

CİLT 6 - SAYI 2

VOLUME 6 - ISSUE 2

■ OHS ■

ACADEMY

İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ
AKADEMİ DERGİSİ

2023



İŞ SAĞLIĞI ve GÜVENLİĞİ AKADEMİ DERGİSİ
JOURNAL OF OCCUPATIONAL HEALTH AND
SAFETY

CİLT 6 – SAYI 2
VOLUME 6 – ISSUE 2

OHS ACADEMY
İŞ SAĞLIĞI ve GÜVENLİĞİ DERGİSİ
JOURNAL OF OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY



CİLT 6 ❁ SAYI 2 ❁ 2023 – VOLUME 6 ❁ ISSUE 2 ❁ 2023

e-ISSN: 2630-578X

Yılda Üç Kez Yayınlanır / Published Three Times A Year

OHS ACADEMY Dergisi yılda üç kez yayınlanan hakemli bir dergidir. Dergiye gönderilen makaleler öncelikle editörler ve yazı kurullarınca bilimsel bir anlatım ve yazım kuralları yönünden incelenir. Daha sonra uygun bulunan makaleler alanında bilimsel çalışmalarını ile tanınmış en az iki ayrı hakeme gönderilir. Hakem değerlendirmeleri sonucunda gönderilen makale ya yayınlanır ya düzeltilmek ve daha sonra yayınlanmak üzere yazara gönderilir ya da reddedilir. Tüm süreç boyunca yazar Dergipark üzerinden bilgilendirilmektedir.

OHS Academy’de yayınlanan makalelerdeki fikirler yalnızca yazarlarına aittir. Dergi sahibini, editörleri ve yayıncıyı bağlamaz.

Bu dergide yer alan tüm makaleler başvuru esnasında Turnitin veya iThenticate uygulamaları aracılığıyla benzerlik kontrolünden geçirilmektedir.

Tüm hakları saklıdır. Önceden yazılı izin alınmaksızın hiçbir şekilde yeniden basılamaz. Akademik ve haber amaçlı kısa alıntılar bu kuralın dışındadır.



OHS ACADEMY Journal is a peer-reviewed journal published three times a year. The articles sent to the journal are firstly examined by the editors and editorial boards in terms of scientific expression and writing rules. Then, the articles that are found suitable are sent to at least two different referees who are known for their scientific studies. The article submitted as a result of peer-reviews is either published, sent to the author for correction and later published, or rejected. Throughout the whole process, the author is informed via Dergipark.

The ideas in the articles published in OHS Academy belong only to their authors. It does not bind the journal owner, editors and publisher.

All articles in this journal are checked for similarity at the time of application through Turnitin or iThenticate applications.

All rights reserved. It may not be reprinted in any form without prior written permission. Short excerpts for academic and editorial purposes are excluded from this rule.

OHS ACADEMY
İŞ SAĞLIĞI ve GÜVENLİĞİ DERGİSİ
JOURNAL OF OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY



CİLT 6 ❁ **SAYI 2** ❁ **2023** – **VOLUME 6** ❁ **ISSUE 2** ❁ **2023**

e-ISSN: 2630-578X

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

<https://ohs.academy/tr>

KURUCU/ FOUNDER

Dr. Lect. Rüstü Uçan

EDİTÖRLER/ MANAGING EDITORS

Assoc. Prof. Dr. Müge ENSARİ ÖZAY (Üsküdar University)

Dr. Lect. Ayşenur GÜL (Işık University)

Hakan SEYREKOĞLU

YAZIM KONTROL EDİTÖRÜ/ SPELL CHECK EDITOR

Dr. Lect. İpek KOCAGİL ERSOY (Üsküdar University)

Rsch. Asst. Tuğçe ORAL (Üsküdar University)

**MİZANPAJ ve YAYIN EDİTÖRÜ/LAYOUT AND PUBLICATION
EDITOR**

Hakan SEYREKOĞLU

OHS ACADEMY
İŞ SAĞLIĞI ve GÜVENLİĞİ DERGİSİ
JOURNAL OF OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY



CİLT 6 ❁ SAYI 2 ❁ 2023 – VOLUME 6 ❁ ISSUE 2 ❁ 2023

e-ISSN: 2630-578X

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

<https://ohs.academy/tr>

DANIŞMA KURULU/ ADVISORY BOARD

Alfabetik Sıra ile / In Alphabetical Order

Prof. Dr. Nihat AKKUŞ (Tokyo Metropolitan University)

Prof. Dr. Sevil ATASOY (Üsküdar Üniversitesi)

Prof. Dr. Ali Fuat GÜNERİ (Yıldız Teknik Üniversitesi)

Prof. Dr. Iraj MOHAMMADFAM (Hamadan University)

Prof. Dr. Haydar SUR (Üsküdar Üniversitesi)

Prof. Dr. Nursel TELMAN (Maltepe Üniversitesi)

YAYIN KURULU/ EDITORIAL BOARD

Alfabetik Sıra ile / In Alphabetical Order

Prof. Dr. İsmail BARIŞ (Üsküdar Üniversitesi)

Prof. Dr. Emine CAN (Medeniyet Üniversitesi)

Prof. Dr. Uğur Buğra ÇELEBİ (Yıldız Teknik Üniversitesi)

Prof. Dr. İsmail EKMEKÇİ (İstanbul Ticaret Üniversite)

Prof. Dr. Gönül KUNT (Yıldız Teknik Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa YAĞIMLI (Gedik Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi Nurullah YÜCEL (Üsküdar Üniversitesi)

OHS ACADEMY
İŞ SAĞLIĞI ve GÜVENLİĞİ DERGİSİ
JOURNAL OF OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY



CİLT 6 ❁ SAYI 2 ❁ 2023 – VOLUME 6 ❁ ISSUE 2 ❁ 2023

e-ISSN: 2630-578X

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

<https://ohs.academy/tr>

BU SAYININ EDİTÖRLERİ/ THE EDITORS OF THIS ISSUE

Doç. Dr. Müge ENSARİ ÖZAY (Üsküdar Üniversitesi)

Hakan SEYREKOĞLU

YAZIM KONTROL EDİTÖRÜ/ SPELL CHECK EDITOR

Dr. Öğr. Üyesi İpek KOCAGİL ERSOY (Üsküdar Üniversitesi)

Arş. Gör. Tuğçe ORAL (Üsküdar Üniversitesi)

**MİZANPAJ ve YAYIN EDİTÖRÜ/ LAYOUT AND PUBLICATION
EDITOR**

Hakan SEYREKOĞLU

OHS ACADEMY
İŞ SAĞLIĞI ve GÜVENLİĞİ DERGİSİ
JOURNAL OF OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY



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

<https://ohs.academy/tr>

Genel Bilgiler

Makale değerlendirmesi: Dergiye gönderilen bütün makaleler, editör kurulunun onayından sonra en az iki hakem tarafından değerlendirilir. Dergimizde çift taraflı kör hakemlik sistemi uygulanmaktadır. Hakem önerileri doğrultusunda yeterli görülmeyen makaleler revizyon için yazarlara gönderilir. Revizyon sonrasında, bilimsel açıdan yeterli görülmeyen çalışmalar gerekçesi açıklanarak reddedilir. Üç hakemin ikisi tarafından kabul edilen makaleler yayına hak kazanır.

Yayın ücret politikası: Dergimiz başvuru ve yayın için herhangi bir ücret talep etmemektedir. Dergide yayınlanan makalelerin tümü tam metin olarak ücretsiz olarak indirilebilir.

Etik standartları: OHS ACADEMY İş Sağlığı ve Güvenliği Akademi Dergisi yayın etiği konusunda COPE (Committee on Publication Ethics) ve ICMJE (International Committee of Medical Journal Editors) tarafından belirlenen yayın etiği ilke, standart ve tavsiyelerini benimsemektedir. Etik kurul kararı gerektiren çalışmalar için etik kurul onayı alınmış ve belgelendirilmiş olmalıdır.

Telif (copyright) hakkı: Dergide yayımlanan yazıların yayın hakkı dergiye aittir. Dergiye makale gönderimi sırasında “telif hakkı” formu tüm yazarlar tarafından imzalanarak makale ile birlikte sisteme yüklenmelidir. Dergi yönetiminin yazılı izni olmadan söz konusu yazı bir başka dergide veya dilde yayımlanamaz.

Benzerlik oranı: Bu dergide yer alan tüm makaleler başvuru esnasında Turnitin veya iThenticate uygulamaları aracılığıyla benzerlik kontrolünden geçirilmektedir. Benzerlik oranı referanslar hariç en fazla %25 olmalıdır.

Araştırmacıların Katılım Oranları: Dergimize yayımlanmak üzere gönderilen ve birden fazla yazarı bulunan makalelerde her bir yazarın araştırmaya olan katkısı hem nitelik yönünden hem de nicelik olarak (yüzdesel gösterim) belirtilmektedir.

Ayrıntılı bilgi için <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ohsacademy>

OHS ACADEMY
İŞ SAĞLIĞI ve GÜVENLİĞİ DERGİSİ
JOURNAL OF OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY



CİLT 6 ❁ SAYI 2 ❁ 2023 – VOLUME 6 ❁ ISSUE 2 ❁ 2023

e-ISSN: 2630-578X

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

General Information

Article evaluation: All articles submitted to the journal are evaluated by at least two referees after the approval of the editorial board. Double-sided blind refereeing system is applied in our journal. Articles that are not considered sufficient in accordance with the referee's recommendations are sent to the authors for revision. After revision, studies that are not considered scientifically sufficient are rejected by explaining the reason. Articles accepted by two of the three referees are eligible for publication.

Publication fee policy: Our journal does not charge any fees for application and publication. All articles published in the journal can be downloaded for free in full text.

Ethical standards: OHS ACADEMY Journal of Occupational Health and Safety adopts the principles, standards and recommendations of publication ethics determined by COPE (Committee on Publication Ethics) and ICMJE (International Committee of Medical Journal Editors) on publication ethics. For studies requiring an ethics committee decision, the ethics committee approval must be obtained and certified.

Copyright: The publication rights of the articles published in the journal belong to the journal. During the submission of the article to the journal, the “copyright” form must be signed by all authors and uploaded to the system along with the article. This article may not be published in another journal or language without the written permission of the journal management.

The Similarity range: All articles in this journal are checked for similarity through Turnitin or iThenticate applications during application. The similarity range should be no more than 25%, excluding references.

Researchers' Participation Rates: In the articles sent to our journal for publication and having more than one author, the contribution of each author to the research is stated both in terms of quality and in quantity (percentage representation).

For detailed information <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ohsacademy>

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Araştırma Makaleleri / Research Articles

Elektrik Yapım İşi Sektöründe Risklerin Önceliklendirilmesi.....	59-84
Prioritization of Risks in the Electrical Construction Sector	
Ergün U. & Kahraman F.	
Türkiye Nükleer Afet Yönetimi için Kritik Başarı Faktörlerinin Analizi	85-103
Analysis of Critical Success Factors for Turkish Nuclear Disaster Management	
Karabulut A. & Baran M.	
Pandemi Sonrası Dijitalleşmenin İSG Açısından Mesleki Eğitime Etkilerinin FRAM Metodu ile İncelenmesi	105-115
Investigation of the Effects of Post-Pandemic Digitalization on Vocational Education in Terms of OHS by FRAM Method	
Kara H. E. & Can E.	

Derleme Makaleleri / Review Articles

Çernobil ve Fukuşima Nükleer Güç Santrali Kazalarının İş Sağlığı Güvenliği Perspektifinden Karşılaştırmalı Bir İncelenmesi	116-130
Comparative Examination of Chernobyl and Fukushima Nuclear Power Plant Accidents From The Occupational Health and Safety Perspective	
Başar Z. & Türkkan N.	



Elektrik Yapım İşi Sektöründe Risklerin Önceliklendirilmesi

Umut ERGÜN^{1*}, Funda KAHRAMAN²

¹ İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, Lisansüstü Eğitim Fakültesi, Tarsus Üniversitesi, Mersin, Türkiye

² Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Tarsus Üniversitesi, Mersin, Türkiye

Makale Tarihiçesi

Gönderim: 01.02.2023

Kabul: 12.07.2023

Yayın: 31.08.2023

Araştırma Makalesi

Öz- Mevcut piyasanın ağır rekabet koşulları, şirketlerin sahip olduğu kaynaklarını daha verimli kullanması yönünde iyileştirmeler yapmaya mecbur bırakmaktadır. Bu durumun, şirketlerin iş sağlığı ve güvenliği alanındaki planlama ve aktivitelerine de yansımaları olmaktadır. Belirlenen risklere dair; hangi riske, hangi derecede önem verilerek, risklerin giderilmesi işlemine nereden başlanması gerekliliği, risklerin giderilmesi için hazırlanacak planlamanın belirlenmesi açısından kıymetli bir veri olacaktır. Bu sayede şirket hem gereksiz zaman ve para kaybindan uzaklaşmış olacaktır hem de doğru riskleri doğru zamanda gidererek, olası iş kazalarının önüne geçmek adına uygun bir adım atmış olacaktır. Aksi durumda nispeten düşük önem sahip risklere yüksek önemler atfedilerek giderilmesi daha öncelikli olan risklerin giderilmesinin ötelenmesine yol açılarak iş kazalarının yaşanmasına sebep olunabilir. Yapılan bu çalışma, elektrik yapım işi sektöründeki bir şirketin, klasik Fine Kinney yöntemiyle hazırlanan risk değerlendirme raporunu baz alarak, Analitik Hiyerarşi Süreci, Analitik Ağ Süreci ve Bulanık Fine Kinney yöntemleriyle riskler önceliklendirilmeye çalışılmıştır. Analitik Hiyerarşi Süreci ve Analitik Ağ Süreci yöntemleri için SuperDesicion yazılımı, Bulanık Fine Kinney metodu için ise MATLAB programında bulunan Fuzzy Logic Toolbox yazılımı kullanılmıştır. Risklerin önceliklendirilmesi işleminde firmanın risk değerlendirme raporunun da hazırlanmasında rol alan firma çalışanlarından iş güvenliği uzmanları, iş yeri hekimi ve proje yöneticilerinin oluşturduğu on kişilik bir ekip görev almıştır. Bu seçimin yapılmasında iş sağlığı ve güvenliği konusunda yetkin olmaları ve firmanın faaliyetlerine hâkim olmaları dikkate alınmıştır. Kullanılan yöntemlerin tümü bir arada değerlendirilerek, karar vericiye mevcut tehlikelerin giderilmesinde; hangilerine, ne ölçüde önem atfederek öncelik verilmesi konusunda önerilerde bulunulmuştur. Sonuçlar karşılaştırıldığında bulanık Fine Kinney yönteminin en uygun sonuç ürettiği görülmüş ve Elektrik kategorisindeki tehlikelerin öncelikli olarak ele alınarak giderilmesi gerektiği önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler – Analitik ağ süreci, analitik hiyerarşi süreci, bulanık Fine Kinney, iş sağlığı ve güvenliği, risk önceliklendirme

Prioritization of Risks in the Electrical Construction Sector

Umut ERGÜN^{1*}, Funda KAHRAMAN²

¹ Department Of Occupational Health And Safety, School Of Graduate Studies, Tarsus University, Mersin, Türkiye

² Department Of Mechanical Engineering, Faculty Of Engineering, Tarsus University, Mersin, Türkiye

Article History

Received: 01.02.2023

Accepted: 12.07.2023

Published: 31.08.2023

Research Article

Abstract – The heavy competition conditions of the current market oblige companies to make improvements in order to use their resources more efficiently. It is normal for this situation to be reflected in the planning and activities of companies in the field of occupational health and safety. Regarding the identified risks; The necessity of starting the process of eliminating the risks, by giving importance to which risk and to what degree, will be valuable data in terms of determining the planning to be prepared to eliminate the risks. In this way, the company will not only avoid unnecessary loss of time and money, but also will take an appropriate step to prevent possible work accidents by eliminating the right risks at the right time. Otherwise, by attaching high importance to relatively low-importance risks, the elimination of the more priority risks may be delayed, resulting in occupational accidents. In this study, risks were tried to be prioritized with the Analytical Hierarchy Process, Analytical Network Process and Fuzzy Fine Kinney methods, based on the risk assessment report prepared by the classical Fine Kinney method of a company in the electrical construction industry.

¹ umut_ergun@tarsus.edu.tr Orcid id: 0000-0003-3048-618X

² fkahraman@tarsus.edu.tr Orcid id: 0000-0003-4333-4943

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: umut_ergun@tarsus.edu.tr Tarsus

SuperDecision software was used for Analytical Hierarchy Process and Analytical Network Process methods, and Fuzzy Logic Tool-box software in MATLAB program was used for Fuzzy Fine Kinney method. In the process of prioritizing risks, a team of ten employees consisting of occupational safety specialists, workplace physicians and project managers from the company's employees, who also took part in the preparation of the company's risk assessment report, took part. In making this selection, it was taken into account that they were competent in occupational health and safety and that they had a command of the company's activities. Evaluating all of the methods used together, the decision maker is able to eliminate the existing dangers; Suggestions were made about giving priority to which ones and to what extent. When the results were compared, it was seen that the fuzzy Fine Kinney method produced the most appropriate result and it was suggested that the hazards in the Electricity category should be addressed and eliminated.

Keywords – *Analytic hierarchy process, analytic network process, fuzzy Fine Kinney, occupational health and safety, risk prioritization,*

Atf Bilgisi: Ergün, U. & Kahraman, F. (2023). Elektrik Yapım İş Sektöründe Risklerin Önceliklendirilmesi . OHS ACADEMY , 6 (2) , 59-84 . DOI: 10.38213/ohsacademy.1246278

1. Giriş

Pek çok kriterin etkili olduğu karar verme problemlerinde, çok kriterli karar verme yöntemleri (ÇKKV) önemli bir işleve sahiptir. Bu yöntemler içerisinde Thomas L Saaty'nin literatüre kazandırdığı Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) ve Analitik Ağ Süreci (AAS) pratik kullanımları ve bilgisayar destekli çözümler sunabilmesi açısından pek çok alanda sıklıkla başvurulan yöntemler arasında bulunmaktadır. Bununla birlikte Lotfi Aliasker Zadeh'in 1965 yılında ortaya koyduğu bulanık mantık kavramı, günlük hayatta kullanılan ifadelerin yetersiz kaldığı durumlarda yeterli betimlemeyi yapabilmek için kullanılmaktadır (Akalp, 2016).

Bu çalışmada elektrik yapım işi sektöründe faaliyet gösteren bir müteahhit firmanın mevcut risk değerlendirmesindeki tehlikeler kategorize edilerek, AHS, AAS ve bulanık Fine Kinney yöntemleri ile riskler önceliklendirilmiş ve sonuçları karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın yapılmasındaki amaç elektrik yapım işi sektöründe faaliyet gösteren firmaların yönetiminde görev alan karar vericilere firmadaki mevcut risklerin giderilmesi adına bir sıralama sunmaktır. Bu sayede firmanın faaliyetleri sırasında yaşanması olası iş kazalarının önüne geçilmesi ve firma kaynaklarının doğru kullanılması mümkün olabilecektir. Literatür taraması yapıldığında bu çalışma elektrik yapım işi sektörü için risklerin önceliklendirmesi adına ilktir. Gelecek dönemde farklı sektörler için benzer çalışmalar yapılabilir ya da aynı sektör için farklı çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak bu çalışmadaki sonuçlarla karşılaştırılabilir.

Sonraki bölümlerde çalışma yapılan firmanın özellikleri, çalışma için hazırlanan materyal ve kullanılan yöntemler detaylarıyla anlatılarak elde edilen bulgular ve karşılaştırma analizleri sunulacaktır.

1.1. Literatür Taraması

AHS ve AAS yöntemleri üzerine literatürde oldukça çok çalışma var olmasına karşın, bulanık Fine Kinney yöntemi ile yapılan çalışma sayısı nispeten azdır. Elektrik yapım işi sektörü özelinde ise bulunmamaktadır. Bu anlamda yapılan çalışma literatüre özgün bir çalışma katmaktadır. Yakın tarihte yapılan çalışmalar kısaca şöyle özetlenebilir;

Aydeniz, S., U. (2020), Elektrikle yapılan çalışmalarda iş sağlığı ve güvenliği üzerine derleme çalışması yapmıştır. Bu çalışmada elektrikle ilgili kazaların nedenleri, insana etkileri ve korunmak için uyulması gereken kurallar ve elektrikle ilgili çalışmalarda mevzuatta bulunan yönetmelikleri belirtmiştir.

Bilgic, İ., O. (2018), Elektrik dağıtım sektöründe iş sağlığı ve güvenliği mevzuatının ve uygulamalarının incelenmesi ve irdelenmesi üzerine çalışma yapmıştır. Çalışmada, bir elektrik dağıtım şirketi örneğinde risk analizi ve değerlendirmeler yapılmış, şirketlerin yaşadıkları iş kazalarının sebepleri, analizleri, yaşadıkları sıkıntıların çözülebilmeleri için alınması gereken tedbirler belirlenmiştir. Yapılan analizde kabul edilebilir seviyenin çok üzerinde bir seviyesinin çıkması, sektör çalışanlarının eğitim ve tecrübelerinin olmasının gerektiği ile altyapı ve teknik ekipman anlamında yeterli seviyede olmalarının öncelikli gereklilikler olduğu neticesine ulaşılmıştır.

Akın, G., C. (2020), iş sağlığı ve güvenliği risk değerlendirme süreci için tersane işletmelerine özgü çok kriterli karar verme yöntemlerini karşılaştırmış ve mevcut tehlikeler analitik hiyerarşi süreci yöntemiyle ağırlıklandırılarak risklere ait risk skorlarını saptamıştır.

Oturakçı, M. & Dağsuyu, C. (2017), inşaat sektöründe hizmet veren orta ölçekli bir firmanın üstlendiği bir yapı işinde klasik Fine Kinney ve Bulanık Fine Kinney yöntemleriyle risk değerlendirmesindeki belirlenen tehlikelere uygulanmış, elde edilen bulguları karşılaştırdırca bulanık Fine Kinney yönteminin klasik yöntemle göre daha hassas sonuçlar ürettiğini ortaya koymuştur.

İncel, E. (2019), bir işletmede bulanık çok kriterli karar verme yöntemleriyle iş sağlığı ve güvenliği açısından riskli alanların belirlenmesi konusunda çalışma yapmıştır. Yapılan çalışmada, bulanık TOPSIS ve bulanık VIKOR yöntemleri kullanılarak belirlenen kriterler doğrultusunda işletmede iş sağlığı ve güvenliği bakımında iyileştirmeye en çok ihtiyaç duyulan alanları belirlemiştir.

Kumar, A. vd. (2017), çok kriterli karar verme yöntemlerinden ağırlıklandırılmış toplam modeli, ağırlıklandırılmış ürün modeli, ELECTRE, TOPSIS, MAUT, PROMETHEE ve VIKOR yöntemlerini incelemiş, bunlar arasındaki güçlü ve zayıf yönleri belirterek, yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmada karar verme süreçlerinde kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

Chen, C., T. vd. (2015), bulanık TOPSIS metodu kullanarak pozitif ideal sonuçlar ve negatif ideal sonuçlar yöntemleri ile tedarikçi seçimi üzerine çalışma yapmış ve kullanılan bulanık modelin tedarikçi seçimi için oldukça uygun bir model olduğunu ortaya koymuştur.

Ünal, Y. (2011), bulanık AHS ve bulanık TOPSIS uygulamaları aracılığıyla bir futbol takımına oyuncu seçimi için belirlenen kriterler aracılığıyla karar verme süreci işletmiş ve yöntemlerin hemen hemen benzer seçimler yaptığını, sadece kaleci ve defans oyuncularından birinde farklı sonuçlar ürettiğini ortaya koymuştur.

Al-Harbi, K. (2001), analitik hiyerarşi uygulamasını proje yönetiminde uygulanmasını çalışmış, yüklenici ön yeterliliği ve iş sahibinin ihtiyaçları doğrultusunda oluşturulan kriterleri karşılanması üzerine karar süreci oluşturulabileceğini bir örnekle ortaya koymuştur.

Karabıçak, Ç vd. (2020), bulanık analitik hiyerarşi prosesi yöntemi kullanılarak bir otomotiv yan sanayi firmasında tedarikçi seçimi üzerine çalışma yapmıştır. Çalışmada kalite, teslimat, fiyat/maliyet ve esneklik olarak ana kriterlere ilaveten, fiyat/maliyet için dörder adet, teslimat ve esneklik için üçer adet olarak belirlenen alt kriterlerle bulanık karşılaştırma matrisleri hazırlanmıştır. Bu sayede tedarikçi adayları için genel öncelik ağırlıklarına ulaşılmış ve en yüksek ağırlığa sahip ana ölçütlerin kalite ve fiyat/maliyet olduğunu belirlemiştir.

Eren, E. (2019), tıbbi atık lojistiğinde iş sağlığı ve güvenliği süreçlerinin iyileştirilmesi çalışmasında bulanık mantık ve analitik hiyerarşi süreci yaklaşımlarını kullanmış ve tıbbi atık toplama araçlarının rotalarının belirlenmesi üzerine önerilerde bulunmuştur.

Halıcı, A., K. (2019), metal sektöründe yaşanan elektrik kaynaklı kaza sebeplerinin önceliklendirilmesi için analitik hiyerarşi süreci yöntemi ile çalışma yapmıştır. Bu çalışmada, kaza sonrası raporlarda çalışan hatası olarak belirlenen kök-neden analizi sonuçlarının ışığında tasarım ve ekipman yerleşimi kaynaklı, sonrasında ise yönetimsel ve işletme temelli sebeplerden kaynaklandığı, çalışan hatası kapsamına giren sebeplerin en sonda olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Karakaşoğlu, N. (2008), bulanık analitik hiyerarşi süreci ve bulanık TOPSIS kullanarak bir firmanın nakliye şirketi tercihinin belirlenmesi üzerine çalışma yapmıştır. Firmanın yurtdışındaki bir müşterisine, ürünlerinin teslimatı için belirlenen kriterler üzerinden üretilen sonuçla en uygun nakliye şirketinin seçiminde yardımcı olmaya çalışılmıştır.

Pehlivanlı, U. (2019), tünel inşaatı projelerinde analitik hiyerarşi süreci yöntemini kullanarak risk yönetiminin yapılması üzerine çalışma yapmış bu çalışmayı Marmaray özelinde gerçekleştirmiştir. Çalışmada riskler; teknik riskler, deprem sel vb. doğa sebepli riskler, çalışan temelli riskler, inşaat riskleri ve yönetim riskleri olmak üzere 5 farklı risk grubuna ayrılmış ve bu risk faktörleri önceliklendirilerek, en yüksek oranlı risk grubunun inşaat ile ilgili risk grubuna ait olduğunu saptamıştır.

Ömürbek, N & Şimşek, A. (2014), analitik hiyerarşi süreci ve analitik ağ süreci yaklaşımlarını kullanarak online alışveriş sitesi seçimi çalışması yapmıştır. Pozitif ve negatif özellikler, ödeme seçenekleri ve ürün yelpazesi olarak 4 ana kriterin belirlendiği çalışmada, analitik ağ süreci yöntemine göre online alışveriş site seçimini etkileyen en önemli kriter ürün yelpazesi olarak, analitik hiyerarşi süreci yönteminde ise pozitif özellikler tespit edilmiştir. İki yöntemde de ilk alternatif birinci sırada çıkmıştır.

Dağdeviren, M. Vd. (2004), personel seçimin analitik ağ süreci yöntemini kullanarak yaptığı çalışmada, personel seçiminde kullanılacak faktörler belirlenip bu faktörler arasındaki bağımlılıklar tespit edilerek karar verme modeli geliştirilmiştir. Modelde yer alan faktörlerin global ağırlıkları AAS ile belirlenerek bu ağırlıklar aracılığıyla faktörler temelinde geliştirilen skalalar ile personel seçimi algoritması önermiştir.

Aslan, N. (2005), bir belediyede uygulama yazılımları ve veri tabanı yönetim sistemi hizmeti sağlayan firma lamm seçiminde analitik ağ süreci yöntemini kullanarak tedarikçi seçimi önerisinde bulunmuştur.

Sarı, T. (2014), otomotiv sektöründe lastik üretimi yapan bir işletmede, farklı nitelikte iki ayrı dış ahlım için AAS ve Taguchi ile AAS ve TOPSIS bütünleşik yöntemleri ile karşılaştırmalı olarak tedarikçi seçimi yapmış, daha sonra oluşturulan modellere sanal tedarikçiler ekleyerek, tedarikçi sayısındaki artışın, kurulan modeller üzerindeki etkisini belirlemiştir.

Akalp, H., G. (2016), bir iş istasyonundaki ergonomik risklerin bulanık mantık yöntemi ile modellenmesi üzerine çalışma yapmış, bulanık TOPSIS yönteminin risk değerlendirme yöntemi olarak kullanılabilirliğini araştırmış ve başarılı bir karar aracı olarak kullanılabilceğini ortaya koymuştur.

Arslan, E. (2019), bir fabrika örneği özelinde inşaat işyerlerinde risk değerlendirmesinin bulanık mantık yöntemi ile modellenmesi üzerine çalışmış geleneksel yöntemlere göre bulanık modellenmenin daha iyi sonuçlar ürettiğini ortaya koymuştur.

Aslantaş, S. (2020), iş sağlığı ve güvenliğinde risk değerlendirme süreci için bulanık çok kriterli bir model önerisinde bulunmuştur. Çalışmada yeni bir aralık değerli Pisagor bulanık analitik hiyerarşi süreci ve TOPSIS yaklaşımlarının entegrasyonuna dayanan yeni bir model denenmiş, risk değerlerinin daha makul ve kesin bir şekilde hesaplanmasını ve ayrıca gözlemlenen hastanenin izlediği klasik risk analizi yönteminin etkinliğini artırdığını saptamıştır.

Çakmak, E. (2015), bir KOBİ örneğinde iş sağlığı ve güvenliği risk değerlendirme yöntemlerinden; Fine Kinney, 5x5 L Matris, Hata türü etkileri analizi ve 3T risk değerlendirme yöntemleri ile elde edilen risk skorlarını bulanık mantık çerçevesinde incelemiş ve tüm riskler için bir risk hiyerarşisi elde etmiştir. Ayrıca çalışmada birden fazla risk değerlendirme yöntemini kapsayan bulanık mantık yaklaşımıyla elde edilen sonuçların karar verme aşamasında kullanılabilmesini ortaya koymuştur.

Doğanalp B. (2016), bulanık çok kriterli karar verme yöntemi ile öğretim üyesi değerlendirmesi üzerine çalışma yapmıştır. Çalışmada dört öğretim üyesi alternatif için kriterler oluşturularak, karar vericiler için derse ilişkin performansı en yüksek olan öğretim üyesini belirleme amacıyla bulanık TOPSIS yöntemini kullanarak en yüksekten en düşüğe dek sıralamıştır.

Irmak M. (2019), bir üniversite hastanesinde iş kazalarının incelenmesi ve bulanık TOPSIS yöntemi ile alınacak önlemlerin sıralanması üzerine çalışma yapmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre birinci öncelik eğitim, sonrasında kişisel koruyucu donanım kullanımı, üçüncü olarak mühendislik kontrollerinin uygulanması ve son olarak çalışma koşullarının iyileştirilmesi önlem sıralamasını ortaya koymuştur.

Durmaz, R., C. (2010), inşaat sektöründe hata modu ve etkileri analizi risk değerlendirme yöntemi ile kıyaslandığında, bulanık mantık yaklaşımının daha doğru ve güvenilir sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur.

Oruç R & Yıldızbaşı, A. (2020), haber yayıncılığında çalışanların iş sağlığı ve güvenliği bağlamında bulanık çok ölçütlü karar verme yöntemleriyle değerlendirilmesi üzerine çalışmıştır. Çalışmada bulanık AHS ve bulanık TOPSIS yöntemlerinin hibrit şekilde kullanılması ile en önemli risk kriterinin mobbing olduğu tespit edilmiş ve bu ortamlardan kaynaklanan risklerin düzeyleri ortamlardan kaynaklanan risklerin düzeyleri göz önünde bulundurularak önerilerde bulunmuştur.

Özcan, S., G. (2019), inşaat sektöründe iş kazalarına neden olan faktörlerin çok kriterli karar verme yöntemleriyle değerlendirilmesi üzerine çalışma yapmıştır. Çalışmada bulanık AHS ve bulanık TOPSIS yöntemleriyle 3 farklı inşaat firması ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Firmaların iş sağlığı ve güvenliği kanun ve yönetmeliklerine uyumlu çalışma niteliklerine göre bir sıralama yapılmış ve bulunan firma bazlı problemler için firmalara önerilerde bulunmuştur.

Özsarı, M. (2019), bulanık analitik hiyerarşi süreci ve bulanık TOPSIS yöntemlerinin karşılaştırılması aracılığıyla tarım işlerinde kazaya sebep olan etmenlerin tespiti üzerine örnek bir uygulama ile çalışma yapmıştır. Çalışmada tarım işlerindeki üç farklı sektör ele alınmış, sektörlerden hangisinin iş kazası sebepleri için daha riskli olduğu incelenmiş, tarım sektöründe en yüksek kaza oranının bitkisel ve hayvansal üretim alanında olduğu, sonrasında ormancılık, tomrukçuluk, balıkçılık ve su ürünleri yetiştiriciliği olduğunu ortaya koymuştur.

Zoroğlu, C. (2015), incelenen kişilerin, vücut kitle indeksi, kandaki oksijen çözünürlük indeksi ve boyun çevresi gibi bazı sağlık verilerini bir bulanık sistemde girdi olarak kullanarak, uyku apnesi hastalığına yakalanma olasılığını araştırmış ve hafif, orta ve ağır ölçülerde tahmin çıktılarını elde etmiştir.

Arıkan, R. (2014), kamu yönetiminde stratejik yönetim teknikleri üzerine, standardize edilememiş geleneksel risk değerlendirme yöntemleri yerine bulanık yöntemlerin sonuçlarını ortaya sunarak, verilerin daha tutarlı olması sebebiyle karar vericilere risk değerlendirme yaklaşımlarının modernize edilmesini önermiştir.

Gül, M & Çelik, E. (2018), demiryolu toplu taşıma sisteminde bulanık tabanlı Fine Kinney yaklaşımıyla risk değerlendirmesi yapmış sonuçlar doğrultusunda giderilmesi gereken tehlikelere dair önerilerde bulunmuştur.

Çınar, F. (2021), limandaki gemi manevraları sırasında oluşan riskleri bulanık Fine Kinney yaklaşımı ile incelemiş, kullanılan risk değerlendirme metodlarına göre bulanık Fine Kinney yaklaşımının daha tutarlı sonuçlar ürettiğini ortaya koymuştur.

Erdebili, B. ve Gür, L. (2020), bir hidroelektrik barajında klasik ve bulanık Fine Kinney yaklaşımları ile risk değerlendirmesi yapmış, çıkan sonuçların karşılaştırılması ile bulanık Fine Kinney metodunun daha hassas sonuçlar ürettiğini ortaya koymuş ve terör saldırısı, deprem ve heyelanın çalışma yapılan baraj için en önemli risklerin olduğunu belirlemiştir.

Filizci, A., E., A. & Erdebili, B. (2022), bir akaryakıt istasyonunda klasik Fine Kinney yönteminden elde edilen risk değerlendirmesi sonuçlarıyla bulanık Fine Kinney yönteminin sonuçlarını karşılaştırmış ve bulanık yöntemin daha net ve belirlenen tehlikeye özgü olduğunu ortaya koymuştur.

2. Materyal ve Yöntem

2.1 Çalışma Yapılan İşletmenin Nitelikleri

İşletme, 1981 yılında Ankara'da kurulmuştur. Halen Ankara merkezli olarak, yurdun çeşitli illerindeki şubelerinde faaliyetini sürdürmektedir. Firmanın ana faaliyet konusu elektrik yapım işidir ve ihale usulü ile aldığı işleri verilen taahhüt kapsamında tamamlamaktadır. Bu açıdan firma ülkemizdeki hemen her elektrik dağıtım şirketi ile Ana Yüklenici Firma sıfatıyla çalışabilmektedir. Elektrik yapım işi, yeni elektrik üretim ve dağıtım tesisleri kurmak ve devreye almak ile mevcut tesislerin büyütülmesi ve modernizasyonu ya da onarım işleri olarak tanımlanabilir.

Firma; 2.800 m² kapalı, 22.200 m² açık alana sahip şantiye sahasında kullanacağı direk, armatür, trafo, kablo, cıvata, travers ve benzeri malzemeleri depolamakta ve gerektiğinde çalışma sahasına sevk etmektedir. Çalışma sahası ilin hemen hemen her ilçesinde olabilmektedir. Yıllık, aylık ve haftalık planlamalar dahilinde belirlenen çalışma lokasyonları, oldukça geniş bir coğrafyaya dağılmış durumdadır. İşletmede insan kaynakları ve iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili kayıtlar düzenli biçimde tutulmaktadır. Firmada beyaz yaka sınıfında yaklaşık 70 personel, mavi yaka sınıfında ise yapılan işin ihtiyacına göre 400 ila 600 arası personel istihdam edilmektedir.

2.2 Çalışmada Kullanılacak Risk Değerlendirmesi

Firma işlere başlamadan önce çalışma yapacağı lokasyondaki şartları ve yapılacak işin niteliğini gözeterik risk değerlendirmesi hazırlamakta ve mevzuata uygun şekilde asgari olarak her yıl yenilenmektedir. Bunun ötesinde firma, yeni bir ekipman ya da araç gereç kullanmaya başladığında ya da bir iş kazası olduğunda yine risk değerlendirmesini güncellemektedir. Çalışmaya konu olacak riskler de bu risk değerlendirmesinde var olan, yapılan işe özgü olan risklerin önceliklendirilmesi üzerinedir. Risk değerlendirmesi Fine-Kinney risk değerlendirme metodu ile oluşturulmuş olup tehlikeler tablosu bu risk değerlendirmesinin ilgili yerleri kullanılarak elde edilmiştir. Tehlikeler, risk değerlendirmesinde bulunan tehlikelerin kategorize edilmesi ile oluşturulmuştur Toplam 915 tehlikenin sıralandığı tehlike tablosunun bir kısmı Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Şirketin Fine Kinney risk değerlendirme raporundan bir görünüş.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Tehlike Kodu	Ana Kriter	Alt Kriter	Tehlikenin Tanımı	Olasılık	Siddet	Frekans	Sonuç	Riskin Derecesi	Risk Öncelik Değeri
1	T001	Kimyasal Etmenler	Yangın	İş makinası üzerinde bulunan akünün hasar alması sonucu yangın	1	40	1	40	Olası Risk	5
2	T002	Teknik Şartlar	Elektrik	Enerjili hatta yakın çalışmada topraklama yapılmaması	3	100	3	900	Cok Yüksek Risk	5
3	T003	Teknik Şartlar	Elektrik	Yeterli topraklama yapmadan çalışma	3	100	3	900	Cok Yüksek Risk	5
4	T004	Teknik Şartlar	Elektrik	Aydınlatma sokak fazının kesinti yapılan nokta dışından beslenmesi	3	100	3	900	Cok Yüksek Risk	5
5	T005	Planlama	Çalışma Ortamı	Çalışılan bölge değiştiğinde topraklamaların yerlerinin değiştirilmemesi	3	100	3	900	Cok Yüksek Risk	5
6	T006	Planlama	Kişisel Güvenlik	Ağaç direkte birden fazla kişinin çalışması	3	100	3	900	Cok Yüksek Risk	5
7	T007	Teknik Şartlar	Ekipman/ Malzeme	AG/YG topraklama aparatının kusurlu olması, eksik olması ya da elinde hiç bulunmaması	3	100	3	900	Cok Yüksek Risk	5
8	T008	Teknik Şartlar	Elektrik	Kabin içi topraklamanın yapılmaması/yanlış yapılması	3	100	3	900	Cok Yüksek Risk	5
9	T009	Planlama	Çalışma Ortamı	Sahada Alpek topraklamanın bulunmaması	3	100	3	900	Cok Yüksek Risk	5
10	T010	Planlama	Çalışma Ortamı	Topraklama kazığı çakılmadan ya da yeterince çakılmadan çalışmaya başlanması	3	100	3	900	Cok Yüksek Risk	5
11	T011	Teknik Şartlar	Ekipman/ Malzeme	Topraklama teçhizatının deforme olması	3	100	3	900	Cok Yüksek Risk	5
12	T012	Planlama	Çalışma Ortamı	Enerjili hatta geri besleme olması	3	100	3	900	Cok Yüksek Risk	5
13										

2.3 Yöntem

Çalışmada Analitik Hiyerarşi Süreci, Analitik Ağ Süreci ve Bulanık Mantık ve Fine-Kinney risk değerlendirme yöntemleri kullanılarak risklerin ağırlıklandırılması ve derecelendirmesi uygulanmıştır. Çalışmada kullanılan yöntemlerin uygulama sıralaması; Analitik Hiyerarşi Süreci, Analitik Ağ Süreci ve Bulanık Mantık şeklindedir. Bu yöntemlerin

kullanımının seçilmesinin sebebi çok kriterli karar verme yöntemleri olarak uzun bir süreden beri, literatürde güvenilirliği kabul edilmiş ve farklı çalışmalarda yaygın bir şekilde kullanılmış olmasıdır.

Çalışmaya iş yerinde görev alan iş sağlığı ve güvenliği uzmanları, iş yeri hekimi ve proje yöneticisi olmak üzere toplam 10 çalışan dahil edilerek görüşleri anket yöntemi ile toplanmıştır. Çalışmada AHS ve AAS için literatürde kullanımı kabul görmüş olan, Creative Decisions Foundation kuruluşunun ürettiği Super Decisions isimli ücretsiz program kullanılmıştır. Bulanık Fine-Kinney uygulaması için ise MATLAB programında bulunan Fuzzy Logic Toolbox yazılımı kullanılmıştır.

2.3.1 Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi

Literatürde ilk olarak 1968 yılında James H. Myers ve Mark I. Alpert, tarafından, tüketicilerin satın alma tutumlarını anlama ve ölçme üzerine yaptıkları çalışmada yer bulan AHS, daha sonraları 1980 yılında Thomas L. Saaty tarafından yaptığı çalışmalarla geliştirilmiştir. 1 ile 9 arasında bir ölçeklendirme kriteri belirleyen Saaty'nin bu yaklaşımı günümüzde de kullanılan yöntemin temellerini oluşturmuştur. Karar verme sürecine hem nicel hem de nitel değerlendirmelerin dahil edilebilmesine olanak sağlayan bu yöntem günümüzde popülerliğini korumaktadır (Karabıçak vd., 2020).

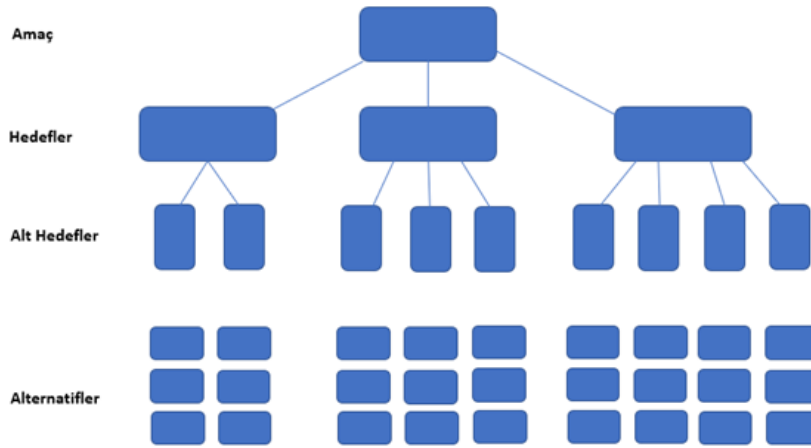
AHS yöntemi, karar vericilere seçenekler arasında tercih yaparken hem nicel hem de nitel verilerin dahil edilmesine, dolayısı ile de daha doğru sonuçlar vererek değerlendirmede yardımcı olmaktadır. Literatür taraması kısmında anılan çalışmalar değerlendirildiğinde anlaşılacağı üzere iş sağlığı ve güvenliği açısından da tehlikelerin önem ve öncelik değerlerinin belirlenmesi konusunda fayda sağlamaktadır.

AHS yöntemi temelde dört aşamada gerçekleştirilmektedir (Eren, 2019). Bunlar:

- 1- Hiyerarşik bir yapı oluşturulması
- 2- İkili karşılaştırma matrisinin hazırlanması
- 3- Kriter ağırlıklarının tutarlılıklarının belirlenmesi
- 4- Sonuç öncelik değerine göre alternatiflerin seçilmesi

olarak karşımıza çıkmaktadır.

Probleme ait hiyerarşik yapı oluşturma aşaması, problemle ilgili kriterlerin ve alternatif seçeneklerin belirlenmesi ile başlar. Konunun uzmanların görüşlerine ve/veya literatürde geçen sonuçlara bakılarak bu kriterlere ağırlıklar atanır. Sonrasında kriterlerle birlikte şayet varsa alt kriterler de belirlenir. Genel hiyerarşik yapı Şekil 1. gösterilmiştir (Gülenç ve Bilgin, 2010). Burada amaç karar vericilerin karar verme süreçlerini kolaylaştırmaktır. Ayrıca hiyerarşik düzen gösterimi, karar vericiye ana ve alt kriterlere toplu bir bakış açısında bakma rahatlığını sağlar ve bu durum da karar vericinin homojen bir karar vermesine imkân tanır (Halıcı, 2019).



Şekil 1. AHS'nin hiyerarşik yapısı (Gülenç, Bilgin, 2010)

Hiyerarşinin oluşturulmasını takiben ikili karşılaştırma matrisinin elde edilmesi aşamasında, kriterler ikili olarak önem derecelerine göre; "Eşit önemli", "Orta derecede önemli", "Kuvvetli derecede önemli", "Çok kuvvetli derecede önemli" ve "Kesin önemli" ölçek ifadelerine göre değerlendirilir. İkili karşılaştırmada kullanılan bu değerlendirme ölçeği Tablo 2'de bulunmaktadır. Gerçekleştirilen ikili karşılaştırmalarla kriterlerin önem dereceleri birbirlerine göre kıyaslanarak belirlenir (Karakaşoğlu, 2008).

Tablo 2. Karşılaştırmada kullanılan önem dereceleri (Saaty 1-9 önem skalası) (Karakaşoğlu, 2008)

Değer	Tanım	Açıklama
1	Eşit önemli	İki seçenekte eşit derecede öneme sahip
3	Orta derecede önemli	Tecrübe ve yargı bir kriteri diğerine karşı biraz üstün kılmakta
5	Kuvvetli derecede önemli	Tecrübe ve yargı bir kriteri diğerine karşı oldukça üstün kılmakta
7	Çok kuvvetli derecede önemli	Bir kriter diğerine göre üstün sayılmıştır
9	Kesin önemli	Bir kriterin diğerinden üstün olduğunu gösteren kanıt çok büyük güvenilirliğe sahip
2,4,6,8	Ara değerler	Uzlaşma gerektiğinde kullanılmak üzere iki ardışık yargı arasındaki değer

İkili karşılaştırma matrisinin oluşturulmasının ardından bu matrisin tutarlılık değerinin (CR) değeri hesaplanır. Bu hesaplama karar vericinin kriterler arasında karşılaştırma yaparken tutarlı davranıp davranmadığının belirlenmesi için yapılmaktadır (Pehlivanlı, 2019). Hesaplanan değer 0,10'un üzerindeyse kriterlere atanan matris girilen değerler gözden geçirilmelidir (Saaty, 2014).

Nihai öncelik değerine göre alternatiflerin seçilmesi: Değerlendirmelerin sonunda elde edilen ikili karşılaştırma matrisi aracılığıyla en uygun seçenek belirlenir. AHS yönteminin bu son adımında tüm alternatifler puanlanır ve bir öncelik vektörü oluşturulur. Tüm öncelik vektörleri değerlendirilerek bir karma öncelik vektörü elde edilir ve bu vektör son kararın alınmasında kullanılır. Karar verici bu vektörü kullanarak seçim yapar (Çitli, 2006).

2.3.1.1 Analitik Hiyerarşik Yapının Oluşturulması

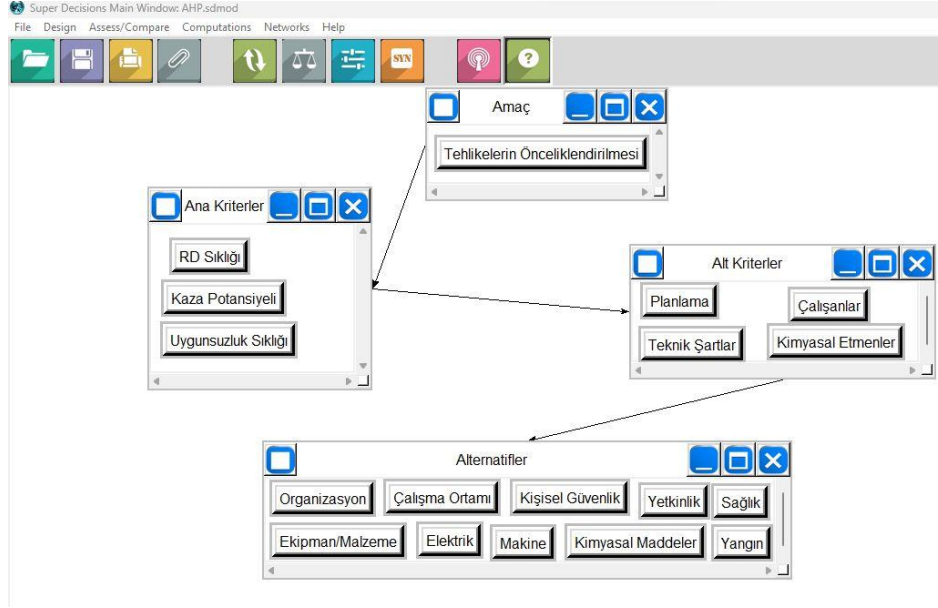
Çalışmada anılan tehlike başlıkları; Planlama, Teknik Şartlar, Çalışanlar ve Kimyasal Etmenler olarak belirlenmiştir. Bu dört ana kriter de Organizasyon, Çalışma Ortamı, Kişisel Güvenlik, Ekipman/Malzeme, Makine, Elektrik, Sağlık, Yetkinlik, Kimyasal Maddeler ve Yangın olmak üzere on altı kriterle detaylandırılarak sınıflandırılmıştır. Bu seçimler literatür taraması sonucu ve firmadaki İSG profesyonellerince detaylandırılmıştır (Akın, 2020). Tehlike tanımları ve bağlı alt tehlikenin tablosunu oluşturulan AHS hiyerarşisi Şekil 2'de belirtilmiştir.



Şekil 2. AHS hiyerarşisini oluşturan ana ve alt kriterler

2.2.1.2 Ana Kriterler İçin Önem Ağırlıkları

Çalışmada önce ana kriterler için ardından da alt kriterler için analitik hiyerarşi süreci işletilmiştir. Amaç olan Tehlikelerin Önceliklendirilmesi başlığına dair ana kriterlerin ve alt kriterlerin hiyerarşik yapısı Şekil 3'te gösterilmektedir.



Şekil 3. AHS için kurulan hiyerarşik yapı

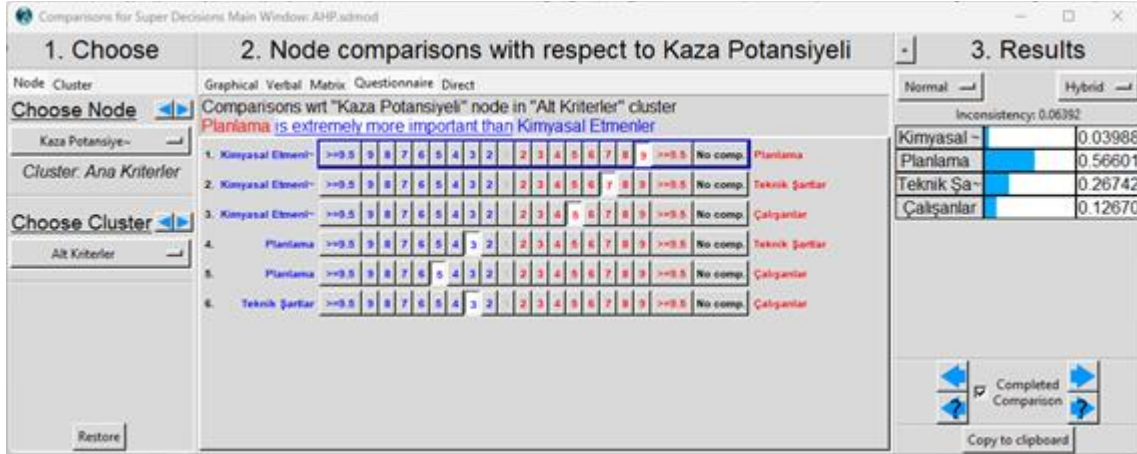
Şekil 4'te Ana kriterlerin karşılaştırma sonuçları bulunmaktadır. Ekran görüntüsündeki 3. Results alanında bulunan Inconsistency (Tutarlılık) değerinin hem analitik hiyerarşik süreci hem de analitik ağ sürecinde 0,1'den küçük olması önemlidir. Aksi durumda verilen kararlar arasında bir tutarlılık olduğu ve kararların tekrar gözden geçirilmesi önerilmektedir. Tutarlılık değerinin altında bulunan grafik ve sayısal değerler ise belirtilen cevaplara göre şekillenmekte ve anlık olarak sunulabilmektedir. Buna göre ana kriterler olan RD Sıklığı (Risk Değerlendirme Raporunda Bulunma Sıklığı), Kaza Potansiyeli (Kazaya Dönüşme Potansiyeli), Uyumsuzluk Sıklığı (Sahada Tespit Edilen Uyumsuzluk Sıklığı) parametreleri için oluşturulmuş karşılaştırma tablosu şekilde görülmektedir.

1. Choose	2. Node comparisons with respect to Tehlikelerin Öncelik~	3. Results
Node Cluster Choose Node Tehlikelerin Ö~ Cluster: Amaç Choose Cluster Ana Kriterler Restore	Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct Comparisons wrt "Tehlikelerin Önceliklendirilmesi" node in "Ana Kriterler" cluster Kaza Potansiyeli is strongly more important than RD Sıklığı 1. Kaza Potansiyeli- >=9,5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9,5 No comp. RD Sıklığı 2. Kaza Potansiyeli- >=9,5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9,5 No comp. Uyumsuzluk Sık~ 3. RD Sıklığı >=9,5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9,5 No comp. Uyumsuzluk Sık~	Normal Hybrid Inconsistency: 0.03703 Kaza Pota~ 0.63699 RD Sıklığı 0.10473 Uyumsuzl~ 0.25829 Completed Comparison Copy to clipboard

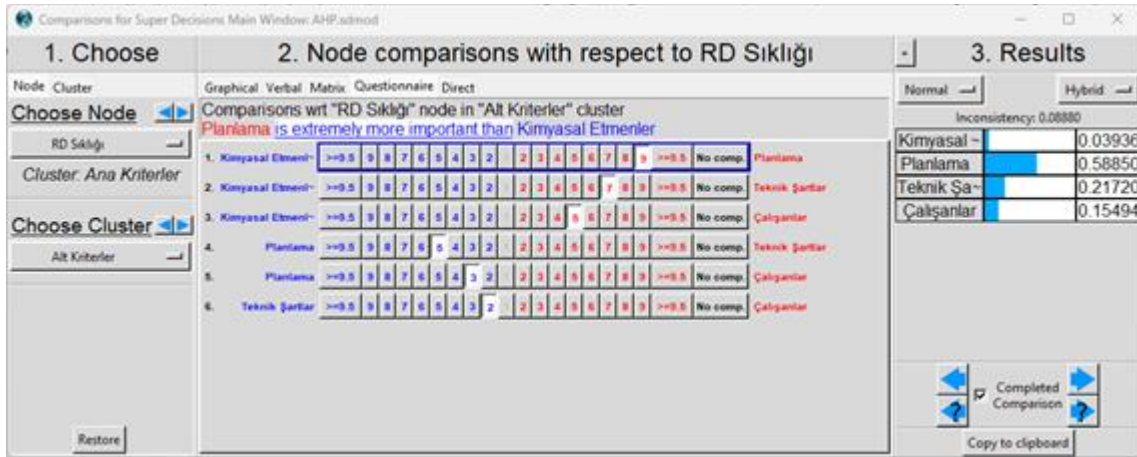
Şekil 4. Ana kriter karşılaştırması sonuçları

2.2.1.3. Alt Kriterler İçin Önem Ağırlıkları

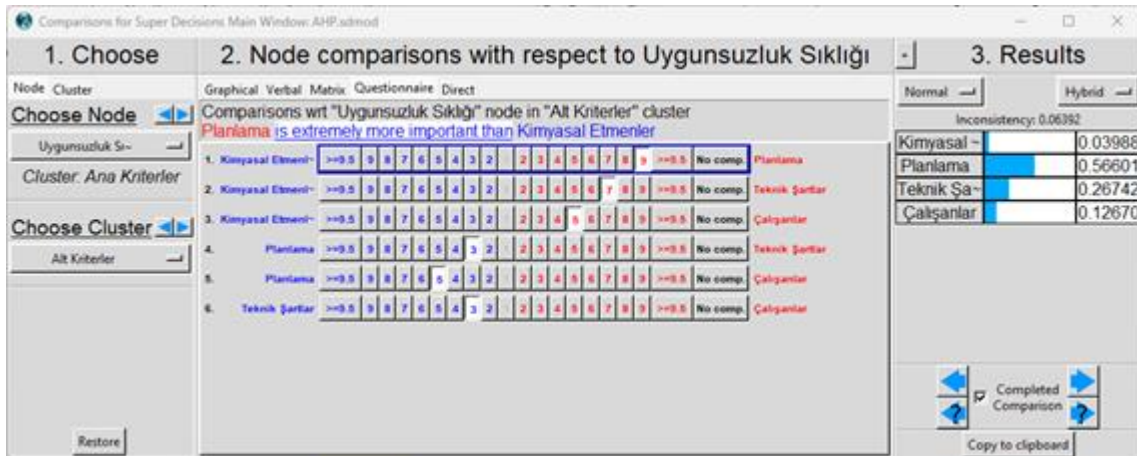
Bu aşamada ana kriterlere göre alt kriterlerin karşılaştırılması işlemi yapılmaktadır. Buna göre alt kriterler olan Planlama, Teknik Şartlar, Çalışanlar ve Kimyasal Etmenler, ayrı ayrı olacak şekilde risk değerlendirme raporunda bulunma sıklığı, kazaya dönüşme potansiyeli ve saha uyumsuzluk sıklıklarına göre ayrı ayrı karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmaların sonuçları yine tutarlılık değerleri ve önem ağırlıkları aynı ekran olacak şekilde program tarafından sunulmaktadır. Şekil 5'te Kaza Oluşturma Potansiyeline göre, Şekil 6'da Risk Değerlendirme Raporunda Bulunma Sıklığına göre ve Şekil 7'de de Saha Uyumsuzluk Sıklığına göre alt kriterlerin karşılaştırma sonuçları verilmiştir.



Şekil 5. Kaza oluşturma potansiyeline göre alt kriterlerin karşılaştırılması



Şekil 6. Risk değerlendirmedeki sıklığa göre alt kriterlerin karşılaştırılması

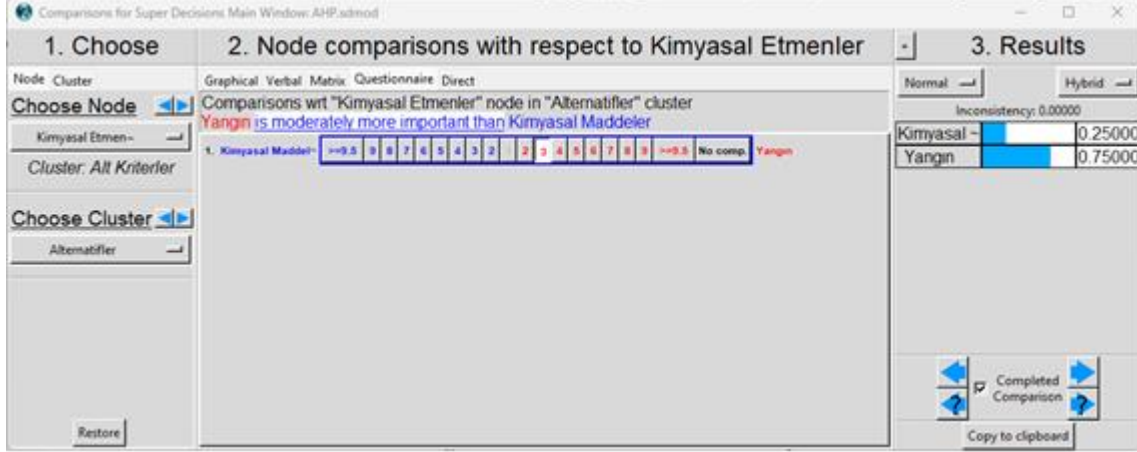


Şekil 7. Saha uygunsuzluk sıklığına göre alt kriterlerin karşılaştırılması

Sonuçlara bakıldığında görülmektedir ki, bu karşılaştırma ların tamamında birbirine yakın değerlerle (%56, %58 ve %56) Planlama alt kriteri daha önemli olarak tespit edilmiş ve önceliklendirmede öne çıkmıştır.

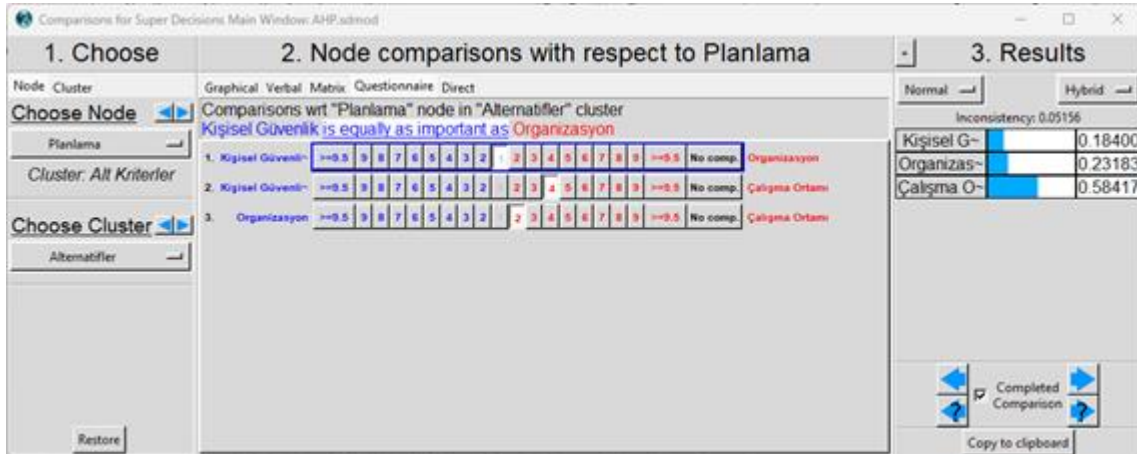
2.2.1.4. Alternatifler İçin Önem Ağırlıkları

Problem bu aşamasında artık içlerinden hangisinin daha önemli olduğunu bulmaya çalıştığımız hedef başlıklarımızın tespit edilmesi sürecine geçilmiştir. Bu aşamada Planlama alt kriterinin altındaki, Organizasyon, Çalışma Ortamı ve Kişisel Güvenlik, Teknik Şartlar alt kriteri altındaki, Ekipman/Malzeme, Makine ve Elektrik, Çalışanlar alt kriteri altındaki Sağlık ve Yetkinlik ve son olarak Kimyasal etmenler alt kriteri altındaki, Kimyasal Maddeler ve Yangın karşılaştırılacaktır. Program çıktısı olarak Şekil 8’de Kimyasal Etmenler, Şekil 9’da Planlama, Şekil 10’da Teknik şartlar ve Şekil 11’de Çalışanlar altındaki hedef öğelerin karşılaştırmaları yine önem ağırlıkları ve tutarlılık değerleri ile verilmiştir.



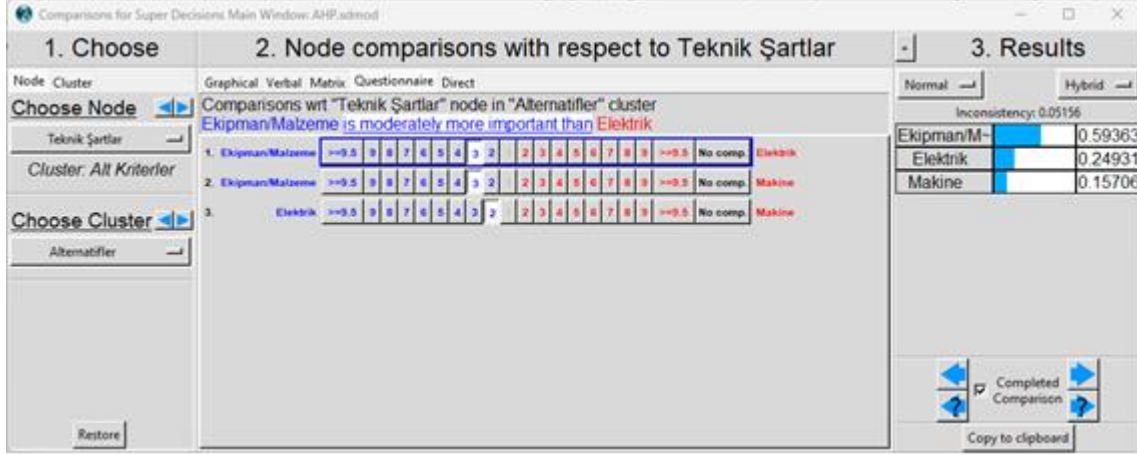
Şekil 8. Kimyasal etmenler başlığı altındaki hedeflerin karşılaştırması

Yukarıdaki verilere bakıldığında, Yangın, Kimyasal Maddelere göre 0,75’e 0,25 oranında bir ağırlığa sahip olduğu görülmektedir.



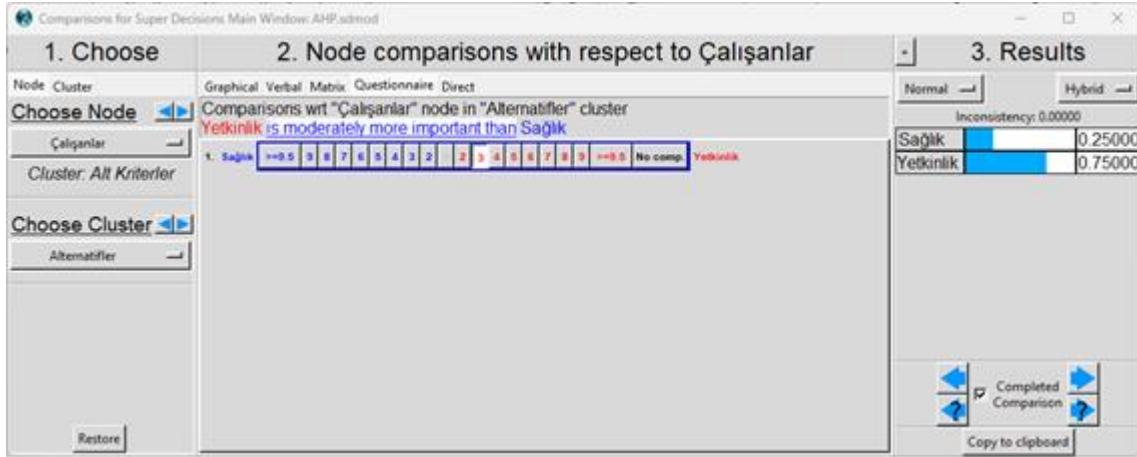
Şekil 9. Planlama başlığı altındaki hedeflerin karşılaştırması

Yukarıdaki çıktılarda, Çalışma Ortamının %58’in üzerinde bir değer ile diğer seçeneklerden ayrıştığı görülmektedir.



Şekil 10. Teknik şartlar başlığı altındaki hedeflerin karşılaştırması

Yukarıdaki değerlerin belirttiği üzere, Ekipman/Malzeme ögesi %59'un üzerinde bir değerde diğer öğelerden daha önemli bulunmaktadır.



Şekil 11. Çalışanlar başlığı altındaki hedeflerin karşılaştırması

Yukarıdaki sonuç, Yetkinliğin %75 ile öne çıktığını göstermektedir.

2.2.1.5. Nihai Öncelik Değerleri

SuperDecisions programı tüm ana kriterler, alt kriterler ve alternatiflerin birlikte değerlendirildiği nihai öncelikler tablosunu da kullanıcıya sunabilmektedir. Bu öncelikler tablosu Şekil 12'de verilmiştir.

Icon	Name	Normalized by Cluster	Limiting
No Icon	Kimyasal Etmenler	0.03982	0.013274
No Icon	Planlama	0.56836	0.189455
No Icon	Teknik Şartlar	0.26216	0.087386
No Icon	Çalışanlar	0.12966	0.043219
No Icon	Ekipman/Malzeme	0.15563	0.051875
No Icon	Elektrik	0.06536	0.021786
No Icon	Kimyasal Maddeler	0.00995	0.003318
No Icon	Kişisel Güvenlik	0.10458	0.034860
No Icon	Makine	0.04117	0.013724
No Icon	Organizasyon	0.13176	0.043921
No Icon	Sağlık	0.03242	0.010805
No Icon	Yangın	0.02987	0.009955
No Icon	Yetkinlik	0.09724	0.032414
No Icon	Çalışma Ortamı	0.33202	0.110674
No Icon	Tehlikelerin Önceliklendirilmesi	0.00000	0.000000
No Icon	Kaza Potansiyeli	0.63699	0.212329
No Icon	RD Sıklığı	0.10473	0.034910
No Icon	Uygunsuzluk Sıklığı	0.25828	0.086095

Şekil 12. AHS öncelikler tablosu

Şekil 2.11'e göre, ana kriterler içinde Kaza Oluşturma Potansiyeli diğer kriterlere göre yaklaşık %63,7 ile öne çıkmaktadır. Alt kriterler içinde ise Planlama %56,8 ile en önemli kriter konumundadır. Nihai hedef değerlerinde ise Çalışma Ortamı %33,2 ile birinci öncelikte, Ekipman/Malzeme %15,5 ile ikinci öncelikte ve Organizasyon ise %13,1 ile üçüncü önceliktedir. Bu verilere dayanarak ilk üç öncelikli tehlike grupları içerisinde 1. ve 3. konumda 2 öge Planlama alt kriterinden, 2. Konumdaki 1 öge ise Teknik Şartlar alt kriterinden gelmektedir. Bu değerler ışığında Tehlike Tanımları tablosunda yer alan Çalışma Ortamı başlığı altındaki tehlikelerin giderilmesi diğerlerine göre daha fazla önem arz etmektedir bulgusu düşünülebilir.

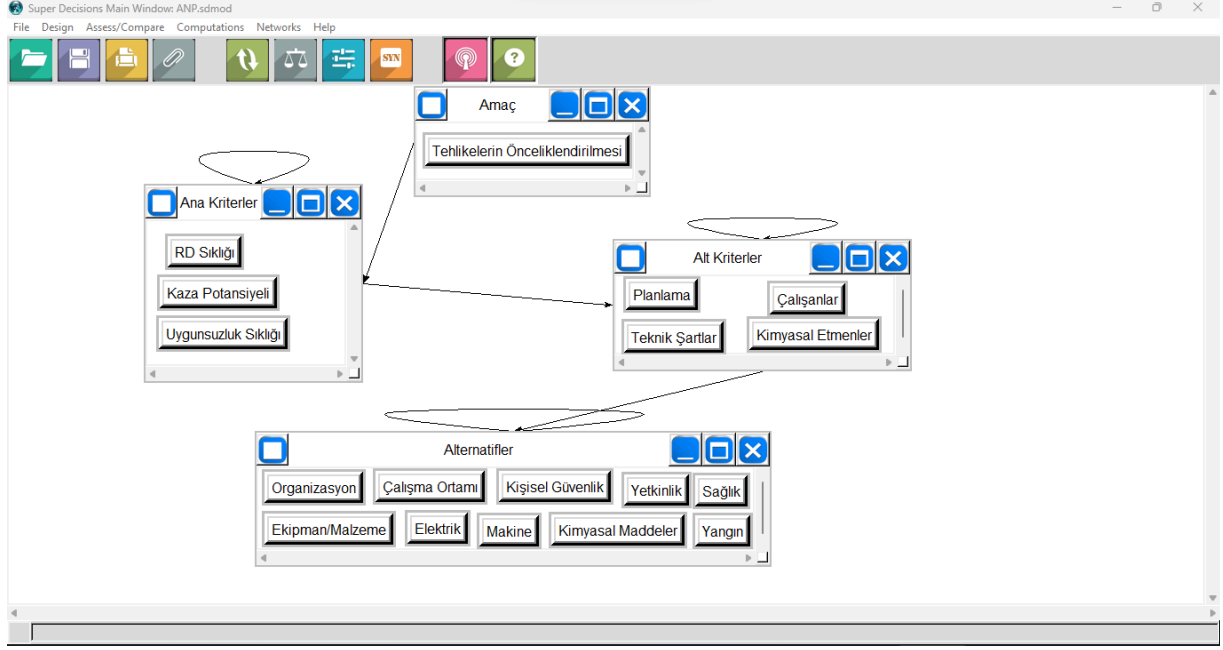
2.2.2 Analitik Ağ Süreci Yöntemi

Analitik Ağ Süreci, AHS'den farklı olarak sadece bir hiyerarşik düzende ilerleyerek değil kriterlerin kendi içlerindeki etkileşimlerinden de beslenerek analiz süreci işletir. Buna göre ana kriterler ve alt kriterler de kendi içlerinde bir etkileşimle sorgulanmak ve hedef alternatifler de kendi içlerinde bir karşılaştırmaya tabi tutulmaktadır.

2.2.2.1 Tehlikelerin Belirlenmesi ve Ağ Yapısının Oluşturulması

Çalışma içeriğinde, analitik hiyerarşi sürecinde kullanılan risk değerlendirme raporundan elde edilen tehlike tanımları tablosu kullanılmış ve kriterler ile alt kriterler yine aynı 10 kişilik ekip tarafından belirlenmiştir. Karşılaştırmada kullanılan önem derecelerinin belirleme anketi yine Saaty'nin 1-9 skalasından faydalanılarak elde edilmiştir.

Analitik ağ süreci işlemlerine, analitik hiyerarşi süreci işlemlerinde olduğu gibi yine Creative Decisions Foundation kuruluşunun ürettiği Super Decisions isimli ücretsiz program kullanılmıştır. SuperDecisions programında risklerin önem sırasının tayinine yönelik oluşturulan analitik ağ yapısının ekran görüntüsü Şekil 13'de verilmiştir.



Şekil 13. Ana kriter ve alt kriterle oluşturulmuş analitik ağ yapısı

Program üzerinde analitik ağ süreci için analitik hiyerarşi süreci benzeri işlemleri yaptığımızda, Şekil 14'te verilmiş olan Nihai Öncelik Değerleri tablosu alınmaktadır.

Icon	Name	Normalized by Cluster	Limiting
No Icon	Kimyasal Etmenler	0.00000	0.000000
No Icon	Planlama	0.00000	0.000000
No Icon	Teknik Şartlar	0.00000	0.000000
No Icon	Çalışanlar	0.00000	0.000000
No Icon	Ekipman/Malzeme	0.14855	0.148546
No Icon	Elektrik	0.06853	0.068528
No Icon	Kimyasal Maddeler	0.01830	0.018300
No Icon	Kişisel Güvenlik	0.04095	0.040951
No Icon	Makine	0.08695	0.086954
No Icon	Organizasyon	0.22967	0.229673
No Icon	Sağlık	0.02497	0.024973
No Icon	Yangın	0.03748	0.037477
No Icon	Yetkinlik	0.07314	0.073136
No Icon	Çalışma Ortamı	0.27146	0.271463
No Icon	Tehlikelerin Önceliklendirilmesi	0.00000	0.000000
No Icon	Kaza Potansiyeli	0.00000	0.000000
No Icon	RD Sıklığı	0.00000	0.000000
No Icon	Uygunsuzluk Sıklığı	0.00000	0.000000

Şekil 14. AAS nihai öncelik tablosu

Sonuç ekranında görüleceği üzere Çalışma Ortamı %27,1 ile önem ağırlığı en yüksek olan seçenek çıkmıştır. Bunu %22,9 ile Organizasyon ve % 14,8 ile Ekipman/Malzeme takip etmektedir.

2.2.3. Bulanık Fine-Kinney Yöntemi

Firmanın bulanık risk değerlendirmesi yapılırken, Fine-Kinney metodunun belirlediği ve literatürde kabul görmüş olan risk skoru yani Olasılık x Şiddet x Sıklık değerleri derlenip bulanıklaştırılarak risk öncelik sayısı hesaplanmıştır. Bu hesabın yapılmasında MATLAB R2022b programında Mamdani çıkarım sistemi kullanılmıştır.

Hazırlanan Bulanık Risk Modeli Süreci Şekil 15'te verilmiştir (Durmaz, 2010). Bu süreç için önce olasılık, şiddet ve sıklıktan oluşan giriş verileri belirlenmiştir. Bu veriler MATLAB programında üçgen üyelik fonksiyonlarıyla bulanıklaştırılmış, modelin kural tabanına uzmanlar tarafından 125 kural yazılarak Mamdani yöntemi ile Centroid durulaştırma yöntemiyle durulaştırma yapılarak Risk Öncelikleri tespit edilmiştir. Değerler ve ifadeler Fine-Kinney Risk Değerlendirme metodundaki ifadeler ve değerlerdir.



Şekil 15. Bulanık risk modeli süreci

2.2.3.1 Bulanıklaştırma

Her tehlikenin Olasılık, Şiddet ve Sıklık değerleriyle 3 sistem girdisi belirlenmiştir. Bu giriş değerleri tehlikeye ilişkin belirlenen kesin sayılardır ve üçgen üyelik fonksiyonları ile bulanıklaştırılarak dilsel değişkenlere dönüştürülmüştür. Tablo 4, Tablo 5 ve Tablo 6'da Olasılık, Şiddet ve Sıklık bulanık giriş kümelerinin dilsel değişkenlere çevrilmiş halleri verilmiştir. Bulanık değerler kısmındaki değerleri Fine-Kinney metodundaki değerler baz alınarak belirlenmiştir. Örneğin Şiddet değerlerinin belirtildiği tabloda bulunan değerlerden İlk yardım gerektiren yaralanma seviyesi için bulanık değer, (1, 3, 7) olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde, Olasılık değerlerinin bulunduğu tablodaki örneğin Mümkün fakat düşük için (1, 3, 6), Sıklık tablosundaki örneğin Yılda en çok 12 kez değeri için üyelik fonksiyonu (0,5, 1, 2) olarak tanımlanmıştır (Gül ve Çelik, 2018).

Tablo 4. Bulanık risk değerlendirme olasılık tablosu

Olasılık	Dilsel Değişken	Ağırlığı (O)	Bulanık Değeri
Beklenir, kesin	Çok yüksek	10	(6,10,10)
Yüksek, Oldukça mümkün	Yüksek	6	(3,6,10)
Olası	Orta	3	(1,3,6)
Mümkün fakat düşük	Düşük	1	(0,5,1,3)
Beklenmez fakat mümkün	Çok düşük	0,5	(0,2,0,5,1)
Pratikte İmkânsız	Beklenmez	0,2	(0,1,0,2,0,5)
Neredeyse İmkânsız	İmkânsıza Yakın	0,1	(0,0,1,0,2)

Tablo 5. Bulanık risk değerlendirme şiddet tablosu

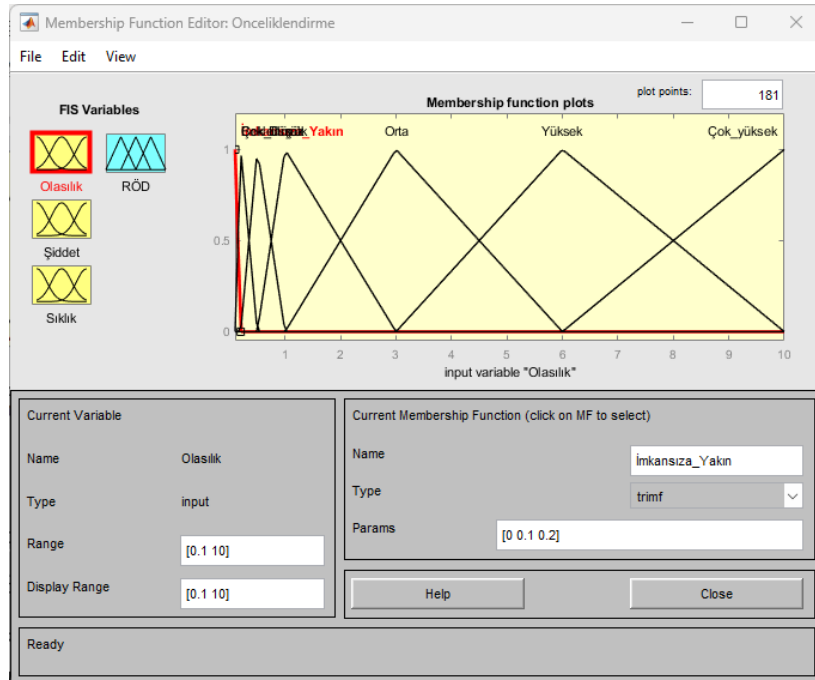
Şiddet	Dilsel Değişken	Ağırlığı (S)	Bulanık Değeri
Birden fazla ölüm, çevre felaketi	Felaket	100	(40,100,100)
Ölüm tehlikesi, sürekli iş göremezlik	Çok şiddetli	40	(15,40,100)
Majör yaralanma, uzuv kaybı, kalıcı sakatlık	Şiddetli	15	(7,15,40)
Tedavi gerektiren ancak iyileşilen kaza	Orta	7	(3,7,15)
İlkyardım gerektiren yaralanma	Küçük	3	(1,3,7)
Yaralanmasız olay	Önemsiz	1	(0,1,3)

Tablo 6. Bulanık risk değerlendirme sıklık tablosu

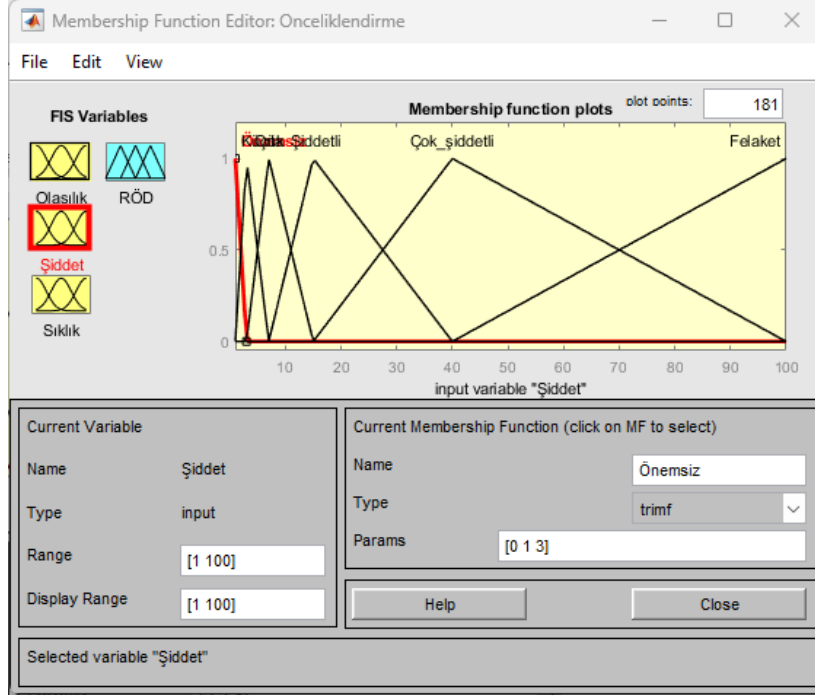
Sıklık	Dilsel Değişken	Ağırlığı (S)	Bulanık Değeri
Günde 8'den fazla	Sürekli	10	(6,10,10)
Günde 8 veya daha az	Sık	6	(3,6,10)
Haftada en çok 6 kez	Ara sıra	3	(2,3,6)
Ayda en çok 5 kez	Sık değil	2	(1,2,3)
Yılda en çok 12 kez	Seyrek	1	(0,5,1,2)
Yılda en çok 1 kez	Çok seyrek	0,5	(0,0,5,1)

2.2.3.2 Üyelik Fonksiyonlarının Oluşturulması

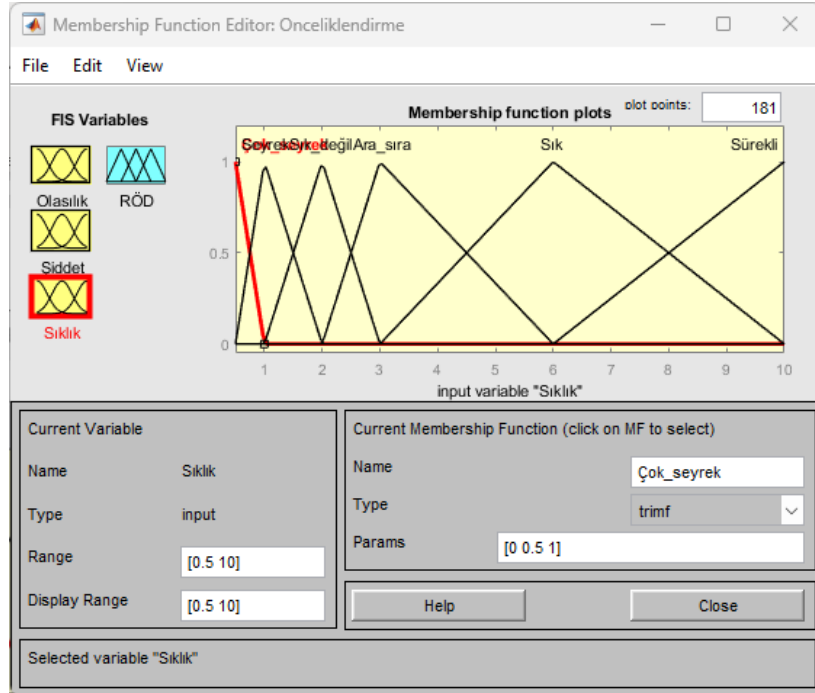
MATLAB programına üyelik fonksiyonu yazım ekranı araçlığıyla girilen modelin olasılık, şiddet ve sıklık giriş verileriyle üyelik fonksiyonları oluşturulmuştur. Üyelik fonksiyonlarının ekran çıktıları program çıktıları Şekil 16, Şekil 17 ve Şekil 18'te verilmiştir.



Şekil 16. Olasılık giriş değişkeni üyelik fonksiyonu



Şekil 17. Şiddet giriş değişkeni üyelik fonksiyonu



Şekil 18. Sıklık giriş değişkeni üyelik fonksiyonu

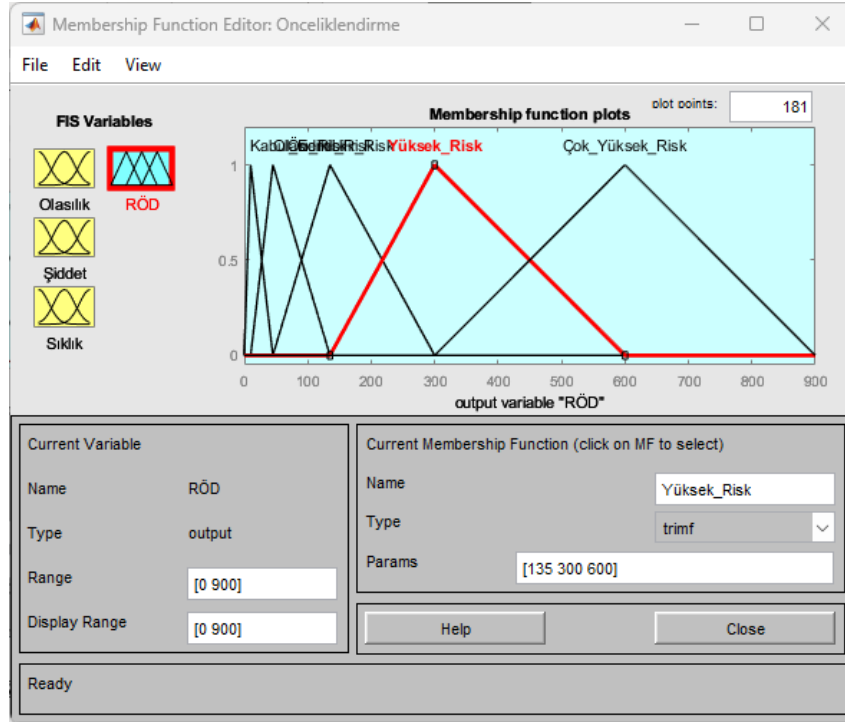
Giriş verilerini takiben sistemin çıktısını oluşturacak olan Risk Öncelik Değeri (RÖD) belirlenmiştir. Risk öncelik değeri için bulanık ölçek Tablo 7’de belirtilmiştir.

Tablo 7. Risk öncelik değeri için bulanık ölçek

RÖD Dilsel Değişken	Risk Değeri	Bulanık Fine-Kinney Üçgen Üyelik Fonksiyonu	Ağırlığı (RÖD)
Çok Yüksek Risk	$R > 400$	(300, 600, 900)	5
Yüksek Risk	$200 < R \leq 400$	(135, 300, 600)	4
Önemli Risk	$70 < R \leq 200$	(45, 135, 300)	3
Olası Risk	$20 < R \leq 70$	(10, 45, 135)	2
Kabul Edilebilir Risk	$R \leq 20$	(0, 10, 45)	1

Risk Skoruna ait Tablo 7'deki farklı seviyelerde bulunan üçgen üyelik fonksiyonun değerleri, Fine-Kinney yöntemindeki risk skorlarına ait seviyelerdeki değerlerin aritmetik ortalamaları kabul edilmiştir. Örneğin tablodaki "Olası Risk" seviyesine ait üyelik fonksiyonu (10, 45, 135) değerlerinden 45 değeri, 20 ile 70'in toplamının yarısından, 135 değeri de bir üst seviyedeki 70, 200 aralığı için belirtilen sayıların toplamının yarısından gelmektedir. Benzer şekilde "Yüksek Risk" için üyelik fonksiyonu (135, 300, 600) olarak belirlenmiştir. Bu belirlemeler, risk değerlendirme raporunda bulunan en düşük ve en yüksek değerler baz alınarak yapılmıştır. Firmanın risk değerlendirme raporunda en yüksek değer 900'dür. Bu sebeple değişken aralık değerlerinin 0-900 arasında tutulmasıyla beraber, üyelik fonksiyonlarının değerlerinin aralığı da 0-900 olarak belirlenmiştir (Çınar, 2021).

Sonraki aşamada modelin çıktısı olan Risk Öncelik Değeri üyelik fonksiyonu oluşturulmuştur. RÖD'ün çıkış kümesi [0, 900] aralığında 5 adet üçgen alt küme ile belirtilmiştir. RÖD'ün üyelik fonksiyonuna ait program çıktısı Şekil 19'da verilmiştir.



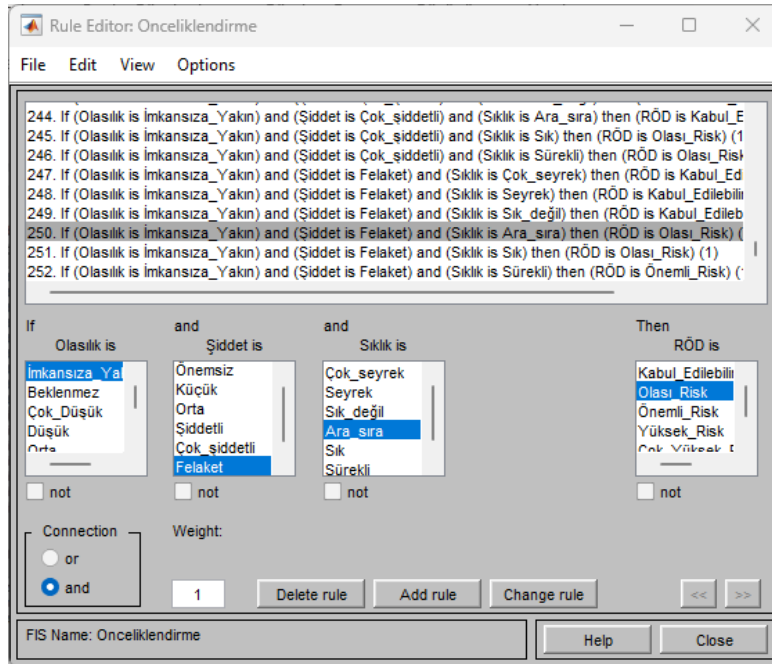
Şekil 19. RÖD üyelik fonksiyonu program çıktısı

2.2.3.3 Kural Tabanının Oluşturulması

MATLAB'in kural penceresi olan Rule Editor'de sistem için 252 kural tanımlanmıştır. Bu kurallar, risk analizinin yapımında da görev alan uzman kişiler tarafından oluşturulmuştur. Kuralların yazımında IF-THEN koşulu arasında AND bağlacı kullanılması dikkate alınmıştır (Erdebelli ve Gür, 2020). Tanımlanan kurallar Tablo 8'de, kural tabanının program çıktısı ise Şekil 20'de verilmiştir.

Tablo 8. Tanımlanan kurallar tablosu

	ŞİDDET	SIKLIK						
		Çok Seyrek	Seyrek	Sık Değil	Ara sıra	Sık	Sürekli	
OLASILIK	İmkansız Yakin	Önemsiz	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk
		Küçük	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk
		Orta	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk
		Şiddetli	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk
		Çok Şiddetli	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Olası Risk	Olası Risk
		Felaket	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Olası Risk	Olası Risk	Önemli Risk
	Beklenmez	Önemsiz	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk
		Küçük	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk
		Orta	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk
		Şiddetli	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Olası Risk
		Çok Şiddetli	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Olası Risk	Olası Risk	Önemli Risk
		Felaket	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Olası Risk	Olası Risk	Önemli Risk	Önemli Risk
Çok düşük	Önemsiz	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	
	Küçük	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	
	Orta	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Olası Risk	Olası Risk	
	Şiddetli	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Olası Risk	Olası Risk	
	Çok Şiddetli	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Olası Risk	Olası Risk	Önemli Risk	Önemli Risk	
	Felaket	Olası Risk	Olası Risk	Önemli Risk	Önemli Risk	Yüksek Risk	Çok Yüksek Risk	
Düşük	Önemsiz	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	
	Küçük	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	
	Orta	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Olası Risk	Olası Risk	Olası Risk	
	Şiddetli	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Olası Risk	Olası Risk	Önemli Risk	Önemli Risk	
	Çok Şiddetli	Kabul Edilebilir Risk	Olası Risk	Önemli Risk	Önemli Risk	Yüksek Risk	Yüksek Risk	
	Felaket	Olası Risk	Önemli Risk	Önemli Risk	Yüksek Risk	Çok Yüksek Risk	Çok Yüksek Risk	
Orta	Önemsiz	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Olası Risk	
	Küçük	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Olası Risk	Olası Risk	Önemli Risk	
	Orta	Kabul Edilebilir Risk	Olası Risk	Olası Risk	Olası Risk	Önemli Risk	Yüksek Risk	
	Şiddetli	Olası Risk	Olası Risk	Önemli Risk	Önemli Risk	Yüksek Risk	Çok Yüksek Risk	
	Çok Şiddetli	Olası Risk	Önemli Risk	Yüksek Risk	Yüksek Risk	Çok Yüksek Risk	Çok Yüksek Risk	
	Felaket	Önemli Risk	Yüksek Risk	Çok Yüksek Risk	Çok Yüksek Risk	Çok Yüksek Risk	Çok Yüksek Risk	
Yüksek	Önemsiz	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Olası Risk	Olası Risk	
	Küçük	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Olası Risk	Olası Risk	Önemli Risk	Önemli Risk	
	Orta	Olası Risk	Olası Risk	Önemli Risk	Önemli Risk	Yüksek Risk	Çok Yüksek Risk	
	Şiddetli	Olası Risk	Önemli Risk	Önemli Risk	Yüksek Risk	Çok Yüksek Risk	Çok Yüksek Risk	
	Çok Şiddetli	Önemli Risk	Yüksek Risk	Çok Yüksek Risk	Çok Yüksek Risk	Çok Yüksek Risk	Çok Yüksek Risk	
	Felaket	Yüksek Risk	Çok Yüksek Risk	Çok Yüksek Risk	Çok Yüksek Risk	Çok Yüksek Risk	Çok Yüksek Risk	
Çok yüksek	Önemsiz	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Olası Risk	Önemli Risk	
	Küçük	Kabul Edilebilir Risk	Olası Risk	Olası Risk	Önemli Risk	Önemli Risk	Yüksek Risk	
	Orta	Olası Risk	Olası Risk	Önemli Risk	Yüksek Risk	Çok Yüksek Risk	Çok Yüksek Risk	
	Şiddetli	Önemli Risk	Önemli Risk	Yüksek Risk	Çok Yüksek Risk	Çok Yüksek Risk	Çok Yüksek Risk	
	Çok Şiddetli	Önemli Risk	Yüksek Risk	Çok Yüksek Risk	Çok Yüksek Risk	Çok Yüksek Risk	Çok Yüksek Risk	
	Felaket	Çok Yüksek Risk	Çok Yüksek Risk	Çok Yüksek Risk	Çok Yüksek Risk	Çok Yüksek Risk	Çok Yüksek Risk	

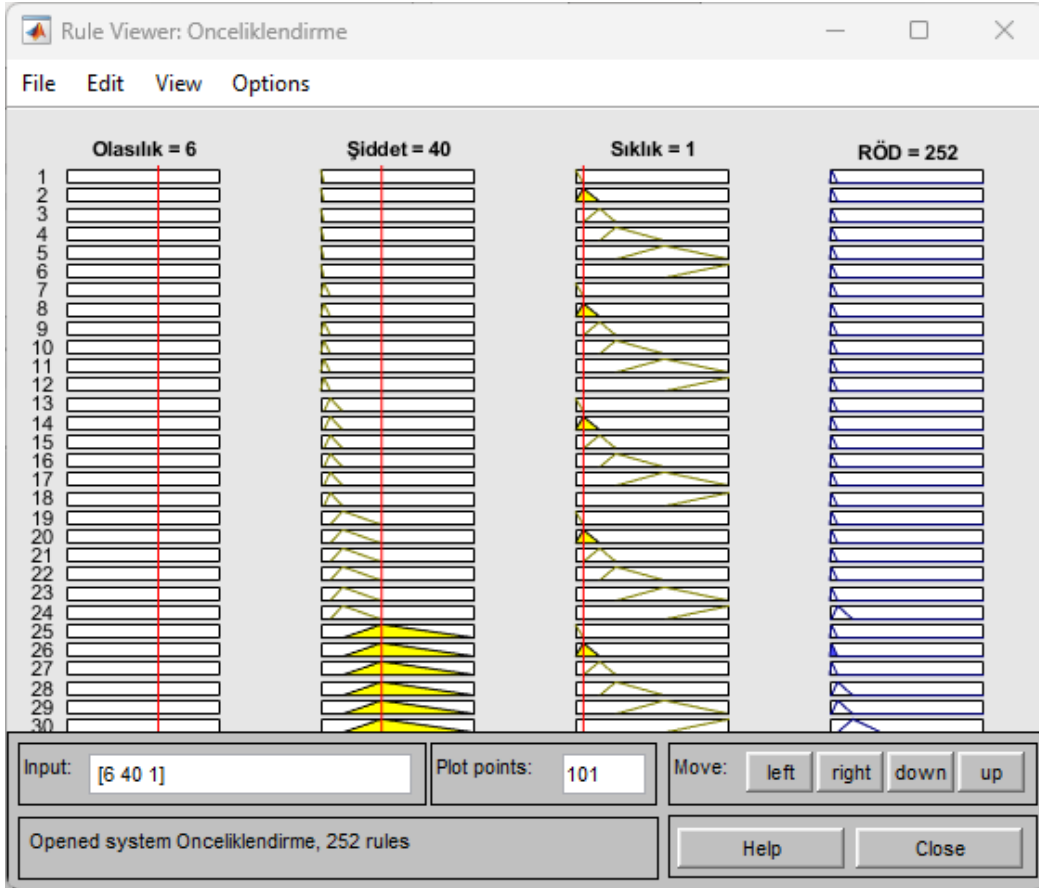


Şekil 20. Bulanık risk değerlendirme için oluşturulan kural tabanı

2.2.3.4 Bulanık Çıkarım ve Durulaştırma

MATLAB programında bulanık çıkarım ve durulaştırma işleminde Mamdani yöntemi seçilmiştir. Mamdani yönteminde çıktı, bulanık bir sonuç kümesidir. Bu nedenle bulanık sonuç kümesi olan RÖD'ün durulaştırılarak nicel bir sayı haline dönüştürülmesi gerekmektedir. Durulaştırma aşamasında kullanılacak yöntem, bulanık çıkarım ekranında (FIS Editor) bulunan Durulaştırma (Defuzzification) açılır menüsü yardımıyla "centroid" olarak seçilmiştir. Bulanık kural tabanındaki kuralların işlenmesi için "and" metodunda "min", "veya" metodunda ise "max" yöntemi seçilmiştir (Filizci ve Erdebili, 2022).

Kural Gösterim (Rule Viewer) penceresinde, girdi değişkenleri için farklı değerler belirtildiğinde oluşturulan bulanık sistem çıktı değeri yine aynı ekranda gözlemlenmektedir. Farklı değer alternatifleri input kısmından değiştirilerek, farklı RÖD değerlerine ulaşmak mümkün olabilmektedir. Modelin Bulanık Çıkarım Editörü Şekil 21'de gösterilmiştir.



Şekil 21. Bulanık çıkarım ekranı

3. Araştırma Bulguları

3.1 AHS ve AAS Sonuçlarının Karşılaştırılması

Elde edilen bulgulara göre Analitik Hiyerarşi Süreci ve Analitik Ağ Süreci çıktılarına dayanarak oluşturulan tehlikelerin önceliklendirilmesi tablosu Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9. Tehlikelerin önceliklendirilmesinde AHS ve AAS sıralaması

Tehlikelerin Önceliklendirilmesi					
Analitik Hiyerarşi Süreci			Analitik Ağ Süreci		
Tehlike Türü	Ağırlığı	Sırası	Tehlike Türü	Ağırlığı	Sırası
Çalışma Ortamı	33,20%	1	Çalışma Ortamı	27,14%	1
Organizasyon	13,17%	3	Organizasyon	22,96%	2
Kişisel Güvenlik	10,45%	4	Kişisel Güvenlik	4,09%	7
Ekipman/Malzeme	15,56%	2	Ekipman/Malzeme	14,85%	3
Makine	4,11%	7	Makine	8,69%	4
Elektrik	6,53%	6	Elektrik	6,85%	6
Sağlık	3,24%	8	Sağlık	2,49%	9
Yetkinlik	9,72%	5	Yetkinlik	7,31%	5
Kimyasal Maddeler	0,99%	10	Kimyasal Maddeler	1,83%	10
Yangın	2,98%	9	Yangın	3,74%	8

Tablodaki sonuçlara baktığımızda Çalışma Ortamı kategorisi, ağırlıkları farklı olsa da her iki analiz yönteminde de 1. sırada çıkmıştır. Sonuçlara göre AHS'de 2. durumda olan Ekipman/Malzeme seçeneği, AAS'de yerini Organizasyon seçeneğine bırakarak 3. öncelik durumuna inmiştir. Elektrik, Yetkinlik ve Kimyasal Maddeler konuları her iki tabloda da aynı durumda bulunurken, Sağlık, Yangın, Makine ve Kişisel Güvenlik, sıralamada farklı yerlerde bulunmaktadır. Bu farklılıkların temelinde AHS ve AAS arasındaki temel fark olan kriterlerin kendi aralarında da etkileşimleri gösterilebilir.

Kriterlerin kendi aralarındaki etkileşimler, yani kıyaslamalar ikili karşılaştırmalara dahil edildiğinde önem ağırlıkları değişkenlik göstermiştir. Her ne kadar birinci ve ikinci öncelikler benzer olsa da sonrasında atılacak adımların önceliği farklı olacağı için AHS ve AAS yöntemlerinin sonuçlarından birinin tercih edilmesi gerekecektir. Çünkü çözülmeye çalışılan problem, tek bir ögenin tespit edilme problemi olmayıp, bütün seçeneklerin hangi sırayla yapılmasının belirlenmesi üzerinedir. Dolayısı ile sonuçlar içinde birinci adımın ve ikinci adımın belirlenmesi yeterli değildir. Risklerin önceliklendirilmesi probleminde, mevcut tehlikelerin ana ve alt kategorilerini kendi aralarında da etkileşime sokarak birbirleriyle olan kıyaslamalarını da yapmanın daha tutarlı sonuçların elde edilmesi adına akla yatkın bir yaklaşım olacaktır. Bu sebeple AHS ve AAS sonuçlarının değerlendirilmesinde AAS'nin ürettiği sonuçların dikkate alınmasını önermek, görece daha doğru bir tutum olacaktır.

3.2 Klasik Fine Kinney ve Bulanık Fine Kinney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Fine-Kinney risk değerlendirme raporundan elde edilen ve Ek 1'de verilen kategorize edilmiş tehlikeler tablosunda bulunan kategorilerin risk seviye değerleri, tablodaki bulunma sayıları ve aldıkları risk skorlarının ortalamaları ve buna bağlı oluşan önem sıraları klasik Fine Kinney metodu için Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. Klasik Fine-Kinney risk değerlendirmesine göre önem sıralaması

Klasik Fine-Kinney								
Tehlike Türü	Kabul Edilebilir Risk	Olası Risk	Önemli Risk	Yüksek Risk	Çok Yüksek Risk	Toplam	Ortalama Risk Puanı	Önem Sırası
Elektrik	0	0	12	3	20	35	442,3	1
Yetkinlik	0	13	20	54	3	90	207,3	2
Çalışma Ortamı	2	34	113	81	18	248	198,6	3
Makine	0	8	28	27	6	69	194,1	4
Kişisel Güvenlik	7	37	49	47	6	146	169,4	5
Ekipman/Malzeme	4	16	102	60	5	187	166,1	6
Organizasyon	2	12	28	22	1	65	148,0	7
Sağlık	3	20	2	14	0	39	131,5	8
Yangın	0	10	17	3	1	31	130,3	9
Kimyasal Maddeler	0	3	1	1	0	5	96,6	10
TOPLAM	18	153	372	312	60	915	188,4	

Bulanık Fine Kinney sonuçlarından derlenen risk seviye değerleri, alınan skorların ortalamaları ve bu ortalamalara göre ortaya çıkan önem sıralamaları Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 11. Bulanık Fine-Kinney risk değerlendirmesinden elde edilen önem sıralaması

Bulanık Fine-Kinney								
Tehlike Türü	Kabul Edilebilir Risk	Olası Risk	Önemli Risk	Yüksek Risk	Çok Yüksek Risk	Toplam	Ortalama Risk Puanı	Önem Sırası
Elektrik	0	0	0	3	32	35	405,4	1
Yangın	0	0	0	3	28	31	388,1	2
Makine	0	0	0	10	59	69	383,3	3
Organizasyon	0	0	2	12	51	65	367,2	4
Yetkinlik	0	0	6	11	73	90	366,4	5
Çalışma Ortamı	0	0	8	60	180	248	360,5	6
Ekipman/Malzeme	1	0	3	51	132	187	356,4	7
Sağlık	0	0	2	15	22	39	332,1	8
Kişisel Güvenlik	0	3	14	46	83	146	322,8	9
Kimyasal Maddeler	0	3	0	1	1	5	163,4	10
TOPLAM	1	6	35	212	661	915	411,8	

Tablo 10 ve Tablo 11'e bakıldığında klasik Fine Kinney yaklaşımında kategorilere ait 18 adet kabul edilebilir risk mevcutken, bulanık Fine Kinney yaklaşımında kabul edilebilir risk değeri yalnızca 1 adettir. Benzer şekilde klasik Fine Kinney metoduna göre olası risk sayısı 153 iken bulanık Fine Kinney metodunda 6 adettir. Bununla beraber, klasik Fine Kinney yaklaşımında 312 adet yüksek risk içeren tehlike bulunurken bulanık Fine Kinney sonuçlarında 212 adet bulunmaktadır. Yine Klasik yöntemde çok yüksek risk seviyesinde 60 adet tehlike bulunurken, bulanık yaklaşımda bu sayı 661 olarak görülmektedir. Klasik yaklaşımda 5 risk seviyesinde de tehlikelerin bulunmasına karşın, bulanık yaklaşımda 7 tehlike hariç bütün tehlikeler, olası risk, önemli risk ve yüksek risk başlıkları altında toplanmış durumdadır.

Klasik Fine Kinney ve bulanık Fine Kinney metodlarıyla yapılan çalışmada elde edilen sonuçlara bakıldığında, tehlikelerin önceliği açısından ilk sırada bir farklılık görülmemektedir. Her iki yöntem de elektrik kategorisi altındaki tehlikeleri, birinci öncelikte belirlemektedir. Benzer şekilde son öncelik değerleri, her iki yöntemde de kimyasal maddeler kategorisidir. Yine sağlık kategorisinin iki yöntemde de öncelik sırası 8. sırada dır. İki yöntemin bulgularındaki farklılar diğer kategorilerde oldukça değişken olarak gözlemlenmektedir.

Bu çıktılarından farklı olarak yine Tablo 10 ve Tablo 11'e bakıldığında kategorilerdeki tehlike sayılarının artması toplam tehlikeler içindeki ağırlığını da arttırmakta ve o kategoriyi daha önem verilir bir konuma yükseltmektedir. Örneğin 5 tehlikenin 5 tanesi çok yüksek risk seviyesindeyken yani oran olarak yüzde 10 seviyesinde iken, sayının söz gelimi 25 olarak değişmesi, aynı oranı yüzde 50 seviyesine çıkartmış olur ki bu durum, karar vericiler için ilgili kategori üzerinde çalışılmasının gerekliliği konusunda daha dikkat çekici olacaktır. Klasik Fine Kinney ve bulanık Fine Kinney yöntemlerinden elde edilen verilere göre ortaya çıkan önem sıralamaları sadeleştirilmiş biçimde Tablo 12'de verilmiştir.

Tablo 12. Klasik ve bulanık Fine Kinney sonuçlarının karşılaştırılması

Tehlike Türü	Ortalama Risk Puanına Göre	
	Klasik Fine Kinney	Bulanık Fine Kinney
Elektrik	1	1
Yetkinlik	2	5
Çalışma Ortamı	3	6
Makine	4	3
Kişisel Güvenlik	5	9
Ekipman/Malzeme	6	7
Organizasyon	7	4
Sağlık	8	8
Yangın	9	2
Kimyasal Maddeler	10	10

3.3 AHS, AAS, Bulanık Fine Kinney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Çalışmanın bu aşamasında klasik Fine Kinney yöntemindeki verilerden derlenen, AHS, AAS ve bulanık Fine Kinney metotlarına dair sonuçlar karşılaştırılacaktır. Elde edilen değerlerin karşılaştırması Tablo 13'te verilmiştir.

Tablo 13. AHS, AAS, bulanık Fine Kinney metotlarının karşılaştırması

Tehlikelerin Önceliklendirilmesi					
Analitik Hiyerarşi Süreci		Analitik Ağ Süreci		Bulanık Fine-Kinney	
Tehlike Türü	Sırası	Tehlike Türü	Sırası	Tehlike Türü	Sırası
Çalışma Ortamı	1	Çalışma Ortamı	1	Elektrik	1
Ekipman/Malzeme	2	Organizasyon	2	Yangın	2
Organizasyon	3	Ekipman/Malzeme	3	Makine	3
Kişisel Güvenlik	4	Makine	4	Organizasyon	4
Yetkinlik	5	Yetkinlik	5	Yetkinlik	5
Elektrik	6	Elektrik	6	Çalışma Ortamı	6
Makine	7	Kişisel Güvenlik	7	Ekipman/Malzeme	7
Sağlık	8	Yangın	8	Sağlık	8
Yangın	9	Sağlık	9	Kişisel Güvenlik	9
Kimyasal Maddeler	10	Kimyasal Maddeler	10	Kimyasal Maddeler	10

Tablo 13'e göre elektrik yapım işi sektörü özelinde elektrik kategorisi başlığı altındaki tehlikeler, bulanık mantık yaklaşımında daha çok önem kazanmaktadır. Analitik hiyerarşi süreci ve analitik ağ süreci metotlarında alt önem sıralarında yer alan yangın tehlikesi, bulanık mantık yaklaşımında 2. sırada bulunmaktadır. Yetkinlik kategorisindeki tehlikeler her üç yöntemde de 5. sırada yer almaktadır. Yine Kimyasal Maddeler kategorisinde yer alan tehlikeler her üç değerlendirilmede de son önem sırasında yer almıştır.

4. Tartışma ve Sonuç

Yaşadığımız dönemde faaliyet gösteren firmalar açısından rekabet koşulları oldukça ağırdır. Firmaların içinde buldukları zaman, iş gücü ve sermaye gibi çeşitli kısıtlar, hatalı analizlere ve bunun sonucunda hatalı süreçlerin işletilmesine imkân tanımamaktadır. Bu sebeple firmaların faaliyetlerini sürdürmeleri için pek çok konuda yapılan gereken risk değerlendirmeleri gibi iş sağlığı ve güvenliği alanında da yapacakları risk değerlendirmeleri güvenilir olmalı ve doğru sonuçları üretmelidir (Çınar, 2021). Aksi durumda yanlış konulara, hatalı değerler atfedilerek uğraşılabilir ve bu sebeple esas uğraşılması gereken sorunlara doğru önem ve öncelik tanınmasından uzaklaşılması durumu söz konusu olabilir. Bu durum da ne yazık ki can kaybı gibi tela fisi mümkün olmayan sonuçların yaşanmasına sebep olabileceği gibi firmanın kaynaklarının doğru kullanılmamasının olası olumsuz sonuçlarının yaşanmasına da neden olabilecektir. Bu bakış açısı üzerine yaptığımız risklerin önceliklendirmesi konulu çalışmadaki bulgularının, firmalar için önemli olduğunu düşünüyoruz.

Risk değerlendirme raporundaki mevcut 915 tehlikenin giderilmesi için nereden başlanması gerektiğine ve firmanın mevcuttaki, zaman, iş gücü, para vb. kaynaklarının kullanılmasında, hangi tehlikelerin giderilmesine öncelik vererek kullanılması gerektiğine karar verilmesi konusunda, klasik Fine Kinney yöntemi ara değerleri belirleyememesi ve hassas sonuç üretmemesi sebebiyle yetersiz kalmaktadır. Klasik Fine Kinney metodu ile bulanık Fine Kinney metodunun çıktılarına bakıldığında sonuçların genellikle uyumlu bir şekilde bulanık metotta bir üst önem derecesine çıkmış olduğu görülmektedir. Mevcut tehlike kategorilerinin, ortalama risk puanı baz alınarak yapılan önceliklendirme işlemlerinin karşılaştırmaları göstermektedir ki, klasik Fine Kinney yönteminde kabul edilebilir olarak sonuçlanan tehlikeler, bulanık Fine Kinney yönteminde olası risk ya da daha üstü risk değerlerinde olarak görülmektedir. Benzer şekilde olası risk ve önemli risk olarak klasik Fine Kinney yönteminde karşılaştığımız tehlikeler de bulanık Fine Kinney yönteminde daha üst önem derecelerinde yer almaktadır.

Bu durumda klasik yöntemde kabul edilebilir risk ve olası risk olarak karşılaştığımız tehlikeler için addedilen tehlikeler için de eylem planları hazırlanması gerekecektir. Bu durum aslında risk değerlendirmesinin amacına hizmet eden bir sonuçtur çünkü risk değerlendirmesinin temel amacı, mevcut tehlikeleri ve olası etkilerini doğru belirleyip bunun için çalışma stratejileri oluşturarak uygulanmasına katkı sağlamaktır. Bu anlamda bulanık tabanlı yöntem; hemen her tehlike için klasik yöntemden daha yüksek bir risk değeri üretmiştir ve literatürdeki benzer çalışmalarla paralel doğrultuda olarak daha tutarlı bir yol gösterici konumundadır. Bu sonuç, amaçlanan tehlikeler arasındaki ilişkileri gözeterek değerlendirme yapma ve etkileşimli bir risk değerlendirmesi yapılabilmesi açısından olumludur.

AHS ve AAS'nin, bulanık Fine Kinney metoduyla kıyaslanması noktasında ise bulanık Fine Kinney metodunun; 6631 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği kanununda tanımlanan tehlike sınıflarına göre, çok tehlikeli sınıfta yer alan elektrik yapım işi sektörü gerçeklerine daha uyumlu bir sonuç ürettiği gözlemlenmektedir. Bulanık metodun özellikle Elektrik kategorisindeki tehlikeleri ilk öncelik sırasında belirlemesi anlamlıdır. Yangın kategorisindeki tehlikelerin ikinci sırada

yer alması da bir işletmede ve faaliyetleri esnasında her an oluşma ve çok şiddetli sonuçlar üretme potansiyeli olan yangın kavramının öncelikli tehlikeler arasında çıkması, yine akla yatkın bir sonuç olarak görülmektedir.

Sonuç olarak karar vericilere; risklerin önceliklendirilmesi amacıyla, klasik Fine Kinney metodu ile hazırlanan risk değerlendirme raporundan elde edilen tehlikelerin ve risk skorlarının kategorize edilmesi ile başlanarak gerçekleştirilen, AHS, AAS ve bulanık Fine Kinney metodlarının ürettiği öncelik çıktıları içerisinde, bulanık Fine Kinney yönteminden elde edilen öncelik sıralaması önerilmektedir. Esasen cevabını aradığımız problem, yani risklerin önceliklendirmesi, çok kriterli karar verme tekniklerinin sıklıkla kullanıldığı birden çok seçenek içinden en uygununu bulma problemi değildir. Çünkü çözülmeye çalışılan problem, tek bir ögenin tespit edilme problemi olmayıp, bütün seçeneklerin hangi sırayla ve hangi önem derecesi atfedilerek yapılmasının belirlenmesi üzerinedir. Dolayısı ile sonuçlar içinde birinci adımın ve ikinci adımın belirlenmesi yeterli olmayıp tüm sonuçların, kendi önem ölçüğünde değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu açıdan çalışmada elde edilen sonuç listesinin tamamı önemlidir.

Kaynaklar

- Akalp, H. G. (2016). Bir İş İstasyonundaki Ergonomik Risklerin Bulanık Mantık Yöntemi ile Modellenmesi. Okan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Programı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Akın, G. C. (2020). İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirme Süreci İçin Yeni Bir Yaklaşım: Tersane İşletmelerinde Uygulama. İstanbul Aydın Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Ana Bilim Dalı Doktora Tezi, İstanbul.
- Al-Harbi, K. (2001). Application of the AHP in Project Management. International Journal of Project Management 19 (2001) 19–27
- Ankan, R. (2014). Stratejik Yönetim İçin Bulanık Risk Değerlendirme Modelleri ve Karşılaştırmalı Analizi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, Ankara.
- Arslan, E. (2019). İnşaat İşyerlerinde Risk Değerlendirmesinin Bulanık Mantık Yöntemi ile Modellenmesi Bir Fabrika Örneği. Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Sivas.
- Aslan, N. (2005). Analitik Network Prosesi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Matematik Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Aslantaş, S. (2020). İş Sağlığı ve Güvenliğinde Risk Değerlendirme Süreci İçin Bulanık Çok Kriterli Bir Model Önerisi ve Uygulaması. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, İstanbul
- Aydeniz, S. U. (2020). Elektrikle Çalışmalarda İş Sağlığı ve Güvenliği. İstanbul Aydın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Bilgir, İ. O. (2018). Elektrik Dağıtım Sektöründe İş Sağlığı ve Güvenliği Mevzuatının ve Uygulamalarının İncelenmesi ve İrdelenmesi. Çankaya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Buckley, J. J. (1985). Ranking Alternatives Using Fuzzy Numbers. Elsevier Science Publishers B.V., Fuzzy Sets and Systems 15 (1985) 21-31, (North-Holland).
- Chen, C. T., Lin, C. T., Huang, S. F. (2005). A Fuzzy Approach For Supplier Evaluation And Selection In Supply Chain Management. Int. J. Production Economics, 102 (2006), 289–301.
- Çakmak, E. (2015). İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirme Yöntemlerinin Bulanık Mantık Yaklaşımı ile Analizi Kobi Uygulama Örneği. Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Çınar, F. (2021). Evaluation of Ship Manoeuvres in Port by Using Fuzzy Fine Kinney Method. International Journal of Environment and Geoinformatics, 8(4):537-548 (2021)
- Çitli, N. (2006). Bulanık Çok Kriterli Karar Verme. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Matematik Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Dağdeviren, M., Akar, D., Kurt, M. (2004). İş Değerlendirme Sürecinde Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Uygulaması. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., Cilt 19, No 2, 131-138, 2004.
- Doğanalp, B. (2016). Bulanık Çok-Kriterli Karar Verme ile Öğretim Üyesi Değerleme Çalışması. Kastamonu Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Nisan 2016, Sayı:12 (498-517).
- Durmaz, R. C. (2010). İnşaat Sektöründe Bulanık Risk Değerlendirmesi Uygulaması. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Konya.

- Erbebilli, B., Gür, L. (2020). Bulanık Fine-Kinney Yöntemiyle Risk Değerlendirmesi Uygulaması. Endüstri Mühendisliği 31(1), 75-86, 2020.
- Eren, E. (2019). Tıbbi Atık Lojistiğinde İş Sağlığı ve Güvenliği Süreçlerinin İyileştirilmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, İstanbul.
- Ertaş, M. H. (2016). Yıkım İşlerinde Risk Analizi ve Risk Değerlendirmesi İçin Yeni Bir Yöntem Önerisi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, Elâzığ.
- Filizci, A. E. A., Erbebilli, B. (2022). Akaryakıt İstasyonuna Ait Klasik Fine Kinney Risk Analizinin Bulanık Fine Kinney Yöntemi Karşılaştırılması. Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi, 2022, 5(2): 188-198.
- Gül, M., Çelik, E. (2018). Fuzzy Rule-Based Fine–Kinney Risk Assessment Approach For Rail Transportation Systems. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, ISSN: 1080-7039 (Print) 1549-7860 (Online) Journal homepage: <http://www.tandfonline.com/loi/bher20/>
- Gülenç, İ. F., Bilgin, G. A. (2010). Yatırım Kararları İçin Bir Model Önerisi: AHP Yöntemi. Öneri.C.9.S.34. Temmuz 2010.97-107.
- Halıcı, A. K. (2019). Elektrik Kaynaklı İş Kazalarına Farklı Bir Bakış Metal Sektöründe Yaşanan Kaza Sebeplerinin Önceliklendirilmesi. Karaelmas İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi, 3(1), 1-12, 2019
- Irmak, M. (2019). Bir Üniversite Hastanesinde İş Kazalarının İncelenmesi ve Bulanık TOPSIS Yöntemi ile Alınacak Önlemlerin Sıralandırılması. Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Yüksek Lisans Programı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- İncel, E. (2019). Bir İşletmede Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Riskli Alanların Belirlenmesi. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli.
- Karabıçak, Ç., Özcan, B., Akay, M. K. (2020). Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi Yöntemi Kullanılarak Bir Otomotiv Yan Sanayi Firmasında Tedarikçi Seçimi. Veri Bilim Dergisi, 3(1), 26-32, 2020.
- Karakaşoğlu, N. (2008). Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Uygulama. Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı Sayısal Yöntemler Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Denizli.
- Kayan, İ. F. (2020). İş Sağlığı ve Güvenliği Kriterleri Temelinde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Alt İşveren Seçimi. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli.
- Kerman, U. (2016). Yönetim Biliminin Öncülerinden Woodrow Wilson ve Frederick Winslow Taylor'un Farklı Bir Açından Değerlendirilmesi. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Cilt: 8 Sayı: 14 (Mart 2016) (232-247).
- Kinney, G. F., Wiruth, A. D. (1976). Practical Risk Analysis for Safety Management (No. NWCTP-5865). Naval Weapons Centre China Lake CA.
- Kumar, A., Sahb, B., Singhc, A. R., Denga, Y., Hea, X., Kumarb, P., ve Bansal R. C. (2017). Review of Multi Criteria Decision Making (MCDM) Towards Sustainable Renewable Energy Development. Renewable and Sustainable Energy Reviews 69 (2017) 596–609.
- Oruç, R., Yıldızbaşı, A. (2020). Haber Yayıncılığında Çalışanların İş Sağlığı ve Güvenliği Koşullarının Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleriyle Değerlendirilmesi. Karaelmas İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi, 4(2), 95-109, 2020.
- Oturakçı, M., Dağsuyu C. (2017). Risk Değerlendirmesinde Bulanık Fine-Kinney Yöntemi ve Uygulaması. Karaelmas İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi, Cilt. 1, Sayı: 1, (Aralık 2017) (17-25)
- Ömürbek, N., Şimşek, A. (2014). Analitik Hiyerarşi Süreci ve Analitik Ağ Süreci Yöntemleriyle Online Alışveriş Sitesi Seçimi. Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi – Sayı:22 (2014) (306-327).
- Özcan, S. G. (2019). İnşaat Sektöründe İş Kazalarına Neden Olan Faktörlerin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Değerlendirilmesi. Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Yüksek Lisans Programı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Özsarı, M. (2019). Tarım İşlerinin Kazaya Sebep Olan Etmenler Bağlamında Bulanık AHS ve Bulanık TOPSIS Yöntemleri ile Karşılaştırılması Bir Örnek Uygulama. Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Yüksek Lisans Programı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

Pamukçu, H. (2014). Turizm Sektöründe Teşvik Veren Kurumların AHP ve ANS Yöntemi ile Belirlenmesi Kastamonu Örneği. Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Afyonkarahisar.

Pehlivanlı, U. (2019). Tünel İnşaatı Projelerinde AHP Kullanılarak Kaza Risklerinin Değerlendirilmesi Marmaray Projesinde Bir Uygulama. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

Saaty, L. T. (2014). Analytic Hierarchy Process. Wiley StatsRef: Statistics Reference Online, 2014 (1-11) PA, USA.

Sarı, T. (2014). TAGUCHI, Analitik Ağ Prosesi (ANP) ve TOPSIS Yöntemleri ile Bütünleşik Tedarikçi Seçimi. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Sayısal Yöntemler Bilim Dalı, Doktora Tezi, İstanbul.

Ünal, Y. (2011). Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Bir Takım Oyunu İçin Oyuncu Seçimi Uygulaması. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstatistik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Konya.

Zadeh, A. (1965). Fuzzy Sets. Information and Control 8, 338–353 (1965).

Zoroğlu, C. (2015). Bulanık Uzman Sistem Kullanarak Tıka yıcı Uyku Apne Hipopne Sendromunun Ciddiyet Seviyesinin Tahmini. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı Biyomedikal Mühendisliği Programı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Araştırmacıların Katılım Oranları

Yazarların çalışmaya katılım oranı eşit olup %50'dir.

Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.



e-ISSN: 2630-578X

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



10.38213/ohsacademy.1233309

Yıl 2023, Cilt 6, Sayı 2, Sayfa: 85-103

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

Türkiye Nükleer Afet Yönetimi için Kritik Başarı Faktörlerinin Analizi

Adnan Karabulut^{*1}, Mehmet Baran²

^{*1}Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi İSG Doktora Öğrencisi, Ankara, Türkiye.

²Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Ankara, Türkiye

Makale Tarihiçesi

Gönderim: 17.01.2023

Kabul: 03.09.2023

Yayın: 31.08.2023

Araştırma Makalesi

Öz- Nükleer serpiyelerin atmosferik koşullar ile diğer ülkelere hızla ulaşacağı düşünüldüğünde, olası bir nükleer afete karşı etkin bir müdahale planı her ülke için önem kazanmaktadır. Nükleer santrallerde, nükleer atık depolarında, nükleer hammadde kullanan tıp, tarım, savunma, uzay ve bilimsel araştırma laboratuvarlarında meydana gelen kazalar ile nükleer savaş başlıkları, nükleer serpiyeye neden olmaktadır. 2022 Mayıs itibarıyla, 32 ülkede 441 nükleer reaktör, nükleer serpinti afeti için en büyük tehlike kaynaklarıdır. Türkiye Cumhuriyeti'nde henüz nükleer santral bulunmamaktadır, yapım aşamasındaki ilk reaktörün 2023 yılında devreye alınması beklenmektedir. Bu makalede Türkiye kelimesi, Türkiye Cumhuriyeti anlamında kullanılmıştır. Mersin, Sinop ve Kırklareli'nde devam eden projelerin tamamlanması halinde on iki aktif nükleer reaktör olacağı düşünüldüğünde, başarılı bir nükleer afet modeli, afet yönetiminde etkili olan kritik başarı faktörlerinin doğru modellenmesi ve aralarındaki karşılıklı bağımlılık ilişkilerinin analizi ile mümkündür. Bu makalede literatür taramasıyla elde edilen nükleer afet yönetiminde etkili kriterlere, uzmanlarla beyin fırtınası yapılarak son şekli verilmiş, bağımlı ve bağımsız kriterleri sıralamak ve ayırt etmek için Bulanık DEMATEL yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca nükleer afet krizinin etkili yönetimi için uluslararası yükümlülükler de dikkate alınarak bir yönetim hiyerarşisi önerilmiştir. Makalenin son olan dördüncü bölümünde literatür araştırmasında belirlenen on yedi kriter önem sırasına göre yine literatür desteği ile incelenmiş ve karar vericilere önerilerde bulunulmuştur. Diğer taraftan, akademisyenlerin ve kamuoyunun farkındalığının artırılması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler – Afet yönetimi, erken uyarı, nükleer

Analysis of Critical Success Factors for Turkish Nuclear Disaster Management

Adnan Karabulut^{*1}, Mehmet Baran²

^{*1}Ankara Yıldırım Beyazıt University OHS PhD Student, Ankara, Turkey.

²Ankara Yıldırım Beyazıt University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Ankara, Turkey.

Article History

Received: 17.01.2023

Accepted: 03.09.2023

Published: 31.08.2023

Research Article

Abstract – Considering that nuclear fallout will quickly reach other countries with atmospheric conditions, an effective response plan against a possible nuclear disaster gains importance for every country. Accidents in nuclear power plants, nuclear waste storage, medicine, agriculture, defense, space and scientific research laboratories using nuclear raw materials, and nuclear warheads cause nuclear fallout. As of May 2022, 441 nuclear reactors in 32 countries are the biggest sources of danger for nuclear fallout disaster. There is no nuclear power plant in the Republic of Turkey yet, the first reactor under construction is expected to be commissioned in 2023. In this article, the word Turkey is used in the sense of the Republic of Turkey. Considering that there will be twelve active nuclear reactors if the ongoing projects in Mersin, Sinop and Kırklareli are completed, a successful nuclear disaster model is possible by accurately modeling the critical success factors that are effective in disaster management and analyzing the interdependence relations between them. In this article, the effective criteria in nuclear disaster management, which were obtained through literature review, were finalized by brainstorming with experts, and the Fuzzy DEMATEL method was used to rank and distinguish dependent and independent criteria. In addition, a management hierarchy has been proposed for the effective management of the nuclear disaster crisis, taking into account international obligations. In the last part of the article, seventeen criteria determined in the literature research were examined in order of importance with the support of the literature and suggestions were made to the decision makers. On the other hand, it was aimed to increase the awareness of academicians and the public.

Keywords – Disaster management, early warning, nuclear

^{*1} adnan.karabulut@hotmail.com Orcid id: 0000-0002-0643-098X

² mehmet.baran@ybu.edu.tr Orcid id: 0000-0001-6674-7308

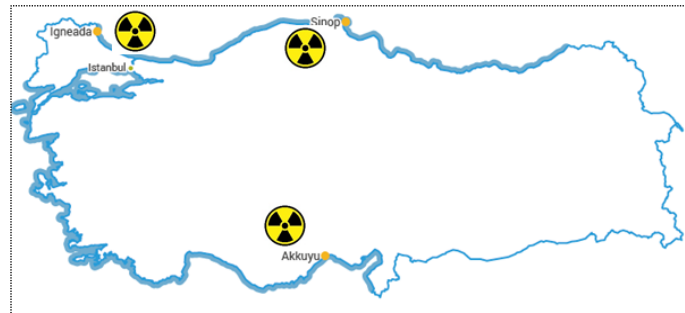
Atıf Bilgisi: Karabulut, A. & Baran, M. (2023). Türkiye Nükleer Afet Yönetimi için Kritik Başarı Faktörlerinin Analizi . OHS ACADEMY , 6 (2) , 85-103 . DOI: 10.38213/ohsacademy.1233309

1. Giriş

Nükleer enerji, dünya elektriğinin % 11'ini yaklaşık 450 güç reaktöründen sağlamaktadır. (World Nuclear Org,2023). Nükleer santrallerin tasarımındaki gelişmeler hızla ilerlemekle birlikte, bir Nükleer Santral kazası durumunda, güvenlik ve yönetim açısından incelenmesi gereken birçok kritik faktör bulunmaktadır (Gauss ve Stanton vd., 1996). Nükleer santral işleten yönetici, işçi ve işletmecilerin kararları, iş güvenliği önlemleri, atık yönetimi, savaş, terör ve siber saldırılar önemli kritik faktörlerdir. Nükleer santrallerden olası radyasyon yayımında afet yönetiminin başarısı, bu kritik başarı faktörlerinin doğru modellenmesi ve aralarındaki karşılıklı bağımlılık ilişkilerinin analizi ile mümkündür. Afet terimi, bir sistemi fiziksel olarak etkileyen, öncelikleri ile hedeflerini tehdit eden bir kesintiyi ifade eder (Wassenhove, 2006; Cozzolino, 2012). Afet Epidemiyolojisi Araştırma Merkezi afet terimini, ulusal veya uluslararası düzeyde yardım gerektiren bir durum olarak tanımlamaktadır (CRED, 2022). Birleşmiş Milletler Afet Ofisine göre afet, ekonomik veya çevresel kayıplara neden olan, toplumun kaynaklarını kullanarak baş etme kabiliyetini aşan ciddi bir bozulmadır (World Vision, 2023).

1986 Çernobil ve 2011 Fukushima afet yönetim deneyimlerine göre sanayi ve literatürde nükleer radyasyon emisyonunun insanlara zararları araştırılmıştır (Dvorzhak, Mora ve Robles 2016). Nükleer kaza araştırmaları incelenmiştir (Ibrion, Paltrinieri ve Nejad, 2020). Nükleer güvenlik simülasyonları üzerine yapılan çalışmalar devam etmektedir (Gomes, Borges, Huber, Carvalho, 2014). Olası bir nükleer afet sonrası “nükleer afet yönetim planı” kapsamındaki çalışmalar günümüzde önem kazanmıştır. Nükleer afetler insan kaynaklı olup sel, yangın, tsunami, deprem gibi doğal afetlerden daha yıkıcı bir etkiye sahiptir. Çünkü nükleer radyasyon serpintileri hava koşulları ile diğer ülkelere yayılabilmektedir. Afet yardım çabalarının çok belirsiz ve karmaşık olduğu düşünüldüğünde, afetlerde daha hızlı ve etkin müdahaleler elde etmek için uygun şekilde yönetilmeleri gerekmektedir. Bu amaçla hükümet ve ilgili kurumlar tarafından “nükleer afet acil durum yönetim planı” hazırlanmalı ve yeterli kaynak ayrılmalıdır.

Nükleer afet yönetimindeki kritik başarı faktörlerinin belirlenmesi ve en uygun afet yönetim modelinin oluşturulması her ülke için bir zorunluluktur. Türkiye'de henüz faaliyette olan bir nükleer santral bulunmamaktadır. Türkiye Bilimler Akademisi 2019 yılı enerji raporuna göre, Mersin Akkuyu Nükleer Santrali'nin inşaatına 2020 yılında Rusya tarafından başlanmıştır. 2013 yılında Japonya ile Sinop / İnce burun mevkiinde nükleer reaktör yapım anlaşması imzalanmış ancak henüz bir ilerleme sağlanamamıştır. ABD'li Westinghouse firması ile 2015 yılında imzalanan mutabakat zaptına göre, Kırklareli ilinin İğneada bölgesinde üçüncü nükleer santralin kurulması planlanmıştır. Ancak bu iki projede de şu an için bir ilerleme olmamıştır (TÜBA, 2019). Söz konusu üç nükleer santral projesinde bulunan nükleer tesislerin, yerleri Şekil 1'de bulunan Türkiye haritasında görülmektedir. Üç proje bittiğinde, aynı anda çalışacak on iki reaktör olacaktır. Halen inşası devam eden Akkuyu'da ilk reaktörün 2023'te faaliyete geçmesi beklenmektedir (Şekil 2).



Şekil 1. Türkiye Nükleer Santral Projelerinin Coğrafi Konumları (World Nuclear Organization)



Şekil 2. Akkuyu Nükleer Santral İnşaatı (Akkuyu Nükleer A.Ş.)

1.1- Büyük Nükleer Santral Kazaları

Nükleer bir afetin boyutu 0 ila 7 arasında değişen INES ölçeğinde ölçülmektedir. En kötülere, INES skoru 7 civarında olan Three Mile Island (1979), Çernobil (1986) ve Fukushima (2011) nükleer afetleri olup, kaza nedenleri sonuçları hakkında kısa bilgiler aşağıda verilmektedir.

Three Mile Island (28 Mart 1979, ABD): Buhar santrali bozulunca reaktördeki basınç artmaya başlamış ve reaktörün çekirdeği erimiştir. Aynı gün reaktör soğutulamamış ve tesisin 5 mil yarıçapındaki insanlar tahliye edilmiştir. Kazadan sonra sektör ölümcül bir darbe almış, Beyaz Saray Başkanlık Komisyonu öncelikle operatörleri suçlamıştır (Perrow, 1999).

Çernobil (Nisan 1986, eski SSCB): Yoğun buhar üretimi çekirdek boyunca yayılarak bir buhar patlamasına neden olmuş ve fisyon ürünleri atmosfere salınarak büyük miktarlarda ısı ve radyasyon açığa çıkarmıştır. Operatörler ile kurtarma ve temizlik personeli arasında ölümler olmuş, büyük çevresel hasar bırakmıştır (Zhores, 1990).

Fukushima (Mart 2011, Japonya): Deprem olmuş ve devam ederken tsunami gerçekleşmiştir. Soğutma suyu pompaları su altında kalıp çalışmayınca reaktörler ısınmış, kullanılmış yakıt havuzunda hidrojen patlamaları sonucu yangın çıkmıştır. Denize radyasyonla kirlenmiş tonlarca su bırakılmıştır. Japon hükümeti afet boyutunu Çernobil kazasının onda biri olduğunu vurgularken, işletmeci TEPCO şirketi Çernobil'den daha kötü olduğunu itiraf etmiştir. Olumlu hava koşulları, radyasyonun ülke geneline daha fazla yayılmasını engellemiştir (Sample, 2011). Japonya'da gıda maddelerinde ve musluk suyunda yüksek radyoaktivite raporları verilmiştir. Kırk yıllık nükleer santralin çalışma ruhsatının, on yıl daha uzatılması ve afete müdahale eden işçilerin eğitimsiz ve yetersiz donanımına sahip olması eleştirilmiştir (Tabuchi, 2011).

1.2- Nükleer Santral Kazalarına Müdahale

Bir nükleer santraldeki kaza, hem yerinde hem saha dışında müdahale gerektirir. Three Mile Island, Çernobil ve Fukushima gibi büyük kazalarda, nükleer santralin çevresinde yaşayanlar hemen tahliye edilmiş, hava, su ve toprakta radyasyon takibi yapılmıştır (Zhores. 1990; Perrow, 1999; Sample, 2011; Tabuchi 2011). İlk müdahale ekipleri genellikle nükleer tesisin bitişik alanlarının yanı sıra tesisin sınırları içinde de tepki vermek üzere eğitilmektedir. Reaktör erimesi meydana gelirse, hava koşullarına göre belirlenen mesafede işyerleri ve evler boşaltılmakta, insan ve hayvanlar güvenli yerlere taşınmaktadır. Nükleer serpentinin kötü hava koşulları nedeniyle yayılması durumunda, komşu ülkelere haber verilmesi gerekmekte, insanların, malzemelerin ve gıda maddelerinin sterilize edilmesi gerekmektedir (Yamin, 2011).

1.3- Nükleer Afet Yönetimi

Nükleer ve radyasyon kazası Uluslararası Atom Enerji Ajansı (IAEA) tarafından “insanlar, çevre veya tesis üzerinde önemli sonuçlara yol açan bir olay” olarak tanımlanmaktadır. Nükleer Afet Yönetimi (NAY), radyoaktivite riskini azaltmak için bir dizi teknik önlem ve özel ekipmanı içerir. Müdahale Savunma, Enerji, İçişleri, Dışişleri, Sağlık, Gıda ve Çevre bakanlıkları ile diğer ilgili kurumlar arasında koordinasyonu gerektirmektedir. Kısacası NAY, standart bir afet yönetimi kapsamının ötesinde teknik uzmanlık gerektirmektedir.

2. Materyal ve Yöntem

Bu makalenin amacı, Türkiye'nin maruz kalabileceği nükleer serpinti durumunda, afete müdahale için başarılı bir nükleer afet yönetim planı oluşturmaktır. 2011 yılında meydana gelen Fukushima Nükleer Santrali kazası, Tōhoku depremi ardından meydana gelen 9 büyüklüğündeki tsunami sonucu oluşmuş ve 1.370 kişi hayatını kaybetmiştir (Ichiro vd., 2019). Bu nedenle "nükleer afete müdahale planı", Türkiye'nin olası bir nükleer serpinti için hazırlıklı olması açısından önem kazanmaktadır. Bu çalışmada amaçlananlar aşağıdaki gibidir.

- (i) Nükleer afete başarılı bir müdahale için nükleer afet yönetiminde etkili kriterleri belirlemek,
- (ii) Belirlenen kriterleri önem sırasına göre dizmek
- (iii) Kriterleri bağımlı ve bağımsız olarak sınıflamak,
- (iv) Nükleer afet yönetimi için hiyerarşi planı oluşturmak,
- (v) Bulunan ilişkiler doğrultusunda işletmecilere ve ilgili yöneticilere önerilerde bulunmak.

Bu makalenin açıklanan amaçları doğrultusunda, literatür taraması ile elde edilen nükleer afet yönetiminde etkili on yedi kriter konunun uzmanı olan ve ortalama 22 yıl tecrübeye sahip sekiz uzmanın görüşüne sunulmuş ve yine aynı uzmanlara bulanık DEMATEL analizi için anket uygulanmış, anket verileri analizde kullanılarak kriterlerin önem sırası belirlenmiş, bağımlı ve bağımsız kriterler tespit edilerek, önem sırasına göre kriterler literatür desteğinde incelenmiştir.

2.1 Literatür İncelemesi

Literatür taramasının ilk aşamasında 11 Ekim 2022 tarihi itibarıyla "Türkiye Ulusal Tez Veri Merkezi" incelenmiştir. "Nükleer enerji" kelimeleri ile arama yapıldığında (Tablo-1, Filtre-1), 1990-2020 yılları arasında 70 yüksek lisans ve 2008-2020 yılları arasında 7 doktora tezinin yapıldığı görülmektedir. Filtre-1 sonuçlarında "Kriz" kelimesi arandığında 2009 yılında bir yüksek lisans tezi yapıldığı tespit edilmiştir (Tablo-1, Filtre-2).

Aynı şekilde Filtre-1 sonuçlarında "Afet" kelimesi arandığında, 2019 yılında bir yüksek lisans tezinin yapıldığı görülmektedir (Tablo-1, Filtre-3). 2009 ve 2019 yıllarında yapılan çalışmaların başlıklarında "Kriz" ve "Afet" kelimelerine yer verilse de, içerikleri incelendiğinde, bu makalenin araştırma amacıyla ilgili olmadığı tespit edilmiştir. (Tablo-1*)

Tablo 2, Filtre 1'de görüldüğü gibi ulusal tez veri merkezinde, "afet" kelimesi ile arama yapıldığında, 1986-2020 yılları arasında 535 yüksek lisans ve 1998-2020 yılları arasında 106 doktora tezi yapıldığı tespit edilmiştir. Filtre-1 sonuçlarında "Nükleer" kelimesi arandığında, 2015-2020 yılları arasında 5 adet yüksek lisans tezi yapıldığı ancak Doktora çalışmasının yapılmadığı görülmektedir (Tablo-2, Filtre-2).

Tablo 1. Ulusal Tez Veri Merkezi Sonuçları-1

	Filtre -1	Filtre-1'de Filtre 2	Filtre-1'de Filtre 3
Anahtar kelime	Nükleer enerji	Kriz	Afet
Yıllar	1990 - 2020	2009	2019
Yüksek lisans tez sayısı	70	1*	1*
Yıllar	2008 - 2020	0	0
Doktora tez sayısı	7	0	0

Tablo 2. Ulusal Tez Veri Merkezi Sonuçları-2

	Filtre -1	Filtre-1'de Filtre 2
Anahtar kelime	Afet	Nükleer
Yıllar	1986-2020	2015-2020
Yüksek lisans tez sayısı	535	5*
Yıllar	1998-2020	1998-2020
Doktora tez sayısı	106	0

Tablo-2' de belirlenen beş yüksek lisans tezinin (*) detayları Tablo 3'te verilmiştir. Türkiye'nin afet yönetim sisteminin, başta nükleer olmak üzere teknolojik afetlere hazırlanma kapasitesini inceleyen çalışmada nükleer afet yönetim sistemine yönelik önerilerde bulunmaktadır (Bylyeva, 2015). Nükleer enerji ile ilgili mevzuatın yeterli derece gelişmiş olduğu ancak olası nükleer afette, sivil korumaya yönelik hazırlığın yeterli olmadığı belirtilerek, 2014 yılındaki Soma faciası örnek verilmiş, Türkiye'deki güvenlik kültüründe çok ciddi eksikliklerin olduğu belirtilmiştir. 2022 yılında olan Bartın maden kazası da bu durumu pekiştirmektedir. Erken uyarı sistemleri dâhil nükleer tesis faaliyetleri ile atık yönetiminin sürekli biçimde denetlenmesi, tesis çevresindeki radyasyon ölçümlerinin düzenli olarak Uluslararası Atom Enerji Ajansı (IAEA) ile paylaşılması önem arz etmektedir (Yılmaz, 2017). Tahliye ve sığınak planlarının yapılması, terör ve siber saldırılara karşı önlem alınması gerektiği vurgulanmaktadır. İnsan kaynağı, teknik ve yaygın olmak üzere üç boyutta eğitim verilmesi, tehlikeli madde taşıyıcılığı, atık yönetimi, radyasyon ve sağlık gibi konularda sertifika programları düzenlenmesi, kriz senaryoları çerçevesinde tatbikatlar yapılması, gerekli olacak ilaçların, ekipmanların, koruyucu maskelerin ve diğer kişisel koruyucu donanımların stoklanması ve güvenlik kültürünün geliştirilmesi hususları önem kazanmaktadır.

Tablo 3'de bulunan iki çalışmada nükleer afet durumunda genel olarak alınması gereken teknik ve idari önlemler belirtilmiş ancak önem sırasına göre bir analiz yapılmamış, hangi kriterlerin bağımlı, hangilerinin bağımsız olduğuna ilişkin tespitler yapılmamıştır (Bylyeva, 2015; Yılmaz, 2017). Tablo 3'deki diğer üç çalışmada nükleer afet yönetimi için sadece yöneylem araştırmaları yapılmış ancak afet yönetimine değinilmemiştir (Merve, 2019; Odabaş, 2019; Kaynak 2020). Netice itibarıyla, ulusal tez veri merkezinde yapılan literatür taramasında, bu makalenin konusu ve amacıyla ilgili bir çalışmanın olmadığı tespit edilmiştir.

Tablo 3. Ulusal Tez Veri Merkezi Sonuçları-3

Yazar	Yıl	Tez adı
Bylyeva, Ganna	2015	Türk afet yönetim sisteminin nükleer ve teknolojik afetlere hazırlık kapasitesi
Yılmaz, Hava	2017	Nükleer afetlerde kriz yönetimi
Pınar, Merve	2019	Acil yardım ve afet yönetimi ve sağlık yönetimi bölümü öğrencilerinin nükleer enerji kullanımına ilişkin tutumlarının ölçülmesi: Gümüşhane Üniversitesi örneği
Odabaş, Derya	2019	Kimyasal, biyolojik, radyolojik ve nükleer afetleri yönetmek için bir karar destek sistemi modeli önerisi
Kaynak, Ceren	2020	Örnek bir hastane afet ekibinin doğal afetler sonrasında ortaya çıkabilecek KBRN (Kimyasal, biyolojik, radyoaktif, nükleer) tehlikeler ile ilgili bilgi düzeylerinin ölçülmesi

Literatür taramasının ikinci aşamasında, 11 Ekim 2022 itibarıyla, Türkiye Ulusal Tez Veri Merkezi dışı taramalar yapılmıştır. Scencedirect.com web sitesinde 11 Ekim 2022 tarihi itibarıyla "nükleer güvenlik" kelimeleri ile yapılan taramada, Nükleer reaktör ve nükleer atık kaynaklı risklerin takibinde Yapay Zekâ algoritmalarının kullanımı ile ilgili çalışmaların yoğunluk kazandığı Tablo 4'de görülmektedir. Scencedirect.com web sitesinde 20 Ekim 2022 tarihi itibarıyla "nükleer afet yönetimi" kelimeleriyle yapılan aramada, çalışmaların risk

değerlendirme, güvenlik ve reaktör işletmeciliği ile ilgili olduğu Tablo 5’de görülmektedir. Tablo 4 ve Tablo 5’de görüldüğü gibi, sciencedirect.com veri tabanında yapılan taramada, bu makalenin amacı kapsamında Türkiye için bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Tablo 4. Sciencedirect Arama Sonuçları-1

Yazar	Yıl	Makale Türü	Makale içeriği
Jacob Blevins vd.	2020	Ar. M.	T
Robin Hamer vd.	2019	Ar. M.	RD
Qi Yue vd.	2020	Ar. M.	YSA
Jeeyea Ahn vd.	2020	Ar. M.	NR
Minhee Kima vd.	2020	Ar. M.	YSA
Michael G vd.	2019	Ar. M.	YSA
Hyong Chol vd.	2020	Ar. M.	YSA
Ramachandran vd.	2020	Ar. M.	YSA
YSA: Yapay Sinir Ağları Ar.M: Araştırma makalesi			
RD: Risk Değerlendirme T:Teknik NR: Nükleer Reaktör			

Genel afet yönetimi kapsamında, afet yönetiminde etkili kritik başarı faktörlerini belirleyen birçok çalışmaya literatürde rastlanmaktadır. Bu çalışmalarda genel olarak faktörler arası ilişkiler; Fuzzy Delphi, Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi, Analitik Ağ Süreci, VIKOR, TOPSIS, MOORA, ELECTRE, Bulanık DEMATEL gibi yöntemlerle incelenmektedir. İran’da “sel afeti yönetimi” için kritik başarı faktörleri Fuzzy Delphi Metodu (FDM) ile belirlenip, aralarındaki ilişkiler Bulanık Yorumlayıcı Yapısal Modelleme (FISM) ile analiz edilmiştir (Hamid vd., 2020). Hindistan’daki “sel afeti yönetimi”nde ise kritik başarı faktörleri ilişkiler ağı, bulanık DEMATEL kullanılarak tespit edilmiştir (Behl vd., 2020). Maden ocaklarında afeti yönetimi kapsamında, bulanık Delphi tekniği ile kritik başarı faktörleri belirlenmiş ve aralarındaki ilişkiler Yapısal Modelleme (ISM) tekniği ile tespit edilmiştir (Chand vd., 2020).

Tablo 5. Sciencedirect Arama Sonuçları-2

Yıl	Yazar	Yayın türü	Yayın içeriği
1999	Paul vd.	Ar.M	T
1999	Paggio vd.	Ar.M	KDS
2006	Bölüm 85	KB	RD
2006	Bölüm 61*	KB	T
2011	Bölüm 1	KB	NG
2015	Bakkiam vd.	Ar.M	T
2015	Bölüm 76**	KB	T
2017	Bölüm 16	KB	İ
2018	Yuxin vd.	Ar.M	NG
2019	Sayfalar 107-120	A	İ
KB:Kitap Bölümü Ar.M:Araştırma makalesi A:Ansiklopedi			
T:Teknik KDS:Karar destek sistemleri İ:İşletme			
RD:Risk değerlendirme NG:Nükleer Güvenlik			

Literatür taraması ve uzman danışmanlığıyla insani yardım zincirleri yönetiminde etkili on iki kritik başarı faktörü Tablo 6’daki gibi belirlenmiş ve aralarındaki ilişkiler ağı tespit etmek için "Yorumsal Yapısal Modelleme (ISM) ve MICMAC analizleri kullanılmıştır (Devendra vd., 2015).

Tablo 6. Kritik Başarı Faktörleri-1 (Devendra vd., 2015)

Kriter Numarası	Kritik Adı	Kriter Numarası	Kritik Adı
1	Risk ve ihtiyaç değerlendirmesi	7	Acil yardım tedarik sistemi için stratejik planlama
2	Tedarik ve bağış yönetimi	8	Çevik insani yardım tedarik zinciri
3	Diğer yardım kuruluşlarıyla koordinasyon ve işbirliği	9	Hükümet politikaları ve organizasyon yapısı
4	Kurumların ve insanların kapasite geliştirme	10	Gelişmiş tahmin ve erken uyarı sistemi
5	Sağlam bilgi ve iletişim teknolojisi	11	Envanter yönetimi
6	Afete dirençli altyapı ve ulaşım tesisleri	12	Hazırlıklı olma ve müdahale uygulamalarında sürekli iyileştirme

27 Ekim 2022 Tarihi İtibariyle "Nükleer Afet Yönetimi" kelimeleri ile yapılan aramada, belirlenen önemli çalışmalar Tablo-7'de verilmektedir.

Tablo 7. Google Akademik Araştırma Sonuçları

Yazar	Yıl	Makale Türü	Makale içeriği
Doğruluk vd.	2018	Ar.M	NK
Ali Ekşi	2017*	Ar.M	NA
Özer vd.	2020	Ar.M	NA
İbrahim vd.	2019	Ar.M	NA
Şahin vd.	2018	Ar.M	NA
Ar.M:Araştırma makalesi NK:Nükleer Kazalar			
NA:Nükleer Afet			

Bir Hastane İçin Yapılan Çalışmada, Olası Radyasyon Yayılımına Müdahale Etmek İçin Oluşturulacak Afet Yönetim Modelinde, Kritik Başarı Faktörleri Tablo-8'deki Gibi Tespit Edilmiştir (Ekşi, 2017).

Tablo 8. Kritik Başarı Faktörleri-2 (Ekşi, 2017).

Kritik Başarı Faktörleri	
1-Müdahale eylemlerinde sorumluluklar	4- Müdahale personeli için koruyucu önlemleri
1.1 Kriz yönetim merkezleri	5.1 Halkı korumaya yönelik eylemler
1.2 Özel müdahale ekiplerinin sorumluluklar	5.2 Tahliye
1.3 İtfaiye ekiplerinin sorumlulukları	5.3 Sağlık hizmetlerinin sağlanması
1.4 Acil sağlık ekiplerinin sorumluluklar	5.3.1 Alanda maruz kalma yaralanmalarında tıbbi bakım
1.5 Kolluk birimlerinin sorumlulukları	5.3.2 Kitlesel barınma alanlarında ilk tıbbi bakım
2- Kurtarma çalışmaları	5.3.3 Koruyucu iyot uygulaması
3- Tıbbi müdahale alanının oluşturulması	

Literatür araştırmasında elde edilen kritik başarı faktörleri A sütununda, uzman ve akademisyen görüşleri ile belirlenen kritik başarı faktörleri ise B sütunundaki gibi belirlenmiştir (Tablo 9).

Tablo 9 Nükleer Afet Yönetimi İçin Nihai Kritik Başarı Faktörleri

No	Kritik başarı faktörleri	A (Literatür araştırması)	B (Uzman ve akademisyen görüşleri)
1	Proses veri takibi	(Samokhin, 2020)	
2	Nükleer Atık Takibi	(Koo vd., 2014)	
3	İş Güvenliği Önlemleri		Uzman görüşü
4	Erken Uyarı Sistemleri	(Devendra vd., 2015)	
5	Sığınma Odaları		Uzman görüşü
6	Sağlık hizmeti	(Ekşi, 2017)	
7	Gıda, su, ilaç vb. karşılanması		Uzman görüşü
8	Elektrik güç kaynağı		Uzman görüşü
9	Acil Müdahale Ekipleri	(Ekşi, 2017), (Alvarenga vd., 2015)	
10	Yasal Yaptırımlar		Uzman görüşü
11	Kriz Yönetim Merkezleri	(Ekşi, 2017)	
12	Tahliye organizasyonları	(Ekşi, 2017), (Marjan vd., 2015)	
13	Halka kişisel koruyucu ekipman dağıtımı	(Ekşi, 2017)	
14	Afetlerle İlgili Düzenlemeler	(Alvarenga vd., 2015)	
15	İnsan yapımı afetler	(Yang vd., 2018)	
16	Etkili müdahale ve kurtarma planları	(Ekşi, 2017), (Murata, 2021)	
17	Yerel sakinler, aileler, işletmeler ve kamu kurumları için iyi tasarlanmış halk eğitimi	(Devendra vd., 2015) (Li vd., 2021)	

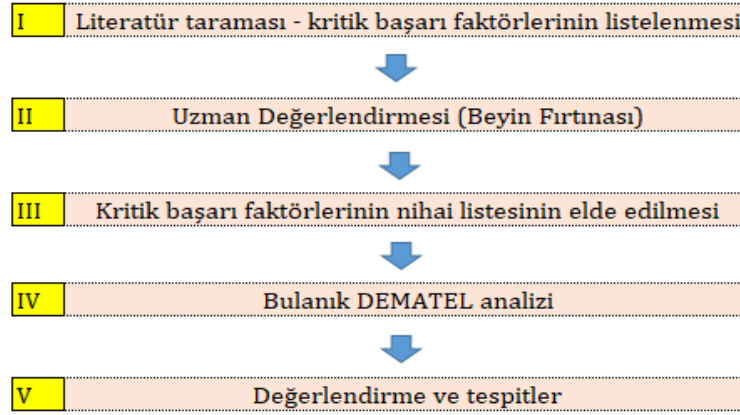
2.2 Nihai Kritik Başarı Faktörleri

Tablo 9’da görüldüğü gibi, literatür araştırmasında elde edilen kritik başarı faktörleri A sütununda, uzman ve akademisyen görüşleri ile belirlenen kritik başarı faktörleri ise B sütunundaki gibi belirlenmiştir.

Bu makalenin amacı, Türkiye dışından veya gelecekte Türkiye’de işletmeye alınacak nükleer santrallerden, nükleer başlıklardan veya nükleer madde kullanana tesislerden kaynaklı nükleer radyasyon yayınına durumunda, afete müdahale etmek için başarılı bir afet yönetim modelini belirlemek olduğundan literatür taraması sonucu Tablo 9’da tespit edilen kriterlerin; önemine göre sıralanması, aralarında bağımlı ve bağımsız kriter ayırımı yapılmaması önem kazanmaktadır.

2.3 Literatür İnceleme Özeti

Genel afet yönetim modeli kapsamında, insani yardım zincirleri için kritik başarı faktörlerini tespit eden çalışmalar literatürde bulunmaktadır (Hamid, 2020; Behl, 2020; Chand, 2020). Nükleer afetlerde radyasyon emisyonlarının önlenmesi ve hayat kurtarıcı önlemlerin zamanında ve etkin bir şekilde alınması; etkin bir müdahale planı ile mümkündür. Bu kapsamda, Türkiye için gerçekleştirilen tek çalışmada bir hastanede olası nükleer radyasyon emisyonu durumunda başarılı bir müdahale planı için kritik başarı faktörleri belirlenmiş ve kavramsal bir çerçeve oluşturulmuş ancak belirlenen kritik başarı faktörleri önem sırasına göre sıralanmamış ve aralarındaki ilişkiler analiz edilmemiştir (Ekşi, 2017). Diğer taraftan, literatürde Türkiye için olası bir nükleer kaza sonrasında afet yönetimi modeli kapsamında kritik başarı faktörleri arasındaki ilişkileri inceleyen bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu makale bu alandaki ilk çalışmadır ve araştırmacılar için bir referans noktası olacaktır.



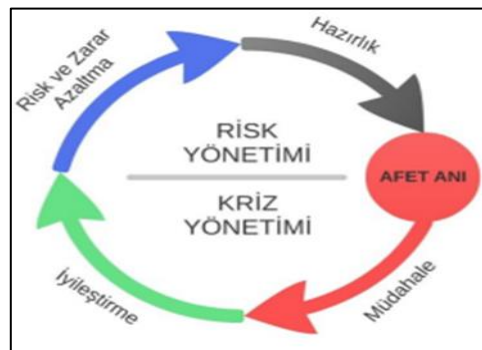
Şekil 3. Metodolojik Yöntem

2.4 Metodoloji

Literatür taraması kapsamında belirlenen on yedi kritik başarı faktörüne; nükleer ve afet konularında deneyimli uzman ve akademisyenlerin görüşleri alınarak son hali verilmiştir (Şekil 3’de I., II. ve III. Aşamalar). Kesinleşmiş kritik başarı faktörleri arasındaki ilişkiler ağı, bulanık DEMATEL analizi ile belirlenmiş (Şekil 3’de IV. Aşama) ve değerlendirmeler sonucu tespitler yapılmıştır (Şekil 3’de V. Aşama).

Olası bir nükleer afetin Türkiye topraklarından veya Türkiye’ye sınır ülkelerden kaynaklanması durumunda, başarılı bir afet müdahale planı için belirlenen on yedi kriter; bulanık DEMATEL analizi ile önem sırasına göre sıralanmış, ayrıca kriterler aralarında bağımlı ve bağımsız olarak sınıflanmıştır. Bu tespitlerden yararlanılarak bu çalışmanın beşinci bölümünde, kriterler hakkında literatür eşliğinde tespitler yapılmıştır. Afet yönetim modeli, Şekil 4’te gösterildiği gibi dört ana aşamaya ayrılmakta olup, amaç afetlerden etkilenen ekonomik ve ticari alanların yanı sıra afete hazırlık ile ilgili ana konuların iyileştirilmesini sağlamaktır (Huo vd., 2021).

Şekil 4’de görüldüğü gibi, genel afet yönetim modelinde bulunan dört aşama; hazırlık, müdahale, iyileştirme ve azaltmadır (Tezer, 2001). Bu dört aşama afet yönetim döngüsü olup, bir afet yönetim modeli kurulurken, afet öncesi ve afet sonrası ayrımı dikkate alınabilir. Ancak bu makalede Türkiye için literatür araştırması ve uzman görüşleriyle belirlenen nihai kritik başarı faktörlerini içeren “Nükleer Afet Yönetim Modeli” oluşturulurken, afet öncesi ve afet sonrası gibi bir ayrım dikkate alınmamıştır. Literatür taramasında elde edilen on yedi kriter bulanık DEMATEL yöntemiyle analiz edilerek kriterler arası ilişkiler ağı belirlenmiştir. Faktörler arasındaki etkileşimi ölçmek oldukça zor olsada, etkileşim derecesini belirlemek için bulanık DEMATEL yöntemini kullanan literatür çalışmaları bulunmaktadır (Altan ve Aydın, 2015; Nilashi vd., 2015; Organ, 2013; Sevim vd., 2011; Altan ve Aydın, 2015; Ada vd., 2011).



Şekil 4. Afet Yönetim Döngüsü (Tezer, 2001)

2.5. Bulanık DEMATEL Uygulama Prosedürü

Bulanık DEMATEL prosedürü 7 aşamalı olup, tüm aşamalar sırasıyla izah edilerek uygulanmıştır.

Aşama 1. Faktörler Arasındaki İlişkilerin Uzmanlar Tarafından Değerlendirilmesi: Literatür araştırması ve uzman görüşleriyle tespit edilen on yedi kritik başarı faktörü, bilgileri Tablo 10’da verilen uzmanlar tarafından

değerlendirilmiştir. Uzmanlar nükleer ve afet konularında 15 ila 40 yıl arası tecrübeye sahip olanlar arasından seçilmiştir.

Aşama 2. Bulanık Direkt İlişki Matrisi: Sekiz Uzman her bir kriteri, diğer 16 kriter ile Tablo-11'de bulunan dilsel ifadeleri kullanarak karşılaştırmıştır. Eşitlik (1) kullanılarak 17x17 boyutunda 8 adet bulanık ilişki matrisi (Z) elde edilmiştir.

$$Z = \begin{bmatrix} 0 & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & \cdots & 0 \end{bmatrix}$$

$$Z_{ij} = \frac{1}{m} \sum_1^m x_{ij}^k \quad (1)$$

Aşama 3. Normalize Edilmiş Bulanık Direkt İlişki Matrisi: Eşitlik (2) ve (3) kullanılarak, 0-1 aralığındaki elemanlarla normalleştirilmiş bir bulanık doğrudan ilişki matrisi elde edilmiştir.

Tablo 10 Uzman Listesi

Uzman No	Çalışma durumu	Tecrübe (yıl)
1	Özel sektör	16
2	Devlet	16
3	Devlet	16
4	Devlet	21
5	Özel sektör	20
6	Üniversite	30
7	Üniversite	41
8	Devlet	21

Tablo 11 Değerlendirme Skalası

Etki derecesi	Sayısal değer	Dil değeri	Üçgen Bulanık Sayı değerleri		
Etki yok	0	NI	0	0.1	0.3
Çok düşük etki	1	VL	0.1	0.3	0.5
Etkili	2	I	0.3	0.5	0.7
Yüksek etki	3	HI	0.5	0.7	0.9
Çok yüksek etki	4	VHL	0.7	0.9	1

$$X_{1j}^k = \frac{z_{1j}^k}{r^k} = \left(\frac{l_{ij}^k}{r^k}, \frac{m_{ij}^k}{r^k}, \frac{h_{ij}^k}{r^k} \right) \quad (2)$$

$$r^k = 1 < i < n \left(\sum_j^n l_{ij}^k \right) \quad (3)$$

$$r^k = 1 < i < n \left(\sum_j^n m_{ij}^k \right) \quad (3)$$

$$r^k = 1 < i < n \left(\sum_j^n h_{ij}^k \right) \quad (3)$$

Aşama 4. Bulanık Toplam İlişki Matrisi: Normalize edilmiş bulanık direkt ilişki matrisinden hareketle Eşitlik (4) ve (5) kullanılarak, bulanık toplam ilişki matrisleri elde edilmiştir.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} X + X^2 + \cdots + X^n \quad (4)$$

$$T = \sum_{i=1}^{\infty} X^i \quad (5)$$

$$T = X(1 - X)^{-1} \quad (6)$$

Bulanan sonuçlar tek bir matriste birleştirilerek, üçgen bulanık sayılardan oluşan bulanık toplam ilişki matrisi (T) elde edilmiştir.

Aşama 5. Etkileyen ve Etkilenen Faktörlerin Belirlenmesi: Bulanık toplam ilişki matrisi (T) oluşturulduktan sonra, satır değerlerinin toplamını gösteren R_i ve sütun değerlerinin toplamını gösteren C_i değerleri hesaplanmıştır. R_i bir faktör tarafından başka faktörlere gönderilen doğrudan veya dolaylı etkilerin toplamını göstermektedir. Aynı faktöre diğer faktörlerden gelen etkilerin toplamı ise C_i 'dir. Bu değerler hesaplandıktan sonra, her bir faktör için $(R_i + C_i)$ ve $(R_i - C_i)$ değerleri tespit edilmiştir.

Aşama 6. Durulaştırma: 5. aşamada elde edilen $(R_i + C_i)$ ve $(R_i - C_i)$ değerleri Eşitlik (6) ve (7) kullanılarak tek bir sayıya dönüştürülmüştür.

$$R_i^{def} + C_i^{def} = \frac{1}{4} (l + 2m + h) \quad (6)$$

$$R_i^{def} - C_i^{def} = \frac{1}{4} (l + 2m + h) \quad (7)$$

Aşama 7. Faktör Ağırlıklarının Belirlenmesi: On yedi kriterin her birinin ağırlıklarını belirlemek için Eşitlik (8) ve (9) kullanılmıştır.

$$w_i = \sqrt{(R_i^{def} + C_i^{def})^2 + (R_i^{def} - C_i^{def})^2} \quad (8)$$

$$W_i = w_i / \sum_i^n w_i \quad (9)$$

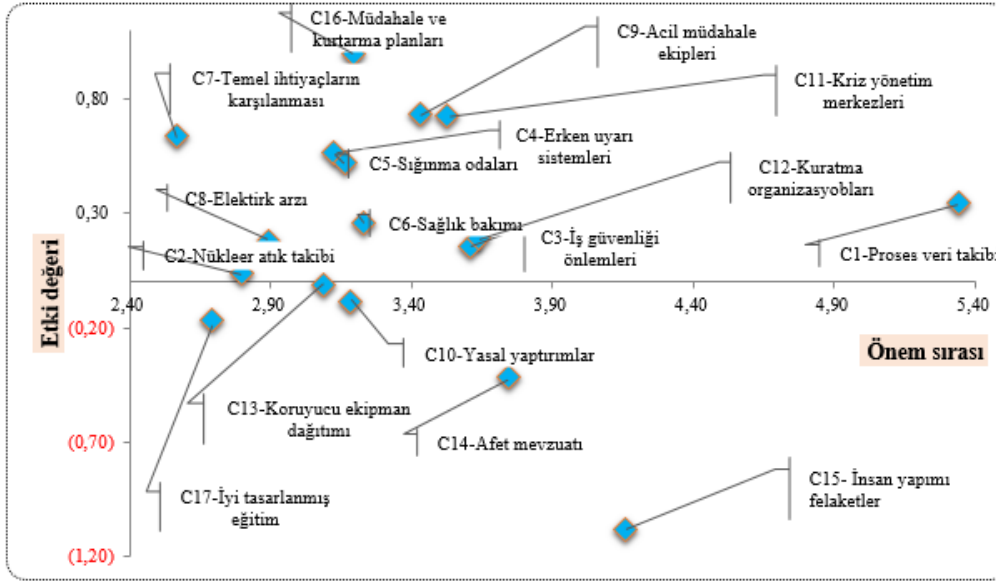
3. Bulanık DEMATEL Analiz Sonuçları ve Bulgular

İzah edilen yedi aşamalı Fuzzy DEMATEL prosedürünün altıncı aşamasında her faktör için hesaplanan $(R_i + C_i)$ ve $(R_i - C_i)$ değerleri Tablo-12'de görülmektedir. $(R_i + C_i)$ değerleri, kriterlerin önem sırasını verirken, $(R_i - C_i)$ değerleri ise etkileyen ve etkilenen kriterleri belirlemek için kullanılmaktadır.

Tablo 12 Durulaştırılmış Etkileyen Ve Etkilenen Faktör Grupları

Kriter	Kriter Adı	$R_i + C_i$	$R_i - C_i$
C1	Nükleer Reaktör Proses veri takibi	5.3378	0.3456
C2	Nükleer Atık Takibi	2.7956	0.0371
C3	Nükleer Santrallerde İş Güvenliği Önlemleri	3.6065	0.1558
C4	Erken Uyarı Sistemleri	3.1259	0.5684
C5	Sığınma Odaları	3.1626	0.5203
C6	Sağlık hizmeti	3.2325	0.2592
C7	Temel İhtiyaçların Karşlanması (gıda, su, ilaç vb.)	2.5684	0.6366
C8	Elektrik güç kaynağı	2.8898	0.1819
C9	Acil Müdahale Ekipleri	3.4327	0.7324
C10	Yasal Yaptırımlar	3.1835	-0.0808
C11	Kriz Yönetim Merkezleri	3.5276	0.7261
C12	Tahliye organizasyonları	3.6365	0.1908
C13	Kişisel koruyucu donanımların halka dağıtımı	3.0880	-0.0076
C14	Afetlere İlişkin Düzenlemeler	3.7441	-0.4158
C15	İnsan yapımı afetler	4.1605	-1.0805
C16	Etkili müdahale ve kurtarma planları	3.1933	0.9966
C17	Yerel sakinler, aileler, işletmeler ve kamu kurumları için iyi tasarlanmış halk eğitimi	2.6937	-0.1676

Tablo-12'de verilen $(R_i + C_i)$ ve $(R_i - C_i)$ değerleri kullanılarak elde edilen etki - önem diyagramı Şekil-5'te görülmektedir. Kriterlerin önem sırası, okuyucuya göre “X ekseninde” sola doğru azalmaktadır. “X eksen” üzerinde olan kriterler; kritik başarı faktörleri olarak adlandırılan bağımsız kriterlerdir. “X eksen” altında olan kriterler ise bağımlı olan kriterlerdir.



Şekil 5. Analiz Sonucu Etki - Önem Grafığı

3.1 Nükleer Afet Yönetim Kriterlerin Önem Sırası

$(R_i + C_i)$ ve $(R_i - C_i)$ değerleri kullanılarak elde edilen kriterlerin önem sırası diğer bir ifadeyle yüzde ağırlık değerlerinin sıralaması, Tablo 13'deki gibi elde edilmiştir. On yedi kritere genel olarak bakıldığında, ağırlık yüzdesi değerlerinin %7,7 ile %15,6 arasında değiştiği, ortalamanın %9,9 olduğu görülmektedir. Bu bulgu, on yedi kriterin önem açısından birbirine çok yakın olduğunu göstermektedir.

Tablo 13 Kriterlerin¹ Önem Sırası ve Yüzde Ağırlık Oranları

Kriter kodu*	C1	C15	C14	C12	C3	C11	C9	C6	C16
Kriter önem sırası	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R+C	5.34	4.16	3.74	3.64	3.61	3.53	3.43	3.23	3.19
R-C	0.35	-1.08	-0.42	0.19	0.16	0.73	0.73	0.26	1.00
$a=(R+C)^2 + (R-C)^2$	28.61	18.48	14.19	13.26	13.03	12.97	12.32	10.52	11.19
$w_i=a^{0.5}$	5.35	4.30	3.77	3.64	3.61	3.60	3.51	3.24	3.35
$\% = (w_i/\sum w_i)*100$	15.57	12.51	10.96	10.60	10.50	10.48	10.21	9.44	9.73

Kriter kodu*	C10	C5	C4	C13	C8	C2	C17	C7	Total
Kriter önem sırası	10	11	12	13	14	15	16	17	
R+C	3.18	3.16	3.13	3.09	2.89	2.80	2.69	2.57	
R-C	-0.08	0.52	0.57	-0.01	0.18	0.04	-0.17	0.64	
$a=(R+C)^2 + (R-C)^2$	10.14	10.27	10.09	9.54	8.38	7.82	7.28	7.00	
$w_i=a^{0.5}$	3.18	3.21	3.18	3.09	2.90	2.80	2.70	2.65	34.37
$\% = (w_i/\sum w_i)*100$	9.27	9.33	9.25	8.99	8.43	8.14	7.85	7.70	100.00

*:Kriter kodlarının (C1, C2,C17) tam adı için Tablo 12'ye bakın

3.2 Nükleer Afet Yönetim Kriterlerinde Bağımsız ve Bağımlı Kriterlerin Sınıflanması

On yedi kriterden hangilerinin bağımsız, hangilerinin bağımlı olduğu, Tablo-14'te verilmektedir. Literatür taramasında elde edilen 17 faktörden 10'u kritik başarı faktörü olan bağımsız kriterler olup önem puanına göre Tablo 14'de gibi tespit edilmiştir.

En önemli kritik başarı faktörü (C1, önem puanı 5,34), nükleer reaktör proses verilerinin takibidir. Nükleer reaktör, belirlenen proses limitleri içinde işletilirse kaza olmayacağından, radyasyon yayılımı da olmayacaktır. Sonraki en önemli kritik başarı faktörü; tahliye organizasyonlarıdır (C12, önem puanı 3,64). Nükleer kaza meydana geldiğinde radyasyon yayılmaya başlayacağından yapılacak ilk iş; tehlikedeki insanların ve hayvanların güvenli bir yere taşınması olacaktır.

Tablo 14 Bağımsız ve Bağımlı Kriterler

Kriter kodu*	Bağımsız X kriterleri											
	C1	C12	C3	C11	C9	C6	C16	C5	C4	C8	C2	C7
Önem puanı	5.3	3.6	3.6	3.5	3.4	3.2	3.1	3.1	3.1	2.8	2.8	2.5
Önem sırası	4	4	1	3	3	3	9	6	3	9	0	7
Önem sırası	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Kriter kodu*	Bağımlı Y kriterleri											
	C15	C14	C10	C13	C17							
Önem puanı	4.1	3.7	3.1	3.0	2.6							
Önem sırası	6	4	8	9	9							
Önem sırası	1	2	3	4	5							

*: Kriter kodlarının (C1, C2,C17) tam adı için Tablo 12'ye bakın

Bir sistemde bağımsız kriterler yani kritik başarı faktörleri iyi yönetilirse, doğal olarak bağımlı kriterler daha sağlıklı yönetilecektir. Mevcut çalışmada, tespit edilen “bağımsız kriterler” önem sırasına göre aşağıdaki gibi bulunmuştur.

- C1 Nükleer reaktör proses veri takibi
- C12 Tahliye organizasyonları
- C3 Nükleer santrallerde iş güvenliği önlemleri
- C11 Kriz yönetim merkezleri
- C9 Acil müdahale ekipleri
- C6 Sağlık hizmeti
- C16 Etkili müdahale ve kurtarma planları
- C5 Sığınma odaları
- C4 Erken uyarı sistemleri
- C8 Elektrik güç kaynağı
- C2 Nükleer atık takibi
- C7 Temel ihtiyaçların karşılanması (gıda, su, ilaç vb.)

Önem sırasına göre “bağımlı kriterler” ise aşağıdaki gibi tespit edilmiştir.

- C15 İnsan yapımı afetler
- C14 Afetlerle ilgili düzenlemeler
- C10 Yasal yaptırımlar
- C13 Halka kişisel koruyucu ekipman dağıtımı
- C17 Yerel sakinler, aileler, işletmeler ve kamu kurumları için iyi tasarlanmış eğitim

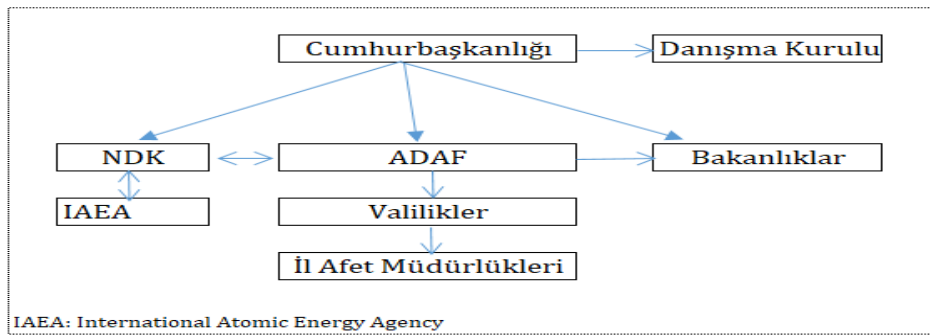
3.3 Nükleer Afet Yönetim Planı Hiyerarşisi

Hindistan, Pakistan, Güney Afrika ve Rusya'nın nükleer afet yönetim planlarının incelendiği çalışmada (Mustabeen vd., 2020), nükleer afet yönetim modelinde, aşağıdaki unsurların olması gerektiği belirtilmiştir.

- Radyasyon izleme ve tespit sistemleri, sınır kontroller
- Radyoaktif kaynakların işlendiği tesislerin takibi

- Nükleer madde ve atık taşıma kazaları için önlemler
- Radyolojik cihazlar için teknik ve tıbbi önlemler
- Hastane hazırlıkları
- Metrolar ve önemli şehirler için acil durum yönetimi
- Eğitim, bilgi yönetimi, farkındalık oluşturma
- Paydaşların, ilk müdahale ekiplerinin, idari personelin eğitimi

Şekil 6'da görülen Türkiye için önerilen Nükleer afet yönetimi hiyerarşi modelinde; Cumhurbaşkanlığı tepe yönetiminde olup AFAD, NDK ve Bakanlıklara talimat verebilecektir. Cumhurbaşkanının ulusal ve uluslararası kapsamda danışacağı ayrı bir danışma kurul olmakla birlikte, Uluslararası Enerji Ajansı (International Atomic Energy Agency –IAEA) üyeliği gereği yükümlülükler NDK aracılığıyla takip edilecektir. AFAD, NDK ile eşgüdümlü çalışıp, Bakanlıkların imkân ve olanaklarını afetle mücadelede kullanırken, Valilikler aracılığıyla İl Afet Müdürlüklerini seferber edecektir.



Şekil 6. Önerilen Nükleer Afet Yönetimi Hiyerarşisi

4.Tartışma, Sonuç ve Öneriler

Türkiye içinden veya dışından kaynaklanabilecek olası bir nükleer serpinti kapsamında, hükümet ve ilgili kurumların; Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (UAEA) tarafından 2015 yılında yayınlanan “General Safety Requirements Part 7” ile uyumlu hareket etmesi zorunludur. Türkiye'deki ilgili kurumlar 1987 Çernobil ve 2011 Fukushima nükleer afet deneyimleri ile Nükleer Acil Durumlarda Tıbbi ve Sağlık Gözetlemesinin İyileştirilmesi çerçevesini dikkate almalıdır. Türkiye'nin bir nükleer kazaya müdahale edebilmesi için oluşturulacak bir afet yönetim modelinde, söz konusu uluslararası düzenlemelerden doğan yükümlülüklerin yanı sıra kendi özel koşulları da dikkate alınmalıdır. Literatür taramasında elde edilen ve bulanık DEMATEL yöntemi kullanılarak önem sırasına göre tespit edilen on yedi kriter; Türkiye'nin devlet yapılanması ve kanunları dikkate alınarak yine önem sırasına göre ve literatür desteğinde incelenerek, aşağıdaki tespit ve öneriler yapılmıştır.

- **C1-Nükleer reaktör proses veri takibi:** Nükleer Santral İşletmeciliği önemlidir. Proses verileri bilgisayarlı insan ara yüz sistemi (HIS) ile izlenmelidir. Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı'nın, Nükleer Santral işletmeciliği kapsamında geliştirdiği 5 katmanlı Derinlemesine Savunma güvenlik konseptine uygun çalışmalar yapılmalıdır (Zhang vd., 2018). Doğal olarak, nükleer reaktör proses verilerinin izlenmesi sorumluluğu santrali işleten şirkete ait olacaktır. Türkiye, Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) kuralları gereği bu konuda katı bir mevzuat hazırlamış ve 2018 yılında Nükleer Düzenleme Kurumunu kurmuştur. Nükleer Düzenleme Kurumu, ülke içi ve sınırlarında ölçülen radyasyon değerlerini sürekli ve online olarak takip etmektedir. Aynı şekilde nükleer reaktör proses verilerinin de çevrimiçi olarak anlık ve online takip edilmesi için bir sistem kurulması gerekmektedir.
- **C15-İnsan kaynaklı afetler:** Nükleer santrallerde çalışan personel ve yöneticilerin yanlış kararları, santrallere düzenlenebilecek terörizm ve siber saldırılar bu kapsamdadır. Santrallere bir uçağın düşmesi ile savaş gibi ihtimaller de dikkate alınmalıdır. Tesislerde çalışacak personel ve yöneticilere, sürekli süreç ve iş güvenliği konusunda eğitim verilmelidir. Santrallere yapılacak fiziksel ve siber saldırılara karşı önlemler alınmalıdır. Nükleer başlıkların savaşlarda kullanılma ihtimalleri de bu kapsamda düşünülmelidir. 22 Ocak 2021 tarihinde Nükleer Silahların Yasaklanması Antlaşması yürürlüğe girerse de Birleşmiş Milletler verilerine göre, günümüzde 13080 adet nükleer silah bulunmaktadır.
- **C14-Afetlere ilişkin düzenlemeler:** Nükleer afeti engelleme kapsamında, Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) Kurallarına uyumlu hazırlanan "Nükleer Tesislere Lisans Verilmesine İlişkin Tüzük (1983)" ve

"Radyasyon Güvenliği Tüzüğü (1985)" bulunmaktadır. 2012 yılında çıkarılan İş Güvenliği Kanununa göre nükleer reaktör işletmecisi, santralde idari, teknik, eğitim, tatbikat, tahliye, acil durum, ilk yardım ve benzeri konularda tüm önlemleri almakla yükümlüdür. 18.06.2020 tarihli Resmi Gazetede "Radyasyon Acil Durumlarının Yönetimine Dair Yönetmelik" yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmelikte, atmosfere radyasyon yayılması durumunda, giriş-çıkış kontrolü, tahliye, sığınma, iyot tableti kullanımı, radyoaktif maddelerin bilinçsizce yutulmasının engellenmesi, çevre ve kişilerdeki radyoaktif kirliliğin giderilmesi gibi düzenlemeler bulunmaktadır. Nükleer Düzenleme Kurumu 21 Nisan 2022 itibarıyla, lisans verme, radyasyon ölçümü ve güvenliği konularında; bir kanun, iki tüzük ve yirmi dokuz teknik yönetmelik düzenlemiştir. Nükleer afet yönetimine ilişkin ayrı bir Kanun çıkarılması faydalı olabilir. Bu Kanunda, Cumhurbaşkanlığı, Nükleer Düzenleme Kurumu, AFAD'a bağlı İl afet Müdürlükleri ile diğer Bakanlıklar arasındaki afet müdahale hiyerarşi ve kuralları belli olmalıdır. Bu amaçla, bu çalışmada önerilen olası hiyerarşi modeli kullanılabilir (Şekil 6).

- **C12-Tahliye organizasyonları:** Nükleer bir afet durumunda, tahliye organizasyonları belirsizlik içermemelidir. Krško Nükleer Santrali'nde olası bir afet olması durumunda yapılan ankette, üç kilometrelik bir yarıçap içinde yaşayan nüfusun neredeyse dörtte üçünün kabul merkezlerinin konumlarını ve üçte ikisinin ise tahliye yollarını bilmediğini ortaya koymuştur (Malesič, 2014). AFAD web sitesinde olası KBRN (Kimyasal, Biyolojik, Radyolojik, Nükleer) afetleri için il, ilçe ve mahalleye göre acil toplanma yerleri sorgulanabilmektedir (AFAD, 2022). Nükleer bir afet anında, tahliye organizasyonları her an hazır durumda olmalıdır.

Türkiye'de her ilde AFAD'a bağlı il afet müdürlükleri bulunmaktadır. Bu müdürlüklerde ilgili personel tahliye konusunda sürekli eğitime tabi tutulmalıdır. Nükleer Düzenleme Kurumu, nükleer santral çalışanlarının eğitimi konusunda bir yönetmeliğe sahip olmakla birlikte, hem kamu hem de santral personelinin tahliye konusunda eğitimine aktif olarak katılmalı ve nükleer afet konusunda halkın eğitimini de içeren ayrı bir eğitim yönetmeliği çıkarmalıdır.

- **C3-Nükleer santrallerde iş güvenliği önlemleri:** Nükleer santrallerde iş güvenliğinin tasarım aşamasından başlanarak sistematik bir şekilde ele alınması önerilmektedir (Wahlström, 2018). Yönetim ve karar destek sistemleri, organizasyonel öğrenme, personel yeterliliği ve paydaşlar iş güvenliği kapsamında değerlendirilmelidir. Eş zamanlı ele alınacak unsurların nükleer güvenliği sağlayacağı ifade edilse de proaktif yaklaşımın olması gerekmektedir. Bu maksatla kısa sürelerde risk değerlendirilmesi yapılmalıdır. 6331 sayılı İş Güvenliği Kanunu ve Risk Değerlendirmesi Yönetmeliğine göre nükleer santrallerde iki yılda bir risk değerlendirilmesi yapılmak zorundadır. Güvenlik Raporu Çevre Bakanlığına sunulmadan nükleer santral işletmeye alınmamaktadır. Nükleer santral işleten firma, kanun ve yönetmelik gereği tüm iş güvenliği önlemlerini almak, işçileri eğitmek ve çalışmalarını kayıt altına almak zorundadır. Nükleer santraller mevzuata göre çok tehlikeli işyerleridir. Dolayısıyla, nükleer santrallerde risk değerlendirmenin 2 yılda bir değil de 3 ayda bir zorunlu olacak şekilde mevzuatta yeniden düzenlenme yapılması gerekmektedir.
- **C11-Kriz yönetim merkezleri:** Nükleer bir afette, ana kriz yönetim merkezi doğal olarak Nükleer Düzenleme Kurumu olacaktır. AFAD'a bağlı 81 ildeki il afet müdürlükleri ve ilgili Bakanlıkları kapsayan bir "kriz yönetim merkezleri yönergesi" oluşturulmalıdır. Bu yönerge, oluşabilecek karmaşayı engelleyecektir. Nükleer kriz yönetimine hazırlık için genel bir eğitim yapılması gerekir (Lagadec, 1982). Ancak bu eğitim; halk, yetkili kişiler ve nükleer santral çalışanları için farklı seviyelerde olmalıdır. Nükleer santraller, yüksek riskli teknolojiler kapsamında olsa da dijital teknolojiler kriz yönetimini kolaylaştırmada kullanılabilir (Perrow, 1984). Nükleerin üçüncü dünya savaşına yol açabileceği belirtilse de uluslararası nükleer silahsızlanma anlaşmaları bulunmaktadır (Lebow, 1981). Türkiye'deki nükleer kriz yönetim merkezleri Nükleer Düzenleme Kurumu ve İl Afet Müdürlükleri olup nükleer savaş ihtimali de dâhil olmak üzere tüm olasılıklara hazır ve teknolojik gelişmeler dikkate alınarak hazırlanmalı ve yönetilmelidir.
- **C9-Acil müdahale ekipleri:** Nükleer düzenleme kurumu ve AFAD'a bağlı 81 ilde bulunan il afet müdürlükleri personeli özel eğitilmelidir. Ayrıca halk, afet müdürlükleri personeli tarafından nasıl davranılması gerektiği konusunda eğitilebilir. İlgili kamu kurumlarınca nükleer afet simülasyonları yapılarak tespit edilecek esneklik ve zafiyetler diğer kamu kurumları ile paylaşılmalıdır.
- **C6-Sağlık bakımı:** Nükleer bir afette insanlar radyasyona maruz kalabilirler. 2011 Fukushima tecrübesi incelendiğinde radyasyona maruz kalma korkusu, sağlık tesisleri için büyük ölçekli lojistik sorunlara neden olmuş ve kötü organize edilmiş tahliye programları ölüm oranlarını arttırmış, afetin akut ve kronik aşamalarında tecrübeli personel sıkıntısı yaşanmış, lojistik kesintileri olmuştur (Ochi vd., 2020). Türkiye'nin

olası nükleer afet durumunda, önceden hazırlanmış sağlık tesisleri planı ile sağlık ürünleri lojistik programına ihtiyacı olacaktır.

- **C16-Etkili müdahale ve kurtarma planları:** Japonya’da 2011 nükleer afeti sonrası, müdahale ve iyileştirme kapsamında 39 komitede 656 üye görevlendirilmiştir (Fraser vd., 2021). Bu komitelerde, işletmeler güçlü bir şekilde temsil edilirken, sivil toplum temsilcileri, yeterince temsil edilmemiştir. Türkiye, 2011 Japonya nükleer afetinden ders alarak, olası bir nükleer afet sonrasında, geniş katımlı komitelerin oluşturulması konusunda çalışmalar yapmalıdır.
- **C10-Yasal yaptırımlar:** 2011’de Fukushima Daiichi nükleer santralinde meydana gelen kazada, özel şirket olan TEPCO’nun hukuki sorumluluğuna değinilmiş, çevre ve binalardan kaynaklı maddi maliyetlerin yanı sıra, nükleer radyasyon korkusunun neden olduğu fiziksel ve psikolojik hastalıkların neden olduğu sağlık giderleri ve manevi zararların da dikkate alınması önerilmiştir (Kawamura, 2018). Bu nedenle, Japonya’da 2011 afeti sonrası nükleer enerji hukuku konusunda yeni düzenlemeler yapılmıştır. Dolayısıyla Türkiye, işletmeye alınacak nükleer santralleri yönetecek şirketler ile maddi ve manevi zararları karşılayacak ortak bir metin oluşturmalıdır. Bu konuda bir belirsizlik olmamalıdır, aksinde maddi ve manevi kayıpların boyutu artacaktır.
- **C5-Sığınma odaları:** Nükleer Düzenleme Kurumu mevzuatında, sığınma odaları ile ilgili kullanım kapsamında genel ve yapım kuralları kapsamında teknik düzenlemeler bulunmamaktadır. Yapılacak düzenlemelerde; sığınma odasının boyutları, hangi malzemeden yapılacağı, havalandırma ve iletişim bağlantıları, ne tür tıbbi ilaçlar olacağı, ne kadar su ve yiyecek stoklanacağı mutlaka belirtilmelidir. Tasarım ve yapım koşullarını belirleyen ek bir yönetmelik de ayrıca çıkarılmalıdır.
- **C4-Erken uyarı sistemleri:** Birleşmiş Milletler Afet Riskini Azaltma Ofisi “uyarı sistemini”, risk altındaki kişi ve kuruluşlara uyarı bilgilerinin; zamanında ve anlaşılır bir şekilde dağıtılması olarak tanımlamaktadır. Uygulamada bir uyarı sisteminin işlevleri algılamak, önlemek, izlemek ve uyarmaktır (Sättele vd., 2016). Güvenilir uyarı sistemleri, yanlış alarm üretmez (Cvetković, 2021). Türkiye NDK, Radyasyon Erken Uyarı Ağında 211 izleme ofisi bulunmaktadır. Bu ofisler, verileri anlık olarak Avrupa Radyolojik Veri Değişim Platformu (EURDEP) ile paylaşmaktadır. Ayrıca Türkiye sınırlarında bulunan gümrük kapılarından, geçmesi muhtemel radyolojik veya nükleer maddeleri tespit etmek amacıyla 56 Radyasyon İzleme Sistemi kurulmuştur. Nükleer erken uyarı sistemi istasyonları ile radyasyon izleme sistemleri nüfusla orantılı ve yeterli sayıda artırılmalıdır.
- **C13-Kişisel koruyucu donanımların halka dağıtımı:** Japonya’da 2011 nükleer afetinde, müdahale eden işçilerin kullandıkları koruyucu giysiler radyasyona maruziyeti engellemediği gibi botlarına giren radyasyonlu sular vücutlarına temas etmiştir. İşçilerin kullandığı tüm kişisel koruyucu donanımlar tek kullanımlı ve kısıtlı alanlarda saklanmışlardır (Wada, 2012). Bu tecrübeden faydalanarak, nükleer afete müdahale edecek işçi ve görevlilere verilecek kişisel koruyucu donanımlar; CE belgeli olmalı, yeterli sayıda ve yeterli ulaşılabilir yerde muhafaza edilmelidir. Kişisel koruyucu donanımların kullanma eğitiminin verilmesi, kullanım ve bakım talimatlarının oluşturulması gerekmektedir. Bu kapsamda mevzuat çalışmalarını da içerecek şekilde; NDK ve AFAD’a bağlı 81 ilde bulunan il afet müdürlükleri ortak çalışmalar yapabilir.
- **C8-Elektrik güç kaynağı:** Nükleer santral işletmeciliğinde, prosese müdahale etmek, erken uyarı sistemlerinin çalışması ve sığınma odalarında belirli bir süre yaşamın idamesi için kesintisiz elektrik enerjisi çok önemlidir. Kritik olan bu üç durum için yedek jeneratörler bulundurulmalıdır. Bu konuda yasal zorunluluk kapsamında ilgili mevzuata eklemeler yapılmalıdır.
- **C2-Nükleer atık takibi:** Günümüzde nükleer atık sorunu halen devam etmekte olup, nükleer atık tesisi kurulan/kurulacak yerlerde ciddi tepkiler oluşmaktadır. 1999 yılında nükleer atık almaya başlayan Amerika Birleşik Devletleri Nevadadaki Yuca tesisleri, bugün halen tartışmalıdır. Çünkü karar ve tesis yapım aşamasında, halkın fikri sorulmamıştır. 2014’te patlayan atık bidonunun da dahil olduğu iki kazaya rağmen, 2016’da yeniden açılmasına izin verilmiş ve 2017’de tekrar atık kabul etmeye başlamıştır (Richter vd., 2022). 1997 yılında Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) tarafından çıkarılan, Kullanılmış Yakıt ve Radyoaktif Atık Yönetimi Güvenliği Sözleşmesi; nükleer atıklarla ilgili temel sözleşmedir. Türkiye’de, Nükleer Düzenleme Kanununda nükleer atık konusu düzenlenmiştir. Bu makalenin yazarının (*) kimya mühendisliği staj ve tezini yaptığı Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi bünyesinde, Düşük ve Orta Düzeyde Radyoaktif Atık (LILW) işleme ve geçici depolama tesisi bulunmaktadır. Yakın zamanda Türkiye’de devreye girecek olan nükleer reaktörler çalışmaya başladığında, kamuoyunda nükleer atıklara karşı ciddi bir tepki olması beklenmelidir. Dolayısıyla nükleer enerji santralini işletecek firmalar ile birlikte, nükleer atıkların

bertarafı ve maliyet konuları netleştirilir ve kamuoyuna ortak bir metin duyurulursa tepkilerin önüne geçilmesi mümkün olacaktır.

- **C17-Yerel sakinler, aileler, işletmeler ve kamu kurumları için iyi tasarlanmış eğitim:** Nükleer afet eğitimi çok geniş bir konudur. Nükleer afet eğitiminde; afete fiziki müdahalede bulunan teknik ve sağlık görevlileri ilk grubu, halk ise ikinci grubu oluşturmaktadır. Arama ve kurtarma ekipleri, tıp uzmanları, acil tıp teknisyenleri ve sağlık görevlileri ilk grupta olup daha nitelikli eğitim almalıdır (Siegel vd., 2014). Türkiye'de ilk gruba Nükleer Düzenleme Kurumu ile il afet müdürlüklerinin, ikinci gruba ise özel kurumlarının eğitim vermesi uygun olacaktır.
- **C7- Gıda, su, ilaç gibi temel ihtiyaçların karşılanması:** Nükleer bir afetten sonra, afete müdahale edenlerin ve sığınma odalarında kalanların yiyecek, su, ilaç gibi ihtiyaçlarının karşılanması için önlemler alınmalıdır.

Mevcut çalışmada tespit edilen sonuçlar ve yapılan öneriler dışında, unutulmaması gereken iki önemli husus bulunmaktadır. Birincisi hava koşulları, ikincisi ise doğal afetlerdir. Bir nükleer afet anında, kötü hava koşulları nükleer serpinthiyi uzaklara taşıyabilir ve afet müdahale çabalarını bozabilir. İyi hava koşullarında ise yayılım olmayacaktır. Nükleer afet sırasında veya sonrasında meydana gelebilecek deprem, sel, kasırga, tsunami gibi olağanüstü durumlar ise afet yönetiminin her aşamasını etkileyecektir. 2011 Fukushima Nükleer afetinde, önce deprem hemen ardından tsunami olmuş ve müdahale çalışmalarını engellemiştir. Dolayısıyla devletin ve ilgili kurumların bu olağanüstü durumlar için farklı stratejiler geliştirmesi gerekecektir. Türkiye için etkin bir "nükleer afet yönetim modeli" oluşturulması ve olası bir uygulanmasında ilgili kamu kurumları ile nükleer santral işletecek şirketlerin bu çalışmada tespit edilen önerilerden faydalanması beklenmektedir. Ayrıca bu çalışmanın akademisyen ve öğrencilerin makale konusu kapsamında farkındalıklarını arttırması umulmaktadır.

Kaynaklar

- AFAD, Afet ve Acil Durum Toplanma Alanı Sorgulama Alanı. (2022,11,10). <https://www.turkiye.gov.tr/afet-ve-acil-durum-yonetimi-acil-toplanma-alani-sorgulama>
- Akkuyu NGS İnşaat Projesi. (2023,06,21). <http://www.akkunpp.com/>
- Behl, A., Dutta, P., Gupta, S. (2019). Critical success factors for humanitarian supply chain management: a grey DEMATEL approach. IFAC-PapersOnLine, 52(13), 159-164.
- Bylyeva, G. (2015). Türk afet yönetim sisteminin nükleer ve teknolojik felakete hazırlık kapasitesi (yüksek lisans tezi). YÖK tez merkezinden edinilmiştir (423646).
- Chand, P., Thakkar, J. J., Ghosh, K. K. (2020). Analysis of supply chain performance metrics for Indian mining & earthmoving equipment manufacturing companies using hybrid MCDM model. Resources Policy, 68, 101742.
- Cozzolino, A. (2012). Humanitarian Logistics. Cross-Sector Cooperation in Disaster Relief.
- CRED (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters), EM-DAT Glossary, Erişim:10.11.2022 https://www.emdat.be/Glossary#letter_d.
- Cvetković, V. M. (2021). Innovative solutions for disaster early warning and alert systems: a literary review.
- Dvorzhak, A., Mora, J. C., Robles, B. (2016). Probabilistic risk assessment from potential exposures to the public applied for innovative nuclear installations. Reliability Engineering & System Safety, 152, 176-186.
- Ekşi, Ali. (2017). Nükleer Kazalarda Olay Yeri Yönetimi. Hastane Öncesi Dergisi, 2(1), 51-62.
- Fraser, T., Aldrich, D. P., Small, A., Littlejohn, A. (2021). In the hands of a few: Disaster recovery committee networks. Journal of environmental management, 280, 111643.
- Gauss, J., & Stanton, J. F. (1996). Perturbative treatment of triple excitations in coupled-cluster calculations of nuclear magnetic shielding constants. The Journal of chemical physics, 104(7), 2574-2583.
- Gomes, J. O., Borges, M. R., Huber, G. J., Carvalho, P. V. R. (2014). Analysis of the resilience of team performance during a nuclear emergency response exercise. Applied ergonomics, 45(3), 780-788.
- Huo, C., Hameed, J., Nawaz, A., Shah, S. A. R., Alqahtani, W., Maqsoom, A., Anwar, M. K. (2021). Scientific risk performance analysis and development of disaster management framework: a case study of developing

- Asian countries. *Journal of King Saud University-Science*, 33(2), 101348.
- IAEA (International Atomic Energy Agency), “Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency”, (2023,4,19). https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P_1708_web.pdf
- Ibrion, M., Paltrinieri, N., Nejad, A. R. (2020). Learning from non-failure of Onagawa nuclear power station: an accident investigation over its life cycle. *Results in Engineering*, 8, 100185.
- Kaynak, C. (2020). Örnek bir hastane afet ekibinin doğal afetler sonrasında ortaya çıkabilecek KBRN (Kimyasal, biyolojik, radyoaktif, nükleer) tehlikeler ile ilgili bilgi düzeylerinin ölçülmesi (yüksek lisans tezi). YÖK tez merkezinden edinilmiştir (626580).
- Kawamura, H. (2018). The relation between law and technology in Japan: liability for technology-related mass damage in the cases of Minamata disease, asbestos, and the Fukushima Daiichi nuclear disaster, *Contemporary Japan*, 30:1, 3-27.
- Lagadec, P. (1982). *Major Technological Risk: An Assessment of Industrial Disasters*. New York: Pergamon Press.
- Lebow, R. N. (1981). *Between Peace and War: The Nature of International Crisis*. Baltimore:John Hopkin s University Press .
- Malesič, M., Prezelj, I., Juvan J., Polič, M., Uhan, S. (2014). Evacuation in the event of a nuclear disaster: Planned activity or improvisation?. *International Journal of Disaster Risk Reduction*.
- Mustabeen, L., Hosan, M. I., Ghose, S., Dewan, M. J. (2020). Recommended National Nuclear Disaster Management Plan For Bangladesh, 660-669.
- NDK (Nükleer Düzenleme Kurumu), “Radyasyon İzleme ve Uyarı Sistemi Ağı (RADİSA)”, Erişim:19.04.2023, <https://www.ndk.gov.tr/radyasyon-izleme-ve-uyari-sistemi-agi-radisa>
- Nuclear Power in Turkey.(2023,06,21). <https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-t-z/turkey.aspx>
- Ochi, S., Leppold, C., Kato, S. (2020). Impacts of the 2011 Fukushima nuclear disaster on healthcare facilities: A systematic literature review. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 42, 101350.
- Odabaş, D. (2019). Kimyasal, biyolojik, radyolojik ve nükleer afetleri yönetmek için bir karar destek sistemi modeli önerisi (yüksek lisans tezi). YÖK tez merkezinden edinilmiştir (554743).
- Perrow , C., (1984). *Normal Accidents: Living with High-Risk Technologies*. Ne w York : Basic Books .
- Perrow, C. (1999). *Normal accidents: Living with high risk technologies*. Princeton university press.
- Petrudi, S. Hamid. H., Tavana, M., Abdi, M. (2020). A comprehensive framework for analyzing challenges in humanitarian supply chain management: A case study of the Iranian Red Crescent Society. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 42, 101340.
- Pınar, M. (2019). Acil yardım ve afet yönetimi ve sağlık yönetimi bölümü öğrencilerinin nükleer enerji kullanımına ilişkin tutumlarının ölçülmesi: Gümüşhane Üniversitesi örneği (yüksek lisans tezi). YÖK tez merkezinden edinilmiştir (608885).
- Resmi Gazete, “Radyasyon Acil Durumlarının Yönetimine Dair Yönetmelik”. (2023,4,19). <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2020/06/20200618-2.htm>
- Richter, J., Bernstein, M. J., Farooque, M. (2022). The process to find a process for governance: Nuclear waste management and consent-based siting in the United States. *Energy Research & Social Science*, 87, 102473.
- Sample, Ian. (2023,4,19). The Guardian, “Japan earthquake: on efforts to contain the nuclear accident”, <https://www.theguardian.com/world/interactive/2011/mar/16/japan-earthquake-and-tsunami-nuclear-sample>.
- Sättele, M., Krautblatter, M., Bründl, M., Straub, D. (2016). Forecasting rock slope failure: how reliable and effective are warning systems?. *Landslides*, 13, 737-750.
- SHAMISEN, “Summary of Recommendations For Preparedness ans Follow-up of Populations Affected By Nuclear Accident”. (2023,4,19). <https://radiation.isglobal.org/shamisen>.
- Siegel, D., Strauss-Riggs, K., Needle, S. (2014). Prioritization of pediatric chemical, biological, radiologic, nuclear, and explosive disaster preparedness education and training needs. *Clinical pediatric emergency*

medicine, 15(4), 309-317.

Soyad, Ad. (2018). The relation between law and technology in Japan: liability for technology-related mass damage in the cases of Minamata disease, asbestos, and the Fukushima Daiichi nuclear disaster, *Contemporary Japan*, 30:1, 3-27,

Tabuchi, H. (2011). Japanese workers braved radiation for a temp job. *New York Times*, 9.

Tezer, A. (2001). Acil Durum Yönetiminin Dört Evresi, *Acil Durum Yönetim İlkeleri*, 12-15

TÜBA (Türkiye Bilimler Akademisi), “2019 Yılı Faaliyet Raporu”, (2023,4,19). <https://www.tuba.gov.tr/files/idari/2019-yili-faaliyet-raporu.pdf>

TÜBA (Türkiye Bilimler Akademisi), (2023,4,19). <https://www.tuba.gov.tr/files/yayinlar/raporlar/T%C3%9CBA%20N%C3%BCkleeer%20Enerji%20Raporu.pdf>

United Nations, “International Day for the Total Elimination of Nuclear Weapons, 26 September”, (2023,4,19). <https://www.un.org/en/observances/nuclear-weapons-elimination-day>

Van Wassenhove, L. N. (2006). Humanitarian aid logistics: supply chain management in high gear. *Journal of the Operational research Society*, 57(5), 475-489.

Wada, K., Yoshikawa, T., Hayashi, T., Aizawa, Y. (2012). Emergency response technical work at Fukushima Dai-ichi nuclear power plant: occupational health challenges posed by the nuclear disaster. *Occupational and environmental medicine*, 69(8), 599-602.

Wahlström, B. (2018). Systemic thinking in support of safety management in nuclear power plants. *Safety Science*, 109, 201-218.

World Nuclear Org. Nuclear Power in the World Today (2023,06,21). <https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/nuclear-power-in-the-world-today.aspx>

Yadav, Devendra. K., Barve, A. (2015). Analysis of critical success factors of humanitarian supply chain: An application of Interpretive Structural Modeling. *International journal of disaster risk reduction*, 12, 213-225.

World Vision. Helping children survive crisis.(2023,6,21). <https://www.wvi.org/our-work/disaster-management?gad=1>

Yamaguchi, I., Kunugita, N. (2019). Fukushima Nuclear Disaster—Monitoring and Risk Assessment.

Yamin, T. (2011). Nuclear disaster management. *IPRI Journal XI*, 2, 80-101.

Yılmaz, H. (2017). Nükleer afetlerde kriz yönetimi (yüksek lisans tezi). YÖK tez merkezinden edinilmiştir (473601).

Yuxin, Zhang., Hongxing, L., Yang M., Yoshikawa, H., (2018). Integrated Defense-in Depth (DiD) Risk Analysis System for Safety Operation of Nuclear Power Plants, 1364-1367.

Zhores A. Medvedev, (1990). *The Legacy of Chernobyl*, Oxford: Basil Blackwell Ltd

Araştırmacıların Katılım Oranları: Bu çalışmamızda sorumlu yazar olan Adnan KARABULUT çalışmanın ana kavram ve fikrini oluşturmuş, kavramsal çerçeveyi oluşturup makalenin giriş kısmına katkıda bulunmuştur (Nükleer nükleer santrallerden kaynaklanan afetler, Büyük Nükleer Santral Kazalarının nedenleri, Nükleer Santral Kazalarına Müdahalelerin nasıl yapıldığı ve Nükleer Afet Yönetimi). İkinci yazar olan Mehmet BARAN Materyal ve Yöntem, Literatür İncelemesi ve Metodoloji kısmına katkıda bulunmuştur. İki yazar birlikte, Bulanık DEMATEL Uygulama Prosedürünün izahı, Saha verilerinin anketle toplanması, Nükleer Afet Yönetim Kriterlerin Önem Sırası, Nükleer Afet Yönetim Kriterlerinde Bağımsız ve Bağımlı Kriterlerin Sınıflanması ile Tartışma, Sonuç ve Öneriler kısmına ortaklaşa katkıda bulunmuşlardır. Netice itibariyle, Adnan KARABULUT’un katılım oranı %50’dir. Mehmet BARAN’ın katılım oranı %50’dir.

Conflict of Interest / Çıkar Çatışması: Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.



Pandemi Sonrası Dijitalleşmenin İSG Açısından Mesleki Eğitime Etkilerinin FRAM Metodu İle İncelenmesi

Hüseyin Enis KARA^{1*}, Emine CAN²

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

²İstanbul Medeniyet Üniversitesi Fizik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul/ Türkiye

Makale Tarihiçesi

Gönderim: 01.09.2023

Kabul: 03.09.2023

Yayın: 03.09.2023

Araştırma Makalesi

Öz- Dijitalleşme ve eğitim, öğrenilen bilgilerin sistematik bir biçimde hayata geçirildiği, farklı yöntem ve teknikler göstergesinde etkisini arttıran yenilikçi birikili olmuştur. Gerek yapay zekânın ilerlemesi gerekse büyük veri (big data) ve dijital çözümlerin ilerlemesi, her alanda olduğu gibi eğitim camiasını da derinden etkilemiştir. Her alanda dijital dönüşümün yaygınlaşmasıyla birlikte; klasik öğrenmenin yanında makine öğrenmesi, insan zekânının yanında yapay zekâ kavramları sıkça duyulmaya başlamıştır. Dijital öğrenme kavramı hızla eğitim alanına da girmiştir. Yüzyılın başından beri, SARS-CoV2 (2019) gibi WHO tarafından pandemi olarak ilan edilen bir dizi vaka görülmüştür. Yapısında insan, kültür, teknoloji olan ve birbirine bağlı, karmaşık sosyoteknik sistemlerden oluşan ağlardan dolayı yeni bulaşıcı hastalık türlerinin salgınlarına hayatın her alanında olduğu gibi eğitim alanında da yanıt vermek, günümüzün küresel toplumlarında büyük zorluklar oluşturmaktadır. Bu çalışmada duyarlı ve esnek dijital sistemlerden üst yaş grubundaki öğrencilerden mesleki eğitim programlarındaki öğrencilerin üzerinde nasıl etkilileri olduğu araştırılmıştır. Çalışmamızda Fonksiyonel Risk Analizi Yöntemi (FRAM) ile pandemi sonrası hangi risklerin meydana gelebileceğini, risk paydaşları olan öğrenciler, öğretmenler, okul idarecileri, veliler ve staj yapma olanağı tanyan kurumların bir meslek lisesi paydaşları özelinde bakış açısından ele alınmıştır. Dijitalleşmenin etkilerinin orta ve uzun vadeli sonuçlar kestirilmeye çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler – Dijitalleşme, FRAM, meslek lisesi, pandemi

Investigation of the Effects of Post-Pandemic Digitalization on Vocational Education in Terms of OHS by FRAM Method

Hüseyin Enis KARA^{1*}, Emine CAN²

¹ İstanbul Medeniyet University, Occupational Health and Safety Department, Institute of Graduate Studies, İstanbul, Türkiye

² İstanbul Medeniyet University, Department of Physics Engineering, İstanbul/ Türkiye

Article History

Received: 01.09.2023

Accepted: 03.09.2023

Published: 03.09.2023

Research Article

Abstract – Digitization and education have become an advanced pair, which is shown by increasing the amount in the systematic implementation of the learned information and the demonstration of different methods and techniques. The progress of real artificial intelligence, big data (big data) and the progress of digital solutions have deeply affected the education community as in every field. With the spread of digitalization in every field; machine learning next to classical learning, artificial intelligence features are not seen frequently next to human intelligence. Digital learning developments quickly spread to the field of education. Therefore, the structure in the education system should be dynamic. The driving force required to overcome the cumbersome stemming from the classical education approach, the locomotive, will perhaps start with the steps to be taken with digitalization. Since the later part of the century, there have been a number of cases declared as pandemics by the WHO, such as SARS-CoV2 (2019). Responding to the lengths of new developments in the field of education as well as in all areas of life, due to networks of people, culture, technology and comprehensive, complex sociotechnical systems, poses great challenges in today's global societies. It has been investigated how these sensitive and flexible digital systems affect the activities of the upper age group on the activities in vocational education programs. In our study, with the Functional Risk Analysis Method (FRAM), which risks may arise after the pandemic, were taken from the perspective of authorities with risk growth, teachers, school administrators, parents and a vocational high school backup that is among the internship records. Predictable consequences of the effects of digitization in the medium and long term.

Keywords – Digitization, FRAM, pandemic, vocational high school

¹heniskara@gmail.com Orcid id: 0000-0003-3953-1549

²emine.can@medeniyet.edu.tr Orcid id: 0000-0003-1192-2994

*Sorumlu yazar / Corresponding Author: heniskara@gmail.com, İ.M.Ü. İSG ABD, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul/ Türkiye

Atf Bilgisi: Kara, H. E. & Can, E. (2023). Pandemi Sonrası Dijitalleşmenin İSG Açısından Mesleki Eğitime Etkilerinin FRAM Metodu ile İncelenmesi. OHS ACADEMY, 6 (2), 105-115. DOI: 10.38213/ohsacademy.1353969

1. Giriş

SARS-CoV2 pandemisi esnasında ve sonrasında dijitalleşmenin getirilerinden olarak, ulusal ve uluslararası rekabet–verimlilik–kalite–yeni üretim ve yönetim teknikleri ile çevrelenen endüstri ilişkilerinde, işçi ve işveren ilişkileri de hızlı bir değişime uğramıştır (Yılmaz, 2008). Bu değişimden en fazla iş güvenliği kültürü ve iş güvenliği anlayışı etkilenmiştir. İş güvenliği kültürü, iş güvenliğinin öncelikli olduğu bir yaşam biçimi haline gelmiştir (Pala, 2005). Bununla beraber dijitalleşmenin etkileri göz önüne alınırken, OECD’ye üye ülkeler genelinde, ülkelere göre farklılıklar arz ettiği unutulmadan, gençlerin yaklaşık yarısının, iş dünyasına kolay erişim sağlamak için tasarlanmış dijital mesleki eğitim ve öğretim programlarının takip edildiği ortaya koymaktadır (OECD, 2021).

Türkiye’ de SARS-CoV2 pandemisinde OECD ülkelerinde olduğu gibi okulların kapanmasıyla MEB, dijital eğitim portalı Eğitim Bilişim Ağı (EBA) altyapısını güçlendirerek yanıt vermiş ve etkin bir uzaktan eğitim sistemi oluşturmak için Türkiye Radyo Televizyon Kurumu (TRT) ile işbirliği yapmıştır. Mesleki eğitim ve öğretim kurumları, üretim ve adaptasyon potansiyeli ile toplumun ihtiyaçlarının karşılanmasına büyük katkılar sağlamıştır (Özer, 2020).

İş dünyasının bazı kolları Endüstri 4.0’ a ulaşmış olsa da üretimin sürece uyum sağlaması, iş sağlığı ve güvenliği kapsamındaki konuların 4.0 seviyesine ulaşmasına ve bu seviyenin tüm paydaşlara yayılmasına pandeminin de etkisi ile daha uzun süreler olduğu anlaşılmaktadır. Endüstri 4.0’ a ulaşmasına karşın, İSG 2.0 ile 3.0 arasında kaldığı nitelendirilebilir. Dijital İSG yöntemleri ortaya çıkmaya başlaması ile bu süreç hızla ilerleyecektir. Dijital İSG eğitimlerinin gelişmesi ve oryantasyon eğitimleri gibi kabul görebilmesi için bakış açılarının genişlemesi de bir o kadar zaman alacaktır. Oysa ki havacılık sektöründe kullanılan simülasyon yöntemi, pilot eğitiminde önemli bir rol oynamaktadır. Buna karşın herhangi bir iş kolunda dijital eğitim veya uzaktan eğitim ile eğitimini tamamlayarak işini ele alan çalışana ise yeterince güven duyulmamakla beraber, eğitiminin de bir nevi her zaman eksikmiş gibi addedilmesine kadar varan kaygı ve görüşler de mevcuttur.

SARS-CoV2 pandemisinin öngörülemeyen zorluklarından birisi de maddi kaynakların ve fırsatların eşit olmayan dağılımıdır. Eşitsizliğin artma riski taşıyor olması, pandemiden etkilenen ülkelerin 2030 eğitim hedeflerinden daha fazla uzaklaşmalarına neden olabilir. Eğitimde eşitliğe odaklanmak bu bağlamda eğitim ekonomisinin güçlendirilmesi için gereken finansmana duyulan ihtiyacı arttırmıştır (UNESCO, 2021). Mesleki eğitim ve öğretim, öğrencileri işgücü piyasasının ihtiyaç duyduğu becerilerle donatarak ve yetişkinlere ilgili beceri artırma ve yeniden beceri kazandırma fırsatları sağlayarak SARS-CoV2 krizinden kurtulmada kilit bir rol oynayabilir (Schleicher, 2021).

2. Dijital Çağda Öğrenime Geçmek

Dijital teknolojinin erken eğitime entegrasyonu bir takım önemli zorlukları da beraberinde getirmektedir. En önemlisi, teknoloji olup, bu gruptaki çocukların temel ihtiyaçlarını karşılamak, güvenliklerini sağlamak ve öğrenmelerini ve esenliklerini ilerletmek için ihtiyaç duyduğu yakın kişisel etkileşimlerin yerini almasıdır (OECD, 2021). Bununla beraber duyarlı ve esnek dijital sistemlerden oluşan mesleki eğitim programlarının telif hakları da önem taşımaktadır. Satın alınan mesleki eğitim program içeriğinin uygun olması ve bu içeriğin erişilebilir olduğundan emin olmak oldukça önemlidir (Schleicher, 2021).

Dijital çağda öğrenime geçiş için (EUNEC, 2014), kuruluşların hem dâhili olarak daha etkili öğrenme deneyimlerinin etkileştiricileri olarak dijital öğrenme teknolojilerinin potansiyelini fark etmeleri hem de öğretme ve öğrenme uygulamalarını modernize etmeleri esastır. Avrupa Birliği 2015 yılında Promoting Effective Digital-Age Learning- Etkili Dijital Çağ Öğrenimini Teşvik Etmek başlığı altında yayınladığı raporunda, eğitim politikası oluşturma sürecine kanıt dayalı bilimsel destek sağlamayı çalışmıştır (EU, 2015).

Avrupa Komisyonu'nun kurum içi bilim hizmeti olan Joint Resarch Center-Ortak Araştırma Merkezi tarafından hazırlanan bu bildiri de A European Framework for Digitally-Competent Educational Organisations-Dijital Olarak Yetkin Eğitim Kuruluşları (DigComOrg) için Avrupa Çerçevesi kapsamı oluşturulmuştur (EU, 2015). Bu çalıştay ve rapor, Avrupa'nın akıllı, sürdürülebilir ve kapsayıcı bir büyüme elde etmesi için gereken yeni beceri ve yeterlilikleri ele almak üzere yenilenmiş bir öğrenme vizyonuna duyulan ihtiyacı ortaya koymuştur.

Digital Competence Framework (DIGCOMP) Dijital Yeterlilik Çerçevesi, ilk, orta ve mesleki eğitim okullarının yanı sıra üniversiteler, üniversite kolejleri ve politeknikler gibi yükseköğretim eğitim kurumlarının dijital öğrenme teknolojilerini entegre etme ve etkili bir şekilde kullanma konusundaki ilerlemelerini yansıtmaları için tasarlanmıştır (Kampylis, 2015). Örneğin, bir kuruluş, bireysel personel ve öğrencilerin dijital yeterliliğini geliştirmek için DIGCOMP çerçevesini (Ferrari, 2013) veya UNESCO öğretmenler için Information and Communication Technology (ICT) (UN, 2011), Bilgi ve İletişim Teknolojileri Yetkinlik (BİT) Çerçevesini (UNESCO, 2011) de kullanabilir. BİT'in öğretme ve öğrenmeye başarılı bir

şekilde entegrasyonu, öğrenmeyi geliştirmek ve dönüştürmek için BİT 'in planlanması ve uygulanmasında öğretmenlerin rolünün yeniden düşünülmesini gerektirir (ICT, 2021).

Dijitalleşen eğitimin veya eğitim kuruluşun bu tür değişikliklerle ilgili özerklik derecesine bağlı olmak kaydı ile dijital içeriklerin düzenli olarak güncellenmesi pandemi döneminde karşılaşılan güçlüklerden en önemlisi ile başa çıkma becerisini sağlamalıdır (Kampylis, 2015).

Yaşanan dijitalleşmenin olası bir sonucu olarak, öğrenme analitiklerinin (Johnson vd., 2011) veya süreç odaklı ölçme ve değerlendirmeye olanak tanıyan alternatif çözümlerin yakın gelecekte sıklıkla kullanılacağı düşünülmektedir (Bozkurt, 2020). Uzaktan eğitimin etkileri, sınırlılıkları, kazandırdıkları tüm paydaşlar açısından değerlendirildiğinde; bilinçli ve teknolojik altyapı imkânı olan, desteklenen öğrencilerin eksiklerinin çabuk giderildiği ve hedef davranış kazandırmada daha etkin olduğu ortaya konmuştur (Güven, 2022). İSG 3.0' a geçişte COVID-19 döneminde sağlanmış, tüm eğitim sisteminde olduğu gibi gerek ön lisans ve lisans programlarında, gerekse yüksek lisans uygulamalarında da geçilmiş ve halen çoğu kurumda uygulanmaktadır.

Bocconi ve arkadaşlarının 2013 yılında yaptığı araştırmada, Avrupa Birliği Strateji bildirisinin perspektifine göre bakıldığında, dijital teknolojilerin aşamalı entegrasyonu ve etkili kullanımı, eğitimsel bir yenilik niteliğine sahip olabileceğini belirtmiştir (Bocconi, 2013). Bu değişikliklerin üç temel boyuta göre planlandığı bir süreci ifade ederek Creative Classrooms- Yaratıcı Sınıflar (CCR) oluşumu altında, bütünsel ve sistemik doğasını, amaçlanan öğrenme çıktılarını ve yenilikçiliğe yönelik pedagojik, teknolojik ve organizasyonel boyutlarını açıklayarak birleştirilmiş bir öneride bulunmuştur (Bocconi, 2013).

2.1. Dijitalleşmeden Beklenenler

Dijitalleşmeden beklenenlerin başında yapay zekâ kullanımında etik, insanların veya şirketlerin; algoritma, büyük veri ve yapay zekâ kullanırken uymaları beklenen kurallar bütünüdür (Eczacıbaşı, 2021). Öğrenmenin gelecekteki beklenen özelliklerini şekillendirmek ve bunlara katkıda bulunmak için dijital öğrenme teknolojilerinin potansiyelini benimseyen bir öğrenme alanları vizyonu sunması da beklenmektedir (Kampylis, 2011). Bu vizyon bağlantılı, sosyal, kişiselleştirilmiş, ilgili, güvenilir, hoş, duygusal, yaratıcı, esnek, açık ve sertifikalı olarak adlandırılabilir.

Ayrıca performans iyileştirmesi, risklerin ve iş kazalarının azaltılmasına yönelik destekleyici faaliyetler gelmektedir iş yaşamına ilişkin çeşitli kısıtlamalarla beraber karşılaşılan zorluklar da azaltılmak istenmektedir. KİPLAS' ın 2020 yılında kimya endüstrisi üzerine yaptığı araştırmada özellikle anket sonuçlarının ortaya koyduğu en önemli gerçek, İSG 4.0'ın içerdiği potansiyelin tam olarak kullanımı için işyerlerinde bu proje ve benzeri farkındalık artırma çalışmalarına ihtiyaç duyulduğudur (Kiplas, 2020).

2.2. Dijitalleşmede Kullanılan Yöntemler

Nesnelerin İnterneti (IoT: Internet of Things)' olarak sunulan yeni teknolojik kavram akıllı birimler, birbirlerini algılayan ve iletişim kurabilen nesnelere aracılığıyla akıllı bağlantı şeklinde gruplandırılmıştır (Ercan ve Kutay, 2016).

2020 Avrupa Birliği Strateji bildirisinde; DigCompOrg, ilk, orta ve mesleki eğitim okullarının yanı sıra Üniversiteler, Üniversite Kolejlere ve Politeknik gibi yüksek öğretim kurumlarının dijital öğrenme teknolojilerini entegre etme ve etkili bir şekilde kullanma konusundaki ilerlemelerini yansıtmaları için tasarlandığını beyan etmiştir (Europe, 2020).

Artırılmış Gerçeklik (Augmented Reality - AR), özellikle grafik tasarımıyla ilgili olarak bilgisayar destekli yaratılmış verilerin görsel, işitsel, dokunsal, kokusal duyu ile duyu işleyen somatik sinir sistemi dâhil gerçeğin yükseltilecek algılarla deneyimlenme etkileşimidir (İpek, 2020).

Yapay Zeka (Artificial Intelligence - AI) Destekli Güvenlik Sistemleri, dijital AI teknolojileri; mobil cihazlar, giyilebilir teknolojiler ve kişisel koruyucu donanımlar (KKD) ile çalışanların gerçek zamanlı analiz edilmesine ve veri toplanmasına olanak tanımakta, bu veriler işyerinde olduğu kadar işyeri dışında toplanabilmektedir (Morgan, 2020)

Bulut Bilişim (Cloud Computing), Cihazların hafızasını kullanmak yerine, internet ortamında ortak bilgi paylaşımı sağlayan bir bilişim sistemidir. Bulut 4.0, güvenlik ve iş birliği hizmetleri sağlarken küresel bir ağın gücünden ve uzmanlığından yararlanır (Loi, 2018).

Büyük Veri (Big Data) Analizi, Büyük veri, gelişmiş algoritma ve yüksek teknolojilerle karmaşık veri kümelerini analiz edebilen bir teknoloji modelidir (Belfiore, 2020).

IBM Maximo yazılımı, Tek bir platformda akıllı varlık yönetimi, izleme, tahmine dayalı bakım ve güvenilirlik üzerine kurulmuş bir programdır (IBM).

2.2. Dijitalleşme ve Faydaları

European Agency for Safety and Health at Work' e göre yeni teknolojilerin faydaları üst düzeye çıkarılarak mesleki riskler azaltılabilecektir (EU-OSHA, 2019). Endüstri 4.0 ile insanın geri plana çekilmesi ile İş Sağlığı ve Güvenliği kavramlarının da değişmesi beklenmektedir (Öztürk, 2020). İş kazaları ve meslek hastalıkları da teknolojiden etkilenerek azalacak ve etkileri değişecektir (Öztürk, 2020).

2.3. Dijitalleşmeye Karşı Tutumlar

Dijital çağ olarak adlandırılan teknoloji yüzyılı, bireylerin hayatlarını kolaylaştırırken yenilikler sunarak teknolojiye bağımlı bireyler haline dönüştürmüştür (Ersöz ve Özmen, 2020). Benzer durum bilgisayar, internet, çevrimiçi oyun, tablet, cep telefonu gibi teknolojik cihazlar ve uygulamalar için de geçerlidir (Ektricioğlu vd.,2020). Bu teknolojilerin aşırı kullanımları otomatik olarak teknolojiye bağımlılığa da yolaçabilmektedir. Ergenlik döneminde görülen risk alma ve heyecanlanma artışı, ilerleyen yıllarda dijital öğrenmelerde yatkınlık mı sağlaacak yoksa yabancılaşma sağlaarak, gözünün önündekini fark edememe yoluna mı gidecek belirsizliğini korumaktadır. Mesaiden sonra telefonlarını kapatamayan işçiler, stres ve bitkinlik hissine kapılması, nadiren de olsa ciddi sağlık sorunlarına maruz kalmalarına neden olmaktadır (Warhust, 2008). Dijital kirlilik ile boğuşan kişilerin dijital ürünlere karşı bakışları hayatı kolaylaştırma noktasından daha da uzağa götürebilir.

2.4. Dijital Eşitliği Sağlayabilmek

Dijital eşitliği sağlamada var olan yaygın sorunları ana hatlarıyla belirtmeli ve bu sorunu çözmek için başarılı stratejiler belirlenmelidir (Diversifying Digital Learning, 2018). Pandemi nedeni ile insanoğlu bir kez daha büyük değişimlerin eşiğine gelmiştir. Bugünlerde dünyaya gelen bir bebek, 2050'de 30'lu yaşlarını yaşıyor olacak ve hatta her şey yolunda giderse 2100'lü yılları bile görebilecektir (Harari, 2019). Dolayısıyla gençlerin dijital çağda özgür ve eşit olabilmesi için bir dizi adımların süratle atılması gerekmektedir. Bu durumun çözümlerinden birisi de dijitalleşme için temel gereksinimlerin belirlenmesi aynı zamanda gelecekte ne gibi beklentiler içinde olunması gerektiğinin uygun bir projeksiyonunu oluşturmaktan geçmektedir.

Öğretme ve öğrenme uygulamalarının dijital ortama geçişi pandemi çağında okulların daha etkili öğrenme deneyimlerini sağlamaya da yaramıştır. Eğitim sistemini yönetenlerin dijital öğrenme teknolojilerinin potansiyelini fark etmeleri, pandemi çağına denk gelmiştir. Öğretme ve öğrenme uygulamalarını dijital ortama uygun hale getirmeleri ve modernleştirmeleri esastır (European Network of Education Councils, 2014). Bir okulun, personel ve öğrencilerin kendilerine güvenmelerini sağlayabilmesi belirli alt yapıya sahip olmaları ile mümkündür. Dijital teknolojileri geniş çerçevede, bilgi ekosistemine evirmek, okuldaki uygulamaları (öğretme, öğrenme, iletişim, değerlendirme, yönetim) dijital dünyaya entegre etme ile olabilir. Cihaz, yazılım gibi ihtiyaçlara ve eğitim beklentilerine en uygun uygulamalar, dijital içerik ve çevrimiçi hizmetler ile sağlanabilir. Mesleki gelişim ise dijital çerçeve de yapılandırılmış bilgi notları, yenilikçi okul araçları, öz-yansıtma araçları, geleceğin sınıf olgunluk modeli gibi kendi başına kilit unsurlar olarak görünmelidir (European Commission 2013; 2015).

Küresel SARS-CoV2 salgını hayatın diğer alanlarında olduğu gibi eğitim alanını da derinden etkilemiştir. Dünyada hemen hemen tüm ülkeler virüsün yayılım hızını azaltmak için hareketli nüfus olan çocuklar ve gençlerin eğitimine ara verirken (SETA, 2020), korona virüs sonrası sanal/çevrim içi eğitim artık bir tercih değil zorunluluk haline gelmiştir (SETA, 2020). Korona virüs sonrası eğitimin ne yönde şekillenmesi gerektiği henüz tam netleşmemekle beraber, meslek liselerindeki salgın dönemi eğitim açığının hızlıca kapatılması gerekmektedir.

3. Mesleki Eğitimin Uzaktan Erişimli Yapılması

Meslek liseleri ve mesleki eğitim veren kurumlarının kapanışları ve uzaktan Eğitime geçiş bazı ülkeler yüz yüze eğitime devam etmek için özel önlemler almış olsa da uygulamaya geçti. COVID-19 salgını meslek liseleri anlamında da ülkelerin eğitim sistemlerini etkiledi. Dünya çapında ülkeler eğitim kurumlarının farklı noktalarda kapanması için önlemler almak durumunda kaldı. Mesleki eğitim sağlamak üzere tüm eğitim seviyelerindeki kurumlar OECD ülkeleri arasında ele alındığında, Hollanda hiçbir zaman tamamen kapatılmadığı istisnası olmuştur. Hollanda'da genel liseler kapatılsa da meslek liseleri kapatılmamıştır (OECD, 2021).

2020'de mesleki eğitim kurumlarının tamamen kapatılma süresi Danimarka, Almanya'da yaklaşık 20 gün arasında değişirken, Türkiye ve Polonya'da 100 günden biraz fazla ve Kolombiya, Kosta Rika ve Meksika da ise 150 günden fazla gerçekleşmiştir. Teknolojik alt yapısı olan bazı ülkelerdeki mesleki eğitim kurumları tamamen veya kısmen kapatılma esnasında uzaktan eğitimden bolca yararlanmışlardır. Pandemi sırasında öğretme ve öğrenme için ülkelerin %70 ila %80'i televizyon ve cep telefonları için eve götürme paketleri kullanmıştır. Ülkelerin üçte biri ise radyo ve diğer uzaktan eğitim çözümleri sağlamıştır. Birçok ülke dijital adaletsizliği önlemek amacıyla Macaristan da ve Türkiye de olduğu gibi uzaktan eğitimi erişebilir kılmak için hedeflenen öğrencilere destek için dizüstü bilgisayarlar ve tabletler gibi cihazlar dağıtmıştır.

3.1. Eğitim Sürecini Aksatan Bir Durum: SARS-CoV2 Pandemisi

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) 11 Şubat 2020'de korona virüs kaynaklı hastalığa SARS-CoV2 adını vermiştir. Bu hastalık küresel salgın anlamına gelen "pandemi" olarak ilan edilmiştir. Birleşmiş Milletlere göre pandemi, çocukların eğitimi, korunması ve esenliği için benzeri görülmemiş bir risk oluşturmuştur (UNICEF, 2021).

3.2. Müfredat ve Öğretmen Açısından SARS-CoV2 Pandemisi

SARS-CoV2 Salgınının uygulamalı derslere etkisi ve bu derslerin uzaktan eğitimle yürütülmesi sırasında, özellikle laboratuvar, atölye ve stüdyo içerikli derslere sahip olan fakültelerde (mühendislik, fen, mimarlık, konservatuar ve güzel

sanatlar alanları) laboratuvar ve atölye alt yapısı gerektiren uygulamalı derslerin uzaktan eğitim modeliyle sürdürülmesinde öğrencilerin zorluklarla karşılaştığı görülmüştür (Karaman, 2020). Zira eğitim hemen fark edilebileceği gibi çok karmaşık ve aynı zamanda birçok unsur ile birlikte düşünülmesi gereken bir olgudur (Bircan, 2018).

Uygulamalı derslerde uzaktan eğitim yönteminde öğrencilerin karşılaştığı önemli bir sorun malzeme teminidir (Karaman, 2020). Örneğin kimya veya biyoloji bölümü öğrencilerinin evde deney düzeneği ve teçhizatlarını toparlaması imkânsızdır. Bu yüzden her uygulamalı ders uzaktan eğitim yöntemiyle sürdürülemeyecektir (Karaman, 2020). Bir kullanıcı etkinliği günlüklerine dayalı bir çalışma Japonya'daki çevrimiçi öğrenme platformu gösteriyor ki erişimi olan öğrenciler için çalışma süresi evden daha uzundur (Antoninis, 2021). Ayrıca Harvey ve Kenyon'a (2013) göre bilginin bir kişiden diğerine aktarıldığı okullardaki klasik eğitim sıra düzeni veya oturma düzeni olarak doğru kabul edilebilir, ancak günümüz pedagojisi ve modern öğrenme yöntemleri pasif bir öğrenenden çok aktif öğrenmeyi desteklemektedir (Harvey ve Kenyon, 2013). İster uzaktan ister yüz yüze eğitimde asıl odak noktanın eğitimin sunumunda ve içeriklerde kalite güvencesinin sağlanması konusu olması gerekmektedir (Bozkurt, 2020).

3.3. Okul, Ebeveyn ve Öğrenciler Açısından SARS-Cov2 Pandemisi

Okul yönetimi işveren sıfatıyla kanun ve yönetmeliklerindeki hususları uygulamakla ve okulla ilgili faaliyetlerin yapıldığı yerlerde ve öğrencilerin okula ulaşmaları esnasında oluşabilecek her türlü tehlikeden öğrencilerin güvenliklerini sağlamakla sorumludur (Acat, 2006; Kolay, 2004). Okul içerisinde birçok tehlike ve riske karşı pek çok çalışma yapılmaktadır (Gümüş ve Dalbay, 2016; Addington, 2009; Agron ve Anderson, 2000). Ülkemizde de Avrupa Birliği üye ülkelerinde olduğu gibi İSG farkındalığının bir kültür olarak geliştirilmesi gerekmektedir (Kara ve Özyay, 2021).

Uzaktan eğitim uygulamasının öğrenci bakış açısına ders takibine engel olan en önemli sebebin internet bağlantısının kesilmesi olduğu, öğrencilerin yarısına yakının çevrimiçi dersi takip ettiği, ders takiplerine engel olan en önemli sebebin internet bağlantısının kesilmesi olduğu, diğer sebeplerin genellikle ev ortamına bağlı durumlardan kaynaklandığı söylenebilir (Özyürek ve Begde, 2016). Ebeveynlerin pandemi sürecinde eğitimin evde verilmesinin olumlu yönü olmadığını belirten ebeveynler dâhil bulunmaktadır (Şenol ve Yaşar, 2020). Pandemi sürecinin daha kolay geçmesi için ebeveynlerin okullardan beklentilerinin; ailelere eğitim verilmeli, öğretmenler daha çok ilgilenmeli, eğitime ara verilmemeli temalarında toplandığı görülmektedir. Ayrıca ebeveynlerin bazıları bu süreçte yeteri kadar rehberlik aldığını belirtmiştir (Şenol ve Yaşar, 2020).

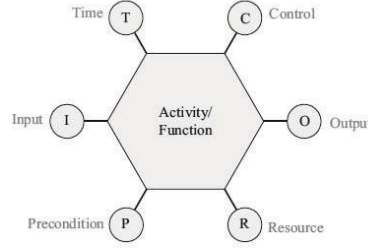
3.4. Staj İmkânı Sağlayan İşverenler Açısından SARS-Cov2 Pandemisi

Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de mesleki ve teknik eğitimde pandemi nedeniyle okul terki ve devamsızlık sorunu ortaya çıkmıştır (Yıldırım ve Koyuncu, 2022). Bazı iş yerleri tüm dünyada olduğu gibi uzaktan çalışmaya geçmiştir. Uzaktan çalışmaya geçen iş yerlerinde tecrübeli personeller belki zorlanmamış olabilir ancak staj yapan ve mesleklerinin gerekliliklerini staj yerlerinde uzman çalışanlar ile mesai harca olarak öğrenecek olan meslek liselilere staj için bilgi aktarımını sektöre uğramıştır. Aynı zamanda uzaktan çalışma sırasında işverenlerin stajyerler aracılığı ile alacakları teşvikler, stajyerlerin nasıl sigorta girişi yapılacağı ve ne ölçüde sigortalı olacakları (tam veya yarı zamanlı) gibi konularda ilgili okullardan destek talepleri de artmıştır.

Öğrencilerin akademik performans düzeylerinde hem yılsonu sınavı hem de iç sınav için düzenlenen derslerde öğrencilerle iletişim saatlerinin azalması ve öğrenme/anlamada zorluklarla karşılaştığında, öğretmenlerle istişare yapılamaması nedeniyle düşüşler gözlemlenmiş ve bu durum iş yeri stajı sonra olgunluk ve bitirme sınavlarının olumsuz sonuçlanmasına neden olmuştur (Sintema, 2020). Ayrıca staj yerlerindeki öğrencilerin koordinatör öğretmenlerce pandemi koşullarında kontrollerinin zorlaşmasından da kaynaklanmaktadır. Bu kontroller öğrenci uzaktan çalışarak staj yapma durumunda olduğunda ise tamamen çevirim içi olarak etkileşim kurulabilmiştir.

4. Materyal ve Yöntem

FRAM, sistem işlevlerinin altında yatan dinamikleri anlamaya, işlevler arasındaki kritik etkileşimleri belirlemeye ve değişkenliği yönetmek için değerli perspektifler sunmaya yardımcı olur (Patriarca ve Bergström, 2017). Analiz, normale kaçınılan işlevler veya görevler arasındaki bağımlılıkları ortaya çıkarır (Nouvel vd., 2007). FRAM (Fonksiyonel Rezonans Analiz Metodu), (Hollnagel, 2012), yüksek oranda insana bağımlı sistemlerin oldukça yoğun ve tehlikeli operasyonlarında neler olup bittiğini modellemek ve analiz etmek için kullanılmaktadır. FRAM, hayal edildiği gibi çalışma ve yapıldığı gibi çalışma arasındaki farklılıkları belirleyerek bir sistemde işlerin nasıl iyi gittiğini anlamak için kullanılabilen bir yöntem olarak önerilmiştir (Tian ve Caponecchia, 2020). Fonksiyonlar 6 yön (girdi, çıktı, ön koşul, kaynak, zaman ve kontrol) ve özellik altında tanımlanır (Hollnagel, 2018). FRAM adımları Şekil 1 de gösterilmiştir.



Şekil 1. Fonksiyon gösterimi (Hollnagel, 2012).

5. Araştırma Bulguları

Okulların kapanışında, UNESCO, UNICEF ve Dünya Bankası ortaklaşa ve koordineli olarak, SARS-CoV2 kaynaklı okul kapanışlarına eğitim tepkileri araştırmalarını başlatmış ve yürütmüştür (UNESCO, 2020). Elde edilen sonuçlarda pandemi sırasında okula devam edemeyen öğrencilerin aileleri, öğretmenler ve staj yaptıkları işyeri sahipleri öğrencilerin bilgi tutum ve davranışlarında önceki yıllara nazaran büyük eksiklikler olduğunu belirtmiştir. Öğrencilerin staj yerlerine adaptasyonlarının pandemi öncesi yıllara oranla daha zor gerçekleştiği belirtilmiştir.

Öğrencilerin pandemi dönemi boyunca derse devamlılığını zor sağladığını ebeveynleri belirtmiştir. Ayrıca ebeveynler, öğrencilerin çevirim içi derslere olan ilgilerinin zamanla azaldığını da belirtmişlerdir. Öğretmen ve idareciler pandemi sırasında eğitim materyali sıkıntısı nedeni ile dersler ilginin azaldığı noktada fikir belirtmişlerdir. Yüz yüze eğitim sırasında öğrencilere verilmesi gereken kazanımların daha kolay verildiğini belirtmişlerdir. Ayrıca pandemi sonrasında okullarda hibrit eğitime geçileceği düşünülmüştür. Pandeminin ilerleyen günlerinde dijital içerik sayısının artması başta EBA olmak üzere özel teşebbüsler ile de içerik kalite ve sayısının arttığı belirlenmiştir.

SARS-CoV2 pandemisinin mevcut duruma etkisi, literatür taraması ve paydaşlar ile görüşüldükten sonra fonksiyonlar uzmanlarca belirlenerek FRAM uygulaması aracılığıyla görsel olarak ortaya konmuştur. Pandemi sürecinde ve pandemi öncesindeki durum ile okulların normale dönmesi sonrasındaki ilişkinin anlaşılması için sistemin 7 ana fonksiyonu girdi, çıktı, kaynak, kontrol, ön koşul ve zaman adımları ile beraber Tablo 1’de tanımlanmıştır. Sistem fonksiyonlarının görselleştirilmesinde FRAM Visualiser programı kullanılmıştır. Tablo.1’ in çıktılarının oluşturduğu görsel Şekil.3 de verilmiştir. Bir FRAM modeli oluşturmak, sistemin daha iyi anlaşılmasını kolaylaştırır (Kaya, 2021). Bu fonksiyonlardan hareketle gelecekte mevcut durum nedeni ile nasıl sonuçlar ortaya çıkabileceği ve hali hazırdaki eksikliklerden yola çıkılarak literatür taraması ile yorumlanmıştır. Operasyonun birçok seviyesinde birçok önemli konu vardır, öyle ki genel resmi görmek ve denemek için bazı genel yapıların oluşturulması gerekir (Slater vd.,2020).

Şekil.2 de eğitim türlerinin içinde yüz yüze eğitim yapmanın mesleki gelişime etkisinin en fazla olduğu gözlenmektedir. Yapılan çalışmada sınırlılık hibrit eğitim modelinin kullanılmamasıdır. Yüz yüze eğitimlerde mesleki kazanımların daha iyi verilebilmesinin temelinde, çevirim içi eğitimlerde öğrencilerin devamsızlık noktasında rahat olmasının da etkisi bulunmaktadır. Çevirim içi eğitimin lise yaş grubundaki öğrencilerde verimli olmadığı anlaşılmaktadır.

Tablo.1 Fonksiyonlar

No	Fonksiyon	Girdi (I)	Çıktı (O)	Ön Koşul (P)	Kaynak (R)	Kontrol (C)	Zaman (T)
F1	COVID-19 Önlemlerini Alınması	Bakanlık	İnsanların Enfekte Olması	COVID Bulaşması	COVID Belirtisi	HES Kodu Kontrolü	
		İl MEM		Testin Pozitif Çıkması	Okul Ortamında Bulaşı		
		İlçe MEM		Aşı	Aile İçinde Bulaşma		
		Okullar					
F2	Yüz Yüze Eğitim Yapmak	Kazanımları Vermek	Devamlılık	COVID Belirtisi	COVID Bulaşması	HES Kodu Kontrolü	
		Uygulama Yapmak		Okulların Açık Olması	Okul Ortamında Bulaşı		
		Teorik Eğitim Vermek		Aşı Olunmaması	Aile İçinde Bulaşma		
F3	Yüz Yüze Eğitimi Sonlandırmak	Kazanımları Vermek	Online Eğitim	COVID Bulaşması	Eğitim Materyalleri	Okullar	
		Uygulama Yapmak	Ev Ödevlerin Verilmesi	Okul Ortamında Bulaşı	İnternet		
		Pandemi Tedbirleri		HES Kodu Kontrolü	Uygun Çalışma Ortamı		
F4	Online Eğitime Başlamak	Kazanımları Vermek	Devamsızlık	Okul Ortamında Bulaşı	Maddi Kaynak	İnternet	
		Eğitim Materyalleri		COVID Bulaşması	İnternet Eksikliği		
		Dijital Araçların Yetersizliği		Dijital Araçlar	Uygun Çalışma Ortamı		
		Devamsızlık					
F5	Online Eğitime Sonlandırmak	Uygulama Yapmak	Yüz Yüze Eğitim Yapmak	Devamlılık	İl MEM	Okullar	
		Devamsızlık		Okulların Açık Olması	Bakanlık		
		Uygulama Yapmak		Laboratuvar/Staj Uygulamaları	Aşı		
F6	Eğitmenler İçin Eğitim Vermek	Uygulamalı Eğitim	Dijital Araçlar	Devamlılık	Bakanlık	Bakanlık	
		Öğretmen			İl MEM		
		Teorik Eğitim		Kazanımları Vermek			
		Mesleki Eğitim		İnternet	İlçe MEM		
F7	Mesleki Yeterlilik	Uygulama Yapmak	Uygun Çalışma Ortamı	Mesleki Eğitim	Kazanımları Vermek	Okullar	
		Laboratuvar/Staj Uygulamaları	Mesleki Başarı	Eğitim Türleri	Eğitim Materyalleri		
		Devamlılık					

entegrasyonunu teşvik etmelerine yönelik bir araç olmaya başlamalıdır. Bu sebeple hibrit yaklaşım ile meslek liselerindeki sorunun çözümü gerçekleştirilebilir.

Kısa vadede günü kurtarmak adına yanlış kavramlarla yapılan uygulamaların nihayetinde uzun vadede daha büyük olumsuzluklarla karşıma çıkaracağı unutulmamalıdır (Coeckelbergh, 2020; Daniel, 2020). Okulların yeniden açılmasının zamanlaması, çocuğun yüksek yararı ve ilgili yarar ve risklerin değerlendirilmesine dayalı olarak genel halk sağlığı hususları tarafından yönlendirilmeli ve eğitim, halk sağlığı ve sosyo-ekonomik faktörler dâhil olmak üzere sektörler arası ve bağlama özel kanıtlarla bilgilendirilmelidir (United Nations, 2020). Ayrıca okullar kapatıldığında, uzaktan eğitim yoluyla çocuklara ulaşmak ve öğrenci destek programlarını sürdürmek ve genişletmek için yeterli kaynağa ihtiyaç duyulmuştur. Bu durum için bir nevi sigorta fonu geliştirilebilir.

Kısa vadede salgın dolayısıyla yeni yaklaşımların oluşturulması, ortaya çıkan ve muhtemelen beklenmeyen davranışlardan alınan dersleri tespit etmeyi ve geri beslemeyi ve sistemin etkilere karşı daha iyi uyum sağlayacak şekilde tasarlanmasına yardımcı olmayı amaçlamalıdır. Yapılan araştırmada ise harmanlanmış eğitimin Türk eğitim sisteminde tamamen terk edildiği bu sistemin yerine ders süresinin azaltılması sık ve kısa teneffüs verme, ders saatinden ve sayısından taviz vermeden tüm derslerin yüz yüze yapılması tercih edildiği tespit edilmiştir. Bu durum uzun vadede dijital eğitimde elde edilen bilgi ve tecrübenin heba olması anlamına gelmektedir. Çıkan sonuçlarda kısa vadede SARS-CoV2 pandemisi döneminde eğitim almış meslek liseli öğrencilerin staj döneminde zorlandığı, meslekleri ile ilgili yeterli donanıma sahip olmadıkları da görülmüştür. Bu durum bugün alınacak tedbirlerin tüm paydaşlar ile ortak ve hızlı bir biçimde alınması, alınacak tedbir ve uygulamalar için doğru yöntemler ile risk analizleri yaparak, mümkün olduğunca geleceğe yönelik doğru senaryolar, doğru tahminler yapılmasını gerekli kılmaktadır.

Uzun vadede ise olası bir kapanma durumunda ya da uzaktan eğitim veya dijital eğitimin yaygınlaşması durumunda, pandemi ve sonrasında elde edilecek bilgi ve tecrübenin risk analizlerine aktarılmasını gerektirmekte ve tedbirlerin, tehlike daha potansiyel haldeyken alınmasını gerekli kılmaktadır. Bu bağlamda 2050'lerin gençlerini nelerin beklediğini iyi anlamak ve ileriye dönük yatırımlar yapmak gerekmektedir. Dijital erişimi sağlayabilmek amacıyla tedbirler alınmalıdır. Okulların kapanması durumunda bir nevi sigorta sistemi uygulaması ele alınmalıdır. Böylece bir daha öngörülemeyen herhangi bir kriz de kullanılacak gelir kalemlerinin tasarrufu sağlanabilir.

Pandemi sonunda, okullar yine pandemi öncesindeki gibi tamamen yüz yüze eğitime dönmüştür. Öğrencilerin tekrar yüz yüze eğitime dönmesi sırasında kazanımsal ve disiplin soruları ortaya çıkmıştır. Tekrar adaptasyon sürecinde ve sonrasında Flip-Learning (Ters-Yüz Eğitim) modeli gibi hibrit eğitim metodları kullanılarak sorun giderilebilir. Öğrenciler tablet gibi çok amaçlı kullanıldığında amacından sapabilecek, dijital dikkat dağıtıcı haline gelebilecek araçlar yerine; e-book reader- kindle (e-kitap okuyucu) gibi amaca uygun ve sınırlı dijital ürünler kullanılarak teşvik edilmeli ve hibrit eğitim modellerinden uygun olan birisinin benimsenmesi sağlanmalıdır. Ayrıca mesleki gelişim için çevrim içi sempozyumlar, çalıştaylar ve toplantılar yapılmaya devam edilerek elde edilen dijital yetkinlikten vazgeçilmemelidir. Ancak farklı eğitim sektörlerindeki eğitim kurumları arasında (en azından ölçek açısından) önemli farklılıklar bulunmaktadır.

DigCompOrg' un işlevsel hale getirilmesi için, belirli eğitim sektörlerinin özelliklerine tam olarak uyacak şekilde öğelere, alt öğelere ve tanımlayıcılara ince ayar yapılması gerekecektir. Başka bir deyişle, her eğitim sektörü için, o sektörde yetkin bir dijital kuruluş olmanın ne anlama geldiği açısından benzersiz olan, dikkate alınması gereken ek unsurların olması muhtemeldir. Liderlik ve yönetim uygulamaları ile altyapı gibi unsurların kurulmasının, iyileştirilmesinin kurumsal sorumluluklardan olduğu unutulmamalıdır.

Kaynaklar

- Acat, B. (2006). Yenilenen İlköğretim Programı Okul Yönetimlerini Geliştirme Programı. Ankara: MEB İlköğretim Genel Müdürlüğü
- Addington, L. A. (2009). Cops and Cameras: Public School Security as a Policy Response to Columbine. *American Behavioral Scientist*, 52(10), 1426-1446.
- Agron, J. ve Anderson, L. (2000). School Security by the Numbers. *American School and University*, 72(1), C1-C11.
- Antoninis, M. (2021). The Rationale For Following Up On COVID-19 Related Policy Decisions, 3rd iteration of the joint Survey on National Education Responses to COVID-19, 1 February 2021, Global Education Monitoring Report, UNESCO
- Belfiore, M. (2020) "How 10 Industries Are Using Big Data to Win Big", Watson Blog, 28 Temmuz 2016, <https://www.ibm.com/blogs/watson/2016/07/10-industries-using-big-data-win-big/> (Erişim Tarihi:12.08.2023)
- Bircan, H. (2018). Eğitim ve Felsefe -Eğitimin Doğal/ İnsanî, Toplumsal ve Felsefi Temeli-. Yuzuncu Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, (40), 157-172. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyusbed/issue/43698/536119>

- Bocconi S., Kampylis P. and Punie Y. (2013). Innovating teaching and learning practices: Key elements for developing Creative Classrooms in Europe. eLearning Papers Special Edition 2013; 2013. p. 8-20. JRC80135
- Bozkurt, A. (2020). Koronavirüs (SARS-CoV2) pandemi süreci ve pandemi sonrası dünyada eğitime yönelik değerlendirmeler: Yeni normal ve yeni eğitim paradigması, Anadolu Üniversitesi, Açıköğretim Fakültesi, Uzak tan Eğitim Bölümü, Eskişehir, Türkiye. ORCID: 0000-0002-4520-642X
- Bozkurt, A., & Sharma, R. C. (2020). Emergency remote teaching in a time of global crisis due to Corona Virus pandemic. Asian Journal of Distance Education, 15(1), i-vi. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3778083>
- Coeckelbergh, M. (2020). The postdigital in pandemic times: A comment on the COVID-19 crisis and its political epistemologies. Postdigital Science and Education, 1-4. <https://doi.org/10.1007/s42438-020-00119-2>
- COVID-19. (2020). Korona virüs hastalığı hakkında küresel literatür, <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/global-research-on-novel-coronavirus-2019-ncov/>
- Daniel, S. J. (2020). Education and the COVID-19 pandemic. Prospects, 1-6. <https://doi.org/10.1007/s11125-020-09464-3>
- Diversifying Digital Learning. (2018). Online Literacy and Educational Opportunity edited by William G. Tierney, Zoë B. Corwin, and Amanda Ochsner ISBN: 9781421424354
- Eczacıbaşı, F. (2021). Dijitalleşme Yolunda Türkiye 2021, Trendler ve Rehber Hedefler, Dijital Türkiye Platformu, <http://www.dijitalturkiyeplatformu.org>, (Erişim Tarihi: 25.08.2023).
- Ektiricioğlu, C., Arslantaş, H., Yüksel, R. (2020). Ergenlerde Çağın Hastalığı: Teknoloji Bağımlılığı, Arşivler Tıbbi İnceleme Dergisi, Yıl 2020, Cilt: 29 Sayı: 1, 51- 64, 31.03.2020, <https://doi.org/10.17827/aktd.498947>.
- Ercan, T., Kutay, M. (2016). Endüstride Nesnelerin İnterneti (IoT) Uygulamaları, AKÜ FEMÜBİD 16 (2016) 035102 (599-607), DOI: 10.5578/fmbd.43411
- Ersöz, B., Özmen, M., (2020), "Dijitalleşme ve Bilişim Teknolojilerinin Çalışanlar Üzerindeki Etkileri", AJIT-e: Bilişim Teknolojileri Çevirim içi Dergisi, 11 (42), 170-179.
- EU, (2015). Promoting Effective Digital-Age Learning, doi:10.2791/54070, ISBN 978-92-79-54005-9, http://publications.europa.eu/howto/index_en.htm, (Erişim Tarihi: 25.08.2023).
- European Commission. (2015). Draft 2015 Joint Report of the Council and the Commission on the implementation of the Strategic framework for European cooperation in education and training Retrieved 08 September 2015, from <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2015/EN/1-2015-408-EN-F1-1.PDF>
- European Network of Education Councils. (2014). *Learning in the Digital Age - Report of the seminar of the European Network of Education Councils, Athens, 5-6 May 2014 with the support of the European Commission DG Education and Culture*. Brussels: European Network of Education Councils (EUNEC) Secretariat. Retrieved 12 June 2015, from <http://www.eunec.eu/sites/www.eunec.eu/files/event/attachments/report.pdf>
- European Strategy (2020). A Strategy for Smart, Sustainable and Inclusive Growth, http://ec.europa.eu/europe2020/index_en.htm, (Erişim Tarihi: 25.08.2023).
- EU-OSHA, (2019). Digitalisation and occupational safety and health (OSH). An EU-OSHA research Programme. *Digitalisation_and_OSH_2019.pdf(plataformaptec.es)(Erişim Tarihi: 25.08.2023).
- Ferrari, A. (2013). DIGCOMP: A Framework for Developing and Understanding Digital Competence in Europe. In Y. Punie & B. n. Brecko (Eds.): JRC-IPTS.
- Gümüş, B. & Dalbay, N. (2016). Okullarda İSG Uygulamaları ve Öğretmenlerin Bu Konudaki Bilgi Düzeylerinin İrdelenmesi. 8. İş Sağlığı ve Güvenliği Konferansı, 160-169.
- Güven, B. (2022). Temel Eğitimde Güncel Araştırmalar: (Nitel Çalışma Örnekleri), Holistence Publications ISBN 978-625-8048-88-9, Sf.83
- Harari, Y.N. (2018) 'hat Kids Need To Know to Succeed in 2050?' Yuval Noah Harari: 2050'de Başarılı Olmaları İçin Çocuklarımıza Ne Öğretelim? çeviri: Ayşe Kaymaz. <https://egitimkolektifi.com/yuval-noah-harari-2050de-basarili-olmaları-icin-cocuklarımıza-ne-ogretelim/> Erişim Tarihi: 04 Aralık 2021
- Hollnagel, E. (2012). FRAM: The Functional Resonance Analysis Method: Modelling Complex Socio-technical Systems . Ashgate.
- Hollnagel, E. (2018) <https://www.researchgate.net/publication/325825191>, The Functional Resonance Analysis Method And Manual Version 2.

Hollnagel, E. (2020). The FRAM Model Interpreter - Basic Version. Retrieved from The Functional Resonance Analysis ICT, (2021). UNESCO Information and Communication Technology, <https://en.unesco.org/themes/ict-education/competency-framework-teachers>

IBM. IBM Maximo Application Suite, <https://www.ibm.com/products/maximo>, (Erişim Tarihi: 30.08.2023).

İpek, A.R. (2020). “Artırılmış Gerçeklik, Sanal Gerçeklik ve Karma Gerçeklik Kavramlarında İsimlendirme ve Tanımlandırma Sorunları”. *İdil*, 71 (2020 Temmuz): s. 1061–1072. doi: 10.7816/idil-09-71-02

Johnson, L., Smith, R., Willis, H., Levine, A., & Haywood, K. (2011). The 2011 Horizon Report. Austin, Texas: The New Media Consortium.

Kampylis, P., Law, N., Punie, Y., Bocconi, S., Brecko, B., Han, S., . . . Miyake, N. (2013). ICT-enabled innovation for learning in Europe and Asia: Exploring conditions for sustainability, scalability and impact at system level. Retrieved 05 June 2015, from Publications Office of the European Union EN 26199 <http://ipts.jrc.ec.europa.eu/publications/pub.cfm?id=6362>, (Erişim Tarihi: 25.08.2023).

Kara, H.E. & Ensari ÖZAY, M. (2021). Anadolu lisesi ve mesleki teknik anadolu lisesi öğrencilerinin iş sağlığı ve güvenliği bakış açısı. *Journal of Social and Humanities Sciences Research*, 8(75), 2470-2477. <http://dx.doi.org/10.26450/jshsr.2724>

Karaman, M.E. (2020). The Effect of SARS-COV2 Epidemic on Applied Courses and the Implementation of These Courses by Distance Education: Example of Basic Design Course <https://doi.org/10.46641/medeniyetsanat.741737>

Kaya, G.K. (2021). System-based risk analysis in a tram operating system: Integrating Monte Carlo simulation with the functional resonance analysis method, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0951832021003550>

Kiplas, (2020). Kimya sektöründe İSG 4.0 projesi araştırma anketi sonuç raporu. <https://www.kiplas.org.tr/wp-content/uploads/2021/01/Kımya-Sektorunde-Isg-4.0-Projesi-Arastırma-Anketi-Sonucraporu.pdf> (Erişim Tarihi: 25.08.2023).

Kolay, Y. (2004). Okul-Aile-Çevre İş Birliğinin Eğitim Sistemindeki Yeri ve Önemi. *Milli Eğitim Dergisi*, 164.

Loi, D. (2018). “Cloud 4.0: Paving the Path for Industry 4.0, 01 Ağustos 2018, Orange Business Services”, <https://www.orange-business.com/en/blogs/cloud-40-paving-path-industry-40>. (Erişim Tarihi:30.08.2023).

McGowan, H. ve Shipley, C. (2021). Work to Learn: The Future of Work Learning , 1 Aralık 2021 tarihinde, <https://www.futureislearning.com> erişildi.

Morgan, J. (2021). “A Simple Explanation Of ‘The Internet Of Things’”, *Forbes*, <https://www.forbes.com/sites/jacobmorgan/2014/05/13/simple-explanation-internet-things-that-anyonecan-understand/>. (Erişim Tarihi:12.08.2023)

Nouvel, D.; Travadel, S. & Hollnagel, E. (2007). Introduction of the concept of functional resonance in the analysis of a near-accident in aviation. *Ispra, Italy, November 2007, 33rd ESReDA Seminar: Future challenges of accident investigation.*

OECD. (2021). Mesleki Eğitim ve Öğretim İncelemeleri, Teachers and Leaders in Vocational Education and Training <https://doi.org/10.1787/59d4fbb1-en>

Özay, M.E., Tarakçı, E., Sakallı, AE. & Can, E. (2020). Understanding SARS-CoV2 Management Process in Health Care Facilities Using Functional Resonance Analysis Method, *Journal of Health, Medicine and Nursing* www.iiiste.org ISSN 2422-8419 An International Peer-reviewed Journal Vol.80, 2020

Öztürk, A.Ö., (2020), Endüstri 4.0 ile İş Sağlığı ve Güvenliği, Yüksek Lisans Tezi, Rumeli Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.

Özer, M. (2020). Educational Policy Actions by the Ministry of National Education in the times of SARS-COV2 Pandemic in Turkey . *Kastamonu Eğitim Dergisi* , 28 (3) , 1124-1129 . DOI: 10.24106/kefdergi.722280

Özyürek, A. ve Begde, Z. (2016)./ *Karabük Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 2016, 6 (2), 592-605

Pala, K. (2005). “İSG Politikası ve Güvenlik Kültürü”, *İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi*, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü Yayını, Yıl: 5, Sayı: 25, Mayıs–Haziran 2005, s. 19.

Patriarca, R. (2017). Defining the Functional Resonance Analysis space: combining Abstraction Hierarchy and FRAM, *Volume 165, 2017, Pages 34-46, ISSN 0951-8320*, <https://doi.org/10.1016/j.res.2017.03.032>.

Schleicher, A. (2021). Using Digital Technologies for Early Education during COVID-19, OECD report for the G20 2020 Education Working Group

Schleicher, A. & Mohamedou, E. (2021). Director for the OECD Directorate of Education and Skills and Special Advisor on Education Policy to the Secretary-General, El Iza Mohamedou Head of the OECD Centre for Skills, Implications of the COVID-19 pandemic for Vocational Education and Training, June 2021

SETA. (2020). Koronavirüs Sonrası Eğitim, <https://www.setav.org/yazar/atilla-arkan>. Erişim Tarihi: 04 Aralık 2021

Sintema, E. J. (2020). Effect of COVID-19 on the performance of grade 12 students: Implications for STEM education. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 16(7).

Slater, D., Hollnagel, E., Mackinnon, R. Sujan, M., Carson-Stevens, A., Ross, A. and Bowie, P. 2020. A Systems Analysis of the COVID 19 Pandemic Response: Part 1 – The overall model, <https://www.researchgate.net/publication/343944246>

Şenol, F.B. ve Can Yaşar, M. (2020) COVID-19 Pandemisi Sürecinde Öğretmen ve Ebeveyn Gözünden “Özel Eğitim”, *Millî Eğitim* • Cilt: 49 • Özel Sayı/2020 • Sayı: 1, (439-458)

Tian, W., & Caponecchia, C. (2020). Using the Functional Resonance Analysis Method (FRAM) in Aviation Safety: A Systematic Review. *Journal of Advanced Transportation*, 2020.

UN, (2011). Unesco ICT Competency Framework For Teachers, Published in 2011 by the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.

United Nations. (2020). Policy Brief: The Impact of SARS-COV2 on children 15 Nisan 2020 https://www.un.org/sites/un2.un.org/files/policy_brief_on_covid_impact_on_children_16_april_2020.pdf

UNESCO. (2011). UNESCO ICT Competency Framework for Teachers. Retrieved 10 Temmuz 2015, from <http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002134/213475e.pdf>

UNESCO. (2020). Survey of National Education Responses to COVID-19 School Closures Technical Note, Haziran 2020

UNICEF. (2020). UNESCO-UNICEF-World Bank Survey on National education responses to COVID-19 Technical Note October 2020

UNESCO. (2021). Global Education Monitoring Report, How committed? Unlocking financing for equity in education, Ocak 2021. <https://en.unesco.org/gem-report/financing-for-equity> Erişim Tarihi: 21 Kasım 2021

UNICEF. (2021). Framework for reopening schools June, 2021

VET, (2020) Hungary: national vocational education and training (VET) responses to SARS-CoV2, 07 July 2020, <https://www.cedefop.europa.eu/bg/news/hungary-national-vocational-education-and-training-vet-responses-covid-19>, Erişim Tarihi: 21 Kasım 2021

Warhurst, C., Eikhof, DR, Haunschild, A., Warhurst, C. (Ed.), Eikhof, DR (Ed.) ve Haunschild, A. (Ed.) (2008). Daha Az Çalışın, Daha Çok Yaşayın? İş-Yaşam Sınırının Eleştirel Analizi. (İş ve Organizasyonlara Eleştirel Bakış Açılarını). Palgrave Macmillan Ltd.

Yıldırım, İ & Koyuncu, B. (2022). Covid-19 Pandemisinin Mesleki Veteknik Eğitimde Okul Terki Ve Devamsızlığı Üzerindeki Etkisi, *Eurasian Academy of Sciences Eurasian Education & Literature Journal*, <http://dx.doi.org/10.17740/eas.edu.2022-V15-02>, 2022 Volume:15S: 19 -43225

Yılmaz, F. (2009). Avrupa Birliği Ve Türkiye’de İş Sağlığı Ve Güvenliği: Türkiye’de İş Sağlığı Ve Güvenliği Kurullarının Etkinlik Düzeyinin Ölçülmesi, T.C. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Çalışma Ekonomisi Ve Endüstri İlişkileri Anabilim Dalı, Doktora Tezi, İstanbul, 2009

Araştırmacıların Katılım Oranları

Araştırmacıların Katılım Oranları

Bu çalışmamızda sorumlu yazar olan KARA, H.E., çalışmanın ana kavram ve fikrini oluşturmuş, tasarım ve dizaynını yapmış, literatür taramasını gerçekleştirmiş ve yazıyı kaleme almıştır. Bu nedenle KARA, H.E.’nin katılım oranı %70’tir. Çalışmada ikinci yazar olan CAN, E., çalışmanın veri toplama, istatistiksel analizler ve analizlerin yorumlanması sağlamıştır. Bu nedenle CAN, E.’nin katkı oranı %30’dur.

Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.



e-ISSN: 2630-578X

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



10.38213/ohsacademy.1145057

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

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

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

Zeynep BAŞAR^{1*}, Nureddin TÜRKAN²

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

²İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul/ Türkiye

Makale Tarihiçesi

Gönderim: 19.07.2022

Kabul: 04.04.2023

Yayın: 03.09.2023

Araştırma Makalesi

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

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

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

Zeynep BAŞAR¹, Nureddin TÜRKAN²

¹ Istanbul Medeniyet University, Occupational Health and Safety Department, Institute of Graduate Studies, Istanbul, Türkiye

² Istanbul Medeniyet University, Institute of Graduate Studies, Istanbul, Türkiye

Article History

Received: 19.07.2022

Accepted: 04.04.2023

Published: 03.09.2023

Review Article

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

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

¹zeynep.73@hotmail.com Orcid id: 0000-0001-9577-0961

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

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

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

1.Giriş

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

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

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

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

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

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

2. Materyal ve Yöntem

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

2.1. Nükleer Güç Santrali Kazaları ve INES Ölçüm Düzeyleri

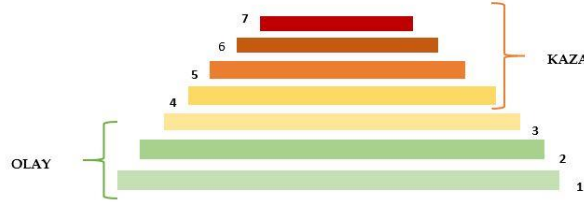
Dünyada ilk nükleer güç santrali, 1954 yılında ve Sovyetler Birliği döneminde inşa edilerek işletmeye alınan Obninsk Nükleer Enerji Santralidir (Anadolu Ajansı-AA, 2013). 1970'lerde yaşanan petrol krizi sonrası nükleer enerji santralleri hızlı bir şekilde tüm dünyada kurulmaya başlanmıştır. 2000'li yılların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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

3. Araştırma Bulguları

3.1. Çernobil Nükleer Güç Santrali Kazası

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



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

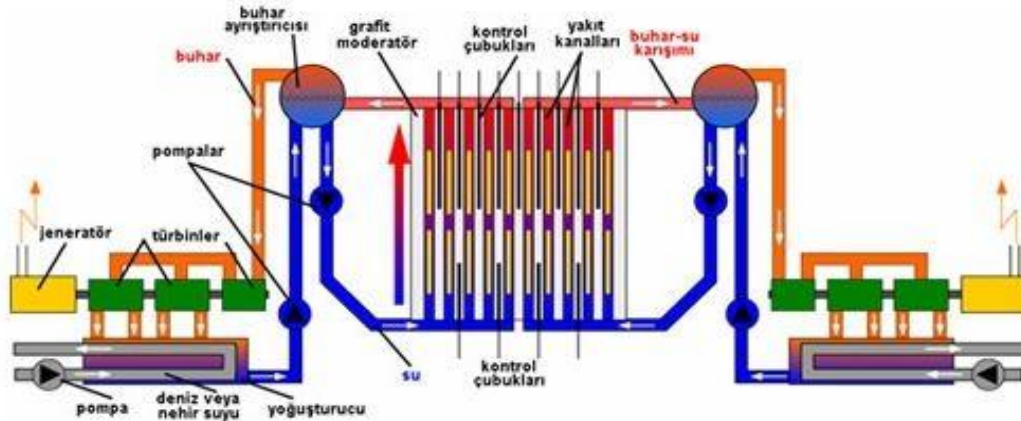
INES ölçeğine göre en büyük nükleer kazanın yaşandığı Çernobil Nükleer Güç Santrali, Beyaz Rusya'ya 20 km, Ukrayna'nın Kiev kentine 130 km ve Rusya'ya 150 km uzaklıkta olup santral soğutma suyunu, Dinyeper nehrinin kolu olan Prip'yat nehrinin yanındaki 22 km²'lik bir alana sahip olan yapay bir göletten karşılıyordu. Santralin 30 km'lik yarıçapı içindeki toplam insan nüfusu 115000-135000 kişi arasındaydı (Şekil 2).

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

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

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

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



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

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

3.1.1. Kazanın Gelişimi

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

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

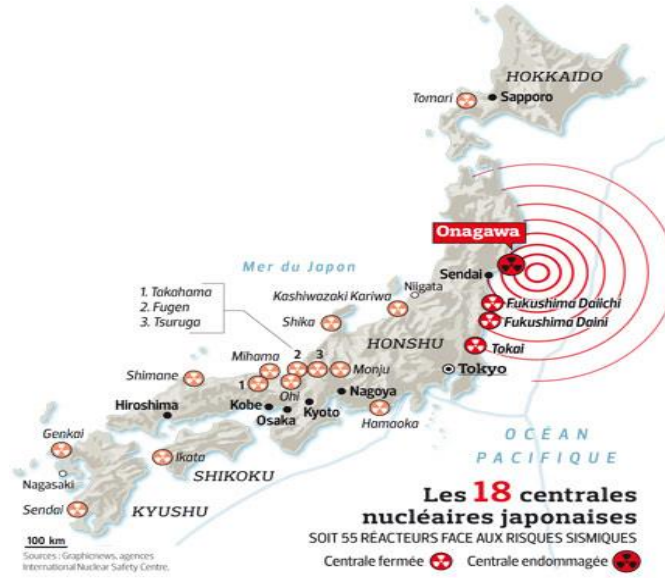
3.1.2. Grafit Yangını

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

Sovyetler Birliği tarafından, onbinlerce işçi, 400.000 m³ kadar beton ve 7000 ton metal malzemeye 206 gün içinde "lahit" adı verilen bir koruma binası inşa edilmiştir. Lahitin içinde 7x10¹⁷ Bq aktiviteye sahip ışınlanmış halde nükleer yakıt mevcuttur. Lahitin içindeki radyoaktif malzemelerin durumunun izlenmesi yüksek radyasyon sebebiyle halen mümkün değildir. Bu izleme işlemi için yüksek radyasyon düzeylerinde çalışabilecek yeni ekipmanlara ihtiyaç vardır. Bugün dahi lahit binasının zarar görmesi halinde dışarıya radyoaktif toz ve suyun salınma tehlikesinin bulunduğu düşünülmektedir.

3.2. Fukushima Nükleer Güç Santrali ve Kazasının Oluşumu

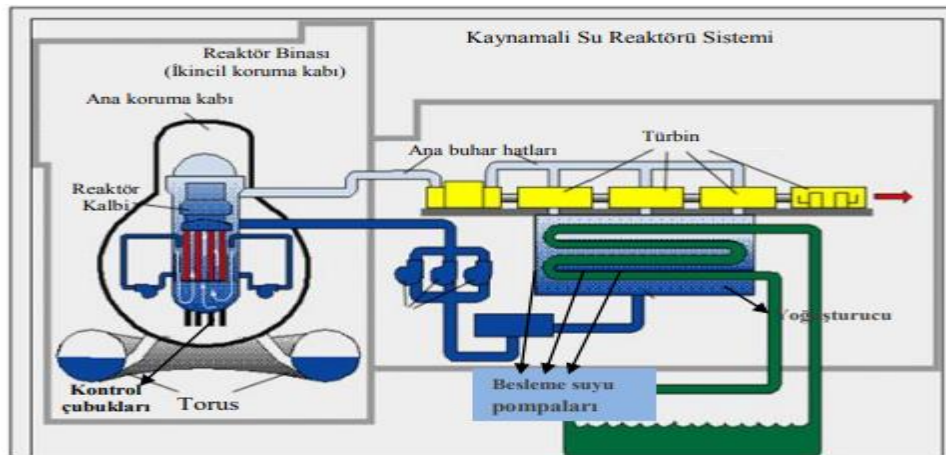
Fukushima Nükleer Güç Santrali, Japonya'nın Fukushima şehrine yakın sahil kenarına kurulmuştur. 11 Mart 2011 tarihinde Sendai şehriden 130 km uzaklıkta meydana gelen 9.0 büyüklüğündeki deprem ve onu takip eden tsunami sonucu, nükleer santral tarihinin en büyük ikinci kazası meydana gelmiştir. Merkez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



Şekil 4. Fukushima haritası (URL-1).

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

Fukushima reaktörleri 1960'ların başlarında tasarımı General Elektrik (GE) Firmasına ait ikincil koruma kabı tipi "MARK-I" olarak bilinen kaynamalı su reaktörleri olarak inşa edilmiştir (Şekil 5). Fukushima santrali toplam 6 adet üniteden oluşmaktadır. Yakıt olarak uranyum dioksit kullanılmıştır. Mark-I kaynamalı su reaktörlerinde ana koruma kabı, ampul şeklinde 30 mm çelik destekli betondan yapılmış kuru kuyu koruma kabıdır. Bu koruma kabının altında torus (simit) şeklinde ıslak kuyuya bağlıdır. Bu kuyu yaklaşık olarak 3000 m³ su ve basınç rahatlatma havuzu içerir (USNRC,1975). Kuru kuyu koruma kabı ve ıslak kuyu birlikte ana koruma kabını meydana getirirler. Kaza anında enerjinin soğurulması görevini basınç rahatlatma havuzu üstlenir. Kuru koruma kabındaki basıncın artması durumunda havuzdaki su basıncı düşürmek üzere kullanılır.

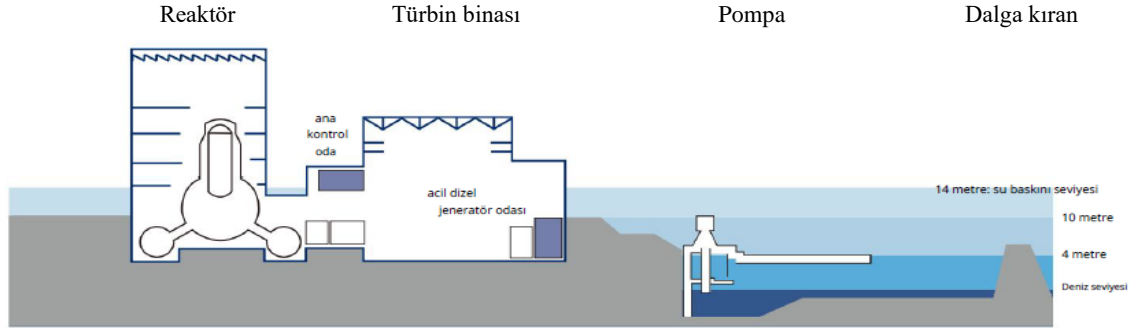


Şekil 5. Kaynamalı Su Reaktörü (URL-2).

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

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

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

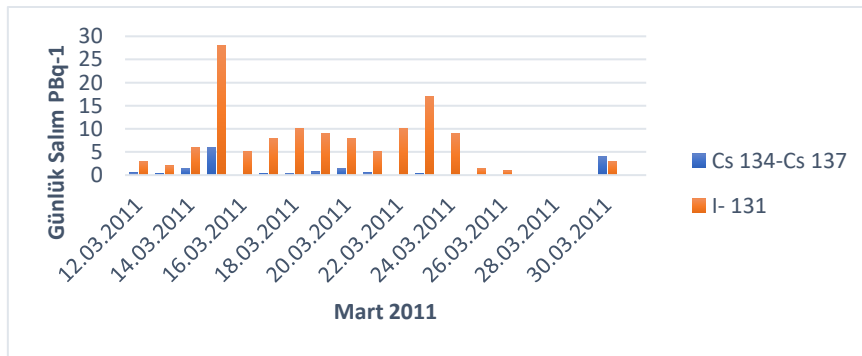


Şekil 6. Tesisin Enine Kesiti (Povinec,2013)

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

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

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



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

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

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

3.3.Radyoaktivite Salınımının Her İki Kazadaki Durumu

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

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

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

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

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

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

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

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

Tablo 5. Fukushima ve Çernobil Kazalarının Genel Karşılaştırması

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

4. Tartışma ve Sonuç

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

4.1. NGS Kurulumunda ve İşletilmesi Esnasında Alınabilecek Tedbirler

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

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

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

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

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

4.2. Gıda ve Solunum Yolu ile Alınabilecek Tedbirler

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

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

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

4.3. Alınabilecek Genel Tedbirler

Bütün elde edilen bu verilerden çıkarılan genel sonuçlar şöyle sıralanabilir;

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

KAYNAKÇA

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

URL-2- http://www.nukleer.web.tr/nukleer_santral_turleri/bwr_ana.html [13.07.2022,WEB;]

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

USNRC.(1975), Reaktör güvenlik çalışması.

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

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

Araştırmacıların Katılım Oranları

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

Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.