



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 serpiye 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

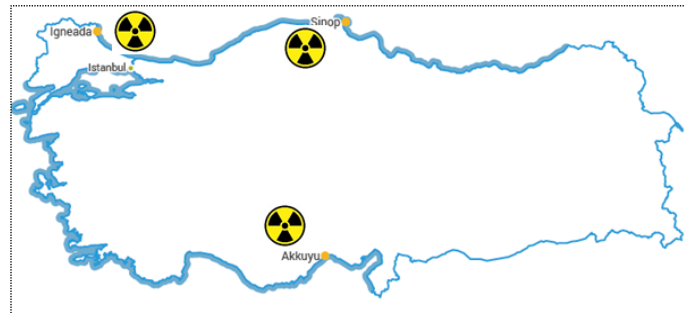
Atıf Bilgisi: Karabulut, A. & Baran, M. (2023). Türkiye Nükleer Afet Yönetimi için Kritik Başarı Faktörlerinin Analizi . OHS ACADEMY , 6 (2) , 85-103 . DOI: 10.38213/ohsacademy.1233309

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 erimştir. 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. Sciencedirect.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. Sciencedirect.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.



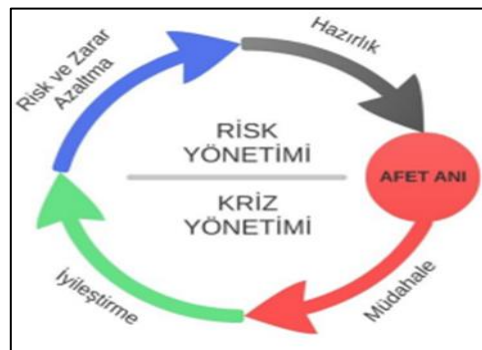
Şekil 3. Metodolojik Yöntem

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.

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

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

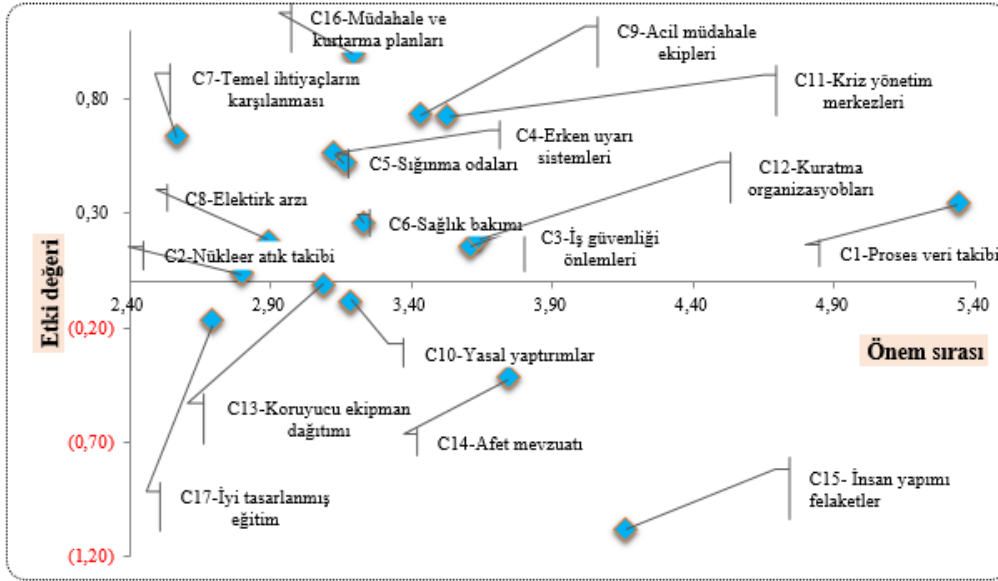
3. Bulanık DEMATEL Analiz Sonuçları ve Bulgular

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 eksenini" üzerinde olan kriterler; kritik başarı faktörleri olarak adlandırılan bağımsız kriterlerdir. "X eksenini" altında olan kriterler ise bağımlı olan kriterlerdir.



Şekil 5. Analiz Sonucu Etki - Önem Grafliği

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

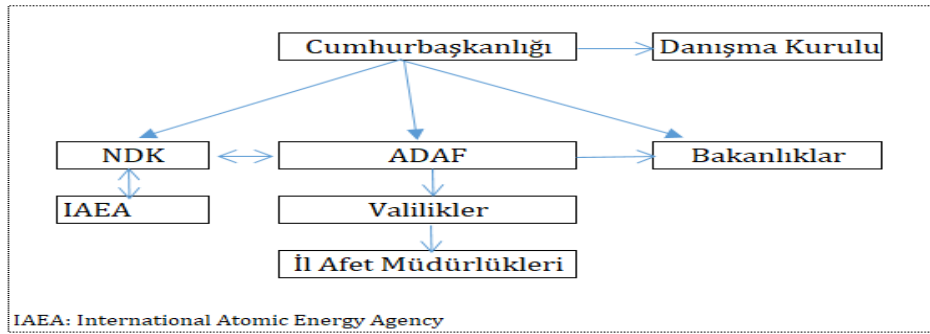
3.3 Nükleer Afet Yönetim Planı Hiyerarşisi

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 katılımlı 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 Ağ’ında 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 felaketlere 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 Kriterlerinin 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.