büyük bir kesimini (%74,1), Erfelek İlçesi'nin çoğunu (%73,2), Ayancık İlçesi'nin bir bölümünü (%5,8) ve Gerze İlçesi'nin küçük bir kısmını (%2,4) kapsamaktadır (Anonim,2021c).

2.8.2 Sinop İli Dağları

Sinop ilinde bulunan dağlar Sinop'u doğu-batı doğrultusunda ikiye bölmektedir. Yüksekliği 1500 m'yi aşan birkaç tepe vardır. Önemli olanları Sandökük Tepesi (1680 m), Zindan Dağı (1730 m), Çangal Dağı (1605 m), Göktepe (1375 m) dir. Zindan Dağı, Sinop ilinin en yüksek kesimidir.



Şekil 2.5 Sinop İli Dağları

2.8.3 Tarım, Hayvancılık, Balıkçılık ve Ormancılık

Sinop'un en yaygın tarımsal ürünleri mısır ve buğdaydır. Bölgeye özgü diğer bir ürün de çeltik üretiminden gelen pirinçtir. Hayvancılık açısından rakımı yüksek olan sahalarda koyun ve keçi yetiştiriciliği yapılırken, sığır yetiştiriciliği ise kıyı kesimlerde sıklıkla uygulanmaktadır.

Orman ve Su İşleri Bakanlığı'ndan alınan verilere göre, orman arazileri, Sinop İli arazilerin %56'sını kaplamaktadır. Orman altı ürünler ile orman ürünleri, bölge halkı tarafından hane içi tüketim ve kesim iznini takiben gelir sağlama amaçlı üretim şeklinde değerlendirilmektedir.

Balıkçılık bölgenin en önemli gelir kaynaklarından biridir. İl Türkiye'nin toplam balık ihtiyacının %5 ile %7'sini karşılamaktadır. Sinop'ta yaklaşık 1.300 kişi balıkçı olarak çalışmaktadır ve toplamda 4.500 kişi balıkçılık sektöründe istihdam edilmektedir (Anonim,2021c).

2.8.4 Bölgenin İklimi

Nemli ve yarı nemli iklime sahip olan Sinop İli, Doğu ve Batı Karadeniz iklim özelliklerinin birleşimini yansıtır. Kışlar serin, yazlar ise ılık geçmektedir. Mevsimler arası sıcaklık farkı düşüktür ve Sinop ili düzenli bir yağış rejimine sahiptir (Anonim,2021c).

3. Materyal ve Yöntem

3.1. Materyal

Yapılan tez çalışmasında Sinop'ta kurulması planlanan nükleer güç santralinde meydana gelebilecek nükleer santral kaza senaryolarında gerçekleştirilebilecek saha dışı eylem stratejileri açıklanmıştır. Geçmiş nükleer santral kazaları için ulusal ve uluslararası yayınlar incelenerek bu kazalardan (özellikle Fukushima ve Çernobil kazaları) çıkarılan derslerle Sinop ili özellikleri dikkate alınarak öneriler verilmiştir. Nükleer santrallerin yangın, deprem, tsunami, siber tehlike gibi durumlardan korunması için yapılması gerekenler açıklanmıştır. İnsanların tahliyesi, gıdanın sağlanması ve iyot tabletlerinin sağlanması gibi kritik eylemler detaylı anlatılmıştır.

3.2. Yöntem

Çalışma kapsamında kullanılan temel veriler uluslararası ölçekte Uluslararası Atom Ajansı (IAEA)'nın Fukushima Daiichi santral kazası sonrası yayınladığı raporlardır. Kazanın yaşandığı ülke olan Japonya'da kaza sonrası yayınlanan bilimsel araştırmalar (makale ve tez) da ağırlıklı temel veri olarak kullanılmıştır. Ayrıca, Çernobil kazası sonrası ve Fukushima kazası öncesi ve sonrasında acil durum eylem planları incelenmiştir. Ulusal ölçekte Sinop NGS Projesi Nihai ÇED Raporu, AFAD ve TENMAK işbirliğiyle hazırlanan Ulusal Radyasyon Acil Durum Planı (URAP) referans alınmıştır. Temel yöntem olarak tez çalışmasında, Sinop ilinin demografik özellikleri, ulaşım karakteristikleri, şehrin doğal afetlerle hangi sıklıkla karşılaşmış ve karşılaşmadığı ve hâkim rüzgar yönü gibi parametreler göz önüne alınarak büyük ölçekli bir nükleer reaktör kazası durumunda insanların mental ve fiziksel sağlığını korumak için stratejiler önerilmektedir.

4. Bulgular, Tartışma ve Sonuç

4.1. Sinop İli Özelinde Saha Dışı Acil Durum İçin Öneriler

Sinop ölçeğinde nükleer kaza senaryoları ve santral dışı eylem planları hazırlanırken halkın güvenli tahliyesi büyük önem taşımaktadır. Sinop'ta kurulması planlanan santral İnceburun civarında olacağından en kötü durumda (INES 7 Skalası) radyasyon hızlıca yayılarak insanları, hayvanları, bitkileri, yeraltı suyunu ve diğer canlıları kontamine ederek sağlığa ve çevreye zarar vermesi kuvvetle muhtemeldir. Bu skalada insanları korumak için geçmişte yaşanan (Fukuşima ve Çernobil) nükleer santral kazalarından çıkarılan dersler de gözönüne alınarak tahliye senaryoları oluşturulup değerlendirilmelidir. İnsanları tahliye edip etmemekte belirleyici olan yayılan radyasyonun şiddeti ve yayılma hızı olacağından bu bölgede kullanılacak dedektörlerle salınan radyasyonun doz hızı ölçülmelidir. Bu ölçümler, normal şartlarda santral saha içi ve saha dışına yerleştirilen doz ölçerlerle sağlanabilmektedir. Ancak Fukuşima kazasında olduğu gibi saha kararmasına yol açan bir durumda doz hızlarını ölçebilmek için savunma sanayinde kullanılan insansız kara araçları, insansız hava araçları, helikopterler, kargo uçaklarından faydalanılabilir (Sato vd., 2018). Radyasyon ciddi seviyelerde olması durumunda halkın tahliyesinin denetlenip yönetilmesi gerekmektedir. Halk tahliye edilirken bir yandan da halkın sağlığı açısından iyot tabletleri dağıtılıp kullanılması da gerekebilir. Sağlanacak iyot tabletlerinin dozu yayılan radyasyonun miktarına bağlıdır. Kaza gün içerisinde gerçekleşmişse ve

radasyon salımı tespit edilmişse, okullardaki öğrenciler ve devlet kurumlarındaki personeller servis araçları yardımı ile hızlıca tahliye edilebilir. Tahliye ederken önemli olan kaza yaşanmamasıdır çünkü yolların durumu tahliye için önemlidir öyle ki yol kapanabilir ve bu durumda insanlar kontamine olabilirler. Sinop şehir merkezi trafik açısından sorunlu bir bölge olduğundan tahliye sırası gözetilerek belirli bölgelere bölünüp doğru stratejiyle tahliye işlemi gerçekleştirilmelidir. Aksi durumda olayın stresi ve panik nedeniyle kazalar yaşanabilir ve durum kaosa dönebilir. Kara yolundan tahliyeler akıcı ve kontrollü olmalıdır. Bölgelere ayrıldığında denize yakın bulunan mevkilerde yaşayan insanların tüm Türkiye’den temin edilecek feribot, gemi ve fırkateynlerle tahliyesine olanak sağlanabilir. Aynı şekilde havaalanına yakın bölgede yaşayanlar ise THY (Türk Hava Yolları) ve diğer havayolu şirketlerinin seferber edeceği uçaklarla efektif ve hızlı bir şekilde tahliye edilebilir (Malešič vd., 2015). Tahliye edilen insanlar çevre illere veya Ankara, İstanbul gibi metropollere yerleşebilirler. Burada değinilmesi gereken nokta evlerinden ve işlerinden olan insanların hayatta kalmaları için gerekecek ekonomik varlıktır. Bu boşluk devletin yapacağı desteklerle giderilmelidir. Aksi takdirde insanlar stres kaynaklı depresyon ve diğer psikolojik rahatsızlıklara maruz kalabilirler. Tüm bu sürecin yönetilmesi Valilik önderliğinde AFAD ekipleri, emniyet güçleri ve ordu mensupları sayesinde kolayca atlatılması için bu bölümde detaylı bir strateji oluşturulacaktır.

4.2 INES 7 Ölçeği



Şekil 4.1 INES Skalası (Kermisch,2011)

Uluslararası Nükleer ve Radyolojik Olay Ölçeği, radasyon kaynaklarıyla ilişkili olayların güvenlik açısından önemini acil ve tutarlı bir şekilde halka iletmek için kullanılır. Ölçek 1990 yılında IAEA ve OECD Nükleer Enerji Ajansı (OECD/NEA) tarafından toplanan uluslararası uzmanlar tarafından geliştirilmiştir (Kermisch,2011).

Çernobil’de ve Fukuşima’da yaşanan kazalar INES ölçeğinde seviye yedi olarak değerlendirilmiştir. Bu yüzden en kötü senaryoyu temel alarak yaptığımız tez çalışması seviye yediyi temel alarak plan ve strateji önerecektir. Aşağıda örnek bir durum açıklanmıştır. Ancak saha dışı eylem planları daha sonra detaylandırılacaktır. Burada tipik bir kaza nasıl başlıyor kısaca özetlenmiştir: tasarım kusurları ve kötü planlanmış bir nükleer test, bir reaktörün süper kritik duruma gelmesine neden olmuştur. Reaktörü kapatmak için girişimlerde bulunulmuş, ancak bir enerji artışı meydana gelmiş ve yakıt çubuklarından bazıları kırılmaya başlamıştır. Kontrol çubukları yuvalarının uzunluğunun üçte birine kadar indirildikten sonra yuvasına sıkışmış ve bu nedenle reaksiyonu durduramamıştır. Reaktör gücü normal operasyonel randımanın 10 katına çıkarak 30GW’a kadar artış göstermiştir. Yakıt çubukları erimeye başlamış ve buhar basıncı aniden yükselmiş ve bu da büyük buhar patlamasına neden olmuştur. Üretilen buhar reaktörde çubuk kanalları boyunca dikey olarak hareket etmiş, reaktör kapağını parçalamış, soğutma tüplerini bozmuş ve çatıya doğru esmiştir. Çatıdan dışarı estikten sonra oksijenin reaktör yakıtı ve grafit moderatörü ile etkileşimiyle grafit yanmaya başlamıştır. Bu yangın radyoaktif malzemenin yayılmasını ve dış çevrenin kontamine olmasının başlıca sebebiydi. Yayılan toplam radyoaktif materyal 14 milyon TBq, 1.8 million TBq Iod 131,85000 TBq sezyum 137ve diğer sezyum izotopları, 10000 TBq stronsiyum 90 içermektedir (Kermisch, 2011).

4.3 Tahliye Yolları ve Sinop’un Tahliye Bölgelerine Ayrılması

Birinci öncelik insan sağlığı olduğu için tahliye metotları detaylı bir şekilde planlanmalıdır. Nükleer bir kaza anında insanların bilgilendirilmesi ivedilikle sağlanmalıdır. Bunun için Android, IOS vb. platformlarda tahliyenin hızlı ve kolay gerçekleştirilmesini sağlayabilecek yardımcı uygulamaların yazılması ve yaygınlaştırılması tavsiye edilebilir. Kara yoluyla tahliyelerde özel şirketlerin maksimum kapasiteyle yolcu taşınması tahliyeyi hızlandırılabilir. Bunun için, taşıyabilecekleri yolcu kapasitesi için yaklaşık bir rakam bu özel otobüs firmalarından güncel olarak sağlanmalıdır. Özel araçların sayısı güncel olarak bilinmeli ve taşıyabilecekleri toplam yolcu sayısı hesaplanmalıdır. Özel araçların ve havayolu şirketlerinin sağlayacağı ek seferlerle tahliye hızlandırılabilir.

Tahliye stratejileri oluşturulurken yayılan radyasyonun şiddeti ve yayılma hızı önemlidir. Genel olarak bir nükleer santral yakınında radyasyon, konuşlandırılmış

ölçüm cihazları sayesinde düzenli olarak ölçülür. Bu ölçüm cihazları saha kararması durumu dışında düzgün olarak ölçüm yapabilmektedir. Ancak, elektrik kesintisi sırasında bu ölçüm cihazları çalışamaz. Bu yüzden, güneş enerjisi destekli cihazlar daha faydalı olabilir. Bir başka uygulama ise radyasyonun ölçülmesi için *drone*'ların kullanılmasıdır. Bu *drone*'lar sınırlı uçuş süreleri ve taşıma kapasitelerine sahip olduğu için efektif kullanılmalıdır. Bu nedenle, ölçüm için mümkün olan en hafif radyasyon dedektörü seçilmelidir. Ek olarak, ülkemizde üretilen insansız kara araçları da etkili bir radyasyon ölçümü yapabilir. Böylece alınan radyasyon verilerine göre tahliye hızlandırılabilir veya yavaşlatılabilir.

Radyasyon ölçen cihazların sinyalizasyonu elektrik kesintisi durumunda çözülmesi gereken bir problemdir. Bu problem cihazların güneş enerjisi entegrasyonu ile çözülebilir. Ancak bir diğer problem saha kararması durumunda bu sinyallerin nasıl algılanacağı ve değerlendirileceğidir. Bu problemin çözümü ise her bir radyasyon ölçüm cihazının bir *cloud* ağına bağlanıp anlık veri akışı sağlanarak internet üzerinden bu *cloud*'taki bilginin incelenip değerlendirilmesiyle sağlanabilir. Bunu yapmak için kabloluyla her bir cihazın kendi (*electric control unit*) *ecu*'sunun *cloud* hesaplarına veri akışı sağlayabilecek gömülü sistemlere sahip olması gerekir. Ek olarak ölçüm cihazlarının yerine kullanılacak radyasyon dedektörü yerleştirilmiş insansız kara ve hava araçları aynı mantıkla *cloud* hesaplarına veri aktararak veya kullanılacak doz hızı ölçerler ile yaratılacak efektif bir *ecu* sayesinde İHA'lara (İnsansız Hava Aracı) eklenecek bir hard diskle veri kaydı yapabilir. Bir diğer seçenek soft robotların kullanımıdır. Aynı teknolojiler bu robotlara entegre edilebilir ama bu robotların en faydalı yönü hareketli olmaları ve birbirinden farklı noktalarda veri alabilmeleridir. Bu nedenle, radyasyonun ilerleyişini izleme amaçlı ya da kaza sonrası iyileşme aşamalarında (*recovery phase*) kullanılabilirler.

Sinop'ta yol yoğunlukları asla ulaşamayan değerlere ulaşabilir. Bu nedenle tahliye süreleri hesaplanırken çok düşük sürüş hızları dikkate alınır. Halkın tahliyeye ne kadar hazır olduğu ve tahliye yollarına ne kadar bağlı olduğu, olumsuz etkileri azaltacak tahliye için belirleyici unsurlardan biridir. Bir diğer belirleyici faktör hava koşullarıdır. Bu nedenle, olağanüstü hava koşullarından kaynaklanan aksamalarda farklı hava koşulları için geliştirilen senaryolar dikkate alınmalıdır. Ayrıca, halkla iletişimde yaşanabilecek zorluklar, acil durumlarda yaşanan karışıklıklar ve tahliyenin diğer zorlukları önemle incelenmelidir. Bu sorunlar, nükleer santralin bulunduğu ülkeye veya

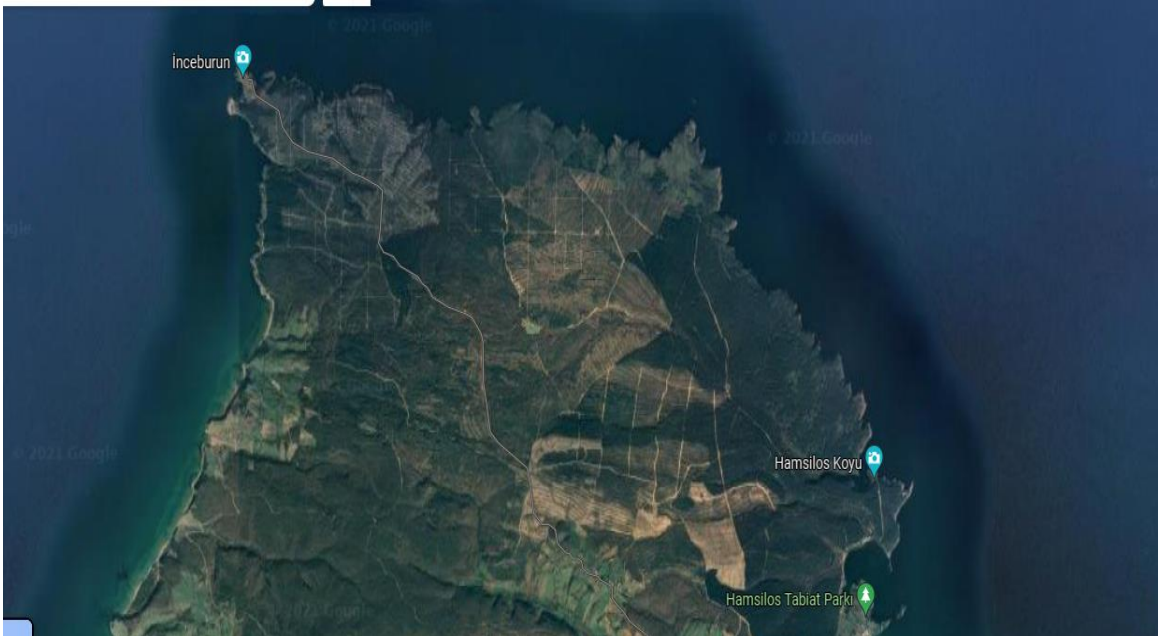
bölgeye özgü olabilir. Bir birey tahliye edildiğinde ilk aklına gelen aile üyeleriyle bir araya gelmektir. Bu nedenle aile üyelerinin bir araya gelmesi önemli bir zaman kaybı olabilir. Aile bireyleri ile bir araya gelmek isteyenlerin dahi tahliye güzergâhlarındaki yollarda kapasiteyi önemli ölçüde azaltacağı ve düzenli tahliye sırasında sorunlar yaşanabileceği göz ardı edilmemelidir. Toplumun sosyo-ekonomik ve kültürel yapısına bağlı olarak veya bireysel kaygılar nedeniyle kişiler tahliye edilmeyi reddedebilir, bu durumda tahliyeyi gerçekleştirmekle görevli acil durum personeli ciddi sorunlarla karşılaşabilir. Tahliye süresinin tahminine ilişkin analizler kapsamında yürütülen çalışmalar olan talep tahminlerinin oluşturulması ve karayolu kapasitesi ile ilgili belgelerde kullanılması gereken bilgilerin, dikkate alınarak belirlenmesi gerektiği düşünülmektedir. Halkın bilinçlendirilmesi ve iletişim kanallarının çeşitlendirilmesi tahliye eylemlerinin etkinliğini artıran ve azaltan faktörler olarak gösterilebilir. Tahliye edilen kişilerin etkin koordinasyonu ve işbirliği, tahliye eyleminin etkinliğini artıran faktörler arasındadır.

Halkın bilinçlendirilmesi noktasında insanlar iki gruba ayrılmaktadır. Bu gruplardan biri daimi yerel sakinler diğeri ise turistik amaçla ya da farklı sebeplerle bölgeye gelenlerdir. Daimi yerel sakinler için nükleer kaza sonrası yapılacak işlemler hakkında şehrin tahliyesi ve iyot tabletlerinin kullanımı noktasında bir dizi eylem planı sorumlu kurum/kuruluşlar tarafından insanlara öğretilmelidir. Bu konuda periyodik eğitim programları düzenlenip şehirdeki idareciler için sertifika zorunluluğu getirilebilir. Bu eğitimler, büyük ölçekli bir kaza durumunda görev ve sorumlulukların net bir şekilde belirlenmesine ve sağlam bir nükleer güvenlik kültürünün oluşmasına yardımcı olacaktır. Tüm amaçlanan nokta insanların paniğe kapılmadan hızlı ve etkin bir şekilde kurallara uymasıdır. Tahliye gerektiren bir kaza durumunda, insanların hedeflenen noktalara radyasyondan en az etkilenecek şekilde taşınması gerektiği için şehir sakinlerinin iletişimi büyük önem arz etmektedir. Tatil için gelenler özellikle yaz aylarında şehirde kaldıkları için ve kısa süreli geldikleri için onlara sadece yapılması gerekenler noktasında bir el kitapçığı veya fasikül şeklinde bir doküman temin edilirse insanlar daha bilinçli olup paniğe kapılmadan şehri terk edebileceklerdir.

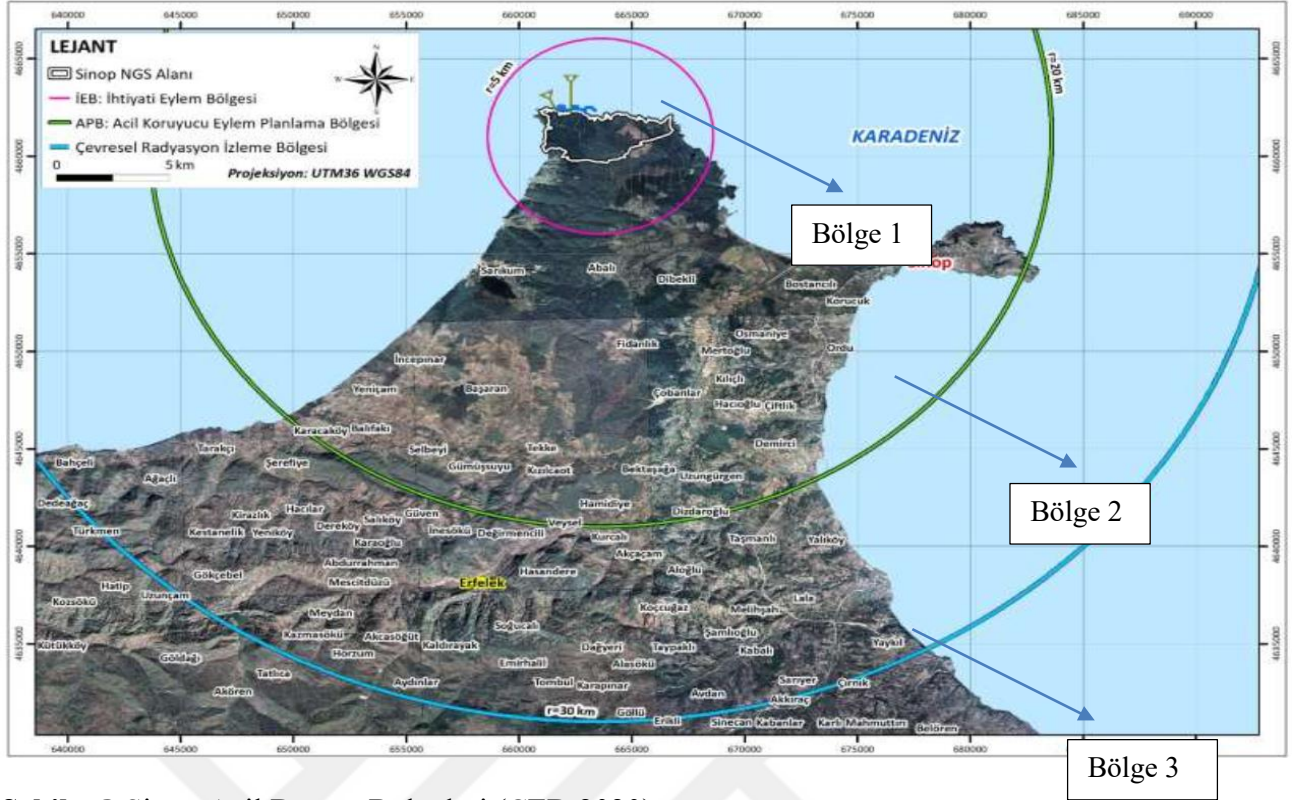
Trafik kazaları, trafik sıkışıklığı, tehlikenin kendisinden kaynaklanan ölümler, tahliye yaralanmaları, gölge tahliyeler, tahliyeyi kabul etmeme ve şiddetli hareketler tahliyenin etkinliğini azaltan faktörler arasında dikkate alınmalıdır. Tahliye süreleri tahmin edilirken, tüm bu faktörlerin tahliyenin gerçekleşeceği alana özgü olduğuna dikkat

edilmelidir.

Tahliye planlaması açısından Türkiye'ye özgü önemli faktörler, acil durum planlama bölgelerinde yoğun nüfuslu yerleşim alanlarının özel lokasyonları, acil durum planlama bölgelerinin kırsal kesimlerinde çok sayıda yerleşim yeri, göçebe halk ve hayvancılık olarak kabul edilmektedir. Sonuç olarak, kaynakların doğru bir şekilde analiz edilmesi ve tahliye sırasında oluşabilecek problemlerin tahliye planlaması sırasında alternatif çözümler ile birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Nükleer santraller için saha raporu gibi ilgili raporlardan ve TÜİK, Karayolları Genel Müdürlüğü gibi ilgili kuruluşlardan ayrıntılı ve doğru bilgiler toplanarak ve dikkate alınarak tahliye sürelerinin tahmin edilmesine yönelik analizler daha gerçekçi bir şekilde gerçekleştirilebilir.



Şekil 4.2 Sinop NGS Yapılması Düşünülen Alan



Şekil 4.3 Sinop Acil Durum Bölgeleri (ÇED,2020)

Acil durum yönetimi açısından oluşturulacak olan bölgeler halkın tahliyesini kolaylaştırmak için gerekli olan yolcu trafiğini sağlamak amacıyla oluşturulmuştur. Bölgelere ayrılırken göz önünde bulunulan kriterler aşağıda listelenmiştir:

- 1) Radyasyon tehlikesi
- 2) Trafiğin akıcılığının sağlanması
- 3) En kısa yoldan tahliyenin sağlanmasıdır.

Sinop ÇED raporunda belirtildiği gibi üç bölüme ayrılmıştır. Şekil 4.2’de Sinop iline kurulması planlanan nükleer santral alanı verilmiştir. Şekil 4.3’de Sinop NGS ÇED raporu ışığında oluşturulan bölgeler verilmektedir (ÇED, 2020). Bölgelerin tahliye sırası Bölge 1’den Bölge 3’e doğrudur.

4.3.1 Bölge 1

Tahliye için hedef bölgeyi tarayarak en uygun tahliye bölgelerine ayırmak işleri kolaylaştırmakla kalmayıp tahliye hızını, radyasyondan etkilenme süresinin azaltılmasını, oluşabilecek kazaların önüne geçilmesini sağlayarak etkin bir acil durum yönetimi sağlayacaktır. Merkezi Sinop NGS olan bu bölgeler tahliyenin kolaylaşması amacıyla üç adet oluşturulmuştur. Birinci bölge radyasyondan en çok etkilenen bölgedir. Birinci bölgede yaşayan veya Sinop NGS’de çalışan beyaz ve mavi yaka

personel radyasyon miktarının ölçülmesinden sonra acilen bölgeyi terk etmelidir. Birinci bölge yaklaşık 5 km yarıçaplı bölgeyi kapsamaktadır. Bölge yakınında yetiştirilen tarım ürünleri, yetiştirilen hayvanların etleri ve sütü olası radyasyondan etkilendiği için kesinlikle kullanılmamalıdır. Varsa su kuyuları da kullanılmamalıdır. Bu bölgede radyasyon Sinop'un değişken rüzgâr rejimlerine bağlı olarak farklı yönlere yönelebilir. Bu durum kontaminasyonu artırabilir veya azaltabilir. Eğer radyasyon salınımı yüksek seviyedeysse bu bölgede tahliye hızı artırılmalıdır. İnceburun yakınlarında kurulacak bu santralin yakınlarında çok fazla yerleşim öngörülmediğinden dolayı tahliyenin regüler hızlarda başarılı geçeceği öngörülebilir. Aynı şekilde bölgede ormanlık alan yaygın olduğundan hayvancılık faaliyetleri de minimum seviyede olacağı düşünülmektedir. Önemli bir nokta birinci bölgenin radyasyonun salınım doz hızı hakkında bilgi veriyor olmasıdır. Eğer salınım dozları yüksek seviyedeysse halkın kullanması gereken iyot tabletleri çocuk, genç, orta yaşlı ve yaşlı kesime değişken dozlarda uygulanması için oluşturulmuş bir acil durum mobil uygulamasıyla (IOS ve Android) iletişim sağlanıp tablet kullanımları koordine edilebilir. Radyasyon seviyesinin büyüklüğüne göre iyot tabletlerinin dozajları belirlenecektir. Ek olarak Bölge 1 radyasyonun salınımının tamamlanmasına rağmen yıllar sonrada olsa olası biriken kontaminasyon nedeniyle en az geri dönüş yapıp mesken tutulacak bölge olacaktır. Radyasyon salınımı durumunda deniz suyunun da kontamine olacağı düşünüldüğünde balıkçılık faaliyetlerinin de Karadeniz bölgesinde ertelenmesi sağlıklı olacaktır. Bu bölgede kontamine olan insanlar acil durumun gerekliliklerine bağlı olarak tedavi edilmeleri ve eğer gerekirse yoğun bakımda kalmaları gerekeceği için salınan radyasyonun miktarına bağlı olarak Sinop Atatürk Devlet Hastanesi bünyesinde kontrol altına alınabilir. Fakat, radyasyon tüm bölgeleri tehdit ediyorsa bu hastane de kullanılamayacağı için hastaların ambulans veya ambulans uçaklarla en güvenli illerdeki hastanelerde tedavi edilmesi gerekecektir. Eğer radyasyon salınımı tehlikeli seviyedeysse kontamine olan insanlar tüm acil durum bölgelerinden çıkacağından devletin tüm çevre illerden gelecek ambulansları, uçakları ve helikopterleri Bölge 1'den Bölge 3'e kadar önem sırasıyla tahliye için kullanılması gerekmektedir.

4.3.2 Bölge 2

Bölge 2, 20 km yarıçaplı bir alanı kapsamaktadır. Bu bölgenin önemi toplu yaşanan yerleri kapsamasıdır. Devlet daireleri, okulların çoğu, devlet hastanesi ve üniversite bu

major incident, yani ciddi kaza olarak tanımlanan durumlarda Valilik o



Sivillerin tahliyesinde bireysel otomobiller kullanılırken *carpooling* yapılmalıdır. Bu terim kişilerin kendi araçlarında başkalarını da taşıyıp tahliye etmeleri demektir. Sinop'a kayıtlı otomobil sayısı 60 bin üzerinde fakat Bölge 2'de yaşayan insanların araç sayıları bir hayli fazladır. Bu yolla bir tahliye yapılırken insanlar komşularını uyarmalı ve birlikte hareket etmelidirler. Hali hazırda Sinop'ta yaşanan park sorunu da tahliye yollarını daraltmasından dolayı Bölge 2'nin tahliyesini zorlaştırmaktadır.

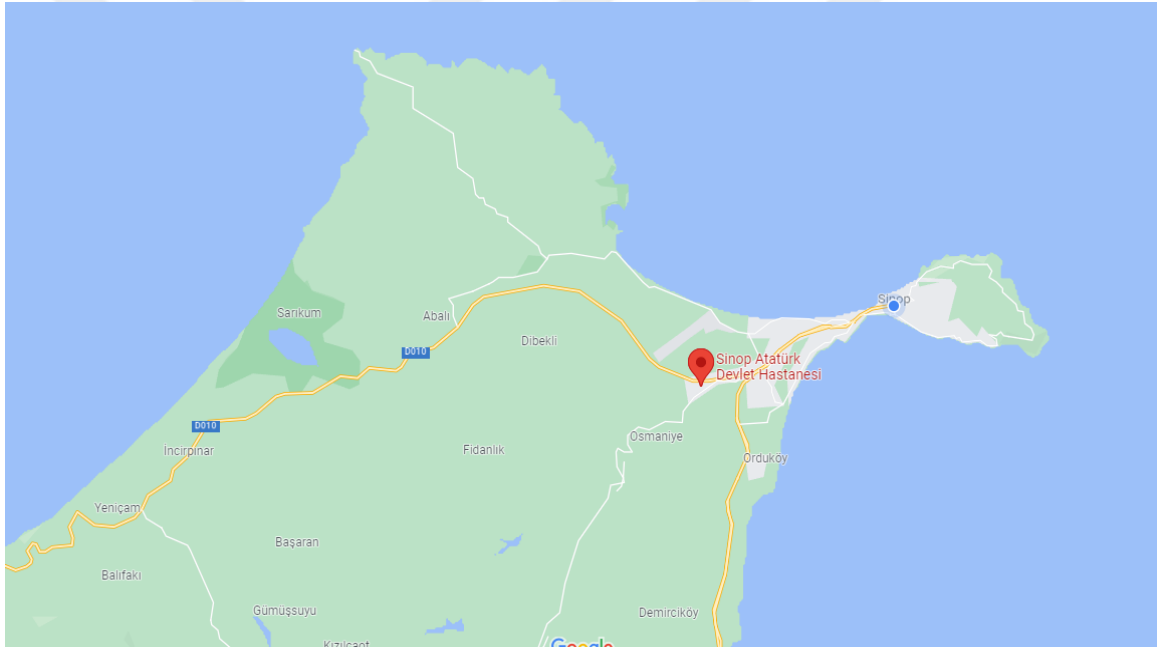
Sinop ili merkez nüfusu 65 bin civarındadır. Sinop'un tahliyesini zorlaştıran nüfusu değil tahliye yollarının darlığı ve yetersizliğidir. Bu yüzden deniz yolu kullanılarak halk kısa sürede tahliye edilebilir. Olası deniz araçları aşağıdaki haritada işaretlenmiştir. Bu yolla halkın çoğunluğu düşük kaza riskiyle tahliye edilebilir. Firkateynler, balık avcılığı gemileri, feribotlar bu tahliyede tercih edilen araçlardır. Burada deniz ulaşımında kullanılacak can yelekleri elzemdir.

40

güçleri süreci iyi takip etmelidir. MOBESE sistemleri 24 saat çalıştırılmalı ve tahliye sonrasında il dışı emniyet birimlerinde Sinop MOBESE ile izlenmelidir.

Sinop'un şehir içi trafiğini rahatlatmak için yapılması düşünülen çevre yolu projesi acil durumda kullanılacak olup tahliye hızlandıracaktır. Trafiğin akıcılığını artıracak ve güvenli bir tahliye yolu olacaktır. Fakat yapılacak yol Bölge 1'in yakınından geçmesi durumunda kullanılıp kullanılmadığı salınan radyasyon miktarına göre değişebilir.

Acil durumda bir diğer önemli aşama Sinop kapalı cezaevinin tahliyesidir. 477 kişi bu kurumda tutulmaktadır (Anonim,2021e). Bölge 2 içinde yer alan bu kurum tahliye edilirken güvenlik önemli bir sorun teşkil etmektedir. Bu yüzden zırhlı araçlarla (emniyet ve askeriye'nin sağlayacağı araçlarla) tahliye sağlanmalıdır. Tahliyenin yapılacağı olası cezaevleri Bölge 3 dışında kalan yerlerden seçilmelidir.



Şekil 4.6 Sinop Atatürk Devlet Hastanesi

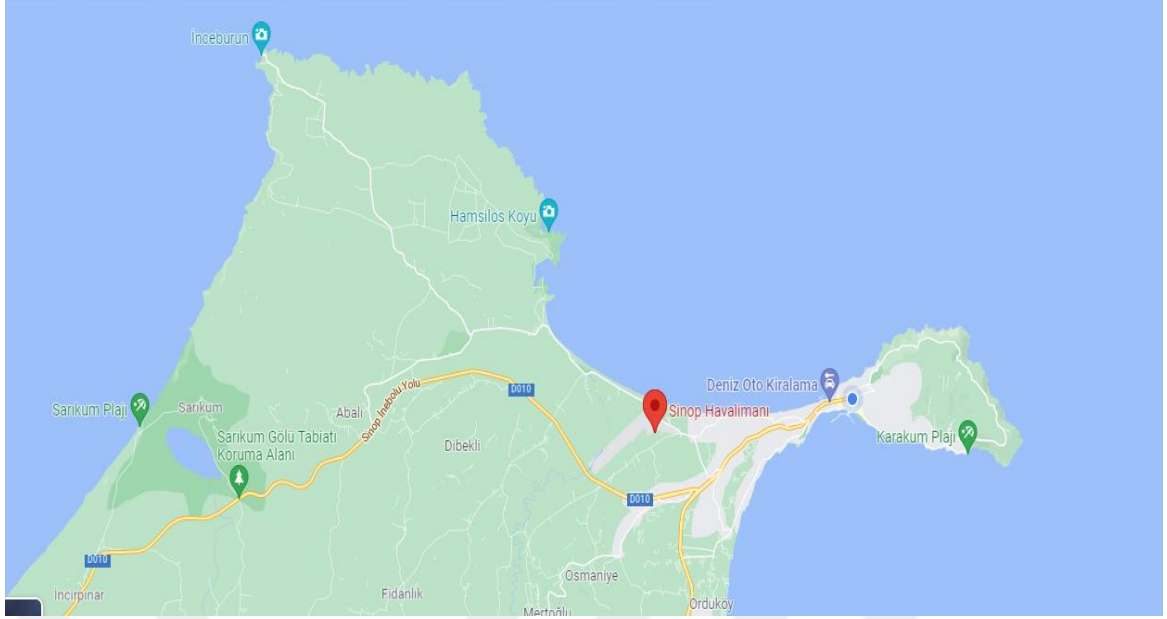
Sinop Atatürk Devlet Hastanesi'nin tahliyesi titizlik ve azim gerektirir. Aynı zamanda hızlı ve efektif olmalıdır. Yoğun bakım hastalarının durumu böylesi bir afet esnasında gerçekten düşündürücüdür. Yoğun bakım ünitelerinin mobilite problemi, çıkarılacak yoğun bakım hastalarının neyle taşınacağı, ambulansla taşınacak yoğun bakım hastalarının ambulansla nasıl bakıma devam edileceği, hastanenin acil servisinde yatan hastaların tedavisine devam edilip edilmeyeceği, hastanede çalışan doktor ve diğer sağlık görevlilerinin tahliye sorumluluk alıp almayacakları, Bölge 2'nin Bölge 1'den sonra en çok etkilenen alan olacağından hastanenin tahliyesi ivedilikle gerçekleştirilmelidir.

Ek olarak hastanenin geçici bir süreyle havalandırmalarının kapatılması gerekebileceği gibi birçok problem akıllara gelmektedir.

Kısaca bir eylem planı önermek gerekirse, önceliğin çocuklar ve yaşlılar olduğu onlardan da önce yoğun bakımda yatan çocuk ve yaşlıların olduğu, öncelikleri belirtilen hasta grubunun ambulanslarla tahliye edildiği ambulansların yetersiz kalmasıyla veya çevre illerdeki hastanelerin doluluk oranları göz önüne alınarak ambulans helikopterlerin ve kargo uçaklarının hizmet vermesi hızlı ve efektif bir tahliye yapılmasını sağlayacaktır. Ayrıca ek önlem olarak radyasyonun ölçülmesinden sonra bir acil durum alarmının verilmesiyle hastanenin tüm havalandırma sistemlerinin ve pencerelerin kapatılması elzemdir (Bushberg vd., 2007).

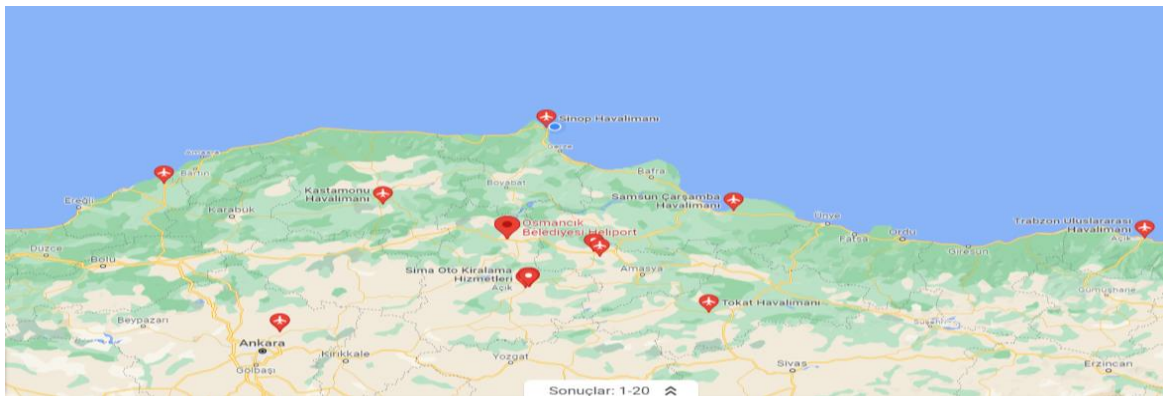
Daha önceki afetlerde ve TMI olayında da belirtilen telefon devrelerinin aşırı yüklenmesi (bu sayının yarısı için tasarlanmış devrelere 2.000.000 çağrı yapılmıştır) bölge çapında iletişim sistemlerinin iyileştirilmesi ihtiyacını göstermektedir. Hastane iletişimleri, belirlenmiş acil durum operasyon merkezleriyle bağlantılı olmalıdır. Potansiyel yetersizlikleri ortaya çıkarmak için iletişim kanalları ve hastane afet müdahalesi sık aralıklarla test edilmelidir.

Hastane yöneticileri acil durum personel planları geliştirmeli ve kademeli taburculuk, hasta sınıflandırması ve hasta-birim konsolidasyonu yöntemlerini analiz etmelidir. Yöneticiler, ailevi sorumlulukları olan ve doktor eksikliğini öngörmeleri gereken personel üyelerinden önemli ölçüde devamsızlık bekleyebilirler. Çalışan çağrı sistemleri, belirlenmiş sorumluluklar ve planlı, yapısal bir müdahale, hastanelerin acil kriz çözülene kadar operasyonları istikrara kavuşturmasına izin verebilir. Bununla birlikte, uzun vadeli krizler, birçok kurumdan devlet personelinin desteğini gerektirecek ve muhtemelen tıbbi destek ve ulaşım yardımı gerektirecektir.



Şekil 4.7 Sinop Havaalanı (Kırmızı Nokta)

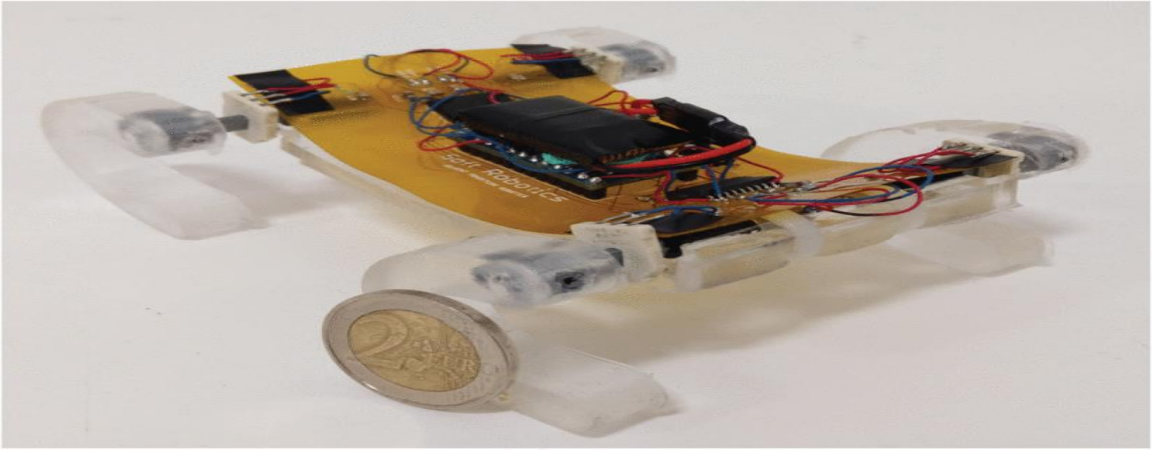
Sinop Havaalanı normal zamanlarda 2.000.000 yolcu/yıl kapasitesine sahiptir (35). Bu da haftada 38 bin günde yaklaşık 5300 yolcu kapasitesi anlamına gelir. Bölge 2'nin acil durum ehemmiyeti olduğundan yaklaşık 5 bin yolcunun farklı havayolu şirketleriyle ivedilikle tahliyesi gerçekleştirilebilir. Çevre illere ve İstanbul, Ankara, İzmir gibi metropoliten şehirlere gerçekleştirilecek havayolu ulaşımı sivillerin tahliyesinde önem arz etmektedir. Çevre illerdeki havaalanları Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Bu noktada önemli olan havaalanlarının Bölge 3 dışında bulunmasıdır.



Şekil 4.8 Çevre İllerdeki Havaalanları

Radyasyon denetimini geliştirmek, denetçilerin maruz kaldığı radyasyonu azaltmak ve sayıları giderek artan tesislerde elle yapılan tekrarlayan görevlerin sayısını en aza indirmek için IAEA, güvenlik önlemleri uygulamaları için robotik araştırmalarını

çalışmalara entegre etmiştir (Moore,1985). Geleneksel sert robotik, nükleer alanda uzun süredir kullanılmaktadır, ancak yüksek radyasyonlu ortamlarda elektronik arıza, çalışma süresini ciddi şekilde sınırlamaktadır. Silikon polimerler gibi yumuşak malzemeler ve sıvı metaller gibi yumuşak aktüatörler kullanan gelişmiş yumuşak robotiklerin gelişen alanı, sert robotikte yaygın olan arıza oranını en aza indirmektedir. İncelenen yumuşak robotik manipülatörler, özellikle nesneleri kavramak ve yerleştirmek için avantajlı olan geniş temas alanı, çok noktalı kavramaya izin vererek, yüksek serbestlik dereceleriyle önemli bir el becerisi ve mekanik uyum sunar.



şekil 4.9 Bir Soft Robot (Anonim,2021d)

4.3.3 Bölge 3

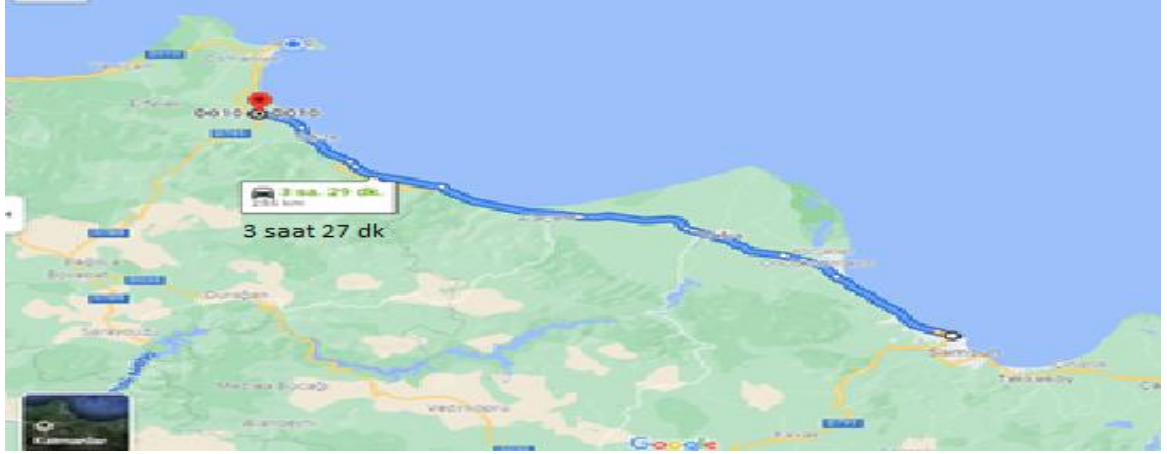
Bu alanda nüfus yerleşkeleri daha seyrekler. Tarım ve hayvancılığa da daha yatkındır. Yaklaşık 30 km yarıçapa sahip bir alanı ihtiva eder. Bu alanın boşaltılması noktasında Bölge 1 ve 2 kadar aciliyet gerektirmese de oluşabilecek kazanın büyüklüğünü ve sızan radyasyonun tehlikesini düşündüğümüzde yine de önem arz ettiğini belirtmeliyiz. Bu bölge tahliye edilirken sirenlerin kullanılması (Bölge 1 ve 2’den farklı olarak) ok efektif sonuçlar doğurabilir çünkü bu alanda yaşayan insanların tahliye başlamadan hazırlanmasına yetecek kadar zamanları olduğundan (bu durum bölge birde kısıtlı zaman olduğundan dolayı uygulanması ekstra bir paniğe neden olabileceği için kazalara da sebep olabilir bu yüzden sirenlerin kullanımı bölge 1 ve 2’de önerilmez) insanlar hazırlık yapabilir ve harekete geçebilirler. Bölge genelde kuzeybatı yönünde bir rüzgar profiline sahip olduğundan dolayı radyasyonun direktif bir yayılma göstereceğini varsayarsak bu Bölge 3’de yaşayan insanlar için olumlu bir parametredir. Çünkü radyasyon denize doğru esecektir. Meteoroloji Müdürlüğünden alınan 56 senelik rüzgar

hızı ve hakim yönüne ilişkin veri ortalama değerleriyle aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. Dikkat edilirse Haziran ayında rüzgâr güney yönünde esmektedir. Bu ayda oluşan bir kazada boşaltma hızlandırılmalıdır çünkü radyasyonun iç kesimlere doğru estiği varsayılmaktadır.

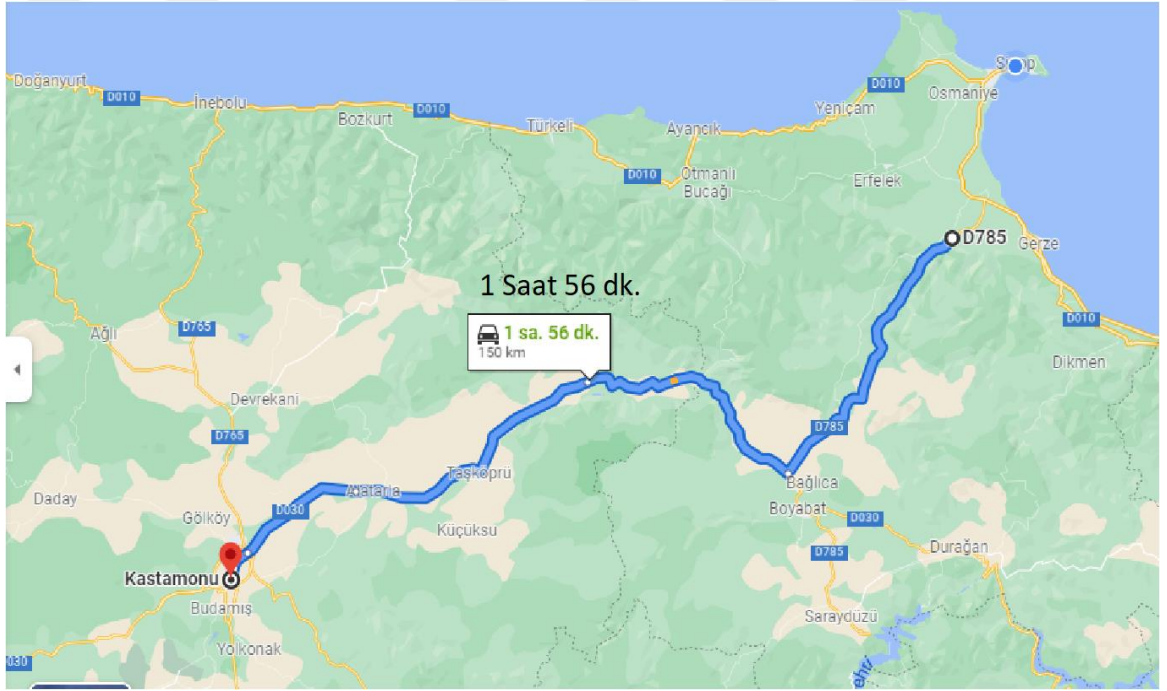
Tablo 4.1 Sinop Meteoroloji İstasyonu Ortalama ve Maksimum Rüzgâr Hızı Değerleri (1960 - 2016) (ÇED, 2020)

Açıklama/ Ay	Ortalama Rüzgâr Hızı (m/s)	Maksimum Rüzgâr Hızı Yönü
Ocak	3,8	KB (Karayel)
Şubat	4,0	KB (Karayel)
Mart	3,9	KKB (Yıldız-Karayel)
Nisan	3,7	KB (Karayel)
Mayıs	3,1	KKB (Yıldız-Karayel)
Haziran	3,2	GGD (Kible-Keşişleme)
Temmuz	3,4	KB (Karayel)
Ağustos	3,2	KB (Karayel)
Eylül	3,0	KKB (Yıldız-Karayel)
Ekim	3,6	KKB (Yıldız-Karayel)
Kasım	3,3	KB (Karayel)
Aralık	3,6	KB (Karayel)
Yıllık Ortalama	3,5	KB (Karayel)

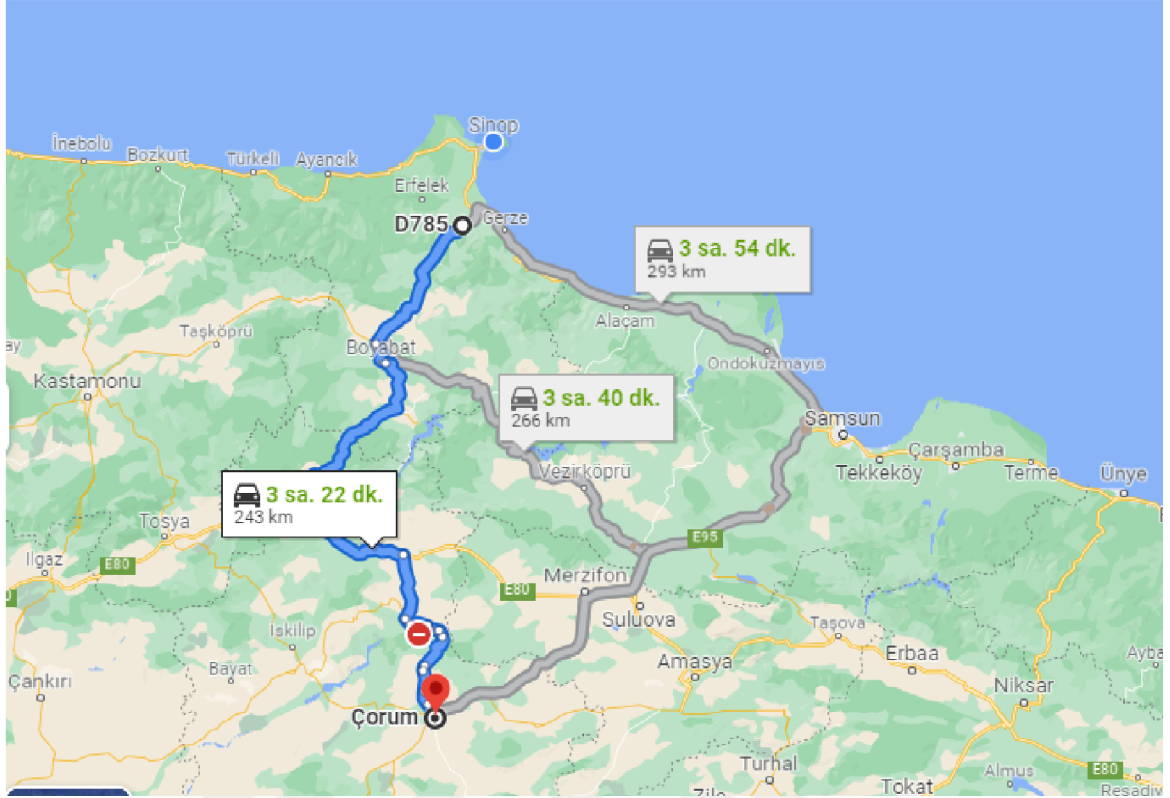
Şekil 4.10-13’de Sinop Bölge 3 sınırından diğer illere ulaşım süreleri verilmiştir. Planlı bir tahliye de özellikle hastanelerin tahliyesinde Samsun’a, Amasya’ya, Kastamonu’ya, Çorum’a direkt ulaşım süreleri şekillerden görülebilir.



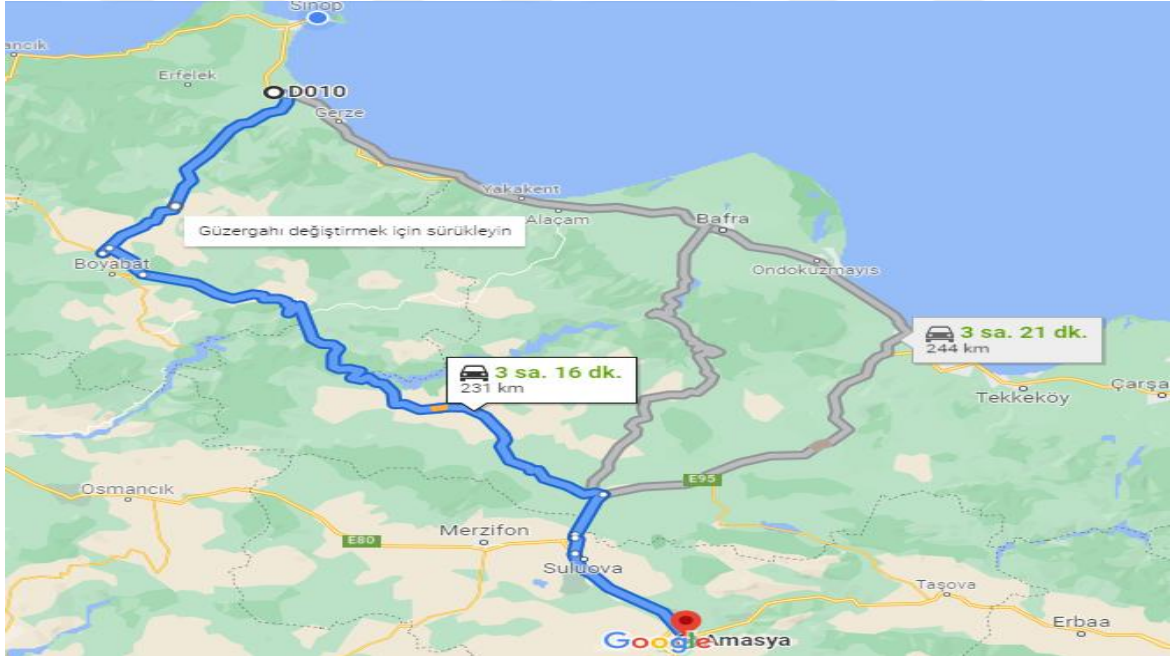
Şekil 4.10 Bölge 3'ten Samsun Merkeze Ulaşım Süresi



Şekil 4.11 Bölge 3'ten Kastamonu Merkeze Ulaşım Süresi



Şekil 4.12 Bölge 3'ten Çorum Merkeze Ulaşım Süresi ve Farklı Güzergâhlar



Şekil 4.13 Bölge 3'ten Amasya Merkeze Ulaşım Süresi ve Farklı Güzergâhlar

4.4 Gıda ve İyot Tabletleri

Elementlerin radyoaktif izotopları (radyonüklidler) çevrede doğal olarak bulunmaktadır. Bu nedenle, doğada var olan radyonüklidlerden günlük olarak radyasyona (arka plan radyasyonu olarak da bilinir) maruz kalmaktayız. Doğal radyasyon, uzaydan (yani kozmik ışıklardan) ve toprakta, suda ve havada bulunan doğal olarak oluşan radyoaktif maddelerden (radyonüklidler) gelmektedir. Gıda ve suda radyoaktivite tespit edilebilir ve doğal olarak oluşan radyonüklidlerin konsantrasyonu yerel jeoloji, iklim ve tarımsal uygulamalar gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişir. Bunların yanı sıra medikal uygulamalarda kullanılan radyoizotoplar da kişilerin radyasyona maruz kalmasına neden olmaktadır. Radyoaktivite, doğal radyonüklidleri konsantre eden endüstrilerden ve sivil veya askeri nükleer operasyonlardan çevreye yayıldıktan sonra gıdaları kirlitebilir. Radyoaktif maddeler radyoaktif olmayan maddeler gibi besin zincirinden geçer. İnsan sağlığına verilen zararın derecesi, radyonüklidlerin tipine ve insanların maruz kaldığı sürenin uzunluğuna bağlıdır. İnsanların maruz kaldığı radyasyon miktarı yerden yere ve kişiden kişiye değişir. Bir nükleer santralde acil bir durumun ardından radyoaktivite salınması durumunda, santralin yakınındaki kara, nehir, deniz ve yapılar, reaktör içinde üretilen radyonüklidlerin (nükleer fisyon ürünleri) bir karışımıyla kirlenebilir. Bu nedenle bireyler bu fisyon ürünlerinden radyasyona maruz kalabilirler.

4.4.1 Gıdalardaki Radyonüklidler

Gıdalardaki radyonüklidlerin arka plan seviyeleri aşağıdaki faktörlere bağlı olarak değişir: gıda türü ve gıdanın üretildiği coğrafi bölge. Ortak gıdalardaki radyonüklidler potasyum-40 (K-40), radyum-226 (Ra-226) ve uranyum 238 (U-238)'dir. Genel olarak, K-40 en yaygın olarak bulunan doğal radyoizotoptur. Örneğin, sütte K-40 seviyeleri 50 Bq/L civarındadır ve et, muz ve diğer potasyum için zengin ürünlerde, birkaç yüz Bq/kg'da ölçülebilir. Uranyum ve toryumun bozunmasından oluşan diğer doğal radyoizotoplar da çok daha düşük konsantrasyonlarda bulunmaktadır. Büyük miktarlarda radyoizotop çevreye salındığında gıdaları etkileyebilir. Yaş meyve ve sebze gibi gıdaların ya da hayvan yemlerinin yüzeyine tortu olarak düşerek hava veya kirli yağmur suyu / kar yoluyla kontamine edebilir. Suda radyoaktivite birikebilir; nehirler, deniz, balık ve deniz ürünleri üzerinde birikebilir. Bir kez çevreye, radyoaktif madde bitkiler, deniz ürünleri veya hayvanlar tarafından alındığında da gıdaya dâhil olabilir (Singleton, 1958).

Çevreye radyasyon salımı yapılan bir nükleer santral kazası sonrası kısa ve uzun yarı

ömürlü çok sayıda fisyon ürünü atmosfere yayılır. Bu fisyon ürünlerinden kısa yarı ömürlü olanları (ortalama birkaç gün) Xe-133, I-131, Te-132/I ve uzun yarı ömürlü olanları (2,06 ve 30,2 yıl) Cs-134 ve Cs-137 en önemlileridir. Ayrıca bunlara, Sr-90 ve uzun ömürlü plutonyum izotopları da eklenebilir. Gıdalara olası transfer edilmesinden en çok endişe duyulan radyonüklidler, şu durumlarda düşünülmüştür:

Acil endişe kaynağı olan I-131, suda ve ekinlerde bulunan geniş bir alana dağılır ve kontamine yemden süte hızla aktarılır. Bununla birlikte, I-131 nispeten kısa yarılanma ömrüne sahiptir ve birkaç hafta içinde tükenme durumuna gelir. Buna karşılık, radyoaktif sezyum da erken tespit edilebilir, daha uzun ömürlüdür ve çevrede uzun süre kalabilir. Radyoaktif sezyum ayrıca yemden süte nispeten hızlı bir şekilde aktarılır. Sezyumun gıdaya alınması da uzun vadeli bir endişe kaynağıdır. Serbest bırakılırsa uzun vadeli endişe yaratabilecek diğer radyoizotoplar stronsiyum ve plütonyumdur. Stronsiyum-90 yaklaşık 29 yıllık bir yarı ömre sahiptir ve plütonyum bundan çok daha uzun bir yarı ömre sahiptir (Pu-238: 88 yıl, Pu-239: 24100 yıl, Pu-240: 6564 yıl). Ancak hem stronsiyum hem de plütonyum çevrede nispeten hareketsizdir ve daha yerel olarak endişe vericidir. Bitkiler de radyonüklidlerin atmosferik salınımindan etkilenebilir. Bu nedenle, radyonüklidler yapraklı bitkilerden tespit edilme eğilimindedir. Sebzelerin özellikle büyük yapraklı olanları nükleer bir kazadan sonra erken evrede kontamine edilir. Süt aynı zamanda radyoaktif maddelerin hızlı transferinden dolayı erken kontamine olur. İyot ve radyoaktif sezyumun kontamine yemden süte "nispeten" hızlı transferi mümkündür. Zamanla, radyonüklidler topraktan geçtiği için yiyeceklerde de radyoaktivite birikebilir. Mantar, çilek ve av eti gibi doğadan toplanan yiyecekler, uzun süre radyolojik bir problem olmaya devam edebilir. Balık ve su mikroflorası bazı radyonüklidleri biyolojik olarak konsantre etmiştir. Ancak, sudaki radyonüklidlerin seyreltilmesiyle kontaminasyon nispeten yerel olarak sınırlı olma eğilimindedir (WHO, 1958).

4.4.2 Sağlık Etkileri

Yüksek radyasyona maruz kalma nedeniyle uzun vadede bireyler için temel sağlık endişesi kanser oluşumudur. Kanser türleri ve hedef organlar radyonüklitlerin etkilerine bağlıdır. IAEA, ortalama olarak, tüm doğal kaynaklar nedeniyle radyasyona maruziyetinin yılda yaklaşık 2,4 mSv olduğunu tahmin etmektedir - ancak bu rakam, coğrafi konuma bağlı olarak yüzde birkaç yüz değişebilir. Kanada'da, doğal olarak

oluşan arka plan radyasyonundan kaynaklanan ortalama doz, yılda yaklaşık 2 mSv'dir ve bunun yaklaşık yarısı, doğal olarak oluşan radon ve kısa ömürlü bozunma ürünlerinin solunmasından gelir. Ulusal ortalama yılda yaklaşık 0,7 mSv, kozmik ve karasal gama radyasyonundan kaynaklanır. Gıdadaki doğal radyonüklidlerin yutulmasından kaynaklanan arka plan dozunun kısmı yılda yaklaşık 0.25-0.4 mSv'dir. Kirilenmiş gıdaları tüketmek, bir kişinin vücudundaki radyoaktivite miktarını artıracak ve bu nedenle olası sağlık risklerini de artıracaktır.

Gıdalardaki radyoaktif iyot (I-131), süttten kontamine yem ve tiroid bezine hızlı geçiş özellikleri nedeniyle acil bir endişe kaynağıdır. I-131 nispeten kısa bir yarı ömre sahiptir (8 gün) ve bu nedenle doğal olarak kısa bir zaman dilimi içinde bozunacaktır. Radyoaktif iyot solunursa veya yutulması halinde, tiroid bezinde yoğunlaşacak ve tiroid kanseri riskini artıracaktır. Radyoaktif sezyum (Cs-134 ve Cs-137), radyoaktif iyotun aksine uzun bir yarı ömre sahiptir. Radyoaktif sezyum çevrede uzun süre kalabilir. Yıllarca gıda ve gıda üretimi için daha uzun vadeli bir sorun oluşturmaya devam edebilir ve insan sağlığına tehdit oluşturur. Cs-137 vücuda girerse, vücuda oldukça eşit bir şekilde dağılır. Diğer radyonüklidlerle karşılaştırıldığında Cs-137 vücutta nispeten kısa bir süre kalır. Tüm radyonüklitler gibi, Cs-137'den gelen radyasyona maruz kalma, kanser riskinin artmasına neden olur (WHO, 1958).

4.4.3 İyot Tabletlerinin Kullanımı

Büyük ölçekli bir nükleer santral kazası sonrası atmosfere yayılacak radyoaktif izotoplar arasında kısa vadede en etkili olanı I-131'dir. Radyoaktif I-131'in insan sağlığına etkilerini en aza indirmek için iyot tabletleri kullanılmalıdır. Kaza öncesi hazırlık safhasında oluşabilecek nükleer kazalar göz önünde bulundurularak iyot tabletleri sağlık ocakları, okullar, hastaneler ve eczanelerde stoklanmalıdır. İlk yardım çantalarına eklenecek iyot tabletleri kaza sonrasında oluşacak kaotik durumlarda hemen kullanılabilir olarak saklanmalıdır. INES 7 ölçeğinde oluşabilecek bir kaza durumunda insanların tahliyesi sağlanırken aynı zamanda iyot tabletlerinin kullanımı gerekebilir ve dozlar yetişkin, ergen, çocuk ve yeni doğanlarda farklılık gösterir. İyot tabletlerin takviyesi ve kullanma talimatı kaza öncesinde hazırlanmalı ve gerekli bilgiler iyot tabletlerinin saklandığı dolaplara asılmalıdır. Önceden açıklanan tahliye bölgelerinde Bölge 1 ve 2 için iyot tabletleri gerekirken Bölge 3 için dozlar düşürülebilir. Tabletlerin kullanma zamanlaması çok kritiktir. Geç alınırsa tiroit bezleri radyoaktif iyodu absorbe

eder. Çok erken alınırsa radyoaktif olmayan iyot etkisini yitirir ve radyoaktif iyot emilir. İyot tabletleri alınırken aşağıdaki şartlar düşünölmelidir:

- 1) Ne kadar radyoaktif iyodun yayıldığı
- 2) Kaza bölgesinden uzaklık
- 3) Rüzgâr ve hava şartları

Genel bir kazada kullanılması gereken dozlar aşağıdaki tablodadır:

Tablo 4.2 Uygulanacak KI Tabletlerinin Dozları

Dozlar	Potasyum İyodür
Yetişkin ve/veya Hamileler	130 mg
Çocuklar	32 mg
Yeni Doğan /Bir ila 3 yaş Arası Çocuklar	32 mg
1 aya kadar Yeni Doğanlar	16 mg

Bilinmesi gerekenler:

- 1) Potasyum iyodür tabletleri 24 saat etkilidir. Sağlık uzmanlarından gelecek bilgiye göre her gün alınmaya devam edilmelidir.
- 2) Bu tabletler sıvı yolla veya hap olarak alınabilir.
- 3) Potasyum iyodür tabletleri 5 ila 7 yıl arasında raf ömrüne sahiptir. Nemsiz, karanlık ve serin mekânlarda saklanmalıdır.
- 4) Nükleer kazada en büyük risk grubu çocuklardır. Bu yüzden onların iyot takviyesi alması önceliklidir.

4.5 Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, geçmişte yaşanan büyük ölçekli nükleer santral kazalarından alınan dersler doğrultusunda saha dışı acil durum için stratejiler önerilmiştir. Sinop ili şehir merkezine 15 km uzaklıkta kurulması düşünülen Sinop Nükleer Güç Santrali için, Sinop

ilinin yolları, dağları, rüzgâr profili gibi çeşitli parametreler üzerinde düşünülerek bir dizi tahliye ve sağlık önlemleri tez çalışmasında açıklanmıştır. Saha kararı durumunda radyasyon ölçümlerinin yapılabilmesi amacıyla fikir ve stratejiler sunulmuştur. Tahliye durumuna hazırlık olarak olası büyük kaza öncesi yerel halkın bilinçlendirilmesi, iyot tabletlerinin depolanması ve kullanımlarının düzenlenmesi gibi faaliyetlerin organizasyonu hakkında öneriler verilmiştir.

Aslında, tez çalışmasında önerilen saha dışı eylem stratejilerinin ya da ulusal/uluslararası platformlarda gerçekleştirilen saha içi ve saha dışı güvenlik iyileştirmelerinin hayata geçebilmesi için gerekli olan temel unsur güçlü bir nükleer güvenlik kültürünün oluşmasıdır. Güçlü bir nükleer güvenlik kültürünün geliştirilmesi ve sürdürülmesi, ilgili tüm tarafların odaklanmasına ve sürekli taahhüdüne bağlıdır. Nükleer santral operatörleri, nükleer santral yönetimi, nükleer sanayi kuruluşları, nükleer düzenleyiciler ve hükümetin yürütme ve yasama organlarının işbirliği halinde hareket etmeleri gerekmektedir. Herhangi bir kaza durumunda kaza öncesinde devlet kurumlarından yerel halka kadar herkesin sorumlulukları basit, net ve anlaşılır biçimde öğrenilmiş ve uygulanabilir olmalıdır. Gelecekte kamu ve özel teşebbüslerin kullanımına açık olan bu tez ışığında yeni çalışmalar da gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

- Acton, J. M., & Hibbs, M. (2012). *Why Fukushima was preventable* (p. 50). Washington, DC: Carnegie endowment for international peace.
- Anonim,(2021a).<https://nuken.tenmak.gov.tr/tr/2016-06-09-00-43-55/163-nukleer-reaktorler/1081-basincli-su-reaktoru-tipi.html> (Erişim tarihi: 2021)
- Anonim,(2021b). <https://www.afad.gov.tr/turkiye-afet-mudahale-planı> (Erişim tarihi: 2021)
- Anonim,(2021c).https://www.kuzka.gov.tr/Icerik/Dosya/www.kuzka.gov.tr_18_XN5K77RN_02-sinop.pdf (Erişim tarihi: 2021)
- Anonim,(2021d).<https://w3.bilkent.edu.tr/bilkent/miniature-soft-four-legged-robot-squad/> (Erişim tarihi: 2021)
- Anonim,(2021e) <https://sinopecik.adalet.gov.tr/kurumumuz-hakkinda> (Erişim tarihi: 2021)
- Baskak, D. C., & Büyüksarac, A. (2020). Afetlerde Acil Yardım Planlaması. *Paramedik ve Acil Sağlık Hizmetleri Dergisi*, 2(2), 68-83.
- Borovoi, A. A., & Gagarinskii, A. Y. (2001). Emission of radionuclides from the destroyed unit of the Chernobyl nuclear power plant. *Atomic Energy*, 90(2), 153-161.
- Buldurur, M. A., & Kurucu, H. (2015). İstanbul'da Afet Yönetimi ve Acil Ulaşım Yollarının Değerlendirmesi. *Planlama Dergisi*, 25(1), 21-31.
- Bushberg, J. T., Kroger, L. A., Hartman, M. B., Leidholdt Jr, E. M., Miller, K. L., Derlet, R., & Wraa, C. (2007). Nuclear/radiological terrorism: emergency department management of radiation casualties. *The Journal of emergency medicine*, 32(1), 71-85.
- Cutter, S., Barnes K. (1982). "Evacuation behavior and Three Mile Island". *Disasters*. 6 (2): 116–24. doi:10.1111/j.1467-7717.1982.tb00765.x. PMID 20958525.
- ÇED, (2020). Sinop Nükleer Güç Santrali Projesi Nihai ÇED Raporu. Ağustos 2020. <http://eced.csb.gov.tr/ced/jsp/ek1/19811> (Erişim tarihi: 2021)
- Della Santina, C., Catalano, M. G., & Bicchi, A. (2020). Soft robots. *Encyclopedia of Robotics*.
- Fernández-Arias, P., Vergara, D., & Orosa, J. A. (2020). A global review of PWR nuclear power plants. *Applied Sciences*, 10(13), 4434
- Goda, K., & Song, J. (2016). Uncertainty modeling and visualization for tsunami hazard and risk mapping: a case study for the 2011 Tohoku earthquake. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 30(8), 2271-2285.
- Golding, D., Kasperson, J. X., Kasperson, R. E., Goble, R., Seley, J. E., Thompson, G., & Wolf, C. P. (2021). *Managing nuclear accidents: A model emergency response plan for power plants and communities*. Routledge
- Halperin, J. A. (1989). Potassium iodide as a thyroid blocker—Three Mile Island to today. *DICP*, 23(5), 422-427.
- Hasegawa, A., Ohira, T., Maeda, M., Yasumura, S., & Tanigawa, K. (2016). Emergency responses and health consequences after the Fukushima accident; evacuation and relocation. *Clinical Oncology*, 28(4), 237-244.
- Hasegawa, R. (2013). Disaster Evacuation from Japan's 2011 Tsunami Disaster and the Fukushima Nuclear Accident. Study No. 05/13. Paris: Institut du Développement Durable et des Relations Internationales. Available at http://www.iddri.org/Publications/Collections/Analyses/STUDY0513_RH_DEVAST%20report.pdf.

- Hashima, M., Hasegawa, F., Kanda, S., Maruyama, T., & Uchiyama, T. (1997, September). Localization and obstacle detection for robots for carrying food trays. In *Proceedings of the 1997 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robot and Systems. Innovative Robotics for Real-World Applications. IROS'97* (Vol. 1, pp. 345-351). IEEE.
- Hennies, H. H. (1986). Radiation measurements in Germany resulting from the Chernobyl accident. *Nuclear Europe*, 6(7/8), 22-25.
- Hirano, M., Yonomoto, T., Ishigaki, M., Watanabe, N., Maruyama, Y., Sibamoto, Y., ... & Moriyama, K. (2012). Insights from review and analysis of the Fukushima Dai-ichi accident: Fukushima NPP accident related. *Journal of Nuclear Science and Technology*, 49(1), 1-17.
- Hirose, K. (2012). 2011 Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident: summary of regional radioactive deposition monitoring results. *Journal of environmental radioactivity*, 111, 13-17.
- Holt, M., Campbell, R. J., & Nikitin, M. B. (2012). Fukushima nuclear disaster (Vol. 15). Congressional Research Service.
- Hosticka, C., Kingsbury, E. R., & Bruhin, A. C. (1980). Qualification of Cables to IEEE Standards 323-1974 and 383-1974. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 27(1), 885-889.
- Hyde, R., Ishikawa, M., Myhrvold, N., Nuckolls, J., & Wood, L. (2008). Nuclear fission power for 21st century needs: Enabling technologies for large-scale, low-risk, affordable nuclear electricity. *Progress in Nuclear Energy*, 50(2-6), 82-91.
- IAEA, (1994). Convention on Nuclear Safety.
- IAEA, (2008). INES The International Nuclear and Radiological Event Scale User's Manual 2008 Edition, Vienna, Austria.
- IAEA, (2012a). Safety of Nuclear Power Plants: Design, IAEA Safety Standards, Specific Safety Requirements. Vienna, Austria.
- IAEA, (2012b). Lessons learned from the response to radiation emergencies (1945-2010).
- IAEA, (2013). IAEA Report on Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency in the Light of the Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, Action Plan on Nuclear Safety Series, Vienna, <https://www.iaea.org/publications/10634/iaea-report-on-preparedness-and-response-for-a-nuclear-or-radiological-emergency-in-the-light-of-the-accident-at-the-fukushima-daiichi-nuclear-power-plant> (Erişim Tarihi: 2022)
- IAEA, (2021). Computer Security For Nuclear Security, IAEA Nuclear Security Series No. 42-G, Vienna, Austria.
- ICS Alert, (2016). Cyber-attack against Ukrainian Critical Infrastructure. <https://www.us-cert.gov/ics/alerts/IR-ALERT-H-16-056-01>
- ICS-cert, (2017). Mar-17-352-01 Hatman - Safety System Targeted Malware (Update a). <https://ics-cert.us-cert.gov/MAR-17-352-01-HatMan-Safety-System-Targeted-Malware-Update>
- Jin, T., & Kim, J. (2018). What is better for mitigating carbon emissions—Renewable energy or nuclear energy? A panel data analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91, 464-471.
- Katsumata, A., Tanaka, M., & Nishimiya, T. (2021). Rapid estimation of tsunami earthquake magnitudes at local distance. *Earth, Planets and Space*, 73(1), 1-15.
- Katz, B. (1987). San Onofre Unit 1 loss-of-off-site power/water-hammer event. *Transactions of the American Nuclear Society*, 54.

- Kermisch, C. (2011). Questioning the INES scale after the Fukushima Daiichi accident. *Ethics, Policy & Environment*, 14(3), 279-283.
- Kızılova, Ö. (2014). *Afet odaklı kriz yönetimi: AFAD örneği* (Master's thesis, İnönü Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü).
- Kovalevich, O. M., Lysenko, V. V., Musorin, A. I., & Sokolova, I. V. (1995). Measurements of the parameters of the VVER reactor at the Kalinin nuclear power plant. *Atomic Energy* (New York), 77(3).
- Kupnyj, V. I. (1996). Chernobyl NPPs shelter site yesterday, today and tomorrow. Present status and prospects; Objekt Ukrytie: vchera, segodnya, zavtra. Nyneshnee sostoyanie i perspektivy Chernobylskovo sarkofaga.
- Langner, R., (2011). Stuxnet: dissecting a cyberwarfare weapon. *IEEE Security Privacy* 9 (3), 49–51
- Malešič, M., Prezelj, I., Juvan, J., Polič, M., & Uhan, S. (2015). Evacuation in the event of a nuclear disaster: planned activity or improvisation?. *International journal of disaster risk reduction*, 12, 102-111.
- Moore, T. (1985). Robots for nuclear power plants. *IAEA Bulletin*, 27(3), 31-38.
- NAIIC. (2012)., The Official Report of the Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission, National Diet of Japan, Tokyo (2012)
- NERHQ. (2011). Government Of Japan, Nuclear Emergency Response Headquarters, Report of the Japanese Government to the IAEA Ministerial Conference on Nuclear Safety: The Accident at TEPCO's Fukushima Nuclear Power Stations (2011), <http://www.iaea.org/newscenter/focus/fukushima/japan-report>
- Nomoto, T. (2015). Electrical systems design applications on Japanese PWR plants in light of the Fukushima Daiichi Accident (No. NEA-CSNI-R--2015-4).
- Norio, O., Ye, T., Kajitani, Y., Shi, P., & Tatano, H. (2011). The 2011 eastern Japan great earthquake disaster: Overview and comments. *International Journal of Disaster Risk Science*, 2(1), 34-42.
- Nosovsky, A. (1995). Chernobyl Nuclear Power Station: past, present, and future. In *Uranium and nuclear energy: 1995. Proceedings*.
- NRC. (1980). *Criteria for preparation and evaluation of radiological emergency response plans and preparedness in support of nuclear power plants. Interim report* (No. NUREG--0654). Nuclear Regulatory Commission.
- NRC. (2014). *Lessons Learned from the Fukushima Nuclear Accident for Improving Safety of U.S. Nuclear Plants*. Washington, DC: The National Academies Press. Available at <http://www.nap.edu/catalog/18294/lessons-learned-from-the-fukushima-nuclear-accidentfor-improving-safety-of-us-nuclear-plants>. (Erişim Tarihi: 10 Ocak 2021.)
- NRC, (2019). Jun. 2019. Nrc: Digital Instrumentation and Control. <https://www.nrc.gov/reactors/digital.html>
- Ojino, M., Yoshida, S., Nagata, T., Ishii, M., & Akashi, M. (2017). First successful pre-distribution of stable iodine tablets under Japan's new policy after the Fukushima Daiichi Nuclear Accident. *Disaster medicine and public health preparedness*, 11(3), 365-369.
- Perko, T., Prezelj, I., Cantone, M. C., Oughton, D. H., Tomkiv, Y., & Gallego, E. (2019). Fukushima through the prism of Chernobyl: How newspapers in Europe and Russia used past nuclear accidents. *Environmental Communication*, 13(4), 527-545.
- Perry, R. W., & Lindell, M. K. (2003). Preparedness for emergency response: guidelines for the

- emergency planning process. *Disasters*, 27(4), 336-350.
- Peters, H. P. (1992). The credibility of information sources in West Germany after the Chernobyl disaster. *Public Understanding of Science*, 1(3), 325.
- Pioro, I. (2013). Nuclear power as a basis for future electricity production in the world: Generation iii and iv reactors. In *Current Research in Nuclear Reactor Technology in Brazil and Worldwide*. IntechOpen.
- Romney, E. M., Lindberg, R. G., Hawthorne, H. A., Bystrom, B. G., & Larson, K. H. (1963). Contamination of Plant Follage with Radioactive Fallout. *Ecology*, 44(2), 343-349.
- Sato, Y., Ozawa, S., Terasaka, Y., Kaburagi, M., Tanifuji, Y., Kawabata, K., ... & Torii, T. (2018). Remote radiation imaging system using a compact gamma-ray imager mounted on a multicopter drone. *Journal of Nuclear Science and Technology*, 55(1), 90-96.
- Singleton, W. R. (1958). Nuclear radiation in food and agriculture. *Nuclear radiation in food and agriculture*.
- Smith, J. S., & Fisher, J. H. (1981). Three Mile Island: the silent disaster. *JAMA*, 245(16), 1656-1659.
- Takahashi, M., & Kitamura, M. (2014, February). Actions contributed to disaster level reduction of the Fukushima accident. In *5th symposium on resilience engineering managing trade-offs* (p. 271).
- Takeichi, N., Sato, Y., & Yamada, H. (1994). Chernobyl nuclear power plant accident and thyroid cancer in children; Comparison with cases of Hiroshima A-bomb survivors. *Hiroshima Igaku (Journal of the Medical Association);(Japan)*, 47(3).
- Tsuruda, T. (2013). Nuclear power plant explosions at Fukushima-Daiichi. *Procedia Engineering*, 62, 71-77.
- UNSCEAR. (2013b). Levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident after the 2011 Great East-Japan Earthquake and tsunami. Scientific Annex A in Sources, Effects, and Risks of Ionizing Radiation, UNSCEAR 2013 Report, Volume I, Report to the General Assembly. New York: United Nations. Available at http://www.unscear.org/docs/reports/2013/13-85418_Report_2013_Annex_A.pdf.
- Watanabe, N. (2001). Trends and characteristics observed in nuclear events based on international nuclear event scale reports. *Nippon Genshiryoku Gakkai-Shi*, 43(10), 1017-1024.
- World Health Organization. (1999). Guidelines for iodine prophylaxis following nuclear accidents: update 1999 (No. WHO/SDE/PHE/99.6). World Health Organization.
- Yamin, T. (2011). Nuclear disaster management. *IPRI Journal* XI, 2, 80-101.
- Yoshida, N., & Takahashi, Y. (2012). Land-surface contamination by radionuclides from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. *Elements*, 8(3), 201-206.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mertcan Pehlivan
Medeni Hali : Bekâr
Yabancı Dili : İngilizce ve İtalyanca



Eğitim Durumu

Lise : Sinop Sarı Saltuk Anadolu Lisesi, 2011
Lisans : İhsan Doğramacı Bilkent Üniversitesi Makine Mühendisliği,
2017
Yüksek Lisans : Sinop Üniversitesi Disiplinler arası Nükleer Enerji ve Enerji
Sistemleri, 2022

Mesleki Deneyim

Enginsoft : Üretim Mühendisi, 2018-2019
Destur Motor : CAD-CAM Mühendisi 2020-2021