

Savunma Bilimleri Dergisi

The Journal of Defence Sciences

Millî Savunma
Üniversitesi

Alparslan Savunma
Bilimleri ve Millî
Güvenlik Enstitüsü



Cybersecurity Maturity of Türkiye: An Assessment with ENISA's National Capabilities Assessment Framework (NCAF)

Hasan ÇİFCİ

Conformal Frequency Selective Surfaces in Radome Design: A Mini Review

Nagihan Aybegüm KORKUT - Funda Ergün YARDIM - Ali KARA

Finite Element Analysis Of a Real Man-made Disaster

Caner DERELİ - Murat ŞAHİN

Hastane Tedarik Zinciri Yönetiminde Anahtar Performans Göstergesi Belirlenmesine Yönelik Bir Ölçek Geliştirilmesi

Bora KARACAER - Bahar ÖZYÖRÜK

Kimyasal Savaş Ajanları: Özellikleri, Etkileri ve Dekontaminasyon Stratejileri

İrem Mukaddes BİLGİSEVEN - Serdar KARAKURT

Forecasting Sustainability Reports with Financial Performance Indicators using Random Forest for Feature Selection and Gradient Boosting for Learning

Hakan Ayhan DAĞISTANLI - Figen ÖZEN - İlkay SARAÇOĞLU

Askeri Taktik Ağlarda Derin Makine Öğreniminin Etkisi

Fuat ÖZÇAKMAK

Predicting Bitcoin Price: Comparative Analysis of Machine Learning and Deep Learning Models

Ahmed İhsan ŞİMŞEK

Kuantum Revizyonu

Furkan AKKAYA

Yetenek Temelli Savunma Planlaması için Bulanık AHP-TOPSIS ile Silah Seçimi

Serkan AKSOY - Memduh BEGENİRBAŞ - Kemal Gürol KURTAY

Cilt (Sayı) / 20 (2)

Kasım / November 2024

ISSN : 1303-6831

ISSN (Online) : 2148-1776

Savunma Bilimleri Dergisi

The Journal of Defence Sciences

Millî Savunma Üniversitesi
Alparslan Savunma Bilimleri ve
Millî Güvenlik Enstitüsü

Cilt (Sayı) / Volume (Issue): 20 (2)
Kasım / November 2024

BASKI

Kara Harp Okulu Basımevi

YAZIŞMA VE HABERLEŞME ADRESİ

Millî Savunma Üniversitesi

Alparslan Savunma Bilimleri ve Millî Güvenlik Enstitüsü

Kara Harp Okulu Yerleşkesi 06654 Bakanlıklar/ANKARA/TÜRKİYE

Telefon / Phone: +90 312 417 51 90 / 4915

E-posta / E-mail: alpdergi@kho.msu.edu.tr

Web: https://kho.msu.edu.tr/akademik/enstitu/enstitu_anasayfa.html

**MİLLÎ SAVUNMA ÜNİVERSİTESİ
ALPARSLAN SAVUNMA BİLİMLERİ
VE MİLLÎ GÜVENLİK ENSTİTÜSÜ
SAVUNMA BİLİMLERİ DERGİSİ**

**TURKISH NATIONAL DEFENCE UNIVERSITY
ALPARSLAN DEFENCE SCIENCES AND
NATIONAL SECURITY INSTITUTE
THE JOURNAL OF DEFENCE SCIENCES**

Cilt: 20 Sayı: 2 • Kasım / November 2024 • ISSN 1303-6831 • ISSN (Online) 2148-1776

Dergi Sahibi – Baş Editör / Licensee – Editör-in-Chief

Prof. Dr. Hüsnü ÖZLÜ

Editör Yardımcıları/ Assistant Editors

Dr. Öğr. Üyesi Onur ALTUNTAŞ

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü / Managing Editor

Arş Gör. Elif Ece ELMAS

Alan Editörleri / Field Editors

Prof.Dr.Alpaslan ATMANLI (Millî Savunma Üniversitesi)

Prof.Dr.Baha ŞEN (Millî Savunma Üniversitesi)

Prof. Dr. Ali KARA (Gazi Üniversitesi)

Prof.Dr.Ziya TELATAR (Başkent Üniversitesi)

Prof.Dr. Mustafa ALKAN (Gazi Üniversitesi)

Doç.Dr. Tuğba TABANLIGİL CALAM (Gazi Üniversitesi)

Doç.Dr.Mehmet ŞİMŞEK (Millî Savunma Üniversitesi)

Doç.Dr.Beste DESTİCİOĞLU TAŞDEMİR (Millî Savunma Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi Tuğba EROĞLU AZAK (Millî Savunma Üniversitesi)

Dr.Hüseyin Alper İRTEM (Millî Savunma Üniversitesi)

Teknik Editörler

Öğr. Gör. Yunus Emre KARAKOCA

Arş.Gör. Ezel KORLAELÇİ

Mizanpaj Editörü / Layout Editor

Öğr. Gör. Orhun DÖŞ

**Türkçe Dil Editörleri/Turkish Language
Editör**

Doç.Dr.Emrah BOZOK

Dr.Öğr.Üyesi Ahmet Metehan ŞAHİN

**İngilizce Dil Editörleri/English
Language Editör**

Dr.Öğr.Üyesi Sinan GÜL

Yayın Türü / Journal Type

Yaygın Süreli Yayın / Vernacular Publication

Yayın Aralığı / Publication Schedule

Altı Ayda Bir (Mayıs-Kasım) / Semi-Annually (May-November)

Taradığımız Veritabanları / Databases Indexing Our Journal

ULAKBİM TR DİZİN, EBSCO, Index Copernicus, ARASTIRMAX (Bilimsel Yayın İndeksi), SOBIAD (Fen Bilimleri).

Yayın ve Danışma Kurulu / Editorial and Advisory Board

Prof. Dr .Serdar SALMAN	Millî Savunma Üniversitesi
Prof. Dr. Nurettin ACIR	Millî Savunma Üniversitesi
Prof. Dr. Faruk UÇAR	Millî Savunma Üniversitesi
Prof. Dr. Çetin ELMAS	Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Ulvi ŞEKER	Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Ahmet GÜRAL	Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Asım Egemen YILMAZ	Ankara Üniversitesi
Prof. Dr. Bülent BOSTAN	Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Süleyman ERSÖZ	Kırıkkale Üniversitesi
Prof. Dr. Tuncay KARAÇAY	Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Alpay ÖZER	Gazi Üniversitesi
Doç. Dr. Semih ÖZDEN	Millî Savunma Üniversitesi
Doç. Dr. Faruk KILIÇ	Millî Savunma Üniversitesi
Doç. Dr. Beste DESTİCİOĞLU TAŞDEMİR	Millî Savunma Üniversitesi
Doç. Dr. Ayhan AYTAÇ	Millî Savunma Üniversitesi
Doç. Dr. Mehmet ŞİMŞEK	Millî Savunma Üniversitesi
Dr.Öğr.Üyesi Kemal Gürol KURTAY	Millî Savunma Üniversitesi

Amaç ve Kapsam

Millî Savunma Üniversitesi Alparslan Savunma Bilimleri ve Millî Güvenlik Enstitüsü tarafından hazırlanan ve 2002 yılından itibaren yayımlanan Savunma Bilimleri Dergisi, Mayıs ve Kasım aylarında olmak üzere yılda iki kez yayımlanmaktadır. Savunma Bilimleri Dergisinin amacı, savunma bilimleri alanındaki bilimsel gelişmeleri takip etmek ve bu konuda bilimsel araştırma ve uygulamalara yer vererek alana katkı sağlamaktır. Ayrıca araştırmacılar ve uygulamacılar arasındaki etkileşimi kurup destekleyerek savunma bilimlerinin gelişmesine hizmet etmektir. Dergi; savunma yönetimi, harekât araştırması, askerî elektronik sistemler, harp silah ve araçları, harp tarihi, KBRN savunma, askerî eğitim yönetimi, güvenlik araştırmaları, bilgisayar mühendisliği, istihbarat çalışmaları ve savunma bilimleri ile ilişkili diğer alanlarda nitelikli araştırmaları Türkçe ve İngilizce olarak yayımlamaktadır. Dergi; ULAKBİM TR DİZİN, EBSCO, Index Copernicus, ARASTIRMAX (Bilimsel Yayın İndeksi), SOBIAD (Fen Bilimleri) veri tabanları tarafından taranmaktadır. Dergiye gönderilecek makaleler DergiPark üzerinden kabul edilmektedir.

Makalelerdeki düşünce, görüş, varsayım, sav veya tezler makale sahiplerine aittir; Millî Savunma Üniversitesi ile Alparslan Savunma Bilimleri ve Millî Güvenlik Enstitüsü sorumlu tutulamaz.

Purpose and Scope

The Journal of Defense Sciences, prepared and published by National Defence University Alparslan Defence Sciences and National Security Institute since 2002, is published semiannually in May and November. The purpose of Defence Sciences Journal is to contribute to the literature by following scientific developments in defence sciences and creating a communication environment for scientific research and applications. It also facilitates interaction between researchers and practitioners in order to achieve progress in the field. The journal contains qualified articles in both Turkish and English languages in the fields of Ballistics, Cyber Security, CBRN Defense, Weapon Systems Engineering, Electronic Warfare, Industrial Engineering, Military Electronic Systems Engineering, Civil Engineering, Aerospace Engineering, Operations Research and other fields related to defence sciences. The journal is scanned by ULAKİM TR DİZİN, EBSCO, Index Copernicus, ARASTIRMAX (Scientific Publication Index), SOBIAD (Science) databases. Manuscript to be sent to the journal are accepted through DergiPark.

The opinions, thoughts, postulations or proposals within the articles are but reflections of the authors and do not, in any way, represent those of Turkish National Defence University or of the Alparslan Defence Sciences and National Security Institute.

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Cybersecurity Maturity of Türkiye: An Assessment with ENISA's National Capabilities Assessment Framework (NCAF)

Türkiye'nin Siber Güvenlik Olgunluğu: ENISA'nın Ulusal Yetenek Değerlendirme Çerçevesi (NCAF) ile Bir Değerlendirme

Hasan ÇİFCİ191

Conformal Frequency Selective Surfaces in Radome Design: A Mini Review

Radom Tasarımında Konformal Frekans Seçici Yüzeyler Üzerine Kısa bir Değerlendirme

Nagihan Aybegüm KORKUT - Funda Ergün YARDIM - Ali KARA211

Finite Element Analysis Of a Real Man-made Disaster

Gerçek Bir İnsan Kaynaklı Felaketin Sonlu Elemanlar Analizi

Caner DERELİ - Murat ŞAHİN223

Hastane Tedarik Zinciri Yönetiminde Anahtar Performans Göstergesi Belirlenmesine Yönelik Bir Ölçek Geliştirilmesi

A Scale Development Aimed At Determining A Key Performance Indicators in Hospital Supply Chain Management

Bora KARACAER - Bahar ÖZYÖRÜK237

Kimyasal Savaş Ajanları: Özellikleri, Etkileri ve Dekontaminasyon Stratejileri

Chemical Warfare Agents: Characteristics, Effects, and Decontamination Strategies

İrem Mukaddes BİLGİSEVEN - Serdar KARAKURT253

Forecasting Sustainability Reports with Financial Performance Indicators using Random Forest for Feature Selection and Gradient Boosting for Learning

Özellik Seçimi için Rastgele Orman ve Öğrenme için Gradyan Artırma Kullanılarak Finansal Performans Göstergeleriyle Sürdürülebilirlik Raporlarının Tahmin Edilmesi

Hakan Ayhan DAĞISTANLI - Figen ÖZEN - İlkey SARAÇOĞLU279

Askeri Taktik Ağlarda Derin Makine Öğreniminin Etkisi

Impact of Deep Machine Learning on Military Tactical Networks

Fuat ÖZÇAKMAK303

Predicting Bitcoin Price: Comparative Analysis of Machine Learning and Deep Learning Models

Bitcoin Fiyat Tahmini: Makine Öğrenmesi ve Derin Öğrenme Yöntemlerine İlişkin Karşılaştırmalı Bir Analiz

Ahmed İhsan ŞİMŞEK327

Kuantum Revizyonu

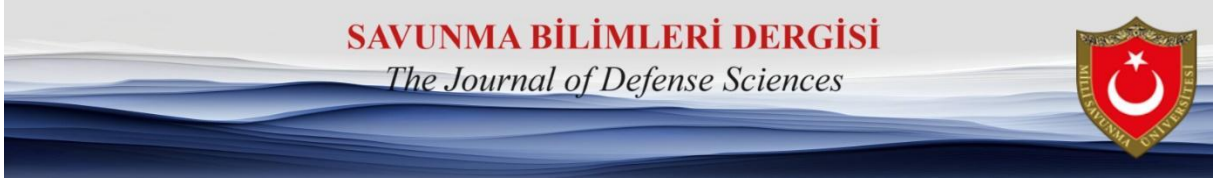
Quantum Revision

Furkan AKKAYA343

Yetenek Temelli Savunma Planlaması için Bulanık AHP-TOPSIS ile Silah Seçimi

Weapon Selection with Fuzzy AHP-TOPSIS for Capability-Based Defense Planning

Serkan AKSOY - Memduh BEGİNİRBAŞ - Kemal Gürol KURTAY363



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

Cybersecurity Maturity of Türkiye: An Assessment with ENISA's National Capabilities Assessment Framework (NCAF)

Türkiye'nin Siber Güvenlik Olgunluğu: ENISA'nın Ulusal Yetenek Değerlendirme Çerçevesi (NCAF) ile Bir Değerlendirme

Hasan ÇİFCİ ^{1*}

¹İstanbul Aydın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi

Başvuru: 10.03.2024

Düzeltilme: 16.04.2024

Kabul: 20.05.2024

Keywords

cybersecurity
maturity models
maturity assessment
National Capabilities Assessment Framework (NCAF)
Türkiye

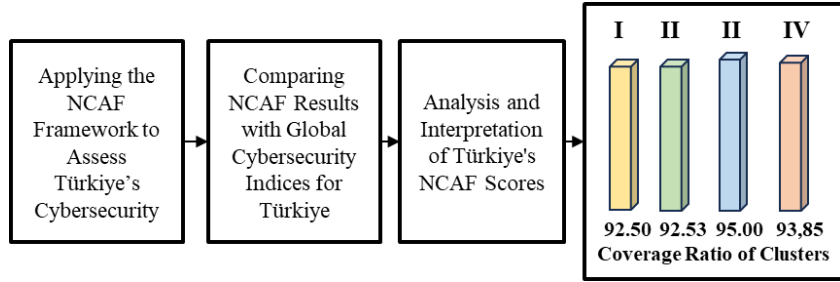
Anahtar Kelimeler

siber güvenlik
olgunluk modelleri
olgunluk değerlendirmesi
Ulusal Yetenek Değerlendirme Çerçevesi (NCAF)
Türkiye

Highlights

Türkiye's cybersecurity maturity was assessed using ENISA's NCAF and compared with global cybersecurity indices. Türkiye shows strong cybersecurity capabilities but needs improvement in some areas such as supply chain security and contingency plans. Discrepancies between Türkiye's NCAF results and global indices emphasize the complexity of cybersecurity evaluation.

Graphical Abstract



Abstract

In this study, Türkiye's cybersecurity maturity level was assessed using the European Union Agency for Cybersecurity's (ENISA) National Capabilities Assessment Framework (NCAF). To complement the NCAF findings, other global cybersecurity indices, such as the Global Cybersecurity Index (GCI), Cybersecurity Performance Index (CPI), and National Cyber Security Index (NCSI), were also given to provide a broader understanding of Türkiye's cybersecurity posture. Additionally, Türkiye's organizations, legal framework, public and private sector, academic landscape, incident response capabilities and military capabilities were presented through an extensive literature review. In this respect, this is the most up-to-date cybersecurity capability analysis of Türkiye in English. According to the findings from NCAF assessment, Türkiye has high level of cybersecurity maturity level while there are various areas that need improvement, including supply chain security, contingency strategies, education and training, security and trustworthiness of digital identity and public digital services. The comparison between Türkiye's NCAF results and global cybersecurity indices shows alignment with ITU's GCI but discrepancies with CPI and NCSI. These differences originate from different assessment criteria and emphasize the complexity of creating a universally accepted cybersecurity evaluation framework. The methodology and findings of this study can serve as a reference for researchers and policymakers to measure and enhance the cybersecurity levels of other countries.

Özet

Bu çalışmada, Türkiye'nin siber güvenlik olgunluk seviyesi, Avrupa Birliği Siber Güvenlik Ajansı'nın (European Union Agency for Cybersecurity - ENISA) Ulusal Kapasite Değerlendirme Çerçevesi (National Capabilities Assessment Framework - NCAF) kullanılarak değerlendirilmiştir. NCAF bulgularını tamamlamak amacıyla, Küresel Siber Güvenlik Endeksi (GCI), Siber Güvenlik Performans Endeksi (CPI) ve Ulusal Siber Güvenlik Endeksi (NCSI) gibi diğer küresel siber güvenlik endeksleri de ele alınarak Türkiye'nin siber güvenlik durumu hakkında daha kapsamlı bir değerlendirme sunulmuştur. Ayrıca, Türkiye'nin kurum ve kuruluşları, yasal çerçevesi, kamu ve özel sektörleri, akademik yapısı, siber olay müdahale kapasitesi ve askerî yetenekleri kapsamlı bir literatür taramasıyla ortaya konmuştur. Bu bağlamda bu çalışma, Türkiye'nin siber güvenlik kapasitesine dair İngilizce dilindeki en güncel analizdir. NCAF değerlendirmesine göre, Türkiye yüksek bir siber güvenlik olgunluk seviyesine sahipken, tedarik zinciri güvenliği, acil durum stratejileri, eğitim ve öğretim, dijital kimlik güvenliği ve kamu dijital hizmetlerinin güvenilirliği gibi iyileştirilmesi gereken muhtelif alanlar bulunmaktadır. Türkiye'nin NCAF sonuçları ile küresel siber güvenlik endeksleri arasındaki karşılaştırma, Uluslararası Telekomünikasyon Birliği'nin (ITU) GCI endeksiyle uyumluluk gösterirken, CPI ve NCSI ile bazı farklılıklar ortaya koymaktadır. Bu farklılıklar, endekslerdeki özgün değerlendirme kriterlerinden kaynaklanmakta olup, evrensel olarak kabul edilen bir siber güvenlik değerlendirme çerçevesi oluşturma zorluğunu ortaya koymaktadır. Çalışmanın metodolojisi ve bulguları, diğer ülkelerin siber güvenlik seviyelerini ölçmek ve geliştirmek için araştırmacılar ve politika yapıcılar için bir referans niteliği taşımaktadır.

*Corresponding author, e-mail: hasancifci@aydin.edu.tr

1. INTRODUCTION

Increased reliance on digital technologies and a growing variety of cyber threats show the need for cybersecurity for countries [1]. Cybersecurity is a critical aspect for protecting national security, critical infrastructure, and the economy [2]. As the world becomes more interconnected and dependent on digital technology, the demand for effective cybersecurity strategies and capabilities grows.

A detailed analysis of a country's cybersecurity competence has several advantages for its long-term strategy. This assessment can provide useful information for creating a strategic plan to strengthen cybersecurity posture [3]. It can also establish a benchmark for cybersecurity capacity and assess the nation's current state of cybersecurity preparedness.

The study begins with a review of existing global cybersecurity maturity indices and models for countries including National Capabilities Assessment Framework (NCAF) tool developed by the European Union Agency for Cybersecurity (ENISA). Then, Türkiye's important initiatives, organizations, legal framework, academic landscape, public and private sector, incident response capabilities, military capabilities, and international engagement are outlined through a detailed literature review. Subsequently, findings of Türkiye's cybersecurity maturity assessment according to NCAF are presented accompanied with the results of the global cybersecurity indices.

This study is significant as it is the first to employ the NCAF tool for a country, Türkiye, which is not a member of the EU. Additionally, to the best

of our knowledge, at the time of this study's preparation, there were no published journal paper in the literature that had employed this methodology. Moreover, the research stands as the most up-to-date and comprehensive analysis of Türkiye's cybersecurity stance and landscape available in English.

2. METHODOLOGY

This study employs a structured methodology to assess the cybersecurity maturity of Türkiye as of March 2024. It is primarily based on ENISA's NCAF, enhanced with an extensive literature review and analysis. The entire methodology, from data collection to data analysis, is designed to be transparent and repeatable. The steps of the methodology are as follows (Figure 1):

1. Literature Review for National-Level Cybersecurity Assessments: Widely recognized models and indices for assessing national-level cybersecurity maturity were analyzed. This was done to determine Türkiye's score and to make a comparison with the results from the NCAF assessment.

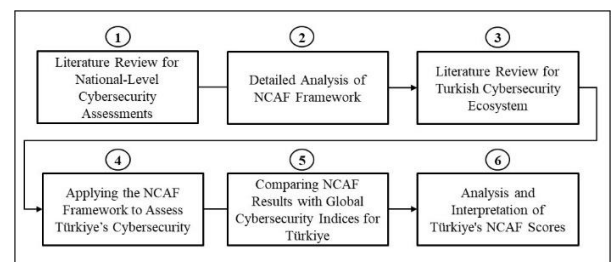


Figure 1: Main Steps of Methodology.

2. Detailed Analysis of NCAF Framework: The framework was analyzed for application. It has 472 questions addressing legislative and regulatory framework, governance, technical and operational capabilities, information sharing, incident response and capacity building domains.

3. Literature Review for Turkish Cybersecurity Ecosystem: An extensive literature review was conducted to collect the data to present cybersecurity landscape of Türkiye and to answer the questions in the NCAF. Only government resources and regulations were selected to provide correct and accurate landscape and assessment. In this study, 33 government regulations (law, strategy, decree and standard), 13 governmental web resources and 1 government-published book were used as primary data source. As it stands, this represents the most thorough compilation of data on the subject regarding Türkiye in the existing literature to date.

4. Applying the NCAF Framework to Assess Türkiye's Cybersecurity: To assess the cybersecurity level of Türkiye, the assessment tool published in ENISA's web page [4] was used. The synthesized data from the literature review was applied to the NCAF to assess Türkiye's cybersecurity maturity. Answers for the questions in the NCAF were provided by 6 of highly experienced experts some of whom held strategic positions within the Turkish government and participated in strategic initiatives.

5. Comparing NCAF Results with Global Cybersecurity Indices for Türkiye: NCAF results were compared with Türkiye's assessments in other global cybersecurity indices and models for nations.

6. Analysis and Interpretation of Türkiye's NCAF Scores: Türkiye's NCAF scores were quantitatively evaluated and qualitatively interpreted. Specific strengths and weaknesses in its cybersecurity capabilities within various categories were identified.

3. LITERATURE REVIEW

3.1. Models and Indices for Nation-Level Cybersecurity Assessment

Cybersecurity is a critical issue for nations in the current digital era [5]. To address the risks and threats, various models have been proposed to provide frameworks for mitigation at the national level [6,7]. Table 1 lists the most used models for nations in the order of last update dates.

The Cyber Power Index (CPI) was developed by The Economist Intelligence Unit in 2011 [8]. It evaluates national cyber power by considering social and economic environment, technology infrastructure, regulatory system, and industrial application. The index covers 19 of the G20 countries and scores them on a 100-point scale.

Table 1: Cybersecurity Indices and Models for Nations.

Last update	Name
2011	Cyber Power Index (CPI)
2013	The Cyber Index-International Security Trends and Realities (CI-IS)
2015	Cyber Readiness Index (CRI)
2020	National Cyber Power Index (NCPI)
2020	National Capabilities Assessment Framework (NCAF)
2021	Cyber Capabilities and National Power (CCNP)
2021	Cybersecurity Capacity Maturity Model for Nations (CMM)
2023	Global Cybersecurity Index (GCI)
2024	National Cyber Security Index (NCSI)

The Cyber Index-International Security Trends and Realities (CI-IS) study from UNIDIR (United Nations Institute for Disarmament Research) in 2013 provides information about cybersecurity trends and realities [9]. The report covers a range of topics such as cyber threats, national cybersecurity capabilities, and governance.

Potomac Institute for Policy Studies created Cyber Readiness Index (CRI) 2.0 [10] in 2015.

Index considers diplomacy and trade, national strategy, e-crime and law enforcement, information sharing, incident and crisis management, and R&D investment to evaluate national level of cybersecurity maturity.

The National Cyber Power Index (NCPI) was published by the Belfer Center for Science and International Affairs in 2020 [11]. It measures the cybersecurity capabilities and intent of 30 selected countries.

International Institute for Strategic Studies (IISS) introduced Cyber Capabilities and National Power (CCNP) report in 2021 [12]. The report presents the cybersecurity capabilities and power of 15 selected nations.

The Cybersecurity Capacity Maturity Model for Nations (CMM) is a model created by the University of Oxford to determine the cybersecurity maturity of nation-states [3]. It defines five maturity levels to define the degree of cybersecurity capacity.

The National Cyber Security Index (NCSI) is an online index developed by the e-Governance Academy, a non-profit organization, to assess the

cybersecurity readiness of nations [13]. NCSI focuses on national implementation of cybersecurity policies and programs [14].

The ITU and ABI Research launched the Global Cybersecurity Index (GCI) in 2014 to assess national level cybersecurity level [15]. The most recent report, GCI 2021, covers 180 nations [16] and is unique in the coverage of countries and geographic range [17]. GCI 5th edition was released in 2023 having metrics in five areas: technical, legal and organizational measures, capacity building, and cooperation [18].

3.2. National Capabilities Assessment Framework (NCAF)

The NCAF is a framework developed by the ENISA to assess the cybersecurity preparedness and capabilities of EU member states. There are 17 objectives that must be addressed by nations under four clusters as given in Table 2.

The NCAF provides an online platform to self-assess the cybersecurity maturity level of EU nations. It has 5 maturity levels with 472 questions addressing 17 objectives under 4 clusters.

Table 2: NCAF Clusters and Objectives.

Cluster	Cluster Name	Objectives
I	Cybersecurity Governance and Standards	1. Developing contingency plans on national cybersecurity 2. Establishing baseline cybersecurity measures 3. Securing digital identity and building trust in digital public services
II	Capacity-building and awareness	4. Establishing an incident response capability 5. Raising user awareness 6. Organizing cybersecurity exercises 7. Strengthening training and educational programs 8. Supporting Research and Development (R&D) 9. Providing incentives for the private sector 10. Enhancing the supply chain cybersecurity
III	Legal and regulatory	11. Protecting critical information infrastructure 12. Combatting cyber crime 13. Establishing incident reporting mechanisms 14. Reinforcing privacy and data protection
IV	Cooperation	15. Establishing cooperation between public agencies 16. Engaging in international cooperation 17. Establishing a public-private partnership

3.3. Cybersecurity in Türkiye

In modern society, cybersecurity has become a critical field, and Türkiye has been working to strengthen its cybersecurity infrastructure. This section presents a detailed overview of cybersecurity in Türkiye, including key strategic initiatives, governance, legal framework, academic landscape, private sector, incidence response capabilities, military capabilities, infrastructure and ICT uptake and international engagement.

3.3.1. Important Strategic Initiatives

The history of cybersecurity in Türkiye can be traced back to the establishment of the TÜBİTAK (The Scientific and Technological Research Council of Türkiye) National Electronics and Cryptology Institute and the production of the first national crypto device in 1978 [19]. In the meantime, specific cybersecurity strategies were released in the early 2000s. Main cybersecurity strategies are listed in the chronological order:

- Prime Ministry Circular No. 2003/10 (2003): This document was released by the Prime Ministry [20] and was one of the first steps to create a cybersecurity framework in the country.
- E-Transformation Türkiye Project (2003): This project was launched to transform Türkiye into an information society by utilizing the potential of information and communication technologies [21].
- E-Transformation Türkiye Project Action Plans (2003 and 2005): These action plans were released to take steps defined within E-Transformation Türkiye Project [22,23].

- Information Society Strategy and Action Plan 2006-2010 (2006): This document [24] was released to perform activities for development of an information society in Türkiye.
- National Cybersecurity Strategy and 2013-2014 Action Plan (2013): This is the first strategy document solely dedicated to cybersecurity, with a detailed action plan [25,26]. The strategy underscores the cybersecurity capabilities and resiliency of critical infrastructures.
- Information Society Strategy and Action Plan 2015-2018 (2015): This is the updated version of the previous document for the advancement of an information society in Türkiye [27]. It underscores the importance of ensuring digital service access for every citizen.
- National Cybersecurity Strategy and 2016-2019 Action Plan (2016): This is the second strategy document, which specifically focuses on cybersecurity [28]. It addresses topics, including cyber defense, cybercrime, the cybersecurity landscape, and the integration of national security with cybersecurity measures.
- Presidential Circular on Information Security Measures (2019) - This document outlines the measures to improve cybersecurity in the country [29,30]. In accordance with the Circular, an Information and Communication Security Guide was released by the Presidency Digital Transformation Office (DTO). For all public agencies, establishments, and enterprises providing critical infrastructure services, compliance with the guide is mandatory [31]. It is the responsibility of these organizations to progressively align their current IT infrastructures with the guidelines [32].

- National Cybersecurity Strategy and 2020-2023 Action Plan (2020) - The latest strategy document prioritizes protecting vital infrastructure, strengthening national capacities, combating cybercrime, encouraging the use of safe digital technologies, and fostering global cooperation [33,34].

3.3.2. Governance and Organizational Structure

Turkish government has established various policies, regulations, and institutions to deal with the cybersecurity issues. This part provides the current state of the governance and organizational structure in Turkey regarding cybersecurity. There is a wide range of cybersecurity responsibilities, ranging from formulating strategic plans to handling cyber events [35]. The main actors related to cybersecurity are (Figure 2) [20, 25, 37-46]:

- Cybersecurity Board: The Board was established in 2012 to formulate strategies and directives at the national level. The Board also has roles to evaluate and approve the plans and programs [25].

- Presidency Digital Transformation Office (DTO): The creation of this organization in 2018 aimed to consolidate various initiatives related to digital transformation, big data, national technologies, cybersecurity and artificial intelligence (AI) under one unified entity [36]. It is responsible for developing cybersecurity strategies, policies and projects for public institutions and critical infrastructures [37].

- Presidential Security and Foreign Policy Board: It is responsible for policy and strategy development on cybersecurity [37].

- Ministry of Transport and Infrastructure: This ministry creates and coordinates nationwide policies, strategies and action plans for cybersecurity [38,39].

- Information Technologies and Communications Authority (BTK): BTK is an agency for regulating and supervising the electronic communication sector. Nationwide technical solutions and controls for cybersecurity are carried out through this institution [38].

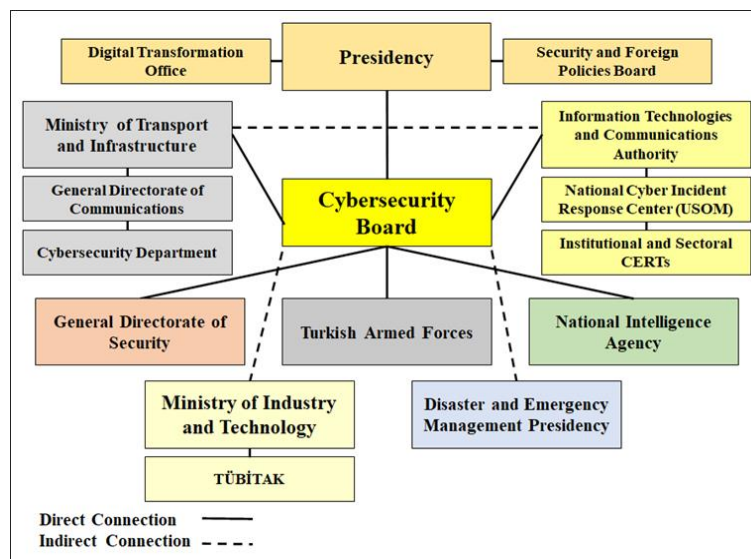


Figure 2: The Main Actors in Turkey Related to Cybersecurity.

- National Cyber Incidents Response Center (USOM, TR-CERT): It works under the BTK and is mainly responsible for country-wide cyber incident response, increasing awareness and coordination activities [25].
- Ministry of Industry and Technology: Its objective is to create plans that support the growth of R&D and the productivity of individuals and companies in critical domains such as cybersecurity, big data, and artificial intelligence (AI) [37].
- Ministry of National Defense (MND): MND is responsible for the setting strategies and overall coordination for military cybersecurity activities [20].
- Turkish Armed Forces (TAF): Responsible for the protection and security of military systems against cyber-attacks [20]. Turkish Armed Forces Cyber Defense Command is the main organization for TAF's cyber defense activities.
- General Directorate of Security (GDS): It is in charge of combating cybercrime. This task is carried out by the Department of Combating Cybercrime, which was established in 2011 [40]. Its main duties are to combat cybercrime and to raise awareness in society about cybercrime [41].
- National Intelligence Organization (MİT): It has been tasked with cyber intelligence actions since 2014 [42]. Department of Electronic and Technical Intelligence is the organization responsible for collecting the necessary intelligence to prevent cybersecurity threats for the country [43].
- Disaster and Emergency Management Presidency (AFAD): It is responsible for the protection against disaster risks in critical

infrastructures in Türkiye and the management of possible disasters and emergencies [44]. It works under the Ministry of Interior [45].

- TÜBİTAK: Founded in 1963, TÜBİTAK is Türkiye's top authority for the management, funding, and application of scientific research [46]. It is responsible for scientific and technological research and development studies for cybersecurity.

3.3.3. Legal Framework

Legal framework in Türkiye was established to fight cybercrime, guarantee the protection of electronic data, communications, and personal information, and ensure a reliable and secure environment for electronic transactions.

The Electronic Signature Law No. 5070 [47], one of the important legislations in this domain, establishes the legal foundation for the use of electronic signatures in business and other transactions.

Another important law is Law No. 5651 on Regulation of Broadcasts on the Internet and Combating Crimes Committed Through These Broadcasts [48]. The law regulates the internet services and providers to combat illegal content and criminal activities.

Electronic Communications Law No. 5809 [38] creates the legal framework for electronic communications in Türkiye. Law No. 5846 on Intellectual and Artistic Works [49] protects the rights of creators and authors in the digital age. The Law No. 6563 on the Regulation of Electronic Commerce [50] and Trade Registry Regulation [51] provide the legal framework for electronic commerce in Türkiye.

The Law No. 6533 Approval of the Budapest Convention on Cybercrime [52] sets the base for combatting cybercrime while the Law No. 6698 Personal Data Protection Law [53] aims for the protection of personal information.

Decision on the Execution, Management and Coordination of National Cybersecurity Studies [25] and the Communiqué on Procedures and Principles Regarding the Establishment, Duties and Operations of Cyber Incidents Response Teams [54] are two key regulations to enhance cybersecurity governance in Türkiye [51].

Finally, the Communiqué on National Occupational Standards [55] provides the national standards for cybersecurity professionals in Türkiye to ensure a high level of expertise.

3.3.4. Academic Landscape in Terms of Cybersecurity

As of April 2024, there are 167 universities in Türkiye with departments of computer engineering, computer science, information engineering, AI engineering, and software engineering [56]. There is one university with a department of forensic information engineering and another university with a department of information security technology at the undergraduate level [56]. There are 28 universities with a master's program in cybersecurity and four universities with a doctoral program in the same field. Network security, information security, cryptology, cybersecurity, information systems security and data security are the courses commonly given in undergraduate and graduate programs of universities in Türkiye.

3.3.5. Cybersecurity Private Sector

This study examines the Turkish cybersecurity private sector, mainly from the perspective of the Turkish Cybersecurity Cluster. This cluster was acknowledged as a key component of the national cybersecurity ecosystem at the Cyber Security Ecosystem Development Summit by Ministry of Transportation and Infrastructure [57].

The Turkish Cybersecurity Cluster platform was established in 2017 under the leadership of the Defense Industry Agency (DIA) to create a cybersecurity ecosystem in Türkiye and thus create synergy by supporting companies that can produce technology and products on a global scale [58]. Aligned with a protocol signed in 2021 between the DIA and the Presidency Digital Transformation Office, it was mutually agreed to jointly undertake platform activities [59].

As of April 2024, there are 245 firms that are affiliated with the Cybersecurity Cluster, providing 373 products spanning 178 distinct categories and offering a broad range of services and training programs within 31 categories [58]. Most of the cybersecurity products by Turkish companies are related to cybersecurity event management, network security, identity and access management, application security, endpoint security, data security, web security, secure communication and cloud security.

When it comes to cybersecurity services, consultancy, network security, security audit and hardening, penetration testing and vulnerability analysis, system security, cyber incident response and application security are among the most common services.

As of April 2024, there are a total of 97 technology development zones (technoparks) in Türkiye [60]. Half of the 79 active technoparks have cybersecurity companies.

3.3.6. Incident Response Capabilities

In accordance with the National Cybersecurity Strategy and 2013-2014 Action Plan, National Cyber Incidents Response Center (USOM, TR-CERT) was established in May 2013 to respond to incidents affecting the whole country [25].

USOM appraises the alerts regarding cyber threats arising at both national and international levels and facilitates collaboration between public entities and private enterprises to identify and remediate such threats. At the same time, organizing national and international cybersecurity exercises, awareness raising, and guidance activities are among the duties of USOM [61].

Institutional CERTs and sectoral CERTs (Banking and Finance, Critical Public Services, Electronic Communications, Water Management, Transportation and Energy) are obliged to take the necessary steps to identify and prevent cyber-attacks [62] according to government regulations [54]. The coordination relationship between the USOM and CERTs is shown in Figure 3 [54].

USOM has developed projects to detect and prevent cyber threats as quickly as possible and to generate warnings.

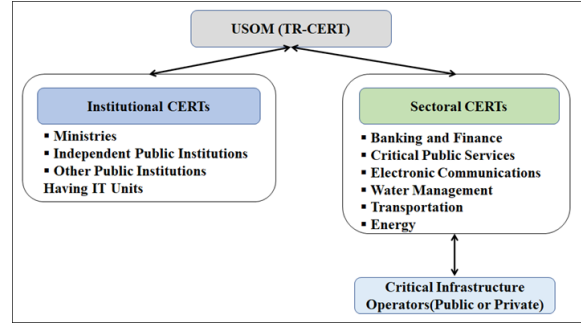


Figure 3: USOM and CERTs in Turkey.

Projects include AVCI (Hunter: Detection of infected systems and command and control centers), AZAD (Freed: Identification of AI-based, botnet member computers), KASIRGA (Hurricane: Vulnerability scan and system monitoring), ATMACA (Hawk: Vulnerability scan and detection) and KULE (Tower: Data analysis and detection). sharing) projects. USOM also has the infrastructure to forward notifications to individuals and institutions in a certain region via mobile devices [63].

3.3.7. Military Capabilities

Turkish Armed Forces (TAF) established the Cyber Defense Center in 2012 to take part in the cyberspace, which is a new operational domain. The name of the center was changed to Turkish Armed Forces Cyber Defense Command in 2013. Its scope of duty and responsibility is limited to the cyber defense of military systems [20].

The Command operates under the Turkish General Staff, Communications Electronics and Information Systems Presidency (J6), which is the member of Cybersecurity Board of Turkey, and includes personnel from all services. The aim of the command is to prevent cyber threats and gain a strong central cyber defense capability with advanced cyber defense warning and response systems.

The Command performs its operations in collaboration with other public organizations including USOM. Serving as the military CERT, it represents the supreme governing body for military cyber defense. In addition, it performs its duties in the national and international arena in coordination with NATO.

The Turkish Armed Forces Cyber Defense Center (Siber Savunma Merkezi-SİSAMER) Project was completed in 2017 to increase the strength of the command, with the aim of ensuring the security of the information systems of the TAF, enabling the TAF to react instantly on cyber defense, and reducing the effects of possible attacks [64].

3.3.8. Infrastructure and ICT Uptake

According to the ITU 2021 data, mobile-cellular network has full coverage, and 88% of the household has internet access and international bandwidth per internet user is 129 kbit/s [65].

As per the outcomes of the household survey on the usage of information technologies carried out by the Turkish Statistical Institute (TÜİK), it was observed in 2023 that 95.5% of households had the capability to access the Internet from their domicile, as compared to 94.1% in the preceding year. In the 16-74 age group, the percentage of individuals who utilized internet was 85.0% in 2022, and subsequently increased to 87.1% in 2022. Furthermore, the proportion of individuals who engaged in e-commerce, either by procuring goods or services or placing orders online, was 46.2% in 2021, and rose to 49.5% in 2023 [66].

Many government services in Turkey (health, justice, environment, information, security, education, business and career, insurance, tax, fees, fines, etc.) are provided on the internet

within digital transformation efforts. In 2023, the rate of individuals benefiting from public services called e-Government over the internet was 73.9% [66].

3.3.9. International Engagement

Türkiye is in the close international engagement in terms of cybersecurity through a variety of events, exercises, and membership initiatives.

Türkiye is a member of several international organizations that are dedicated to cybersecurity, including ITU, IMPACT (International Multilateral Partnership Against Cyber Threats), CAMP (Cybersecurity Alliance for Mutual Progress), and GFCE (Global Forum on Cyber Expertise). Additionally, Türkiye is a candidate for FIRST (Forum of Incident Response and Security Teams) and Trusted Introducer Membership through USOM and has participated in the ALERT (Applied Learning for Emergency Response Team). Türkiye is one of the signatory countries of Budapest Convention on Cybercrime.

Türkiye participates in international exercises such as NATO's Locked Shields, Cyber Coalition, and Trident Javelin, among others. Also, it arranges international events such as the International Cyber Warfare and Security Conference under the auspices of the government.

4. FINDINGS AND RESULTS

Findings and results from the analysis of various cybersecurity indices and the NCAF were given in this section. First, findings from cybersecurity indices and models for nations were given with the details of the scores and rankings. Then

NCAF assessment was given with the interpretation of the results. Finally, NCAF results were compared with the results of other global cybersecurity indices.

4.1. Findings from Cybersecurity Indices and Models for Nations

Over the past few decades, Türkiye has significantly improved its cybersecurity capabilities [20-33]. In this section, maturity of Türkiye's cybersecurity based on global cybersecurity indices and models are examined in the chronological order of the mentioned studies in Table 2 above. The findings provide a historical overview of the country's efforts to develop its cybersecurity capabilities.

According to CPI in 2011, Türkiye is in the 15th rank among 19 countries [8]. In Table 3, Türkiye's rankings and scores by category can be seen.

Table 3: Türkiye's Ranking and Score per CPI Category.

Nu.	Category	Türkiye's	
		Score	Ranking
1	Legal and Regulatory Framework	49.2	15
2	Economic and Social Context	24	17
3	Technology Infrastructure	29.9	10
4	Industry Application	15.9	17

UNIDIR's CI-IS gives brief information about 114 countries, including Türkiye [9]. The report only outlines the steps and actions taken by Türkiye by 2013. However, it does not contain any assessment or recommendations related to the current situation of cybersecurity in the country.

CRI by the Potomac Institute [10] is a tool that quantitatively assesses the cybersecurity posture

of countries. However, the specific ranking of Türkiye is not publicly available.

According to the NCPI that was published in 2020 [11], Türkiye is in the lower capability and lower intent region, 22nd out of 29 countries, which means it has to improve cybersecurity in terms of intelligence gathering and information control.

CCNP, published in 2021 [12], provides comprehensive assessments for only 15 countries, but Türkiye is not among the countries included in this index.

The GCI created by ITU [15] provides valuable insights into the latest cybersecurity capabilities of the countries. According to GCI reports, Türkiye has been ranked consistently among the top countries in the world. In 2014, Türkiye was ranked 22nd out of 193 countries. However, Türkiye's ranking declined in 2017 to 47th out of 194 countries, but in 2018, Türkiye's ranking improved again to 20th. In 2020, Türkiye's ranking reached its highest point to date, with a ranking of 16th out of 194 countries. Despite the fluctuations in ranking, Türkiye's overall performance in the GCI demonstrates its commitment to cybersecurity. As for the reasons for fluctuations, with the help of national cybersecurity strategies and action plans [26,27], Türkiye's cybersecurity capabilities did not deteriorate between 2014 and 2017, even though Türkiye's score and ranking decreased. This fluctuation might be due to 1) Changes in the GCI methodology, as it was revised in the 2017 version to include new indicators, which led to a lack of data, 2) Relative improvement of other countries, and 3) Deficiencies in reporting

because the data collection for 2017 coincided with the coup attempt in 2016.

In Table 4, Türkiye's score per category is shown in the latest announced GCI report (GCI v4 in 2020). Note that GCI v5 report has not been announced yet at the time of writing this paper.

Table 4: Türkiye's Scores per Category in GCI v4 (2020).

Nu.	Category	Türkiye's Score
1	Legal Measures	20
2	Technical Measures	19.54
3	Organizational Measures	17.96
4	Capacity Development	20
5	Cooperative Measures	20
Overall Score		97.50

Instead of a scoring or ranking system, the CMM framework by Global Cyber Security Capacity Centre provides a report that highlights the detected gaps and the present level of maturity for

indicators. There is not publicly available study for Türkiye based on the CMM framework [3].

In NCSI, Türkiye ranked 65th in 2019, 45th in 2020, 49th in 2021, 57th in 2022 and 55th in 2023 [67]. Considering Türkiye's state of meeting NCSI indicators (Table 5), it is seen that it is weak in the areas of protection of digital and basic services, military cyber operations and cyber threat analysis and information, and it is successful in the areas of protection of personal data, fight against cybercrime and cybersecurity policy development.

When it comes to top countries in global indices, Table 6 lists the top 10 countries based on four different indexes: CPI, GCI (four different years), NCPI and NCSI. According to the data, none of the countries are listed in all 7 global cybersecurity indices. Türkiye is not listed in the top 10 of these indices.

Table 5: Türkiye's Percentage of Coverage of NCSI Indicators.

Nu.	Indicator	Türkiye's Coverage %
1	Protection of personal data	100
2	Fighting cybercrime	100
3	Cybersecurity policy development	100
4	E-identity and trust services	78
5	Education and professional development	78
6	Cyber crisis management	60
7	Contribution to global cybersecurity	50
8	Response to cyber incidents	50
9	Protection of digital services	20
10	Cyber threat analysis and information	20
11	Protection of essential services	17
12	Military cyber operations	17

Table 6: Top 10 Countries in Global Cybersecurity Indices.

Nu.	CPI 2011	GCI 2014	GCI 2017	GCI 2018	GCI 2020	NCPI 2020	NCSI 2023
1	UK	USA	Singapore	UK	USA	USA	Greece
2	USA	Canada	USA	USA	UK	China	Lithuania
3	Australia	Australia	Malaysia	France	S. Arabia	UK	Belgium
4	Germany	Malaysia	Oman	Lithuania	Estonia	Russia	Estonia
5	Canada	Oman	Estonia	Estonia	S. Korea	Netherlands	Czechia
6	France	N. Zealand	Mauritius	Singapore	Singapore	France	Germany
7	S. Korea	Norway	Australia	Spain	Spain	Germany	Portugal
8	Japan	Brazil	Georgia	Malaysia	Russia	Canada	Spain
9	Italy	Estonia	France	Norway	UAE	Japan	Poland
10	Brazil	Germany	Canada	Canada	Malaysia	Australia	Finland

Table 7 provides the summary of rankings of Türkiye in the mentioned global cybersecurity indices.

Table 7: Ranking of Türkiye in Global Cybersecurity Indices.

Index	Year	Number of Countries	Türkiye's	
			Ranking	Score
CPI	2011	19	15	30.40
GCI	2014	193	22	64.7
GCI	2017	194	47	58.1
GCI	2018	194	20	85.3
GCI	2020	194	11	97.49
NCPI	2020	29	22	9.00
NCSI	2023	172	55	61.04

In evaluating Türkiye's cybersecurity posture within a global context, it is insightful to compare its performance against G-20 countries (except for the European Union). G-20 nations' rankings in the latest global cybersecurity indices can be

shown in Table 8. In the NCPI, Türkiye has a poor score and ranking, and it is worse in the NCSI, while it is in the top 10 in the GCI.

4.2. Findings from NCAF Assessment and Interpretation

NCAF assessment tool [4] has 472 questions (439 of them are Key Performance Indicators-KPIs) covering four clusters of cybersecurity. Questions in the tool were answered by the 6 cybersecurity experts some of whom held key positions within the Turkish government and took part in government-level strategic initiatives. Focus group and brainstorming methodologies were performed in the study.

Table 8: G-20 Rankings in Latest Global Cybersecurity Indices.

Nu.	NCPI (2020)		GCI (2020)		NCSI (2023)	
	Country	Rank	Country	Rank	Country	Rank
1	US	1	US	1	Germany	5
2	China	2	UK	2	UK	9
3	UK	3	S. Arabia	2	S. Arabia	14
4	Russia	4	S. Korea	4	France	15
5	France	6	Russia	5	Italy	23
6	Germany	7	Japan	7	Russia	30
7	Canada	8	Canada	8	Canada	33
8	Japan	9	France	9	S. Korea	34
9	Australia	10	India	10	India	36
10	S. Korea	16	Türkiye	11	Australia	42
11	India	21	Australia	12	US	46
12	Türkiye	22	Germany	13	Indonesia	49
13	S. Arabia	26	Netherlands	16	Argentina	51
14	Italy	28	Brazil	18	Japan	52
15	Indonesia	-	Italy	20	Türkiye	55
16	S. Africa	-	Indonesia	24	Brazil	71
17	Brazil	-	China	33	China	72
18	Argentina	-	Mexico	52	Mexico	92
19	Mexico	-	S. Africa	59	S. Africa	95

The results of the ENISA's NCAF assessment for Türkiye are shown in Table 9. The overall coverage ratio of 92.4% and maturity level of 4.12 out of 5 suggest that Türkiye has made significant progress in cybersecurity maturity.

The NCAF assessment results presents Türkiye's cybersecurity maturity and indicates its strong and weak areas for enhancements. The high overall coverage ratio and maturity level shows Türkiye's commitment to advancing its

cybersecurity capabilities. In terms of the four clusters, Türkiye showed strong performance in all areas. While legal and regulatory cluster has the highest and cybersecurity governance and organization has the lowest score, there is a slight and negligible difference between the clusters.

NCAF provides maturity levels for each objective from Level 1 to Level 5. The distribution of maturity levels presents vital information regarding the focus areas. 11 out of the 17 initiatives are classified at the high maturity level (Level 4). On the other hand, the presence of 2 initiatives at the low maturity level (Level 2) and 4 initiatives at a medium maturity level (Level 3) suggests that while there is a strong focus on certain objectives, there are also areas that need to be improved.

Despite the strong performance in several clusters, such as protecting critical information infrastructure, establishing baseline cybersecurity measures, organizing cybersecurity exercises, and raising user awareness, the assessment identifies specific areas where Türkiye should improve its cybersecurity posture. These include strengthening the cybersecurity supply chain, developing cybersecurity contingency plans, strengthening training and educational programs, securing digital identity and building trust in digital public services. By focusing on these specific objectives, Türkiye can improve its cybersecurity readiness and capabilities.

Table 9: NCAF Assessment Results for Türkiye.

Objective	# of Positive Answer	# of KPI	Coverage Ratio %	Maturity Level	Cluster	Coverage Ratio %	Maturity Level
1. Developing contingency plans on national cybersecurity	27	32	84,38%	3	I Cybersecurity governance and standards	92.50	3
2. Establishing baseline cybersecurity measures	27	28	96,43%	4			
3. Securing digital identity and building trust in digital public services	18	20	90,00%	2			
4. Establishing an incident response capability	22	23	95,65%	4	II Capacity-building and awareness	92.53	3.57
5. Raising user awareness	26	27	96,30%	4			
6. Organizing cybersecurity exercises	27	28	96,43%	4			
7. Strengthening training and educational programs	26	30	86,67%	3			
8. Supporting R&D	25	26	96,15%	4			
9. Providing incentives for the private sector	19	20	95,00%	4			
10. Enhancing the supply chain cybersecurity	16	20	80,00%	2	III Legal and regulatory	95.00	3.75
11. Protecting critical information infrastructure	33	34	97,06%	4			
12. Combatting cyber crime	44	47	93,62%	3			
13. Establishing incident reporting mechanisms	20	21	95,24%	4			
14. Reinforcing privacy and data protection	17	18	94,44%	4	IV Cooperation	93.85	3.67
15. Establishing cooperation between public agencies	22	24	91,67%	3			

Objective	# of Positive Answer	# of KPI	Coverage Ratio %	Maturity Level	Cluster	Coverage Ratio %	Maturity Level
16. Engaging in international cooperation	17	18	94,44%	4			
17. Establishing a public-private partnership	22	23	95,65%	4			

The NCAF assessment provides a significant roadmap to enhance cybersecurity, emphasizing the importance of a holistic approach that integrates legal, technical, organizational, and cooperative dimensions.

4.3. Comparison of Türkiye's NCAF Results with Global Cybersecurity Indices

The comparison between Türkiye's NCAF results and various global cybersecurity indices reveals mixed findings. One of the notable findings is the alignment with the ITU's GCI, which indicates that there is consistency in evaluating key elements of cybersecurity between NCAF and GCI. This shows that ITU's and ENISA's perspective to assess the cybersecurity of a country is parallel.

However, the comparison also shows discrepancies with other indices, such as the CPI, NCPI and NCSI. These variations can partly be attributed to the CPI's reliance on data from 2011, which may not accurately reflect the current state of cybersecurity. Moreover, the different evaluation criteria of the NCAF, NCSI, and NCPI illustrate the richness and variety of cybersecurity assessment methods. Each index has its unique set of criteria and methodologies, which can lead to varied interpretations and emphasis on different cybersecurity aspects. This variety shows the challenge of achieving a universally accepted framework for cybersecurity assessment and underlines the importance of understanding

the specific methodologies and criteria used by each index.

By looking at these findings, it is clear that while global indices provide valuable guidelines for assessing a country's cybersecurity posture, they must be interpreted from their methodology perspectives. The differences seen in the comparison show the need for a holistic approach to cybersecurity assessment.

5. CONCLUSIONS

In this technological era, dependence on digital technologies and diversity of cyber threats require special attention on cybersecurity. To assess cybersecurity maturity levels of nations, global cybersecurity indices and maturity models are used. National Capabilities Assessment Framework (NCAF) created by the European Union Agency for Cybersecurity (ENISA) is one of the models to determine the national cybersecurity level.

In this study, Türkiye's cybersecurity maturity was assessed by using ENISA's NCAF. Findings from NCAF were supplemented and compared with the results of other global indices such as CPI, GCI, and NCSI. This research is also supported by a thorough literature review on Türkiye's cybersecurity ecosystem including national strategies, organizational structures, legal framework, public and private sector, academic landscape, and military capabilities.

The analysis reveals that Türkiye has established a solid foundation in cybersecurity, especially in terms of protecting critical information infrastructure, establishing baseline cybersecurity measures, organizing cybersecurity exercises, and raising user awareness. On the other hand, there are areas where improvements are necessary to increase Türkiye's cybersecurity maturity. These include the cybersecurity supply chain, contingency response plans, training and education, digital identity security and the reliability of digital public services.

The dynamic nature of cyber threats requires ongoing vigilance and improvement. The pursuit of higher cybersecurity maturity levels will involve not only the reinforcement of current practices but also the strategic development of new capabilities to protect against the evolving spectrum of cyber threats.

The methodology employed in this study by using NCAF combines qualitative and quantitative analysis and serves as a valuable blueprint to assess national cybersecurity maturity level. This approach and its results are expected to catalyze further academic exploration and support the formulation of better strategic cybersecurity policies.

ACKNOWLEDGMENTS

This research received no external funding.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Hasan ÇİFCİ: Conceptualization, writing, literature review, data collection and analysis.

CONFLICTS OF INTEREST

The author declares that he has no known competing financial interests or personal

relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

REFERENCES

- [1] L. Maglaras, I. Kantzavelou, and M. A. Ferrag, 'Digital Transformation and Cybersecurity of Critical Infrastructures', in *Cyber Security of Critical Infrastructures*, 2021, pp. 1–4. Accessed: Feb. 06, 2023. https://mdpi-res.com/books/book/4750/Cyber_Security_of_Critical_Infrastructures.pdf?filename=Cyber_Security_of_Critical_Infrastructures.pdf
- [2] J. A. Lewis, 'Cybersecurity and Critical Infrastructure Protection', 2006. Accessed: Aug. 06, 2023. http://csis-website-prod.s3.amazonaws.com/s3fs-public/legacy_files/files/media/csis/pubs/0601_scip_preliminary.pdf
- [3] Oxford GCSCC, 'Cybersecurity Capacity Maturity Model for Nations (CMM)', 2021. <https://gcsc.ox.ac.uk/the-cmm>
- [4] ENISA, 'NCAF Assessment Tool'. Accessed: Nov. 11, 2023. <https://www.enisa.europa.eu/topics/national-cyber-security-strategies/national-cyber-security-strategies-guidelines-tools/national-cybersecurity-assessment-framework-ncf-tool/#/>
- [5] Cybersecurity Ventures, 'Cybersecurity Market Report'. Accessed: May 05, 2023. <https://cybersecurityventures.com/wp-content/uploads/2021/01/Cyberwarfare-2021-Report.pdf>
- [6] CISA, 'Cybersecurity Framework'. Accessed: Oct. 05, 2023. <https://www.cisa.gov/uscert/resources/cybersecurity-framework>
- [7] NIST, 'Cybersecurity Framework - Framework Documents'. Accessed: Feb. 05, 2023. <https://www.nist.gov/cyberframework/framework>
- [8] EUI & Booz Allen Hamilton, 'Cyber Power Index - Findings and Methodology', pp. 1–36, 2011.
- [9] UNIDIR, 'The Cyber Index-International Security Trends and Realities', 2013. <http://www.unidir.org/files/publications/pdfs/cyber-index-2013-en-463.pdf>
- [10] Potomac Institute for Policy Studies, 'Cyber Readiness Index 2.0', 2015. <https://potomacinstitute.org/images/CRIndex2.0.pdf>
- [11] Belfer Center for Science and International Affairs, 'National Cyber Power Index 2020 - Methodology and Analytical Considerations', Belfer Center for Science and International Affairs - Harvard Kennedy School, no. September, pp. 1–71, 2020. https://www.belfercenter.org/sites/default/files/2020-09/NCPI_2020.pdf
- [12] IISS, 'Cyber Capabilities and National Power: A Net Assessment', 2021. <https://www.iiss.org/blogs/research-paper/2021/06/cyber-capabilities-national-power>
- [13] eGA, 'About Us'. Accessed: Sep. 06, 2022. <https://ega.ee/about-us>
- [14] eGA, 'Methodology'. Accessed: Sep. 06, 2022. <https://ncsi.ega.ee/methodology>
- [15] ITU, 'Global Cybersecurity Index (GCI) 2020', 2021. https://www.itu.int/dms_pub/itu-d/opb/str/D-STR-GCI.01-2021-PDF-E.pdf
- [16] ITU, 'GCI scope and framework', 2019. https://www.itu.int/en/ITU-D/Cybersecurity/Documents/GCIv4/New_Reference_Model_GCIv4_V2_.pdf
- [17] G. Acayo, 'Global Cybersecurity Index Overview'. Ipsra, 2017. https://knowledge4policy.ec.europa.eu/sites/default/files/02_-_global_cybersecurity_index_-_grace_acayo_0.pdf
- [18] ITU, 'GCI v5 Final Questionnaire'. Accessed: Oct. 22, 2023. https://www.itu.int/en/ITU-D/Cybersecurity/Documents/GCIv5/GCIv5_E.pdf
- [19] TÜBİTAK, 'Tarihçe'. Accessed: Oct. 11, 2023. <https://uekae.bilgem.tubitak.gov.tr/tr/kurumsal/tarihce>
- [20] H. Çifci, *Her Yönüyle Siber Savaş*, 3rd ed. Ankara, Turkey: TÜBİTAK, 2023.
- [21] Prime Ministry of the Republic of Turkey, Circular No. 2003/12: e-Transformation Turkey Project. 2003. http://www.bilgitoplumu.gov.tr/Documents/1/Mevzuatlar/BasbakanlikGenelge_2003-12.pdf
- [22] Prime Ministry of the Republic of Turkey, Circular No. 2003/48: e-Transformation Turkey Short-Term Action Plan 2003-2004. 2003. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2003/12/20031204.htm#3>

- [23] Prime Ministry of the Republic of Turkey, 2005/5 Numbered e-Transformation Turkey Project Action Plan for 2005. 2005. <https://www.resmigazete.gov.tr/Eskiler/2005/04/20050401-12.htm>
- [24] Prime Ministry of the Republic of Turkey, 2006/38 Numbered Information Society Strategy and Action Plan 2006-2010. 2006. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2006/07/20060728-7.htm>
- [25] Council of Ministers, Decision on the Execution, Management and Coordination of National Cybersecurity Studies. 2012. Accessed: Feb. 03, 2023. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2012/10/20121020-18-1.pdf>
- [26] Council of Ministers, National Cyber Security Strategy and Action Plan 2013-2014. 2013. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/06/20130620-1.htm>
- [27] Ministry of Development, 2015-2018 Information Society Strategy and Action Plan. 2015. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2015/03/20150306M1-2.htm>
- [28] Ministry of Transport Maritime and Communication, 2016-2019 National Cyber Security Strategy. 2016. <https://hgm.uab.gov.tr/uploads/pages/siber-guvenlik/2016-2019guvenlik.pdf>
- [29] Presidency of the Republic of Turkey, Information and Communication Security Measures No. 2019/12. 2019. <https://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/CumhurbaskanligiGenelgeleri/20190706-12.pdf>
- [30] Ministry of Transport and Infrastructure, 'Minimum Information Security Criteria That Public Institutions Must Comply with', 2013. <https://hgm.uab.gov.tr/uploads/pages/siber-guvenlik/asbk.pdf>
- [31] Prime Ministry of the Republic of Turkey, Circular on Inclusion of Public Institutions and Organizations in KamuNet. 2016. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2016/12/20161203-24.pdf>
- [32] DTO, 'Information and Communication Security Guide'. Accessed: Oct. 14, 2023. <https://cbddo.gov.tr/bigrehber/>
- [33] Ministry of Transport and Infrastructure, 2020-2023 National Cyber Security Strategy. 2020. <https://hgm.uab.gov.tr/uploads/pages/strateji-eylem-planlari/ulusal-siber-guvenlik-stratejisi-ve-eylem-plani-2020-2023.pdf>
- [34] Presidency of the Republic of Turkey, National Cyber Security Strategy No. 2020/15 and Action Plan for 2020-2023. 2020. <https://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/CumhurbaskanligiGenelgeleri/20201229-15.pdf>
- [35] Presidency of the Republic of Turkey, Presidential Decree No. 4 on the Organization of Ministries, Related Institutions and Organizations and Other Institutions and Organizations. 2018. <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=4&MevzuatTur=19&MevzuatTertip=5>
- [36] DTO, 'About DTO', 2018, Accessed: Oct. 10, 2023. <https://cbddo.gov.tr/en/about-dto>
- [37] Presidency of the Republic of Turkey, 1 Sayılı Cumhurbaşkanlığı Teşkilatı Hakkında Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi (Presidential Decree No. 1 on the Organization of the Presidency). 2018. Accessed: Feb. 10, 2023. <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=1&MevzuatTur=19&MevzuatTertip=5>
- [38] Ministry of Transport and Infrastructure, Elektronik Haberleşme Kanunu (Electronic Communications Law). 2008. Accessed: Feb. 03, 2023. <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=5809&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=5>
- [39] Ministry of Transport and Infrastructure, Network and Information Security Regulation in the Electronic Communications Industry. 2014. <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=19880&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>
- [40] EGM, 'Hakkımızda'. Accessed: Oct. 10, 2023. <https://www.egm.gov.tr/siber/hakkimizda2>
- [41] Ministry of Internal Affairs, Law on Police Organization. 1937. <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=3201&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=3>
- [42] Council of Ministers, Law Amending the Law on State Intelligence Services and the National Intelligence Organization. 2014. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2014/04/20140426-1.htm>
- [43] Presidency of the Republic of Turkey, State Intelligence Services and National Intelligence Agency Law. 1983.

<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=2937&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=5>

[44] AFAD, '2014-2023 Technological Disasters Roadmap Document', 2014. <https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/3906/xfiles/teknolojik-afetler-son.pdf>

[45] Prime Ministry of the Republic of Turkey, Law on the Organization and Duties of the Disaster and Emergency Management Presidency. 2009. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2009/06/20090617-1.htm>

[46] TÜBİTAK, 'Who We Are?' Accessed: Oct. 11, 2023. <https://www.tubitak.gov.tr/en/about-us/content-who-we-are>

[47] Council of Ministers, Electronic Signature Law. 2004. <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=5070&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=5>

[48] Ministry of Transport and Infrastructure, Law on Regulation of Broadcasts on the Internet and Combating Crimes Committed Through These Broadcasts. 2007. <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=5651&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=5>

[49] Ministry of Culture and Tourism, Intellectual and Artistic Works Law. 1951. <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuatmetin/1.3.5846.pdf>

[50] Ministry of Commerce, Law on the Regulation of Electronic Commerce. 2014. <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuatmetin/1.5.6563.pdf>

[51] Ministry of Commerce, Ticaret Sicili Yönetmeliği (Trade Registry Regulation). 2019. Accessed: Feb. 03, 2023. <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=20124093&MevzuatTur=21&MevzuatTertip=5>

[52] Council of Ministers, Law Regarding Approval of the Agreement on Crimes Committed in the Virtual Environment. 2014. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2014/05/20140502-12.htm>

[53] Council of Ministers, Personal Data Protection Law. 2016. <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuatmetin/1.5.6698.pdf>

[54] Ministry of Transport and Infrastructure, Communique on Procedures and Principles Regarding the Establishment, Duties and

Operations of Cyber Incidents Response Teams. 2013. Accessed: Feb. 03, 2023. <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=19004&MevzuatTur=9&MevzuatTertip=5>

[55] Presidency of the Republic of Turkey, Communiqué on National Occupational Standards. 2020. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2020/02/20200209-9.htm>

[56] YÖK, 'Our Universities'. Accessed: Apr. 22, 2023. <https://www.yok.gov.tr/universiteler/universitelerimiz>

[57] Anadolu Agency, '7. Siber Güvenlik Ekosisteminin Geliştirilmesi Zirvesi başladı (EN: 7th Cyber Security Ecosystem Development Summit started)'. Accessed: Apr. 22, 2024. <https://www.aa.com.tr/tr/bilim-teknoloji/7-siber-guvenlik-ekosisteminin-gelistirilmesi-zirvesi-basladi/3155686>

[58] Siber Küme, 'Turkey Cybersecurity Cluster'. Accessed: Oct. 11, 2023. <https://siberkume.org.tr/Index>

[59] DTO, 'Cybersecurity Cluster'. Accessed: Oct. 11, 2023. <https://cbddo.gov.tr/projeler/#4800>

[60] Ministry of Industry and Technology, 'List of Technoparks in Turkey', 2023, Accessed: Oct. 11, 2023. <https://teknopark.sanayi.gov.tr/Home/TgbListesi>

[61] USOM, 'Hakkımızda'. Accessed: Oct. 10, 2023. <https://www.usom.gov.tr/hakkimizda>

[62] Energy Market Regulatory Authority, Information Security Regulation in Industrial Control Systems Used in the Energy Sector. 2017. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/07/20170713-5.htm>

[63] Anadolu Agency, 'Turkey's Cyber Fortress: USOM', 2021, Accessed: Oct. 05, 2023. <https://www.aa.com.tr/tr/bilim-teknoloji/turkiyenin-siber-kalesi-usom/2439016#>

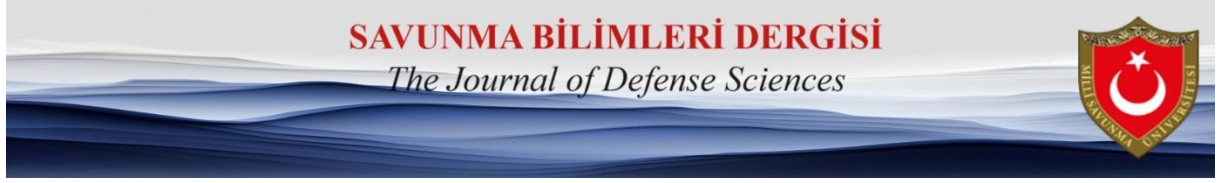
[64] MSI, 'Cyber Defense Operations Center on Duty', 2017, Accessed: Sep. 12, 2023. <https://www.savunmahaber.com/siber-savunma-harekat-merkezi-gorev-basinda/>

[65] ITU, 'Digital Development Dashboard-Türkiye'. Accessed: Feb. 13, 2023. <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Dashboards/Pages/Digital-Development.aspx>

[66] TÜİK, 'Household Information Technologies Usage Survey'. Accessed: Apr. 22, 2024.

[https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Hanehal-ki-Bilisim-Teknolojileri-\(BT\)-Kullanim-Arastirmasi-2023-49407](https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Hanehal-ki-Bilisim-Teknolojileri-(BT)-Kullanim-Arastirmasi-2023-49407)

[67] NCSI, 'NCSI Turkey'. Accessed: Oct. 11, 2023. <https://ncsi.ega.ee/country/tr>



Conformal Frequency Selective Surfaces in Radome Design: A Mini Review

Radom Tasarımında Konformal Frekans Seçici Yüzeyler Üzerine Kısa bir Değerlendirme

Nagihan Aybegüm KORKUT^{1,2,*} , Funda Ergün YARDIM² , Ali KARA² 

¹ Türk Havacılık ve Uzay Sanayii AŞ. Fethiye Mahallesi, Havacılık Bulvarı No:17 06980 Kahramankazan Ankara

² Gazi University Graduate School Of Natural And Applied Sciences Department of Electrical and Electronics Engineering 06500, Teknikokullar, Ankara

Makale Bilgisi

Derleme

Başvuru: 20.07.2024

Düzeltilme: 03.09.2024

Kabul: 17.09.2024

Keywords

Conformal Frequency
Selective Surfaces (FSS)
Radomes
Aerospace Engineering

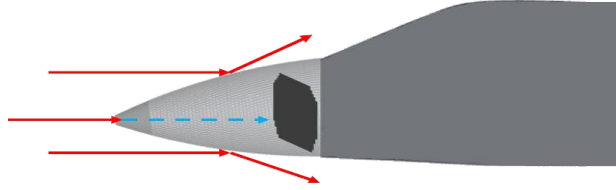
Highlights

Konformal frekans seçici yüzeyler (FSY) üzerine yapılan çeşitli araştırmaları inceleyen bu derleme, bu teknolojinin radar ve iletişim sistemlerinde sunduğu avantajları ve dezavantajları tartışmaktadır. Konformal FSY'lerin esnek yapısı sayesinde karmaşık yüzeylere uyum sağlaması ve elektromanyetik performansı optimize etmesi, çalışmaların ortak noktalarıdır. Kullanılan malzemeler, tasarım teknikleri ve uygulama alanları arasında farklılıklar belirtilmiştir. Makale, konformal FSY radomlarının elektromanyetik performanslarını artırma potansiyelini vurgular ve gelecekteki araştırmalar için yönlendirici öneriler sunar.

Graphical Abstract

Anahtar Kelimeler

Konformal Frekans
Seçici Yüzeyler (FSY)
Radom
Havacılık Mühendisliği



Abstract

In aerospace engineering, radomes play an important role in protecting antenna systems from external interference and minimizing air resistance during flight. However, conventional radomes generally fail to offer the necessary electromagnetic filtering and stealth properties crucial for new generation aircrafts. Conformal Frequency Selective Surface (FSS) radomes are a significant advancement over traditional designs. In addition to shielding antenna structures from environmental challenges, these radomes conform smoothly to curved surfaces. This design is not only functional but also addresses aerodynamic and aesthetic concerns, enhancing stealth performance and multi-band frequency functionality, both crucial for advanced communication and radar systems. However, design and implementation of conformal FSS radomes have some challenges. Focusing on such challenges for new generation air platforms, this study examines the contemporary advancements in conformal FSS radome technology, highlighting the latest research and breakthroughs. It covers latest findings on cutting-edge materials, design methodologies, simulation techniques for performance prediction, and the practical applications and advantages of these radomes. Building on a theoretical foundation of FSS and radome integration, the article discusses material and design innovations, simulation challenges, and practical implementations. This review is expected to facilitate knowledge exchange and stimulate further research in the field of conformal FSS radome technology.

Özet

Havacılık mühendisliğinde, radomlar anten sistemlerini dış müdahalelerden koruma ve uçuş sırasında hava direncini en aza indirme konusunda önemli bir rol oynar. Ancak, geleneksel radomlar yeni nesil uçaklar için gerekli olan elektromanyetik filtreleme ve gizlilik yeteneklerini sağlama konusunda genellikle yetersiz kalır. Konformal Frekans Seçici Yüzey (FSS) radomlar, geleneksel tasarımlara göre önemli bir ilerlemedir. Anten yapılarını çevresel zorluktan korumaya ek olarak, bu radome'lar kavimsi yüzeylere de sorunsuz bir şekilde uyum sağlar. Bu tasarım sadece işlevsel olmakla kalmaz, aynı zamanda aerodinamik ve estetik endişeleri de dikkate alır, görünmezlik performansını ve çok bantlı frekans işlevselliğini artırarak, gelişmiş iletişim ve radar sistemleri için kritik öneme sahip özellikleri sağlar. Ancak, konformal FSY radomların tasarım ve gerçekleştirilmesinde bazı zorluklar bulunmaktadır. Yeni jenerasyon hava platformları için bu tip zorluklara odaklanılarak, bu çalışma, konformal FSY radom teknolojisindeki çağdaş gelişmeleri incelemekte, en son araştırmaları ve atılımları vurgulamaktadır. Son teknoloji malzemeler, tasarım metodolojileri, performans tahmini için simülasyon teknikleri ve bu radomların pratik uygulamaları ve avantajları hakkında son gelişmeleri ele alınmaktadır. Bu çalışma, FSY ve radom entegrasyonunun teorik temeli üzerine inşa edilerek, malzeme ve tasarım yeniliklerini, simülasyon zorluklarını ve pratik uygulamaları tartışmaktadır. Bu incelemenin, konformal FSS radom teknolojisi alanında bilgi alışverişini kolaylaştırması ve daha fazla araştırmayı teşvik etmesi beklenmektedir.

*Corresponding author, e-mail: naybegum.korkut@gazi.edu.tr

1. INTRODUCTION

Conformal frequency-selective surfaces are used in many fields as structures that allow electromagnetic waves of specific frequencies to pass through or to be reflected. First, in radar systems they are used to reduce the radar cross-section area by allowing radar signals of specific frequencies to pass through, thus increasing the stealth of aircraft. Second, in telecommunications systems they can be used to filter unwanted frequencies and reduce signal noise. Third, these surfaces play an important role in satellite communication systems by optimizing the frequency band and minimizing interference.

In the complex world of aerospace engineering, radomes serve a dual purpose: they are crucial in protecting antenna systems from external effects including rain, hail and birds as well as interference, and play a pivotal role in minimizing air resistance during the flight [1-2]. Traditional radomes, however, often fall short in providing electromagnetic filtering and stealth capabilities—features that are increasingly essential for modern aircraft applications. The introduction of frequency selective surfaces (FSS) into radome technology has marked a significant leap forward. The ground-breaking research [3] been highly known in FSS radome design for modelling electromagnetic wave propagation, designing elements for selective filtering of frequencies, thus enabling radomes to protect antennas while still facilitating the transmission of desired signals.

Conformal FSS radomes represent an evolutionary step beyond their traditional counterparts. These structures not only maintain

the essential function of protecting antenna system from environmental adversities but also adapt seamlessly to non-planar surfaces. This adaptation is not merely functional but encompasses aerodynamic and aesthetic considerations, enhancing the stealth capabilities and multi-band frequency operability—key factors for state-of-the-art communication and radar systems.

Frequency Selective Surfaces themselves are complex structures composed of periodically arranged patterns on substrates, acting as filters to control transmission, absorption and reflection of electromagnetic (EM) waves. Basically, FSS address selective blocking, reflecting, or transmission of some frequencies of EM waves – simply, a capability natural material does not possess [4]. When integrated into conventional radomes, FSS radomes achieve a substantial reduction in Radar Cross Section (RCS) for the enclosed antenna systems outside their operating frequency range [5]. These frequency selective surfaces, part of a broader category that includes metamaterials and plasmonic materials, harness engineered properties such as tunable permittivity and permeability, granting unprecedented control over EM wave behaviour [6]. Despite their promise, the implementation of conformal FSS radomes is very challenging. Designers must navigate a complex landscape, balancing material characteristics, geometric configurations, and electromagnetic behaviour over curved surfaces. The symbiosis of computational methods and material science has propelled the field forward, allowing for the development of innovative solutions that address these multifaceted challenges.

Considering that one of the authors has focused on such challenges for new generation air platforms, this review study attempts to highlights some unnoticed progresses in conformal FSS radome technology, examining the latest research and breakthroughs within this niche domain. It has studied the materials and design methodologies at the vanguard, assessed the simulation techniques critical for performance prediction and analysis, and contemplated the practical applications and operational advantages that these radomes offer. Structured to build upon a theoretical foundation of FSS and their integration into radomes, the article has progressed to discuss material and design innovations. Then it has analysed the simulation challenges and practical implementation, aiming to provide a thorough overview of current applications and future potential. It is hoped that this review will act as a bridge for knowledge sharing and a stimulant for continued research within the domain of conformal FSS radome technology.

2. REVIEW OF FREQUENCY SELECTIVE SURFACES (FSS)

2.1. Overview of Modelling and Design Principles of FSS

Frequency Selective Surfaces (FSS) functions as a spatial filter, which resembles traditional microwave filters within the context of circuit theory. The filtering capabilities of an FSS are diverse, encompassing four primary types: low-pass, high-pass, band-stop, and band-pass. For example, a low-pass FSS configuration is utilized to allow frequencies below a certain cutoff to transmit through its structure, effectively attenuating frequencies above this threshold. A

high-pass FSS achieves the opposite effect. Then, the band-stop variant of an FSS rejects a specific range of undesired frequencies, whereas the band-pass variant selectively transmits a designated frequency range [4].

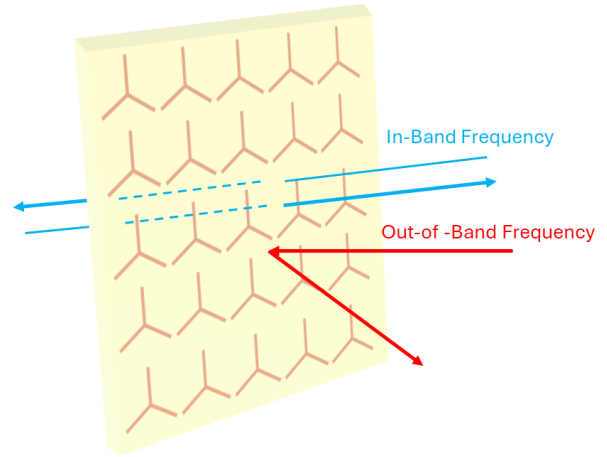


Figure 1: Illustration of the Functionality of a Frequency Selective Surface (FSS).

The design of FSS involves arrangement of conductive elements into a periodic pattern, typically involving metallic patches or apertures on a dielectric base. The first critical step is the selection of the elements, that is, shape, size, and the properties of the substrate, to ensure the FSS meets the desired resonant criteria. The following formula is well-known for expressing resonant frequency of an FSS encompassing capacitive (C), inductive (L) and resistive (R) effects within and in between the elements

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1)$$

By employing fundamental concepts of electromagnetics, these passive component values can be adjusted to tailor the FSS's frequency response. Then, it seems to be strategic play around these inductive and capacitive elements that a specific filter response is crafted. Dimensioning of the FSS also corresponds to

variations of the values of L and C . When an electromagnetic (EM) wave interacts with an FSS's unit cell, the cell behaves as if it were a resonance circuit with equivalent properties. Selecting the appropriate element of the array is critical in the design of FSS. While various unit cell configurations have been employed, some of which are easily controllable and thus more popular in the FSS community.

For surfaces selectively focusing on frequency (FSS), the shape of the unit cells is dependent on their resonance properties and can be categorized geometrically as square, circular, or fractal. Each type of geometry has a different response to incident electromagnetic wave, this affects the behaviour of the FSS in resonance. For instance, square cells often have a specific frequency of resonance that is determined by their dimensions, while circular cells have a broader range of response characteristics. On the other hand, fractal unit cells, with their complex patterns that are self-similar, have a unique response that can be altered for specific purposes. By choosing the appropriate cell geometry and periodic arrangements within the FSS, designers can create surfaces that have specific transmission and reflection properties for targeted applications.

In the FSS unit cell, capacitance (C) and inductance (L) are the basic parameters that determine the frequency response of electromagnetic waves. Capacitance generally represents the storage capacity of the electric field within the unit cell, while inductance refers to the storage capacity of the magnetic field. These two parameters directly affect the resonant frequency of the unit cell and affect the overall performance

of the system. By accurately determining and optimizing L and C , the FSY structure can work effectively within the required frequency range. For example, the circuit structure of the low-pass filter and high-pass filter is shown in Figure 2.

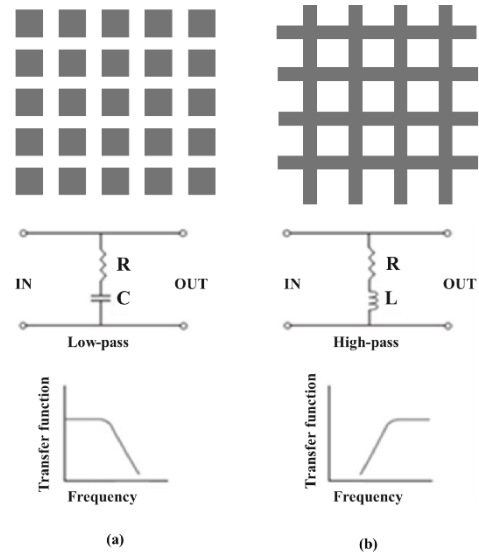


Figure 2: Periodic Structures Composed of Complementary Elements Can Be Designed As (A) Low-Pass And (B) High-Pass Filters, Each With Their Respective Equivalent Circuits and Frequency Responses (Metallic-Grey Colour). In These Designs, The Patch Array Exhibits A Capacitive Response, Whereas The Slot Array Demonstrates An Inductive Response [4].

The impedance qualities of periodic structures can be evaluated through two techniques: the mutual impedance (or element-to-element) method and the plane wave expansion (or spectral) method. For designing periodic FSS-based electromagnetic structures, Floquet's theorem can be utilized. This theorem indicates that the solution will exhibit identical periodicity [4]. Let a planar array extends infinity in the x - and z -directions, featuring uniform inter-element spacing ($D_x = D_z$) is termed as a truly periodic configuration (infinite $\times$ infinite) and is shown in Figure 3.

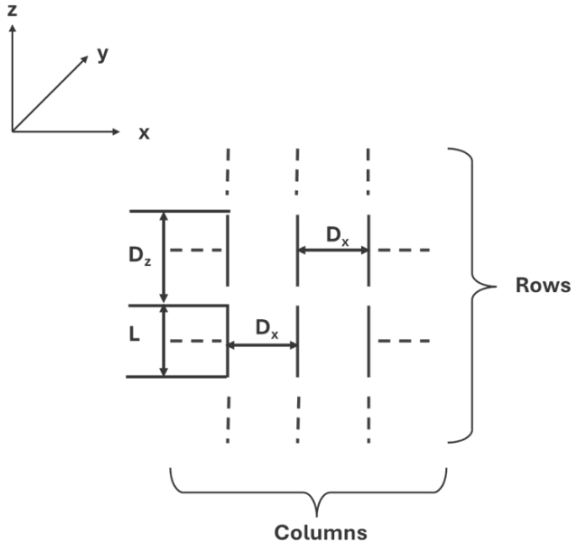


Figure 3: A True Periodic Structure Showing Inter-Element Spacing (D_x And D_z) and Element Length of L .

This is a truly periodic configuration and is infinitely extended on the xz plane. Let an incident electromagnetic wave traveling in a specific direction strikes on this array [7]. The currents across an entire element of FSS, induced due to the incident wave, exhibits equal amplitudes, with the phase of the incident electromagnetic (EM) field aligning with the phase of the induced current. The periodicity in the array leads to periodic variations in the induced current and voltage along the configuration. Floquet's theorem helps to determine the fundamental harmonic of these periodic variations. According to Floquet's theorem, the currents associated with column m and row n of the element can be written as follows [8]:

$$I_{mn} = I_{0,0} e^{-j\beta m D_x s_x} e^{-j\beta n D_z s_z} \quad (2)$$

Where $I_{0,0}$ is the amplitude of current at the centre $(0,0)$, β is the phase constant, $s_{x,y}$ is the unit vector in x and y axis. Employing Ohm's law with

respect to the reference element at the centre results in the following equations.

$$V^{0,0} = [Z_L + \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} Z_{0,mn} e^{-j\beta m D_x s_x} e^{-j\beta n D_z s_z}] I_{0,0} \quad (3)$$

$$Z^{0,0} = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} Z_{0,mn} e^{-j\beta m D_x s_x} e^{-j\beta n D_z s_z} \quad (4)$$

It should be noted that the repetitive nature of unit cells in FSS leads to periodic variations in the voltage and current as well as impedances. To maintain a focused scope on recent research and findings, we prefer not to dive into the full formulation and modelling aspects of FSS arrays.

Conformal frequency selective surfaces have several benefits compared with planar frequency selective surfaces. They are adaptable for applications where integration of the FSS with non-planar surfaces are required. They also allow better control of electromagnetic waves, the reflection and the transmission properties. These conformal radomes are ideal for applications where aesthetics is crucial, as they can seamlessly blend in with complex shapes.

Conformal FSS adapt to curved radome structures with ease, reducing aerodynamic disturbances and enhancing overall efficiency. This characteristic is very critical for improving the aircraft stealth while reducing the radar cross-section. Moreover, because of conformal nature, they are more effectively integrated with the aerodynamic profile of the aircraft, guaranteeing optimal airflow and decreased platform drag. These benefits show conformal frequency selective surfaces' superiority for radome applications in airborne platforms and emphasize

their crucial role in the functionality and design of high-speed, high manoeuvrability aircrafts.

Conformal frequency selective surfaces (FSS) provide numerous benefits, but there are also drawbacks and difficulties to consider while designing them. Since the curvature of the surface might change the frequency response, one major problem is how difficult it is to achieve the necessary electromagnetic performance when the surface is curved. To precisely forecast and optimize the behaviour, complex computational models and simulations are needed. Furthermore, because the FSS must be conformed to non-planar surfaces, precise manufacturing procedures are required, increasing the complexity and cost of the production process. Another problem is choosing the right material because it must have the necessary electromagnetic properties and be flexible enough to bend without compromising its structural integrity. These elements may result in longer and more expensive design and production cycles, necessitating meticulous planning and cutting-edge technology [20, 21, 25].

2.2. Review of State-of-Art in Conformal Frequency Selective Surfaces

This section attempts to highlight some unnoticed research in conformal FSS radome technology, reviewing the latest research and breakthroughs within this niche domain. Conformal FSS have been extensively researched. The studies mainly focus on the performance of unit cell design of FSS for a particular band. An innovative fractal frequency selective surface (FSS) is proposed [9] for dual-bandpass applications in the C and X frequency bands. The structure is centrally symmetric and

uses the golden ratio fractal geometry for dual band characteristics. The results confirm potential of the designed FSS for applications requiring low visibility and dual bandpass performance. The design and performance analysis of a low-junction loss, polarisation insensitive, FSS-antenna-radome system is proposed [10] within the X-band operation (9.6-10.7 GHz). The simulations show that the system achieves a -10 dB reflection over the entire X-band with high gain as well as significantly low insertion loss, ranging from 0.04 to 0.15 dB. An interesting study [11] presents design and analysis of a triangular conical band-pass FSS radome which selectively passes certain frequency band. On step further [12], an integrated freestanding thick-screen FSS radome, but for enhancing the stealth capability of flying weapons, selectively passes certain frequency bands while blocking the remaining. The FSS radome has Y-shaped apertures and is manufactured using a spin-forming process for the copper shell and followed by fine-tuning with precision laser robot system. This achieves approximately 80% pass-band transmissivity while less than 10% stop-band transmissivity. The system is tested in an anechoic chamber and demonstrated experimentally. A novel-shaped jigsaw band-pass FSS (JS-FSS), inspired by ancient Chinese hinge and wedge joints, is proposed [13]. The motivation seems to be mechanical flexibility and avoid cracking in printed lines when bent. The proposed JS-FSS shows an improved angular stability by maintaining band-pass performance for TE and TM polarizations at various incident angles. It is experimentally shown that the band-pass

performance of the JS-FSS changes with the curvature radii, indicating that smaller radii increase the mutual coupling between elements, thereby affecting the frequency response. A filter-antenna system combining a monopole operating at around 6.1 GHz with a conical FSS radome is proposed [14] for military applications where low RCS and electronic countermeasures are targeted. The FSS radome employs a coupled-resonator spatial filter (CRSF), which offers high selectivity, low insertion loss, and stable performance for different incident angles and polarizations. This makes CRSF a very good candidate for hybrid FSS radome applications.

Flexibility and reconfigurability is another attractive research domain. A flexible and frequency reconfigurable band-stop frequency selective surface (FSS) is experimentally demonstrated [15]. The FSS is fabricated on an ultra-thin flexible substrate using the additive manufacturing method of screen printing. Having a unit cell of $\lambda/15$ size at 3.5 GHz, the FSS achieves high performance when conformally mounted on a semi-cylinder of 10 cm diameter, demonstrating its potential for flexible and conformal applications. Another flexible and low-profile FSS for X-band operation is reported [16] for reducing electromagnetic interference (EMI) in dense communication environments. It utilizes convoluted ring loop (CRL) elements on a specially coated Polyethylene Terephthalate (PET) substrate. The FSS prototype is produced using an inkjet printing technique with silver nanoparticle ink, which becomes conductive through a chemical sintering process, resulting in a fast and efficient production compared to traditional thermal sintering. A microwave

polarizer designed using frequency selective surfaces (FSS) loaded with complementary split ring resonators (CSRRs) [17] is fabricated on a flexible 50 μ m thick liquid crystal polymer (LCP) base for non-planar and conformal FSS applications. The polarizer exhibits minimal transmission loss for TE-polarization input waves (0.75dB at 10.24GHz) and a higher loss for TM-polarization input waves (19.05dB). This provides a polarization extinction ratio of 18.3dB, demonstrating effective polarization selectivity for FSS applications. For low frequency civil applications, a miniaturized dual-band FSS [18] is designed for curved surface applications, targeting wireless local area network (WLAN) frequencies (2.4 GHz and 5.5 GHz) where the FSS is mounted on a single metal layer printed circuit board (PCB). This FSS is flexible, allowing for the adjustment of element sizes by changing the substrate thickness to create either compact designs for different applications or very thin substrates. Additionally [27, 29, 30] and [32] have realised the design of a flexible conformal frequency selective surface in X band for the EM Shielding application area.

The design and analysis of FSS for radome applications on air platforms, focusing on maintaining stable antenna gain in both flat and conformal structures is presented [19]. Simple square slot and cross dipole slot elements made of low-cost FR-4 is utilized to overcome the complexity of FSS design for conformal air platforms. This FSS is attractive for minimization of FSS impact on the antenna system.

In contrast to conventional manufacturing methods, 3D printing was used in [22], and the structure was coated with copper through

electrolysis, resulting in a more cost-effective and lightweight design. It has been demonstrated that the produced conformal frequency selective surface can be used as a radome by placing it in the near-field region of the antenna to realize compact high-performance mm-wave systems.

With advancing technology, different design methods have also found their place in the literature. Especially with the algorithms developed for conformal surfaces, designs independent of surface curvature have been developed. In [26], an algorithm was developed to produce frequency selective surfaces (FSS) that can adapt to any curvature while preserving the size, shape, and spacing of the unit cells that form the frequency selective surface. This algorithm is independent of both element design and surface curvature, enabling it to create applicable designs for radomes, autonomous vehicles, and surfaces with any curvature. This also made the algorithm suitable for 3D printing using systems with more than three axes or for flexible electronics. In [28], based on the elastic deformation theory of thin shells, a perfect mapping was created between a curved surface and a planar array using the weighted minimum distortion flat unfolding solution of the surface, which was then extended to 3D (Three-Dimensional) conditions along the thickness direction. This paper presents a class of local unit-cell deformation control algorithms. The application impact and potential of this method are demonstrated with an example of an augmented conical radome using a three-layered hybrid unit cell.

The list of articles reviewed in this study can be found in Table 1.

Table 1: The List of Articles Reviewed In This Study [2-32].

Article Title	Publication Year	Frequency Band	Unit Cell	Area of Use	Filter Type	Polarization Independence
Filter-Antenna Consisting of Conical FSS Radome and Monopole Antenna	2012	C Band		Airborne applications	Bandpass	No
Flexible Conical Ring Shaped FSS for X-Band Screening Application	2016	X Band		Screening Application	Bandstop	Yes
Fully Conformal Square-Patch Frequency-Selective Surface Towards Ultra-Wideband Electromagnetic Shielding	2017	X Band		EM/RFMC	Lowpass	Yes
Design and Verification of an Integrated Free-Standing Thin-Screen FSS Radome	2018	Ku Band		Radome applications	Bandpass	No
Flexible Low-Profile Frequency Selective Surface for X-Band Shielding Applications	2019	X Band		Communications and Radar Systems	Bandpass and Bandstop	Yes
Miniaturized Dual Band FSS Suitable for Curved Surface Application	2020	S-X Band		WLAN application	Dual Band/Bandstop	No
Flexible and Reconfigurable Frequency Selective Surface With Wide Angular Stability Fabricated With Additive Manufacturing Processes	2020	C Band		EM/RFMC	Bandstop	Yes
Microstrip Polarizer Based on Complementary Split Ring Resonators Frequency-Selective Surface for Conformal Application	2020	X Band		Communications and Radar Systems	Bandpass and Bandstop	Yes
Single-Layered Flexible Dual Transmission Resonators With Dual/Triple Absorption Bands for Conformal Applications	2021	X Band		RFM shielding	Dual Bandpass	Yes
Conformal bandpass filters with narrow frequency selective surface with improved field of view	2021	X-Ku Band		Communications and Radar Systems	Bandpass	Yes
A Band Pass Conformal Frequency Selective Surface Radome	2021	X Band		Communication	Bandpass	No
Polarization independent triple band wideband conformal metamaterial absorber for C- and X-Band applications	2021	C and X		NOT Specific	Bandpass	Yes
Resistor loaded wideband conformal metamaterial absorber for curved surfaces application	2022	S-X Band		Metamaterial application	Wide band absorber	No
An FSS-based Conformal Band-stop Filter Design for Planar and Non-planar Surfaces	2022	X Band		Shielding applications	Bandstop	Yes
Stable Gain With Frequency Selective Surface in Planar and Conformal Structures For Radome Application	2022	X Band		Radome application	Bandpass	Yes
Frequency-selective surfaces: Fundamentals, synthesis and applications	2022	X Band		NOT Specific	Bandpass/Bandstop	Yes
Electromagnetic analysis and applications of Conformal Frequency Selective Surfaces for Arbitrary Curvature	2023	X Band		Airborne applications	Bandstop	Yes
Electromagnetic Analysis of a Figure-Shaped FSS for Conformal Application	2023	S Band		NOT Specific	Bandpass	No
Designing and Performance Analysis of Low Insertion Loss with Polarization-Insensitive FSS-radome systems for Airborne Applications	2023	X Band		Airborne applications	Bandpass	Yes
An ultra-thin, low-RCS, dual-bandpass novel flexible FSS for planar conformal C-X bands applications	2024	C and X		Airborne applications	Dual bandpass	No
Ultra-thin and conformal frequency selective surface bandpass filter to eliminate the 5G band on radio altimeters	2024	S-C Band		Communication	Bandpass	Yes
Conformal frequency selective radome in S, C, X-band with low backward-scattering	2024	S-X Band		Radar, Security	Bandpass	Yes
High-Precision Modeling for Arbitrary Curved Frequency Selective Structures Based on Perfect Mapping Between Thick Surface and Its Minimum Distortion Flat-Unfolded Solution	2024	X Band		Airborne applications	Bandpass	Yes

3. CHALLENGES AND FUTURE DIRECTIONS

Designing conformal frequency selective surfaces (FSS) presents several challenges, primarily due to the inherent complexities introduced by their non-planar structures. The following are some major challenges and the causes of them:

- **Element Size and Spacing:** To provide constant performance at various frequencies, dual and multiband architectures must maintain element size. However, the curvature of these structures can alter the distance between pieces when they are modified to conformal geometries, which can impact the overall performance and resonant frequency.
- **Resonant Frequency Shift:** Shifts in resonant frequency can result from variations in the

spacing between components on a curved surface. For the intended filtering properties to be maintained throughout the surface, this calls for meticulous design modifications.

- **Surface Curvature:** One of the main challenges in designing FSS is fitting arbitrary curves without warping the pieces. Performance loss brought on by distorted elements can impair the surface's capacity to filter frequencies selectively.
- **Complexity of Manufacturing:** Complex manufacturing processes are sometimes required to create FSS on curved surfaces. Ensuring that the dielectric substrates and metallic layers are of superior quality and suit the specified shape without sacrificing functionality is a technically challenging task. The proper frequency responses, for instance, can be electromagnetically produced by 2.5 and 3D frequency selective surfaces; however, their integration and manufacturing processes do not necessarily align with those of radomes.
- **Design Flexibility:** Adding another level of complexity, it is necessary to achieve the necessary design flexibility to adapt FSS for different applications, such as antennas and electromagnetic shielding, while preserving performance.
- **Polarisation Sensitivity:** Because of their geometries, conformal FSS may react differently to various polarisation states, requiring designs that can account for or lessen polarisation effects.

To overcome these obstacles, sophisticated design algorithms, accurate manufacturing methods, and extensive testing are needed to

make sure that performance is maintained while modifying FSS for conformal surfaces. For this reason, the following topics ought to be the main emphasis of upcoming research:

- Integration loss must be studied carefully while initial stage of the FSS design. FSS-antenna-radome system is expected to achieve high gain and low insertion loss, minimizing signal degradation.
- Further exploration of multi-band and wideband FSS designs are needed.
- Development of low-profile, lightweight and robust materials for conformal FSS applications are needed.
- Integration of FSS with the antenna system and providing stable gain over the operational band needs to be studied further.
- Scalability and manufacturability as well as maintenance of FSS radome need to be studied from operational point of view.
- Polarization aspects of FSS should be addressed in air platforms where various threats may have reconfigurability in polarization. This makes the FSS radome design more complicated.
- Majority of air platforms has low size-weight and power as well as cooling (SWaP-C) requirements. Then, miniaturization may play key role when thin and low profile FSS is needed to satisfy SWaP requirements.

4. CONCLUSION

This overview covers all aspects of the topic of conformal frequency selective surfaces from the more intricate and specialised area of conformal applications to the fundamental concepts of frequency selective surfaces. The theoretical

foundation provided in the first parts lays the platform for a deeper grasp of the workings of FSS and prepares the reader for exploring the subtleties of conformal designs. The analysis techniques covered are essential resources that help engineers and academics forecast and maximise the performance of conformal frequency selective surfaces. We have emphasised important developments and breakthroughs in conformal frequency selective surfaces through a review of the literature, demonstrating a broad range of applications across many industries, such as defence, aerospace, and telecommunications.

This review also emphasises the inherent difficulties in developing conformal surfaces, despite the encouraging improvements. These difficulties result from the requirement to adhere to non-planar surfaces while preserving performance and functionality, which frequently introduces intricate electromagnetic interactions. Determining the appropriate frequency responses, maintaining manufacturing accuracy, and dealing with material limitations continue to be major obstacles. Looking ahead, these challenges may be overcome with continued advancements in material sciences and computational methodologies. To improve the performance and practical usability of conformal frequency selective surfaces, future research initiatives might concentrate on producing more advanced modelling tools, investigating new materials with flexible electromagnetic properties, and devising creative production methods.

All things considered, the field of conformal frequency selective surfaces is dynamic and has

great promise for research and real-world applications. In order to achieve this fascinating field of study, it would be crucial to maintain multidisciplinary efforts in tackling present issues and seizing fresh chances.

ACKNOWLEDGMENTS

This research received no external funding.

AUTHORSHIP STATEMENT

CONTRIBUTION

Nagihan Aybegüm KORKUT: Conceptual design, Research, Methodology, Writing - Draft, Visualising.

Funda Ergün YARDIM: Research, Writing

Ali KARA: Methodology, Reviewing and Editing

CONFLICTS OF INTEREST

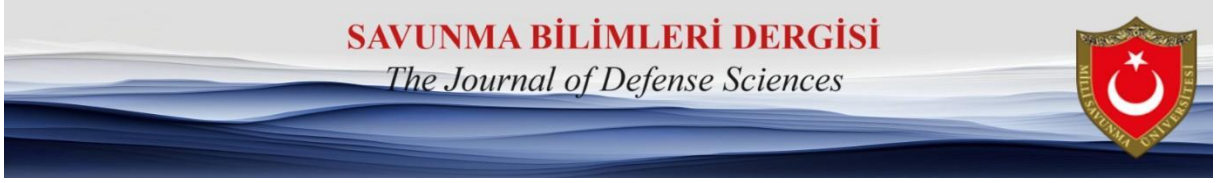
The authors declare that they have no conflict of interest.

REFERENCES

- [1] D. J. Kozakoff, Analysis of radome-enclosed antennas, 2nd ed., Norwood, MA: Artech House, 2010, pp. 3-4.
- [2] B. Gao, S. Huang, Z. Ren, Y. Chen and X. Wang, "Design and Verification of an Integrated Free-Standing Thick-Screen FSS Radome," in IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 17, no. 9, pp. 1630-1634, Sept. 2018, doi: 10.1109/LAWP.2018.2859232.
- [3] M. Okramcha and M. R. Tripathy, "Designing and Performance Analysis of Low Insertion Loss with Polarization-Insensitive FSS-antenna-radome system for Airborne Applications," 2023 10th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN), Noida, India, 2023, pp. 323-328, doi: 10.1109/SPIN57001.2023.10117350.
- [4] B. Munk, Frequency selective surfaces: theory and design. New York, NY, USA: Wiley, 2000, pp. 3-4.

- [5] Q. Chen, and Y. Fu, "A planar stealthy antenna radome using absorptive frequency selective surface," *Microw. Opt. Techn. Let.*, vol.56, no.8, pp. 1788-1792, 2014. <https://doi.org/10.1002/mop.28442>.
- [6] M. Okramcha and M. R. Tripathy, "Designing and Performance Analysis of Low Insertion Loss with Polarization-Insensitive FSS-antenna-radome system for Airborne Applications," 2023 10th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN), Noida, India, 2023, pp. 323-328, doi: 10.1109/SPIN57001.2023.10117350.
- [7] Anwar, Rana Sadaf, Lingfeng Mao, and Huansheng Ning. 2018. "Frequency Selective Surfaces: A Review" *Applied Sciences* 8, no. 9: 1689. <https://doi.org/10.3390/app8091689>.
- [8] Yang, F.; Rahmat-Samii, Y. *Electromagnetic Band Gap Structures in Antenna Engineering*; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2009.
- [9] Yogesh Solunke, Ashwin Kothari, "An ultra-thin, low-RCS, dual-bandpass novel fractal-FSS for planar/conformal C&X bands applications", *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, Volume 175, 2024, 155073, ISSN 1434-8411, <https://doi.org/10.1016/j.aeue.2023.155073>.
- [10] M. Okramcha and M. R. Tripathy, "Designing and Performance Analysis of Low Insertion Loss with Polarization-Insensitive FSS-antenna-radome system for Airborne Applications," 2023 10th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN), Noida, India, 2023, pp. 323-328, doi: 10.1109/SPIN57001.2023.10117350.
- [11] Y. Xu, S. Zhang, S. Chen, and H. Zhao, "A Band Pass Conformal Frequency Selective Surface Radome," 2021 IEEE 6th International Conference on Signal and Image Processing (ICSIP), Nanjing, China, 2021, pp. 876-880, doi: 10.1109/ICSIP52628.2021.9688798.
- [12] B. Gao, S. Huang, Z. Ren, Y. Chen, and X. Wang, "Design and Verification of an Integrated Free-Standing Thick-Screen FSS Radome," in *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 17, no. 9, pp. 1630-1634, Sept. 2018, doi: 10.1109/LAWP.2018.2859232.
- [13] Y. Zhang, T. Dong, D. Sun, Y. Wang, and S. Lü, "Electromagnetic Analysis of a Jigsaw-Shaped FSS for Conformal Application," 2020 50th European Microwave Conference (EuMC), Utrecht, Netherlands, 2021, pp. 768-771, doi: 10.23919/EuMC48046.2021.9338094.
- [14] H. Zhou et al., "Filter-Antenna Consisting of Conical FSS Radome and Monopole Antenna," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 60, no. 6, pp. 3040-3045, June 2012, doi: 10.1109/TAP.2012.2194648.
- [15] T. Tian et al., "Flexible and Reconfigurable Frequency Selective Surface with Wide Angular Stability Fabricated With Additive Manufacturing Procedure," in *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 19, no. 12, pp. 2428-2432, Dec. 2020, doi: 10.1109/LAWP.2020.3034944.
- [16] W. Y. Yong et al., "Flexible Convolution Ring Shaped FSS for X-Band Screening Application," in *IEEE Access*, vol. 6, pp. 11657-11665, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2804091.
- [17] W. Li, Y. Lan, H. Wang, and Y. Xu, "Microwave Polarizer Based on Complementary Split Ring Resonators Frequency-Selective Surface for Conformal Application," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 111383-111389, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3102942.
- [18] P. -S. Wei, C. -N. Chiu, C. -C. Chou and T. -L. Wu, "Miniaturized Dual-Band FSS Suitable for Curved Surface Application," in *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 19, no. 12, pp. 2265-2269, Dec. 2020, doi: 10.1109/LAWP.2020.3029820.
- [19] S. Dhegaya and L. Tanwar, "Stable Gain with Frequency Selective Surface in Planar and Conformal Structure: For Radome Application," 2022 Trends in Electrical, Electronics, Computer Engineering Conference (TEECCON), Bengaluru, India, 2022, pp. 97-102, doi: 10.1109/TEECCON54414.2022.9854836.
- [20] X. Sheng, H. Wang, N. Liu and K. Wang, "A Conformal Miniaturized Bandpass Frequency-Selective Surface with Stable Frequency Response for Radome Applications," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 72, no. 3, pp. 2423-2433, March 2024, doi: 10.1109/TAP.2024.334967.
- [21] Ankush Kapoor, Ranjan Mishra, Pradeep Kumar, Frequency selective surfaces as spatial filters: Fundamentals, analysis and applications, *Alexandria Engineering Journal*, Volume 61, Issue 6, 2022, Pages 4263-4293, ISSN 1110-0168, <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.09.046>.
- [22] Fernández Álvarez, Humberto & Cadman, Darren & Goulas, Athanasios & Gómez, M. &

- Engstrom, Daniel & Vardaxoglou, John Yiannis & Zhang, Shiyu. (2021). 3D conformal bandpass millimeter-wave frequency selective surface with improved fields of view. *Scientific Reports*. 11. 10.1038/s41598-021-91218-y.
- [24] A. Gouda, R. K. Mishra and S. Ghosh, "An FSS-based Conformal Band-stop Filter Design for Planar and Non-planar Surfaces," 2022 IEEE Microwaves, Antennas, and Propagation Conference (MAPCON), Bangalore, India, 2022, pp. 506-510, doi:10.1109/MAPCON56011.2022.10047603.
- [25] Anwar, R.S.; Mao, L.; Ning, H. Frequency Selective Surfaces: A Review. *Appl. Sci.* 2018, 8, 1689. <https://doi.org/10.3390/app8091689>.
- [26] C. L. Valle, G. T. Carranza and R. C. Rumpf, "Conformal Frequency Selective Surfaces for Arbitrary Curvature," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 71, no. 1, pp. 612-620, Jan. 2023, doi: 10.1109/TAP.2022.3216960.
- [27] P. Gurralla, S. Oren, P. Liu, J. Song and L. Dong, "Fully Conformal Square-Patch Frequency-Selective Surface Toward Wearable Electromagnetic Shielding," in *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 16, pp. 2602-2605, 2017, doi: 10.1109/LAWP.2017.2735196.
- [28] H. Minjie, "High-Precision Modeling for Arbitrary Curved Frequency Selective Structures Based on Perfect Mapping Between Thick Surface and Its Minimum Distortion Flat-Unfolding Solution," in *IEEE Access*, vol. 12, pp. 30533-30543, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3365541.
- [29] Y. Fu, F. Ding, J. Jin, H. Cheng, Y. Yang, X. Zhou, Y. Dai, and H. Yang, "Conformal frequency selective rasorber in S, C, X-band with low backward scattering," *Opt. Express* 32, 16879-16890 (2024).
- [30] M. M. Zargar, A. Rajput, K. Saurav and S. K. Koul, "Single-Layered Flexible Dual Transmissive Rasorbers with Dual/Triple Absorption Bands for Conformal Applications," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 150426-150442, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3126197.
- [31] Thulasiraman, Jayanandan & Alex, Zachariah. (2024). Ultrathin and conformal frequency selective surfaces bandpass filter to eliminate the 5G bands on radio altimeters. *Microwave and Optical Technology Letters*. 66. 10.1002/mop.34001.
- [32] W. Y. Yong, T. Hartman and A. A. Glazunov, "Flexible Low Profile Frequency Selective Surface for X-Band Shielding Applications," 2019 Joint International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Sapporo and Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC Sapporo/APEMC), Sapporo, Japan, 2019, pp. 435-438, doi: 10.23919/EMCTokyo.2019.8893795.



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

Finite Element Analysis Of a Real Man-made Disaster

Gerçek Bir İnsan Kaynaklı Felaketin Sonlu Elemanlar Analizi

Caner DERELİ^{1*} , Murat ŞAHİN² 

¹T.C. İçişleri Bakanlığı, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, Türkiye

²Milli Savunma Üniversitesi, Kara Harp Okulu Dekanlığı, Makine Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 18.07.2023
Düzeltilme: 02.01.2024
Kabul: 03.01.2024

Keywords

Chemical Weapons
Man-made disasters
CBRN
Finite Element
Analysis
Criminalistic

Anahtar Kelimeler

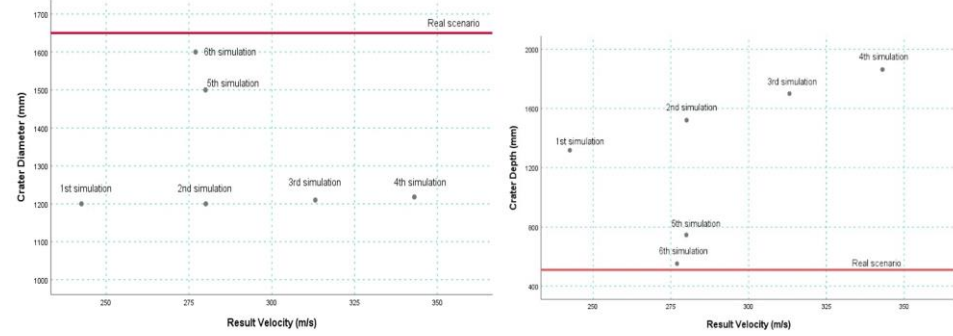
Kimyasal Silahlar
İnsan yapımı afetler
KBRN
Sonlu Elemanlar
Analizi
Kriminalistik

Highlight

This study examines a real chemical weapons attack that occurred on April 7, 2017 in the Han Sheikhun. The most remarkable result of the study is that the evaluation of ammunition and height, which is mentioned in official sources is consistent with the simulation results in our study

Bu çalışma, 7 Nisan 2017 tarihinde Han Şeyhun'da meydana gelen gerçek bir kimyasal silah saldırısını incelemektedir. Çalışmanın en dikkat çekici sonucu, resmi kaynaklarda belirtilen mühimmat ve yükseklik değerlendirmesinin çalışmamızdaki simülasyon sonuçları ile uyumlu olmasıdır.

Graphical Abstract



Abstract

Many software is used to analyse the effects of an explosion and its impact on other objects. ANSYS Autodyn is one such software. In this study, a real chemical weapons attack event that took place in Khan Sheikhoun, Syria on 4 April 2017 was simulated using ANSYS Autodyn software using the finite element method. The software was used to analyse whether the crater formed after the bombing event, whose boundary conditions (type and properties of the munition, properties of the ground, velocity of the munition and height of fall) and data are known, will be formed as a result of this collision and explosion. Looking at the results of the study, it can be seen that at the end of 6 different simulations, and especially as a result of the sixth simulation, the crater diameter converged to the real values by 97% and the crater depth by 92.4%. This strengthens the assumption that the ammunition in question was used in this incident.

Özet

Patlama ve patlamanın diğer cisimler üzerinde oluşturduğu etkilerin analiz edilebilmesi amacıyla birçok yazılım kullanılmaktadır. Bu yazılımların başında da ANSYS Autodyn yazılımı gelmektedir. Bu çalışmada, Suriye'nin Han Şeyhun şehrinde 4 Nisan 2017 tarihinde gerçekleşen gerçek bir kimyasal silah saldırı olayı, Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak ANSYS Autodyn yazılımı ile simüle edilmiştir. Yazılım, bombalama olayından sonra oluşan, sınır koşulları (mühimmatın türü ve özellikleri, zeminin özellikleri, mühimmatın hızı ve düşme yüksekliği) ve verileri bilinen kraterin, bu çarpışma ve patlama sonucunda oluşup oluşmayacağını analiz edebilmek için kullanılmıştır. Çalışmanın bulgularına baktığımızda, yapılan 6 farklı simülasyonun sonunda, özellikle de altıncı simülasyon sonucunda krater çapının %97 oranında krater derinliğinin ise %92,4 oranında gerçek değerlere yakınsadığı görülmektedir. Bu da söz konusu mühimmatın bu olayda kullanıldığı varsayımını güçlendirmektedir.

*Corresponding author, e-mail: caner.dereli@afad.gov.tr

1. INTRODUCTION

Chemical, biological, radiological, and nuclear (CBRN) incidents are man-made disasters that can be large or small scale. These include chemical, biological, radiological, and nuclear weapons [1]. CBRN events are low-frequency disasters that affect a large number of people and cause fear and panic in society when they occur [2]. For effective CBRN-based disaster event management, which includes planning, preparation, response, and recovery phases, various simulation programs are used [3]. A chemical weapon is “any chemical which, through its chemical effect on living processes, may cause death, temporary loss of performance, or permanent injury to people and animals” [4]. Chemical weapons have been around for centuries and have been employed extensively throughout history, much like explosives. Evidence of a Persian army assault on Roman forces in AD 256, which resulted in the deaths of at least 20 soldiers by burning sulfur and bitumen, which produces a toxic haze, has been discovered in what is now Syria [5]. Explosives are solid or liquid chemical compounds or mixes that may conduct a fast chemical reaction without the requirement for an additional external reactant, such as oxygen from the atmosphere. They are typically meta-stable. A chemical compound, like nitroglycerin (NG), is a pure substance created when two or more elements combine to form a new material that loses its properties due to the formation of a bond. This reaction is an exothermic one that happens quickly and produces a lot of heat, light, gas, sound, and pressure when it is triggered by collision, friction, heat, spark, flame, or shock [6]. ANSYS Autodyn

is a powerful and useful finite element analysis program that can perform explicit analysis and allows many simulations, including explosions and high-speed collisions. It is primarily used in the defense industry [7]. The Ansys Autodyn program is useful software that uses the finite element analysis method to simulate the effects of an explosion [8].

Germany was the pioneer in modern warfare when it came to the use of chemical weapons and the introduction or creation of new chemical agents in response to advancements in protective gear. Many of Germany's chemical weapons were designed by Fritz Haber [9]. On October 27, 1914, Germany launched tear gas-filled shells at the British near Neuve Chapelle, marking the start of their employment of chemical weapons in war [10]. The August 2013 chemical weapons strikes in Ghouta, Syria, claimed the lives of around 1400 people [11, 12]. With the ongoing domestic unrest in Syria and the increased activities of terrorist groups such as ISIS, there have been multiple chemical weapons attacks in the country [13]. The most notable of these strikes were those on Kharbit Masasnah, Yarmouk, Al Balil in 2017 and Khan Sheikhun, Qalib Al-Thawr and Al Salamiyah and Souran Aleppo in 2018. The Salisbury and Amesbury occurrences in England and the incident in Malaysia are the most significant events in our recent history, excluding these attacks [14].

In this study, the impact of the M4000 chemical bomb allegedly used in the city of Han Sheikhun in Syria, which is one of the above-mentioned incidents of chemical weapons use, and the effects of this explosion were modeled with Ansys Authodyn Finite Element Analysis

software. The main purpose here is to both re-simulate a real-world event and compare the crater diameter and depth that are formed when the M4000 air-dropped bomb hits the ground under certain boundary conditions with the simulation data.

2. A REAL MAN-MADE DISASTER (EXPERIMENTAL STUDIES)

2.1. What happened in Khan Skeykhun?

In Syria, the government and opposition forces have fought bloody battles to keep the city of Khan Sheikhun, which is also the subject of this study and is in a critical geopolitical position [15]. On the morning of April 4, 2017, with a sunny, windless and clear sky, as the city dwellers began a new day, the sound of a jet plane [16]. In the early morning of 4 April, public reports emerged that air strikes had released sarin in the town. The UN COI reported that "photographs of weapon fragments depict a chemical aerial bomb of a type developed in the former Soviet Union." The UN COI also stated that "the chemical bomb killed more than 80 people and injured approximately 300 people" [15]. In the judicial investigations carried out by the United Nations and the Organization for the Prohibition of Chemical Weapons, it is stated that the Russian-made M4000 airdropped bomb containing a chemical warfare agent (Sarin gas) was used in this incident [17]. On the morning of April 4, 2017 an incident involving sarin killed approximately 100 people in Khan Shaykhun and affected another 200 people who survived acute exposure [18]. On

the basis of samples obtained during autopsies and from individuals undergoing treatment in a neighboring country, those who undertook the fact-finding mission of the Organization for the Prohibition of Chemical Weapons concluded that the victims had been exposed to sarin or a sarin-like substance. The extensive information independently collected by the Commission on symptoms suffered by victims is consistent with sarin exposure [15].

2.2. Analysis On Explosion Crater

The type of ammunition, its properties, and its explosive content were all reported in the official UN reports following the conclusion of the legal investigation, along with the diameter and depth of the crater left by the explosion. However, assumptions are made regarding the height at which the ammo falls, the angle at which it hits the ground, and the properties of the asphalt and soil it hits. Forensic investigations were conducted into the incident, and scientific data was explained. The purpose of this article is not to accuse or exonerate any country. The aim of the article is to investigate whether the diameter and depth of the crater formed as a result of the explosion are compatible with the values calculated by the finite element method.

The crater opened by the explosion was examined before the ammunition containing the chemical agent was modeled with the Ansys Workbench. Photographs of the crater are provided in Figures 1 and 2.



Figure 1: Post-Explosion Crater Photo [19].

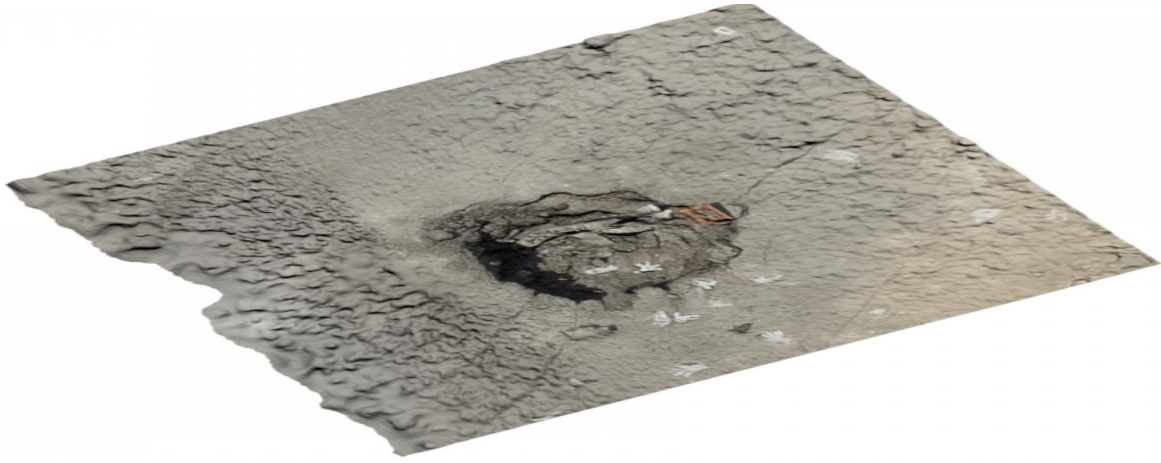


Figure 2: Post-Explosion Crater Photo [19].

When the OPCW's report [20] is examined, it is understood that the diameter of the crater varies between 1.5 m and 1.65 m, and the depth of the crater varies between 42 cm and 51 cm.

When Figure 2 is examined, it is seen that the asphalt thickness is about 15 cm. The part where the asphalt is located is taken as 0.15m x 6m x 6m and the soil part under the asphalt is taken as 2.5m x 6m x 6m.

3. MATERIAL AND METHOD

The simulation studies were carried out with the Ansys Workbench package program on a computer with Windows 10, 64 Bit Operating System, 16 GB of Ram, and an Intel Core i7 7700 k CPU 4.2 GHz processor. With simulation studies, error messages were received many times until realistic results were obtained, and it took days to debug these errors. The most common error is the time step being too small. Because the

mesh elements of the ammunition contain very small elements, the duration of analysis is approximately 150 hours.

In addition, the modeling was done with the explicit analysis method, and the results were studied in very small time intervals (on the order of milliseconds). The end time was taken as 0.005 seconds, and the analysis of this time interval took approximately 150 hours. The literature was reviewed to decide on the optimum ending time. The collision of the Scud Missile with a weight of 227 kg and a speed of 250 m/s at an angle of 15 degrees to the stone and soil ground was modeled using the Finite Element Analysis method in a study conducted at the Lawrence Radiation

Laboratory in Livermore, California [21]. Figure 3 shows that more than 95 percent of the ground penetration is completed in 0.005 seconds. In addition, in another study conducted at Lawrence Radiation Laboratory in Livermore, California, 90% of the TNT explosion reaction was completed in 80 nanoseconds (8×10^{-8} seconds), while the remaining 10% was completed in 200 nanoseconds [22]. At the same time, if the end time is 0.01 seconds or longer, the analysis time will increase to 300 hours or more.

Additionally, the end time has been set as 0.005 seconds since it is aimed to use the resources effectively.

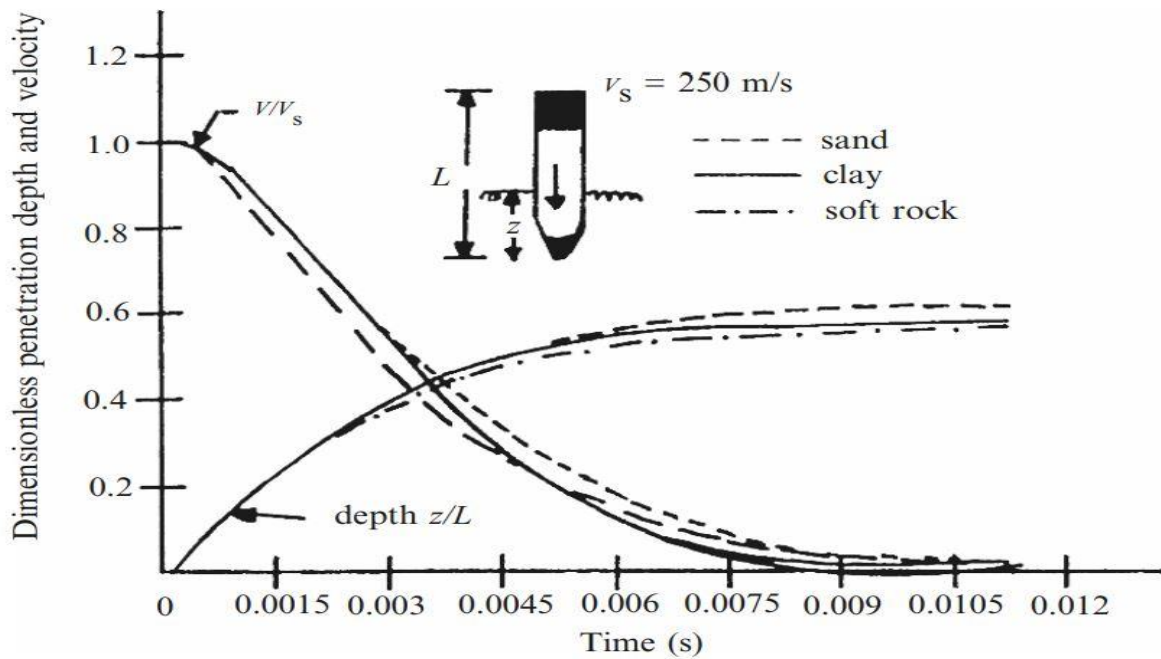


Figure 3: Penetration Depth, Time And Velocity Relationship In Sand, Clay And Rock Soil [22].

In the study, the possibility of the ammunition containing the chemical agent (sarin gas) was considered for the Russian-made M4000, an airdropped bomb. The features of the Official Report and the M4000 Bomb have been

compared, and it is understood that the disapproval is compatible. The data on ammunition in UN Report S/2017/904 [17] is presented in tabular form in Table 1.

Table 1: Brief Information On Ammunition And Official Documents Passing This Information.

	Type of Ammunition	Weight of Ammunition	Diameter of Ammunition	Amount of TNT Contained
Related Page of the Report	Page 28	Page 28	Page 28	Page 26
Paragraph Number in the report	56	53	57	47
Statement in the Report	Compatible with the structure of air-dropped chemical Bombs used in Syria	Between 300-500 kg	300-500 mm	than 10 kg TNT
Feature of the M4000 Air-Drop Bomb used in our calculations	Chemical Weapons used in Syria are of Russian origin, as in the M4000, and are of the type of air-dropped bombs in the M4000.	350 kg	460 mm	3.6 kg of TNT

The information that two types of chemical weapons, M4000 and MYM6000, were used in Syria during the inspections carried out by the Organization for the Prohibition of Chemical Weapons and the United Nations Auditors was published in the relevant report [20].

In the CAD model uploaded to the ANSYS Workbench, all materials related to ammunition

are introduced to the system with the "Material Assignment" process. Soil and asphalt data for the road where the bomb fell were entered into the system. Data on the deformation of the structural steel was entered into the system using the Johnson-Cook Material and Deformation Model. Data on ammunition are given in Table 2.

Table 2: Data About Ammunition.

Outer material of ammunition	Structural Steel
The outer thickness of the bomb	4mm
Weight of the bomb	350 kg
The chemical agent and its amount	Sarin , 250 kg
Diameter of the bomb	460 mm
length of the bomb	1570 mm
Explosive and quantity found in the bomb	TNT, 3.6 kg

In the first model, it was assumed that the ammunition hit the ground at a 90-degree angle for ease of solution. In light of the data in the United Nations Security Council's report numbered S/2017/904, it is known that the ammunition was dropped from a height of 4000–

10,000 meters [17]. The velocity of the ammunition when it hits the ground when its initial velocity V_x and V_y is 0 and it is released in free fall from a height of 4000 meters;

$$V^2 = 2hg \quad (g = 9.8 \text{ m/s}^2) \quad (3.1)$$

$$V^2 = 2 \times 4000 \text{ m} \times 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$V = 280 \text{ m/s}$$

As shown in Figure 4, the research conducted in light of these data revealed that the crater's diameter was 1200 mm and its depth was 1520.8 mm.

While the crater diameter was 27% less than the real value, the crater depth calculated by computer analysis was 198% higher than the real value.

As can be seen, when the bomb hits the ground at a speed of 280 m/s from a height of 4000 meters, it penetrates deeper than expected and creates a smaller crater diameter than expected.

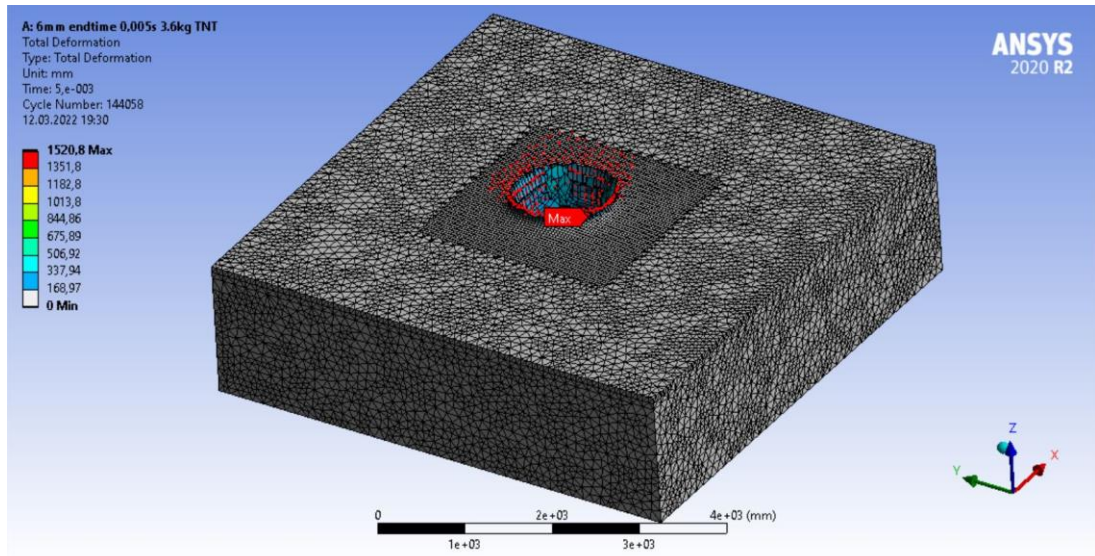


Figure 4: Crater Depth Of The Bomb Hitting The Ground At 280 m/s.

For the bomb dropping from 3000, 5000, and 6000 meters, all the operations for the fall from 4000 meters were repeated, and the summary information of the results obtained is presented in Figures 5, 6, and 7. These steps were not repeated between 6000 and 10,000 meters in order to use the time efficiently because the crater depth is much greater than it should be.

According to the analysis's findings, a bomb dropping from a greater height accelerates more quickly and creates a larger crater. Figure 5 depicts how altitude affects velocity, whereas Figure 6 depicts how height affects crater depth. The rise in the altitude-velocity graph and the altitude-crater depth graph is also nonlinear.

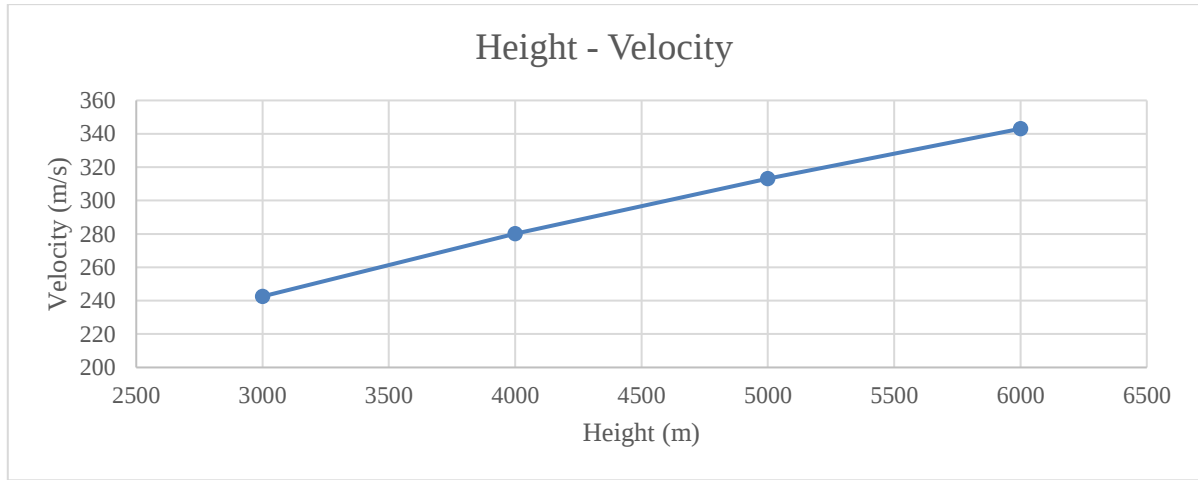


Figure 5: Height vs Velocity Graph.

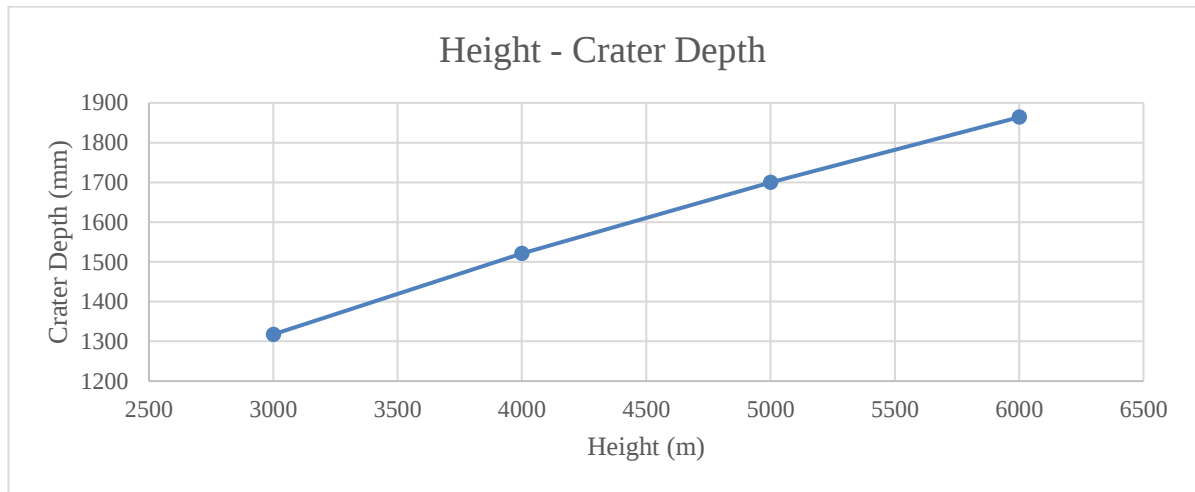


Figure 6: Effect Of Height On Crater Depth.

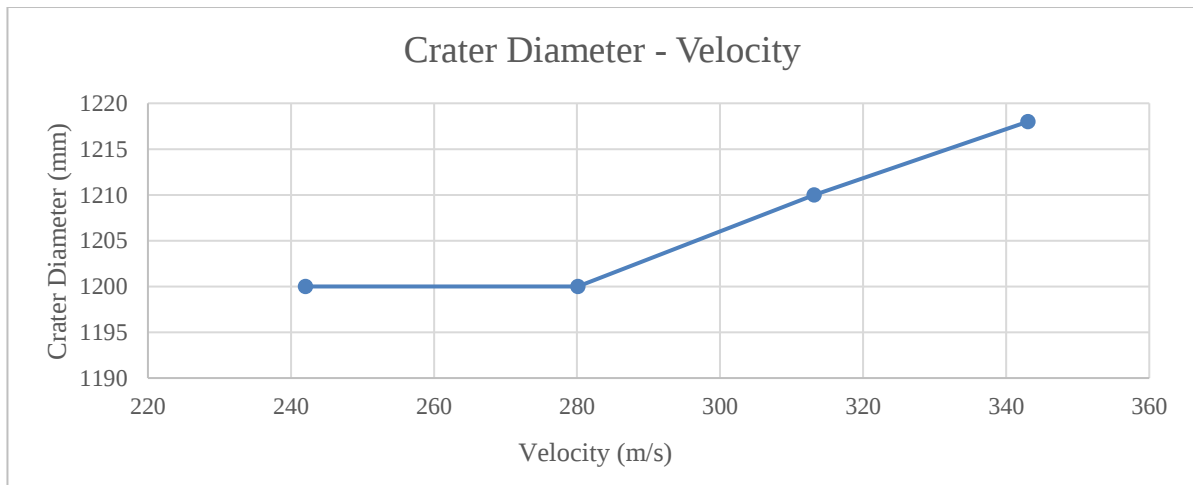


Figure 7: Effect Of Impact Velocity On Crater Diameter.

The bomb dropped from above strikes the ground at a 90-degree angle, and the calculations up to this point have been based on the assumption that the bomb's initial horizontal velocity is zero. The crater diameter is not significantly affected by the horizontal velocity of the bomb; hence, it is inferred that the bomb must also have a horizontal velocity. Although it was assumed that the initial velocity of the bomb horizontally was zero in the previous analyses, the speed of the aircraft was

also taken into account in the analyses to be made after that, and the horizontal velocity of the aircraft was included in the calculations as the horizontal velocity of the bomb.

The report with the reference number A/72/615-S/2017/938 [23] claimed that the bomb impacted the ground at a -55.6 degree angle and that the aircraft's horizontal speed was 800 km/h (225.1 m/s). The package program made use of this data, and the outcomes were evaluated.

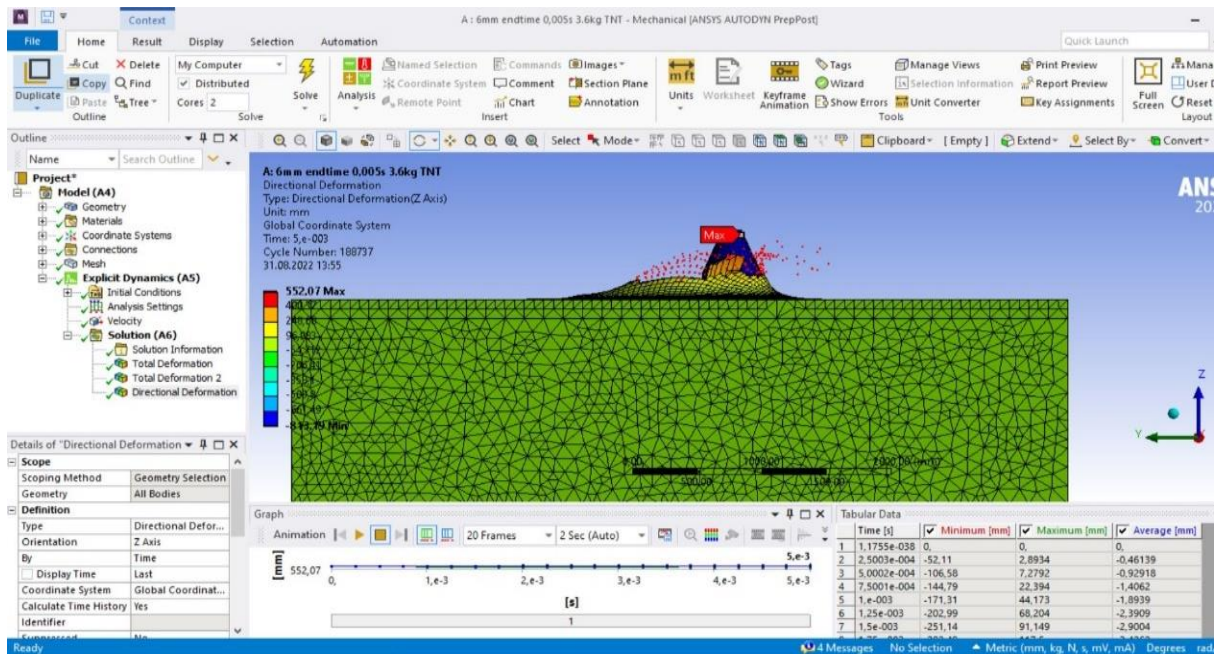


Figure 8: Crater Depth Of The Bomb Hitting The Ground At $V_x=225.1$ m/s, $V_y=161.42$ m/s.

In the final simulation, the crater depth calculated in the analysis is 7.6% greater than the real depth. The calculated crater diameter is 3% smaller than the actual diameter. The results closest to the actual values were obtained in the sixth and final analysis.

When the work done thus far and the Figure 1 & 2 are examined, it is clear that the bomb remains in the crater are leaning against the crater wall. Although it is unknown how many degrees the bomb dropped from the aircraft when it hit the

ground, it is assumed that it hit the ground at an angle due to the aircraft's speed. As can be seen in Figure 8, when the results of the studies with an aircraft speed of 800 km/h (225.1 m/s) are examined, it is seen that the crater diameter is compatible with the real values.

4. RESULTS

When Figures 9 and 10 are compared, it is clear that the 5th and 6th horizontal velocity simulations are very close to the real values.

Especially with the sixth simulation, the results were 97% close to the actual values, and when crater depth was taken into account, the results

were 92.4% close to the actual values. Table 3 shows the horizontal, vertical, and resultant velocities for the six simulations.

Table 3: Data For Height, Horizontal Velocity, Vertical Velocity And Resultant Velocity.

Analysis No	Height (m)	Downtime (sec)	V _x Velocity (m/s)	V _y Velocity (m/s)	Result Velocity (m/s)
1	3000	24,73	0	242,57	242,57
2	4000	28,56	0	280,09	280,09
3	5000	31,93	0	313,15	313,15
4	6000	34,98	0	343,04	343,04
5	4000	24,73	225,1	161,42	277
6	4000	24,73	225,1	146	268,3

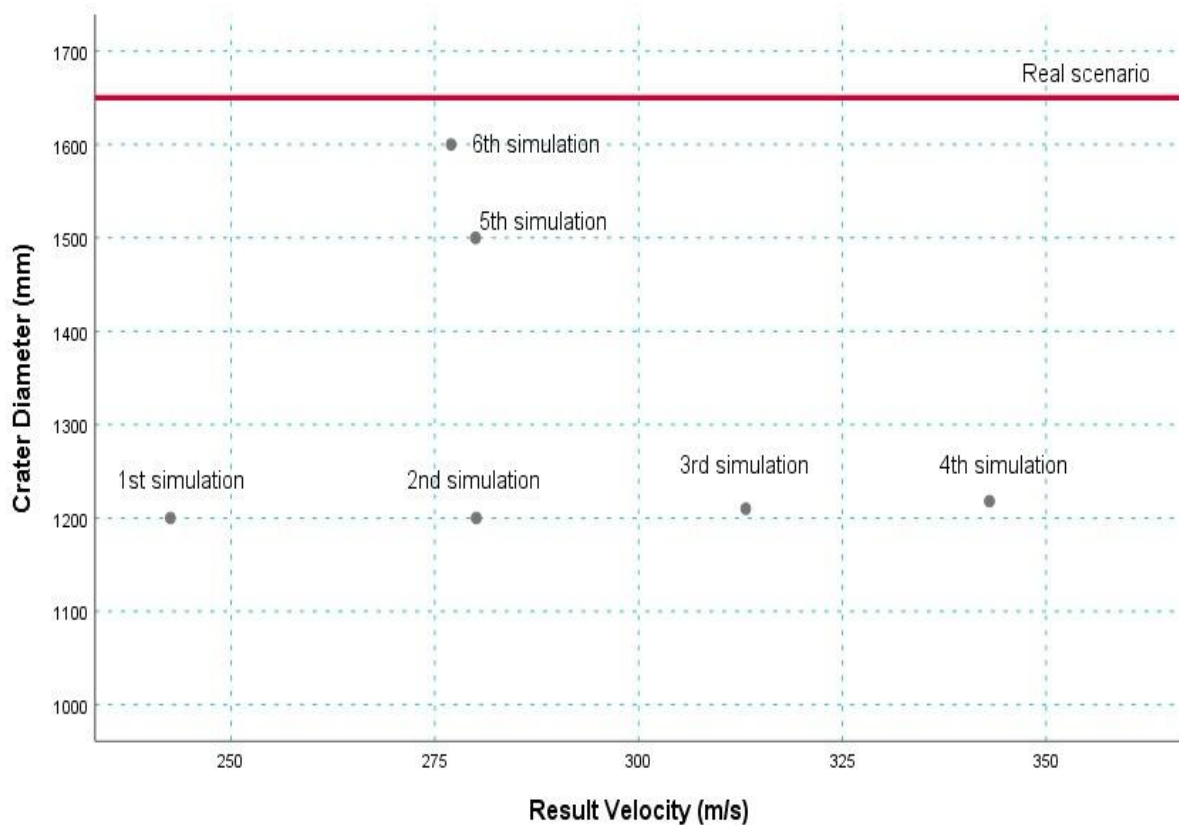


Figure 9: Data For Resultant Velocity – Crater Diameter For Six Simulations.

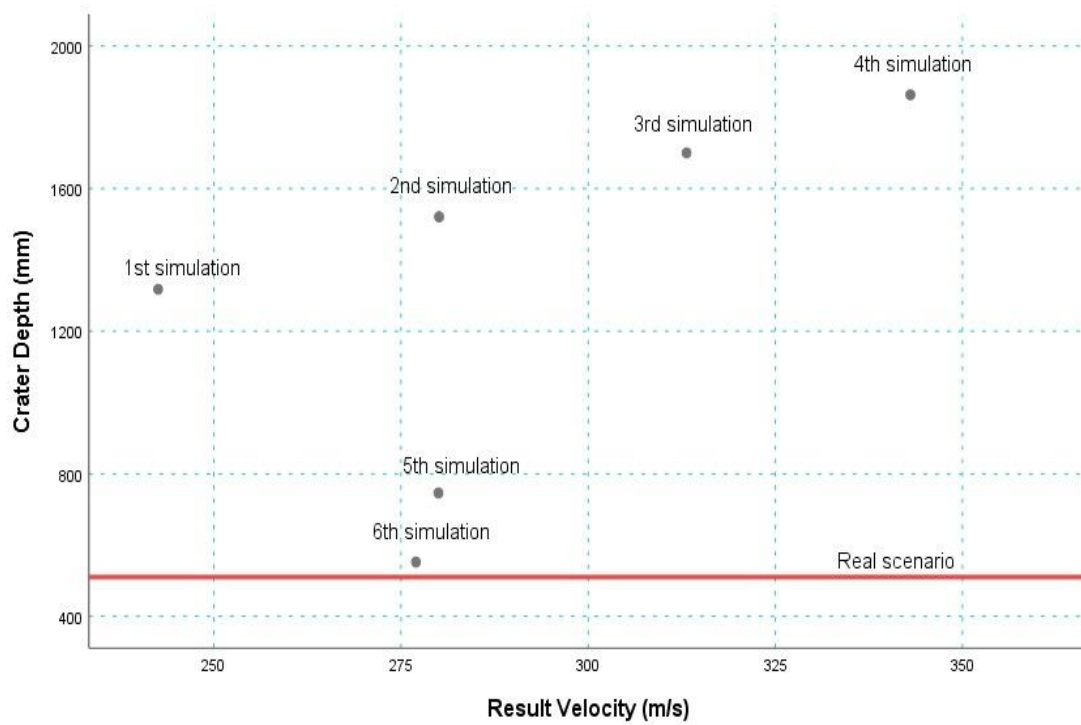


Figure 10: Data On Resultant Velocity – Crater Depth For Six Simulations.

5. DISCUSSION

Because working with explosives and examining the results of explosions is costly and subject to legal restrictions, many analyses in the defense industry are performed using software that employs other finite element analysis methods, particularly the ANSYS Workbench (Autodyn module). This study examines a real chemical weapons attack that occurred on April 7, 2017 in the Syrian city of Han Sheikhun. The ANSYS Workbench (Autodyn) program was used to analyze the attack's mathematical data. The most important result of the study is that the evaluation of ammunition and height, which is mentioned in official sources [20,23], is consistent with the simulation results in our study.

Following the collection of scientific data in the post-explosion crime scene investigation

processes, various scenarios were studied using the inductive technique, and conclusions were drawn about the bomb's speed and the height at which it was dropped. Because the fuse part of the bomb is effectively impacted, the fuse must hit the ground for the bomb to explode. As a result, scenarios involving the horizontal impact of the bomb on the ground are excluded from this study. According to official reports [17, 23], the bomb could have been dropped from a height of 4000 to 10,000 meters. The M4000 ammunition was modeled from a height of 4000 meters, with an initial velocity of 0 both horizontally and vertically, and hitting the ground in free fall in the first analysis. The aircraft's speed was ignored in this case, and it was determined whether the diameter and depth of the crater that the bomb would open after detonation would be equal to the actual crater diameter and depth.

The bomb was dropped from 4000 meters with zero horizontal velocity in the first analysis, and it was observed that it reached a depth greater than the expected crater depth. The analysis for 4000 meters of altitude was repeated based on 3000, 5000, and 6000 meters of altitude to understand the effect of altitude and velocity on crater diameter and depth. The impact velocity increased nonlinearly as the height of the bomb dropped, and thus the crater diameter increased nonlinearly as well. Furthermore, the height and, as a result, the increase in velocity did not result in a significant increase in crater diameter.

Given that vertical velocity has little effect on crater diameter and the TNT load of the bomb is constant, it should be noted that the bomb must have both vertical and horizontal velocity (aircraft velocity). According to another UN report [23], the Su-22 aircraft that dropped the M4000 bomb reached a horizontal speed of 810 km/h (225.1 m/s), and the bomb hit the ground at an angle of 55.6°. The results of the analysis performed with these data were found to be very close to the actual values.

When the photographs (Figures 1 and 2) from the incident are examined, it is clear that the body parts of the ammunition are in the crater adjacent to the rim of the crater, just as they were in the previous ANSYS Workbench analysis. This lends support to the theory that the bomb has a horizontal velocity when released. Furthermore, the 3.5 kg TNT load used in the bomb is insufficient to completely shatter a 350 kg bomb. The explosive, which is about 1% of the total weight, only allows the sarin chemical agent to spread out of the bomb by tearing the bomb's body. In this respect, the size of the opened crater

depends on the crash of a 350 kg object falling from a very high height rather than the effect of the explosion.

Due to the fact that the issue can be politically misleading and is a new topic, there is only one study on this issue in the literature. Goong C. et al. [24] examined the event in Han Sheikhun with another Finite Analysis Method software, LS Dyna, in their 2020 study. Goong et al. conducted this study under the assumption that the ammunition found around the crater could be a 122-mm rocket. In this regard, the type of ammunition, the angle of impact with the ground, the speed of the ammunition, and the software used differ from those used in our study. In our study, the United Nations inspection reports were examined, and the mathematical data was taken from official reports [20,23], not from the press or other parties that might be biased. In the study of Goong et al. [24], the diameter of the crater is around 1.2 m, while the depth of the crater is well over 2 meters. Considering the crater diameter and depth, our study is much closer to the actual values than Goong et al. The reason for this is that the ratio of the explosives in the ammunition thought to have been used in our study to the total weight of the ammunition is only 1 percent. In the ammunition in the study by Goong et al., this ratio was 23.5 percent. Therefore, the explosive in the munition analyzed in our study may have only torn the jacket of the munition and caused less damage to the ground. In Goong et al.'s study, on the other hand, since the amount of explosive was relatively higher, the crater depth may have been greater as a result of the explosion. The comparison of the data obtained from both studies is presented in Table 4.

Table 4: Literature Comparison.

Data	Dereli et al	Goong et al
Software	Ansys AUTODYN	LS DYNA
Munition Type	M4000 Aerial Bomb	122 Artillery Rocket
Explosive Payload	3,5 kg	6,35 kg
Total Mass of the Ammunition	350 kg	27 kg
Velocity of Munition	268,3 m/s	220 m/s
Impact Angle of the Munition	55,6	65
Calculated Crater Diameter	1600 mm	1200
Actual Crater Diameter	1650 mm	
Percentage Difference Between Actual Value of Diameter	3 %	25 %
Actual Crater Depth	510 mm	
Calculated Crater Depth	552,07 mm	2000
Percentage Difference Between Actual Value of Depth	7, 6 %	362,2 %

6. CONCLUSION

In this study, simulations of the crater formed as a result of the chemical weapons attack were created using scientific data from the forensic investigation that was carried out and completed, avoiding political discussions about which country did what and why. The Ansys Autodyn program and the Finite Element Analysis Method were used to analyze the crater diameter and depth of the explosion in Han Sheikhun. When the data obtained from official reports regarding the height and angle of impact of the munition were used and the simulation created with the help of a computer program was compared with the actual values, it was found that 97 percent of the crater diameter and 92.4 percent of the crater depth coincided with the actual values. In this case, it can be said that the last simulation of the crater formed as a result of the impact of the bomb dropped by an aircraft with a horizontal speed of 810 m/s from a height of 4000 meters with an angle of 55.6 degrees has the closest results to the

real values. This result strengthens the possibility that M4000 ammunition was used in this incident

ACKNOWLEDGMENTS

This research has not recieved any external funding.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Caner DERELİ: Conceptual design, Data curation, Analysis, Funding acquisition, Research, Methodology, Project management, Resources, Software, Audit, Approval, Visualization, Writing-Draft, Writing Reviewing, Editing, and Experimental studies.

Murat ŞAHİN: Conceptual design, Data curation, Research, Methodology, Project management, Resources, Software, Approval, Writing-Draft, Writing Reviewing, and Editing

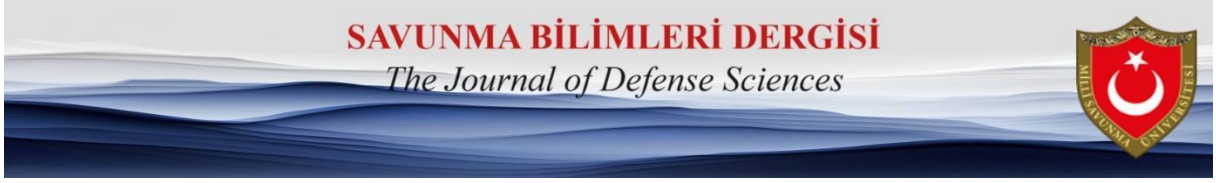
CONFLICTS OF INTEREST

Yazarlar, herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

REFERENCES

[1] M. Frulli, "International Law and Chemical, Biological, RadioNuclear (CBRN) Events.

- Guttry A. (Ed)”, The Challenge of Outlining the CBRN Definitional Framework, pp.3-14, Brill | Nijhoff, 2022.
- [2] H. Farhat, G. Alinier, P. Gangaram, et al. “Exploring pre-hospital healthcare workers' readiness for chemical, biological, radiological, and nuclear threats in the State of Qatar: A cross-sectional study”, *Health Science Reports*, 5(5): e803, 2022. <https://doi.org/10.1002/hsr2.803>.
- [3] A. P. M. F. Pereira, “CBRN events management and the use of the Hysplit model: an integrative literature review”, *Journal of Saúde em Debate*, 43(122), 925-938, 2019.
- [4] Chemical Weapon Convention (1993) <https://www.opcw.org/chemical-weapons-convention> (10.07.2023).
- [5] S. Jacobs, “Chemical warfare, from Rome to Syria: a timeline. National Geographic (August 22)” <http://bit.ly/1rBjDgu> (22.09.2024).
- [6] J. T. Thurman, “Practical bomb scene investigation. Boca Raton” CRC Press, 2017.
- [7] S. Shlyk. “Research of ANSYS Autodyn capabilities in evaluating the landmine blast resistance of specialized armored vehicles.”, *Technology Audit and Production Reserves*. 3(1(59)), 6-15, 2021. doi:10.15587/2706-5448.2021.235397.
- [8] N. Jha, B. S. K. Kumar, “Air blast validation using ANSYS/AUTODYN”, Issue 1, Vol. 3, *International Journal of Engineering Research and Technology*, pp. 1794-1797, 2014.
- [9] H. Witschi, “Fritz Haber: 1868–1934”. *Toxicological Sciences*, 55: 1–2, 2000.
- [10] D. Charles, “Master Mind”. Harper Collins Publishers. pp. 154–157, 2005.
- [11] G. Chapman, H. Elbahtimy, & S. B. Martin, “The future of chemical weapons: Implications from the Syrian civil war”, *Security Studies*, 27(4), 704-733. 2018. <https://doi.org/10.1080/09636412.2018.1483640>.
- [12] T. Schneider, & T. Lütkefend, “Nowhere to Hide. The Logic of Chemical Weapons Use in Syria”, *Global Public Policy Institute*. 2019.
- [13] J. Zarocostas, “Syria chemical attacks: preparing for the unconscionable”. *The Lancet*, 389(10078), 2017. doi:10.1016/s0140-6736(17)30997-2.
- [14] M. Şahin, C. Dereli, "Thermal Methods in Chemical Weapon Destruction And Computer Modeling of Plasma Technology". *Politeknik Dergisi*, 25, 1799-1808, 2022. <https://doi.org/10.2339/politeknik.1109423>.
- [15] United Nations Human Rights Council, “Independent International Commission of Inquiry on the Syrian Arab Republic Report”. Report No: A/HRC/36/55, 8 August 2017
- [16] Organization for the Prohibition of Chemical Weapons. “Report Of The OPCW FactFinding Mission In Syria Regarding An Alleged Incident In Khan Shaykhun”. Syrian Arab Republic April 2017, Report No: S/1510/2017, 29 June 2017. The Hague, 2017.
- [17] Organization for the Prohibition of Chemical Weapons, “Report on Letter dated 26 October 2017 from the Leadership Panel of the Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons-United Nations Joint Investigative Mechanism addressed to the Secretary-General”, Report No: S/2017/904, 26 October 2017. The Hague, 2017.
- [18] United Nation Security Council, “Report on Letter dated 9 November 2017 from the Chargé d'affaires a.i. of the Permanent Mission of the Russian Federation to the United Nations addressed to the Secretary-General”, Report No: A/72/615–S/2017/938, 5 January 2018.
- [19] Forensic Architecture, (2022, 10 September) <https://forensic-architecture.org/investigation/chemical-attack-in-khan-sheikhoun> 2017 (22.09.2024).
- [20] Organization for the Prohibition of Chemical Weapons, “Investigation and Identification Team Report on Ltamenah (Syrian Arab Republic), Report No: S/1867/2020”, 8 April 2020. The Hague, 2020
- [21] M. Y. H. Bangash, “Shock, Impact and Explosion Structural Analysis and Design”. pp.1079-1098, Springer Berlin, 2009.
- [22] C. M. Tarver, “Detonation Reaction Zones in Condensed Explosives”, 14th APS Topical Conference on SCCM, Baltimore, USA, 2005,
- [23] United Nations Security Council. 8090th meeting 7 November 2017. (S/PV.8090). Retrieved from <https://undocs.org/en/s/pv.8090> (22.09.2024).
- [24] C. Goong, G. Cong, A. P. Theodore, et al. “Computational Forensics for the Alleged Syrian Sarin Chemical Attack on April 4, 2017: What Actually Happened?”, *Global Journal of Forensic Science & Medicine*., 2(2), 2020. doi: 10.33552/GJSFM.2020.02.000532.



Hastane Tedarik Zinciri Yönetiminde Anahtar Performans Göstergesi Belirlenmesine Yönelik Bir Ölçek Geliştirilmesi

A Scale Development Aimed At Determining A Key Performance Indicators in Hospital Supply Chain Management

Bora KARACAER ^{1*} , Bahar ÖZYÖRÜK ² 

¹Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tedarik ve Lojistik Yönetimi Ana Bilim Dalı, Ankara, Türkiye

²Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 16.04.2023
Düzeltilme: 21.08.2023
Kabul: 30.08.2023

Keywords

Hospital Supply Chain Management,
Hospital Supply Chain
Performance Indicators,
Scale Development

Önemli Noktalar

Bu çalışmada, hastane yöneticileri tarafından tedarik zinciri süreçlerinin iyileştirilebilmesi, hastanedeki sağlık hizmetinin sürdürülebilmesi ve sistemin verimliliğinin artırılabilmesi için hastane tedarik zinciri yönetiminde kullanılacak anahtar performans göstergelerinin belirlenmesine yönelik bir ölçek aracının geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu çalışma özgün bir çalışmadır.

Tablo Özet

Boyutlu Yapıya Ait Ortalama, Standart Sapma ve Güvenirlik Değerleri

Anahtar Kelimeler

Hastane Tedarik Zinciri Yönetimi
Hastane Tedarik Zinciri
Performans Göstergeleri
Ölçek Geliştirme

Boyutlar	Maddeler	Ort ± SS	Cronbach Alfa	McDonald'ın (ω) alfa katsayısı
Malzeme	1-2	9,32 ± 1,37	0,871	0,873
Hastane İçi Süreçler	3,4,5,7,8,9,10,11,13,14,15,16,17,18,21	72,07 ± 7,15	0,972	0,974
Hasta Memnuniyeti	12,20,22,23	17,56 ± 2,66	0,783	0,819
Lojistik Süreçler	6,19,24,25,26,27,28	32,88 ± 3,55	0,902	0,909
Toplam		131,84 ± 13,29	0,969	0,976

Özet

Sağlık hizmeti tedarik zinciri yönetiminin hedefi, kaynakları verimli kullanarak uygun maliyet ve kalitede malzemeyi ihtiyaç duyulan yerlere ihtiyaç duyulduğu anda ulaştıran “iyi bir şekilde koordine edilmiş bir sistem” sağlamaktır. Öncelikle ölçek kapsamı belirlenerek, literatür araştırması ve yapılan yüz yüze görüşmelerle taslak ölçek geliştirilmiştir. Lawshe tekniği ile kapsam geçerliği değerlendirilmiştir. Maddelerin ayırt edicilik ve ölçmek istenilen özelliği ölçme gücü Likert'in korelasyona dayalı madde analizi ile belirlenmiştir. Ölçeğin faktör yapısı modelinin yapısal geçerliği Temel Bileşenler Analizi ve Doğrulamalı Faktör Analizi ile sınanmıştır. Ölçeğin güvenirliliği, Cronbach alfa iç tutarlılık katsayısı, Maksimum Alfa Katsayısı ve McDonald alfa güvenirlilik katsayıları ile değerlendirilmiştir. Değerlendirme 0,05 anlamlılık seviyesine göre yapılmış ve sürekli veriler için ortalama ± standart sapma, kategorik veriler için sıklık ve yüzde tanımlayıcı istatistik olarak kullanılmıştır.

Abstract

The goal of healthcare supply chain management is to provide a ‘well-coordinated system’ that delivers materials at the appropriate cost and quality to where they are needed when they are needed by using resources efficiently. Firstly, the scope of the scale was determined and a draft scale was developed through literature research and face-to-face interviews. Content validity was evaluated with the Lawshe technique. The discrimination and measuring power of the items were determined by Likert's correlation-based item analysis. The structural validity of the factor structure model of the scale was tested by Principal Component Analysis and Confirmatory Factor Analysis. The reliability of the scale was evaluated with Cronbach's alpha internal consistency coefficient, Maximum Alpha Coefficient and McDonald's alpha reliability coefficients. The evaluation was made according to 0.05 significance level and mean ± standard deviation for continuous data, frequency and percentage for categorical data were used as descriptive statistics.

*Corresponding author, e-mail: bora.karacaer@gazi.edu.tr

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Tüm sektörlerde kaliteli hizmet sunumu amaçlanmakta, bu esnada en düşük maliyet ile en fazla faydayı sağlayabilmek hedeflenmektedir. Hastaneler ve sağlık sistemleri de yüksek kaliteli ve düşük maliyetli sağlık hizmetlerine yönelik talebi karşılamak için, verimliliklerini arttırmaya odaklanmaktadır [1]. Hükümetler de verimli bir sağlık sistemini teşvik etmektedir [2]. Yüksek kaliteli sağlık hizmetleri sunarak toplum sağlığının iyi seviyelerde tutulması her ülke için büyük bir önceliktir [3].

Ülke ekonomisinde sağlık harcamaları önemli bir yük oluşturmaktadır. Önümüzdeki 15 yıl içinde yapılacak sağlık harcamalarının, Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (OECD) ülke Gayri Safi Yurt İçi Hasılası'nın (GSYİH) büyümesini önleyeceği tahmin edilmektedir. Ayrıca 2018 yılında GSYİH'nin %8,8'ine karşılık gelen kişi başı ortalama sağlık harcaması, yıllık ortalama %2,7 artarak 2030 yılında GSYİH'nin %10,2'sine ulaşacağı öngörülmektedir [4].

Bu nedenle kaliteden ödün vermeden maliyeti düşürebilmek için yönetsel tedbirler alınmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak işaret edilen amaca hizmet eden tedarik zinciri yönetimi anlayışı diğer iş kollarına göre hastanelerde sınırlı olarak benimsenip kullanılmaktadır. Oysa geniş ürün yelpazesi, ürünlerin kullanım ömürleri, sağlık hizmetleri haricinde kalan alanlarda artan dış kaynak kullanımı, bilgi teknolojisinde ortaya çıkan yeni gelişmeler ve küreselleşme nedeniyle tedarik zinciri yönetimi uygulamalarından faydalanmadan, sağlık sektöründe yüksek operasyonel verimlilik elde edilmesi pek mümkün değildir [5].

Bu kurumlarda tedarik zinciri yönetimi uygulaması, insan hayatını doğrudan etkileyen çok hassas konularda karar alınması gerektiği için karmaşık bir hal almaktadır [6]. Örneğin sağlık personelinin hedefi hastaya doğru tedavinin uygulanması, kurum yöneticilerinin ise işletme kârını yükseltmek olduğu için bir malzemenin fiyat, marka ve model özelliklerine bakış açıları da farklı olacaktır. Ayrıca sağlık personelinin talep ettiği malzemeler kullanılan yer (klinik, ameliyathane, acil servis, poliklinik vb.), kullanım amacı (ameliyat, tahlil, pansuman, temizlik vb.), kullanan kişi (doktor, hemşire, hasta bakıcı, temizlik görevlisi vb.), kullanım ömrü (tek kullanımlık sarf malzeme, demirbaş malzeme, sağlık destek malzemeleri vb.) gibi kısıtlara göre çeşitlilik gösterebilmektedir. Dolayısıyla tedarik zinciri yönetimi bu farklılıklara bağlı olarak zorlaşmaktadır.

Sağlık hizmeti tedarik zinciri ilaç üreticisine hammadde temin eden tedarikçi ile başlayıp, hastada (temelde müşteri) sona eren bir süreçtir. Bu sürecin performansını, bütçe kısıtlamaları, bilgi teknolojileri eksikliği, farkındalık eksikliği, çalışanların tedarik zinciri hakkında yeterli bilgiye ve eğitime sahip olmaması, soğuk zincirde oluşan eksiklikler, altyapı eksiklikleri, hükümet politikaları vb. etkilemektedir [7].

Sağlık hizmeti tedarik zinciri yönetiminin hedefi, kaynakları eşleştirerek, yüksek verimlilik, uygun maliyet ve kalite ile malzemeyi en çok ihtiyaç duyulan yerlere, ihtiyaç duyulduğu zamanda ulaştıran “iyi bir şekilde koordine edilmiş bir sistem” sağlamaktır [8]. Sağlık sektörü, artan sağlık maliyetleri karşısında yüksek kaliteli, güvenli ve uygun fiyatlı hasta bakımı sağlamak için toplum tarafından sürekli baskı altında

tutulmaktadır [9]. Tipik bir sağlık sisteminin tedarik zinciri maliyetleri, toplam harcamasının %20 ila %30'unu kapsar [10]. Bu sistemin teşkil edilebilmesi sadece kaynakların doğru kullanılmasına değil, aynı zamanda sistemin bir parçası olan sağlık çalışanlarının tercihlerine ve sergiledikleri performansa da bağlıdır.

Lojistik faaliyetler tedarik, dağıtım, envanter yönetimi, paketleme ve imalat gibi işlevleri desteklemek için bir tedarik zincirindeki malzeme akışlarının planlanması, tasarlanması, uygulanması ve yönetilmesini içerir [11]. Hastanelerdeki lojistik faaliyetler satın alma, teslim alma, envanter yönetimi, yönetim bilgi sistemleri, yemek hizmetleri, ulaşım ve evde bakım hizmetlerini içerir [12].

Sağlık hizmetleri tedarik zinciri üyeleri, üreticileri ve dağıtıcıları için sağlık sektörü lojistik hizmet maliyetlerinin payı, geri kalan yıllık işletme maliyetlerinin üçte birinden fazlasını oluşturmaktadır [3]. Tıbbi malzeme ihtiyaçları lojistik giderlerin yaklaşık yarısına karşılık gelmektedir [13]. Bu maliyetlerin ana sebebi, tıbbi malzemelerin bakımının kritik öneme sahip olması ve ihtiyaç duyulan malzemelerde kıtlığı önlemek için, tıbbi malzeme stoku yapmayı tercih eden tüm tedarik zinciri paydaşlarının davranışlarından kaynaklanmaktadır. Bu davranış hem maliyetlerde hem de kayıp potansiyelinde artışa sebep olabilmektedir [14].

Kamu sektörü için performans kullanıcılar, tüketiciler, vatandaşlar, finansörler, çalışanlar ve diğer kuruluşlar dâhil olmak üzere farklı paydaşların beklentilerini karşılama yeteneğini ifade eder [15]. Günümüzde sağlık bakım harcamaları yükselirken kâr oranları sürekli

düşmektedir. Bu eğilim sağlık kurumlarında görev alan yöneticileri süreç odaklı düşünmeye ve örgütsel performansı artırmaya zorlamaktadır [16].

Sağlık hizmeti sağlayıcıları toplam maliyetin yaklaşık %40'ını malzeme ve tıbbi cihaz tedarik etmek, yönetmek ve dağıtmak için harcamaktadır [17]. Bu sebeple hastane yöneticileri ve karar verme sürecinde yer alan diğer yöneticiler, tedarik zinciri süreçlerinin iyileştirilebilmesine daha fazla önem vermektedir [18].

Diğer işletmeler gibi, hastanelerin performansının ölçülmesi de kuruluşların mevcut uygulamaları hakkında bilgi sahibi olmasına yardımcı olur. Tüm sağlık hizmeti performans ölçüm araçlarının birincil amacı, sağlanan bakımın kalitesi de dâhil olmak üzere kurumsal performansın etkinliğini artırmak olmalıdır [19].

Hastaneler açısından envanter yönetimi söz konusu olduğunda bazı araştırmacılar performans göstergelerini 4 ana başlık altında değerlendirmektedirler [20]. Bu başlıklar kalite [1], [8], zaman [8], finans [8], ve verimlilik [8], [21], şeklinde sıralanmaktadır. Uygulamada, tedarik zinciri performans önlemleri yeterince geliştirildikten sonra, yöneticiler iyileştirilmesi gereken kritik anahtar performans göstergelerini (KPI) tanımlamak zorundadır [22].

Kamu sektörü için performans, kullanıcılar ve tüketiciler, vatandaşlar ve finansörler, çalışanlar ve diğer kuruluşlar dâhil olmak üzere farklı paydaşların beklentilerini karşılama yeteneğini ifade eder [15]. Her işletme için tedarikçilerinden kısa sürede ürün teslim alması kendi avantajıdır. Daha da önemlisi, güvenilir ürün teslimatı lojistik kalitesi için kritik öneme sahiptir

[23]. Faaliyetlerin performansının ölçülmesi, kuruluşların kendilerini değerlendirmelerini, kontrol etmelerini, bütçelemelerini, motive etmelerini, teşvik etmelerini, ödüllendirmelerini, öğrenmelerini ve kendilerini geliştirmelerini sağlar [24]. Günümüzde sağlık sektörüne yapılan harcamalar yükselirken kâr oranları ise sürekli düşüş eğilimindedir. Bu eğilim sağlık kurumu yöneticilerinin sürece yönelik düşünmeye ve örgütün toplam performansını artırmaya teşvik etmektedir. Sağlık kuruluşunun rekabet ortamında avantaj sağlayabilmesi için, tedarik zinciri penceresinden bir bakış açısı geliştirmesi gerekmektedir [16]. Diğer işletmeler gibi, hastanelerin performansının ölçülmesi de kuruluşların mevcut uygulamaları hakkında bilgi sahibi olmasına yardımcı olur. Tüm sağlık hizmeti performans ölçüm araçlarının birincil amacı, sağlanan bakımın kalitesi de dâhil olmak üzere kurumsal performansın etkinliğini artırmak olmalıdır [19]. Bir tedarik zincirinin performansının izlenmesi ve iyileştirilmesi giderek daha karmaşık bir iş haline gelmiştir. Karmaşık bir performans yönetim sistemi, önlemleri tanımlama, hedefleri tanımlama, planlama, iletişim, takip, raporlama ve dönüt gibi birçok yönetim sürecini içerir [22].

Sağlık hizmetinin performans ölçümü ve performans zekâsı olarak kullanımı, sağlık sistemi aktörlerinin vermekte olduğu hizmetin kalitesine ilişkin kararlarına rehberlik etmede önemli bir rol oynamaktadır. 2000'li yılların başından itibaren, sağlık hizmetlerinde performans ölçümünün önemi, sağlık sistemleri içinde ve genelinde standart uygulama olarak kurumsallaşmaya ve günümüzde sağlık sistemi aktörleri tarafından profesyonel olarak

uygulanmaya başlanmıştır. Bu durum, KPI'ların seçilmesi, gösterge setlerinin geliştirilmesi ve bu süreçlere rehberlik edecek yöntemler, araçlar ve yaklaşımlar için kriterlerin oluşturulmasında bilimsel yöntemlere başvurulması sıklığını arttırmıştır [25].

Hastanelerin kullanımına uygun KPI'ları belirlemeye yönelik bir ölçeklendirme yapılmadığı dikkati çekmektedir. Bu amaçla hastane tedarik zinciri yönetiminde anahtar performans göstergesi belirlenmesine yönelik aşağıdaki araştırma planlanmıştır.

Özgün olarak planlanıp uygulanan bu çalışma, hastane tedarik zinciri yönetiminde anahtar performans göstergelerinin belirlenmesine yönelik bir ölçme aracının geliştirilebilmesi için metodolojik olarak planlanmış ve uygulanmıştır. Çalışmanın ne şekilde yürütüldüğü aşağıda açıklanmıştır.

2. UYGULAMA (METOD)

Bu çalışma hastane tedarik zinciri yönetiminde anahtar performans göstergelerinin belirlenmesine yönelik bir ölçme aracının geliştirilebilmesi için planlanmış metodolojik bir çalışmadır.

Bu kapsamda, öncelikle uygulanacak ölçeğe ait kapsam belirlenerek, bu kapsam çerçevesinde taslak ölçek ifadeleri geliştirilmiştir. Söz konusu taslak ölçeğin geliştirilmesi literatür araştırması ve yapılan yüz yüze görüşmeler ışığında elde edilen geri dönüşlerin harmanlanması ile oluşturulmuştur.

Ölçek materyalleri hazırlandıktan sonra, ölçek yönergesi ve cevaplama düzeni hazırlanmış ve kapsam/içerik geçerliliğinin belirlenebilmesi için

tedarik ve lojistik yönetimi üzerine çalışan veya konu ile ilgili akademik bilgiye sahip olan akademisyenlere uygulanıp uzman görüşleri alınarak soruların kapsam/içerik geçerlilikleri belirlenmiştir.

2.1 Kapsam Geçerliliği

Lawshe tarafından geliştirilen teknik ile kapsam geçerliliği değerlendirilmiştir. Lawshe tekniğinde en az 5 en fazla ise 40 uzman görüşüne ihtiyaç bulunmaktadır [26]. Buradan yola çıkarak, hazırlanan ölçeğin kapsam/içerik geçerliliğinin belirlenmesi aşamasında çeşitli üniversitelerde görev yapan 16 akademisyenin görüşüne “Google Forms” aracılığı ile başvurulmuştur. İlk etapta belirlenen ve 52 maddeden oluşan aday ölçek formu akademisyenlerce değerlendirilmiştir.

Kapsam Geçerlilik Oranları (KGO) negatif ya da 0 olan maddeler ilk etapta elenmiştir. Madde 3, 4, 10, 25-30 ve 43’e ait KGO’lar negatif olduğu için 24. madde için ise “0” olduğu için madde havuzundan çıkartılmıştır. KGO değerleri pozitif olan maddeler için 5, 6, 17, 18, 33 ve 47. Maddelerine ait KGO değerleri $\alpha=0,05$ anlamlılık düzeyinde minimum değerler olan 0,49’dan küçük ama sıfırdan büyük olduğu için tekrar değerlendirilmiştir. Bu altı maddenin metinlerinde değişiklik yapılarak bir defa daha uzman görüşüne başvurulmuştur. Değerlendirme sonucunda 6, 17, 18 ve 47.’inci maddeler ölçekten çıkarılmıştır. Bundan sonraki aşamada madde havuzunda kalan 37 madde ile madde analizi yapılmıştır.

2.2 Madde Analizi

Kapsam geçerliliği değerlendirmesi yapılmasının ardından, ölçekteki maddelerin ayırt edicilik

özelliklerini belirlemek için madde analizi yapılmıştır. Bu aşamada 5’li Likert tipi derecelendirme kullanılmıştır. Sağlık çalışanları ölçekte yer alan ifadeler (1: Hiç katılmıyorum 2: Katılmıyorum 3: Kararsızım 4: Katılıyorum 5: Kesinlikle katılıyorum) için kendilerine en uygun olanı seçmiştir.

Ölçek ilk etapta değişik statülerde yer alan 25 sağlık çalışanına ön uygulama yapılmış ve elde edilen veriler ile her maddenin ölçme gücünü belirlemek için Likert tarafından madde analizi yöntemlerinden Korelasyona Dayalı Madde Analizi kullanılmıştır [27]. Eski madde numaraları 5, 9, 11, 12, 14, 15, 33, 34 ve 48 olan (yeni madde numaraları ile 3, 6, 7, 8, 10, 11, 20, 21 ve 32’nci) maddelerin Düzeltilmiş Madde-Toplam Korelasyonu negatif ve 0,20’den küçük olduğu için kapsam dışı kalmış ve nihai ölçek 28 maddeden oluşmuştur.

Örneklem sayısına karar vermek için literatürde belirtilen ölçekte yer alan madde başına en az 10 katılımcı kriteri kullanılmış buna göre 28 madde için en az $28 \times 10 = 280$ kişi hedeflenmiş ve 295 kişiye ulaşılmıştır [28].

2.3 Verilerin Değerlendirilmesi

Sürekli veriler için ortalama $\pm$ standart sapma, kategorik veriler için sıklık ve yüzde tanımlayıcı istatistik olarak kullanılmıştır. Sürekli verilerin normal dağılıma uygunluğu Kolmogorov-Smirnov testi ile kontrol edilmiştir.

“Hastane Tedarik Zinciri Yönetiminde Anahtar Performans Göstergesi Belirlenmesi Ölçeği”ne ait 28 maddenin ayırt edicilik ve ölçmek istenilen özelliği ölçme gücü Likert tarafından önerilen korelasyona dayalı madde analizi ile belirlenmiştir.

Ölçeğe ait psikometrik özellikler geçerlik ve güvenirlik analizleri ile değerlendirilmiştir. Ölçeğin faktör yapısı modelinin yapısal geçerliği Temel Bileşenler Analizi (TBA) ve Doğrulamalı Faktör Analizi (DFA) ile sınanmıştır. Veri setinin örneklem yeterliği değerlendirmesi Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) ve Bartlett Küresellik Testi kullanılarak yapılmıştır. Lorenzo-Seva tarafından geliştirilen Promin Eğik Döndürme Yöntemi faktör döndürmek için tercih edilmiştir [29]. Faktör sayısına Jolliffe Kuralı ve Yamaç Birikinti Grafiği kullanılarak karar verilmiştir.

Parametre tahmin yöntemi olarak En Çok Olabilirlik (EÇO) kullanılarak birincil seviye DFA uygulanmıştır. Model veri uyumunun varlığı ilk olarak faktör yüklenim değerlerinin ve ki-kare değerinin (χ^2) istatistiksel anlamlılığı ile değerlendirilmiştir. İkinci aşamada Normlaştırılmış ki-kare (χ^2/ss) değeri ile karşılaştırmalı uyum indeksi (Comparative Fit Index, CFI), Tucker-Lewis İndeksi (TLI), Artışlı uyum indeksi (Incremental Fit Index, IFI), Yaklaşık Hataların Ortalama Karekökü (Root Mean Square Error of Approximation, RMSEA) ve Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (Root Mean Square Residuals, RMR) gibi uyum iyiliği indeks değerlerinin literatürde belirtilen kesim noktalarına göre kıyaslanmasıyla iyi uyumun varlığı araştırılmıştır.

Ölçeğin güvenirliği, Cronbach alfa (α) iç tutarlılık katsayısı, Maksimum Alfa Katsayısı (Armor'ın Tetası θ) ve McDonald alfa (ω) güvenirlik katsayıları ile değerlendirilmiştir.

Verilerin değerlendirilmesi için IBM SPSS Statistics v.26 paket programı kullanılmıştır. TBA, FACTOR 11.05.01 paket programı ile DFA ise AMOS 21.0 paket programı ile

yapılmıştır. İstatistiksel kararlar 0,05 anlamlılık seviyesine göre verilmiştir.

3. BULGULAR (FINDING)

Çalışmaya dâhil olan 295 hastane çalışanının %55,6'sını (n=164) erkekler oluşturmaktadır. Katılımcıların yaş ortalaması 39,34±8,51 yıl, mesleklerinde geçirdikleri yıl ortalaması ise 14,06±9,17'dir. Anketin uygulandığı kişilerin çoğunun doktora (%40) mezunu olup çoğunluğunun doktor olduğu (%54,2) görülmüştür (Tablo 1).

Tablo 1: Sosyo-Demografik Özelliklere Ait Tanımlayıcı İstatistikler.

Özellikler		
N=295		Ortalama ± SS (Min-Maks)
Yaş (yıl) (Ortalama ± SS)		39,34±8,51 (22-57)
Meslek Yılı (Ortalama ± SS)		14,06±9,17 (1-35)
N(%)		
Cinsiyet	Erkek	164(%55,6)
	Kadın	131(%44,4)
Eğitim durumu	Lise	4(%1,4)
	Ön Lisans	14(%4,7)
	Lisans	89(%30,2)
	Yüksek Lisans	70(%23,7)
	Doktora	118(%40)
Çalışma durumu	Doktor	160(%54,2)
	İdari Personel	25(%8,5)
	Hemşire	63(%21,4)
	Satınalma Personeli	11(%3,7)
	Tekniker	18(%6,1)
	Eczacı	5(%1,7)
	Sağlık Memuru	6(%2,0)
	Diğer	7(%2,4)

3.1 Madde Analizi Sonuçları

295 katılımcıya uygulanan “Hastane Tedarik Zinciri Yönetiminde Anahtar Performans Göstergesi Belirlenmesi Ölçeği”nden elde edilen veriler ile 28 madde için madde analizi yapılmıştır. 25 kişilik ön çalışma verileri analize dâhil edilmemiştir. Tablo 2’de madde analizi sonuçları sunulmuştur.

Tablo 2: Madde Analizi Sonuçları.

	Ölçek maddeleri	Madde silindiğinde ölçek puan ortalamaları	Madde silindiğinde ölçek varyansı	Düzeltilmiş madde toplam puan korelasyonu	Madde silindiğinde ölçek Cronbach alfa
N=295	Madde 1	127,14	164,531	,656	,968
	Madde 2	127,21	163,767	,634	,968
	Madde 3	126,99	165,738	,846	,967
	Madde 4	127,04	164,948	,795	,967
	Madde 5	126,97	166,383	,784	,968
	Madde 6	127,23	164,634	,631	,968
	Madde 7	127,07	164,404	,793	,967
	Madde 8	127,01	164,561	,837	,967
	Madde 9	127,04	164,716	,845	,967
	Madde 10	127,12	164,068	,759	,967
Madde sayısı = 28	Madde 11	126,98	165,591	,859	,967
	Madde 12	127,89	165,535	,348	,973
	Madde 13	127,04	164,682	,799	,967
	Madde 14	127,02	164,350	,856	,967
Cronbach alfa = 0,969	Madde 15	127,01	164,197	,841	,967
	Madde 16	126,99	165,391	,838	,967
	Madde 17	127,14	163,449	,709	,968
	Madde 18	126,98	164,976	,856	,967
Ort±SS= 131,84± 13,29	Madde 19	127,23	163,928	,696	,968
	Madde 20	127,33	163,181	,686	,968
	Madde 21	127,13	163,897	,784	,967
	Madde 22	127,25	162,896	,712	,968
	Madde 23	127,34	162,986	,661	,968
	Madde 24	127,18	164,359	,666	,968
	Madde 25	127,07	165,206	,746	,968
	Madde 26	127,14	164,299	,740	,968
	Madde 27	127,06	165,173	,787	,967
	Madde 28	127,09	164,475	,784	,967

3.2 Ölçeğin Psikometrik Özellikleri

Ölçeklerin psikometrik özelliklerini ölçmek için kullanılan iki bileşen geçerlik ve güvenirlik analizleridir. Bundan sonraki aşamada “Hastane Tedarik Zinciri Yönetiminde Anahtar Performans Göstergesi Belirlenmesi Ölçeği”ne ait yapısal geçerlilik Temel Bileşenler Analizi ve Doğrulamalı Faktör Analizi ile değerlendirilecektir. Ölçeğin güvenirliğini belirlemek için Cronbach alfa (α) İç tutarlılık katsayısı, Maksimum Alfa Katsayısı (Armor’ın Tetası θ) ve McDonald alfa (ω) güvenirlik katsayıları kullanılacaktır.

3.3 Temel Bileşenler Analizi Sonuçları

Osborne ve Costello, ölçek geliştirilirken en çok tercih edilen yapı geçerliği değerlendirme yöntemlerinin başında Temel Bileşenler Analizi (TBA)’nin geldiğini belirtmiştir [30]. “Hastane Tedarik Zinciri Yönetiminde Anahtar Performans Göstergesi Belirlenmesi Ölçeği”nin boyut yapısı ve kaç alt boyuttan oluşacağı TBA ile değerlendirilmiştir.

Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) ve Bartlett küresellik testi ile veri setinin faktör analizine uygunluğuna bakılmıştır [28].

Analiz sonucunda elde edilen 0,964 değeri Kaiser tarafından önerilen kesim noktalarından biri olan 0,90’u geçtiği için örneklemin faktörlenebilirlik yeterliği “çok iyi” düzeyde olduğu söylenilebilir [31].

Bartlett Küresellik Testi sonucunda ($\chi^2=3267,80$, $df=378$, $p<0,001$) değişkenler arasında anlamlı korelasyonların varlığı ve korelasyon matrisinin birim matrsten anlamlı derecede farklı olduğu istatistiksel olarak ortaya konmuştur [32].

KMO ve Bartlett Küresellik Testi sonuçlarına göre veri seti TBA’yı uygulamak için uygundur [33].

Lorenzo-Seva tarafından geliştirilen Promin Eğik Döndürme yöntemi kullanılarak yapılan Temel Bileşenler Analizi sonucunda 28 maddelik “Hastane Tedarik Zinciri Yönetiminde Anahtar Performans Göstergesi Belirlenmesi Ölçeği” için 4 boyuttan oluşan bir yapı elde edilmiştir. Birinci boyut 2 maddeden oluşmakta (Madde1-2) faktör yükleri (0,897-0,937), ikinci boyut 15 maddeden oluşmakta (3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 21), faktör yükleri (0,550-0,945), üçüncü boyut 4 maddeden oluşmakta (12,20,22,23)

faktör yükleri (0,517-0,968) aralığında ve dördüncü boyut ise 7 maddeden oluşmakta (6,19,24,25,26,27,28) faktör yükleri (0,687-0,914) aralığında yer almaktadır.

Elde edilen faktör yükleri Comrey ve Lee tarafından önerilen sınıflandırmaya göre değerlendirildiğinde; birinci boyuta ait faktör yükleri (0,897-0,937) mükemmel, ikinci boyuta ait yükler (0,550-0,945) iyi ve mükemmel, üçüncü boyuta ait yükler (0,517-0,968) orta ve mükemmel ve dördüncü boyuta ait yükler ise (0,687-0,914) çok iyi ve mükemmel olarak nitelendirilebilir [34].

TBA'dan yorumu kolay ve teorik yapıya uygun modellere ulaşabilmek için Thurstone tarafından önerilen basit yapının (simple structure) elde edilmesi gereklidir [35]. Basit yapıya (simple structure) uygun olup olmadığı Bentler tarafından önerilen Bentler Sadelik (Simplicity) [36] istatistiği ile değerlendirilmiş ve indeks değeri 0,978 olarak bulunmuştur. Bu sonuca göre yorumlanabilir basit bir yapıya ulaşıldığı görülmüştür. Söz konusu sonuçlar Tablo 3'de sunulmuştur.

Tablo 3: Temel Bileşenler Analizi Sonuçları

Faktörler	Özdeğer	Varyans (%)	Kümülatif Varyans (%)
Hastane İçi Süreçler (3,4,5,7,8,9,10,11,13, 14,15,16,17,18,21)	16,88	60,31	60,31
Hasta Memnuniyeti (12,20,22,23)	1,45	5,21	65,52
Malzeme (1-2)	1,10	3,94	69,47
Lojistik Süreçler (6,19,24,25,26,27,28)	0,88	3,14	72,61

Temel bileşenler çözümlemesi sonucunda boyut sayısını belirlemek için Cattell tarafından geliştirilen Yamaç Birikinti Grafiği yöntemi

(ScreePlot) ve Jolliffe tarafından önerilen yöntem kullanılmıştır. Jolliffe tarafından önerilen öz değerin 0,70 sınır değerinden büyük faktörlerin önemli faktörler olduğu kuralına ve Yamaç Birikinti Grafiğine göre ölçeğimiz için 4 faktörlü yapıya karar verilmiştir [37]. Tablo 3'de görüldüğü gibi, 4 boyutun öz değeri ve açıklayıcı varyans oranları sırasıyla 16,88 (%60,31), 1,45 (%5,21), 1,10 (%3,94) ve 0,88 (%3,14) şeklindedir. Bu faktör modelinin açıkladığı varyans oranı toplam %72,61'dir.

3.4 Doğrulayıcı Faktör Analizi Sonuçları

Yapısal geçerlik çalışmasının ikinci aşamasında TBA ile elde edilen faktör yapısının veri setine uyumunun sorgulandığı Doğrulayıcı Faktör Analizi (DFA) uygulanmıştır. DFA, veri setinden ve modelden elde edilen kovaryans matrisinin uyumlarının varlığının sorgulandığı hipotezi test eder.

“Hastane Tedarik Zinciri Yönetiminde Anahtar Performans Göstergesi Belirlenmesi Ölçeği” ne ait 4 boyutlu ölçüm modelinin yapısal geçerliği En Çok Olabilirlik (EÇO) parametre tahmin metodu ile değerlendirilmiştir [38]. Ölçeğe ait 4 boyutlu birincil düzey DFA ölçüm modeli görülmektedir. AMOS paket programı ile yapılan analiz sonucunda elde edilen Modifikasyon (model iyileştirme) indekslerinin önerdiği beş adet düzeltme yapılmıştır. Model iyileştirme indeksleri incelendiğinde bazı ölçek maddelerine ait hata terimlerinin ilişkilendirilmesinin model veri seti uyumunu arttıracaklarını göstermektedir [39]. Hastane içi süreçler alt boyutunda Soru 2-9, Soru 2-13, Soru 9-13 ve Soru 6-10 hata terimleri ilişkilendirilmiştir. Lojistik süreçler alt boyutunda ise Soru 24-26 hata terimleri

ilişkilendirilmiştir. Düzeltilmiş modelin veriye uyumu DFA sonuçları göz önünde bulundurularak dört aşamada değerlendirilmiştir [40]. İlk olarak, ölçek sorularının 4 faktör altındaki faktör yüklenim tahminlerinin, gücüne, yönüne ve istatistiksel anlamlılığına bakılmıştır. Geriye kalan üç aşamada ise faktör modelinin toplanmış verilerin uygunluğuna dair değerlendirme ölçütleri olan uyum iyiliği indeksleri değerlendirilmiştir [39].

DFA sonucunda elde edilen Modifikasyon (model iyileştirme) indekslerinin önerdiği beş adet düzeltme yapılmıştır. Model iyileştirme indeksleri incelenmiş, hastane içi süreçler alt boyutunda Madde 2 – Madde 9, Madde 2 – Madde 13, Madde 9 – Madde 13 ve Madde 6 – Madde 10 hata terimleri, lojistik süreçler alt boyutunda ise Madde 24 – Madde 26 hata terimleri ilişkilendirilmiştir. Düzeltilmiş Modelin veriye uyumu parametre tahmin değerlerinin istatistiksel anlamlılığı ve uyum iyiliği indeksleri ile değerlendirilmiştir [40].

İlk olarak, ölçek maddelerinin faktör yüklenim tahminlerinin, gücüne, yönüne ve istatistiksel anlamlılığına bakılmıştır. Standart faktör yükleri 0,712 - 0,912 aralığında yer alan Hastane İçi Süreçler alt boyutunu oluşturan 15 maddenin, Standart faktör yükleri 0,624 - 0,873 aralığında bulunan 7 maddelik Lojistik Süreçler boyutunun, Standart faktör yükleri 0,496-0,859 aralığında yer alan 4 maddelik Hasta Memnuniyeti alt boyutunun ve Standart faktör yükleri 0,864 - 0,897 aralığında bulunan Malzeme alt boyutunu oluşturan 2 maddenin standart olmayan faktör yüklerinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu ($p<0,001$) görülmüştür.

Ölçeğe ait maddelerin 4 faktör altındaki faktör yüklenimlerinin 0,05 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olması, söz konusu modelin doğru ya da kabul edilebilir bir model olarak kabul edilebilmesi için gerekli ancak yeterli değildir. Bu yüzden ikinci adımda 4 boyutlu yapının kabul edilebilir bir yapı olup olmadığını değerlendirmek için uyum iyiliği istatistikleri kullanılmıştır.

Gerbing ve Anderson araştırmacının amacına uygun farklı uyum indekslerini rapor edilebileceğini ifade etmiştir [41]. Normlaştırılmış ki-kare (χ^2/ss) değerinin rapor edilmesi konusunda literatürde görüş birliği olmasına karşılık diğer uyum indeks ölçütlerinden hangilerinin rapor edilebileceği hakkında farklı araştırmacılar tarafından değişik öneriler getirilmiştir [42]. Çalışmada, Garver ve Mentzer (RMSEA, CFI ve NNFI (TLI)) ve Brown (RMSEA, SRMR, CFI ve NNFI (TLI)) tarafından önerilen uyum indeksleri rapor edilmiştir [43].

Model veri uyumu Uyum İyiliği İndeks Değerleri ve standart uyum kriterlerine göre kontrol edilmiştir. Model ki-kare değeri ($\chi^2(339)=967,251$, $p<0,001$) istatistiksel olarak anlamlı çıktığı için model veri uyumunu gösteren sıfır hipotezi (H_0) reddedilmiştir. Normlaştırılmış ki-kare/serbestlik (χ^2/ss) değeri incelenmiş $0 \leq 2,853 \leq 3$ aralığında yer aldığı için model ve veri uyumunun iyi olduğunu göstermiştir [39]. Tucker-Lewis (TLI/RHO), Karşılaştırmalı uyum (CFI), Artışlı uyum indeksleri (Incremental Fit Index, IFI) ve Yaklaşık Hataların Ortalama Karekökü (Root Mean Square Error of Approximation, RMSEA) kabul edilebilir uyumu, Hata Kareler

Ortalamasının Karekökü (Root Mean Square Residuals, RMR) indeksi ise iyi uyumu göstermiştir.

Faktör yüklerinin istatistiksel anlamlılığı ve uyum iyiliği indekslerinin gösterdiği kabul edilebilir ve iyi uyum düzeyleri “Hastane Tedarik Zinciri Yönetiminde Anahtar Performans Göstergesi Belirlenmesi Ölçeği”nin 4 boyuttan oluşan faktör modelinin yapısal geçerliliğini desteklemiştir.

3.5 Ölçek Güvenilirliği

Güvenirlik, ölçüm araçlarının yaptığı ölçümlerin hatasızlığını ifade eden bir kavramdır. Ölçek güvenilirliğinin değerlendirildiği çalışmalarda en çok tercih edilen güvenilirlik katsayısı Cronbach alfa'dır. Ölçek maddelerinin homojenliğinin (iç tutarlılığının) ölçüsüdür. Cronbach alfa güvenilirlik tahmininde kullanılan tek ölçüt değildir. Çoğu koşulda yeterli ve uygun sonuçlar üretememektedir [44], [45].

Ölçeklerin tek boyutluluktan uzaklaşması durumunda Cronbach alfa gerçek güvenirliliğin altında değer ürettiği için Güvenirlik boyutuna faktör analizi perspektifinden bakan Maksimum Alfa (Armor'ın Tetası θ) ve McDonald'ın (ω) alfa katsayısı güvenilirlik çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır.

Tablo 4'de ölçeği oluşturan 4 boyutlu yapının ortalama, standart sapma ve güvenilirlik değerleri görülmektedir. Ölçeğe ait Cronbach alfa iç tutarlılık katsayıları sırasıyla şu şekilde

bulunmuştur; Malzeme boyutu için 0,871, Hastane İçi Süreçler 0,972, Hasta Memnuniyeti 0,783 ve Lojistik Süreçler 0,902'dir. Ölçek toplamı Cronbach alfa katsayısı 0,969'dur. Temel bileşenler analizi (TBA) sonucunda elde edilen en yüksek özdeğer kullanılarak elde edilen Maksimum Alfa Katsayısı 0,976 olarak bulunmuştur. 4 boyut ve ölçek toplamına ait McDonald'ın alfa katsayıları sırasıyla; Malzeme boyutu için 0,873, Hastane İçi Süreçler 0,974, Hasta Memnuniyeti 0,819 ve Lojistik Süreçler 0,909'dur. Ölçek toplamı için ise 0,976 olarak bulunmuştur. Cronbach Alfa iç tutarlılık katsayısı ve McDonald'ın alfa katsayı Nunnally ve Bernstein tarafından belirtilen 0,70 kesim noktasından yüksek bulunduğu için ölçekten elde edilen ölçümlerin güvenilir olduğu görülmüştür. Sonuçlar Tablo 5'de sunulmuştur.

Tablo 4: Temel Bileşenler Analizi Sonuçları

Boyutlar	Maddeler	Ort ± SS	Cronbach Alfa	McDonald'ın (ω) alfa katsayısı
Malzeme	1,2	9,32 ± 1,37	0,871	0,873
Hastane İçi Süreçler	3,4,5,7, 8,9,10, 11,13,14, 15,16,17, 18,21	72,07± 7,15	0,972	0,974
Hasta Memnuniyeti	12,20, 22,23	17,5± 2,66	0,783	0,819
Lojistik Süreçler	6,19,24, 25,26, 27,28	32,88 ± 3,55	0,902	0,909
Toplam		131,84 ± 13,29	0,969	0,976

Tablo 5: Ölçek Maddeleri ve Alt Ölçek İsimleri ile Faktör Yükleri ve Ortalama± Standart Sapmalar.

	Faktör Yükleri	Ortalama ± SS
Malzeme		
1. Tedavide kaliteli sarf malzeme (sargı bezi, şırınga, bisturi vb.) kullanılmalıdır.	0.937	4,70 ± 0,69
2. Tedavide kaliteli demirbaş malzeme (hasta yatağı, tekerlekli sandalye vb.) kullanılmalıdır.	0.897	4,63 ± 0,76
Hastane İçi Süreçler		
3. Depoda bulunan malzemelerin cins, miktar, son kullanma tarihi gibi özelliklerinin doğru bilinmesi gerekir.	0.685	4,85 ± 0,49
4. İhtiyaç duyulan malzemelerin kritikliğine göre tasnif edilerek ihtiyaç duyulan vere gönderilmesi önemlidir.	0.557	4,80 ± 0,56
5. Doğru malzemenin teslim edilmesi önemlidir.	0.945	4,87 ± 0,50
7. Tedavi sürecinde malzemeler en verimli şekilde kullanılmalıdır.	0.774	4,77 ± 0,59
8. İnsan gücünün doğru planlanarak kullanılması verimi artırır.	0.958	4,83 ± 0,55
9. Hataları önlemek için malzemeler doğru şekilde adlandırılmalıdır.	0.765	4,80 ± 0,54
10. Hastaya kullanılan protezlerde bir sorun olduğunda, bu sorunu giderebilmek için protez hakkındaki bilgilere ulaşılabilme gerekir.	0.550	4,73 ± 0,63
11. Çalışanların yaptıkları işe uygun eğitimi alması gerekir.	0.892	4,86 ± 0,49
13. Çalışan için rahat bir çalışma ortamının sağlanması önemlidir.	0.622	4,80 ± 0,57
14. Genel olarak ortamın temizliği önemlidir.	0.804	4,82 ± 0,55
15. Hastalar tarafından kullanılan ortak alanların (tuvalet, kafeterya, bekleme salonu vb.) temizliği önemlidir.	0.726	4,83 ± 0,57
16. Hasta kaybına neden olabilecek hastane enfeksiyonu ile etkili bir mücadele yapmak gereklidir.	0.941	4,85 ± 0,51
17. Çalışan işine ve hastaya gerektiği kadar ilgi göstermelidir.	0.545	4,70 ± 0,70
18. Hasta doğru tedaviyi almalıdır.	0.888	4,86 ± 0,52
21. Hastaya, hastalıkla ilgili doğru bilgi verilmelidir.	0.617	4,71 ± 0,62
Hasta Memnuniyeti		
12. Çalışanlar, hasta memnuniyetine öncelik vermemelidir.	0.968	3,95 ± 1,11
20. Hastalıkla ilgili şikâyetlerin giderilmesi gerekir.	0.517	4,51 ± 0,74
22. Çalışanların hasta haklarını bilmesi ve ona uygun davranması gerekir.	0.684	4,59 ± 0,73
23. Çalışanlar hastanın içinde bulunduğu duygusal ve fiziksel koşulların bilincinde olmalıdır.	0.772	4,51 ± 0,78
Lojistik Süreçler		
6. Yetersiz kalınan durumlarda diğer birimlerden destek (personel, malzeme, bilgi vb.) alınmalıdır.	0.339	4,61 ± 0,71
19. Tetkik ve tedavi süreci en kısa sürede tamamlanmalıdır.	0.404	4,61 ± 0,69
24. Hastaneye ulaşabilmek için birden fazla araç seçeneği (otobüs, dolmuş, metro vb.) olmalıdır.	0.914	4,66 ± 0,69
25. Hastane içi birimler arasında ulaşımı kolaylaştıran imkânlar olmalıdır. (Personele özel asansör, malzeme taşıma aracı, hasta taşıma aracı vb.)	0.832	4,77 ± 0,58
26. Kullanılan çalışma sisteminin değişen şartlara göre yeniden düzenlenmesi gerekir.	0.844	4,70 ± 0,63
27. Hastane ortamının hem çalışan hem de hasta açısından konforlu (ısıtma, aydınlatma, havalandırma, oda hacmi vb.) olmalıdır.	0.803	4,78 ± 0,55
28. Sağlık sektöründeki gelişmelere hızlı uyum sağlamak gerekir.	0.687	4,75 ± 0,59

4. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Sağlık tedarik zinciri yönetimindeki en büyük zorluklardan biri, kaliteyi ve zamanında hasta bakımını sürdürmek için maliyetleri doğru miktarda envanterle dengelemektir. Hastane karar vericileri, maliyetler, hizmet seviyeleri, depolama alanı, ürün mevcudiyeti, ürün son kullanma tarihleri gibi birçok unsuru hem merkezi depodaki hem de bakım noktalarındaki (örn. ameliyathaneler, servisler, vb.) stok seviyelerini her zaman kontrol etmeleri gerekmektedir. Moons ve diğ., bir hastanede, stokların tükenmesinin sonucunun, tipik olarak gelir kaybına yol açacağı diğer sektörlere kıyasla, çok daha şiddetli olduğunu belirtmişlerdir [46].

Kritchanchai ve diğ. göre envanter takip edilebilirliğinin görünürlük, değerlendirme, fiili ve öngörülen durumu izleme süreçlerini kapsamaktadır. İhtiyaç duyulan malzemeler depolandıktan sonra, söz konusu izleme süreçleri kapsamında uygun envanter yönetimi faaliyetlerine ihtiyaç vardır [47]. Moons ve diğ., tarafından envanter yönetimi ve dağıtım sistemleri için dahili hastane tedarik zinciri performans ölçüm sistemleri dört hedefe göre kategorize edilmiş bir dizi performans göstergesi kapsamında tanımlanmaktadır. Bu göstergeler: kalite, zaman, mali ve üretkenlik/organizasyon şeklinde sıralanmıştır [46]. El Mokrini ve diğ., ise tedarik zinciri için önemli olan kriterleri tepkisellik ve maliyet ana başlıkları altında birleştirmiştir [2]. Stok yönetiminin etkin bir şekilde yapılması, hastaların malzeme kaynaklı nedenler ile tedavi süreçlerinin uzaması riskini ortadan kaldıracaktır. Kaliteli malzemenin kullanılması ise doğrudan iyileşme sürecine etki

edecektir. Zincirin performansının artması tedavi sürelerinin kısılmasını sağlayacağından, daha fazla hastaya hizmet verilmesinin önü açılacaktır.

Tedarik zinciri yönetiminde, zincirin performansının ölçülebilmesi kritik derecede önemlidir. Tarafımızca geliştirilen ölçeğin sağlık hizmeti sunan kuruluşlarda, birimler arasında (iç tedarik zinciri) ortaya çıkabilecek malzeme (tıbbi malzemeler, temizlik malzemeleri gibi) ve hizmet ihtiyaçlarının (teknik ve yazılım desteği, personel desteği gibi) karşılanabilme başarısını ölçmekte başarılı, geçerli ve güvenilir bir ölçüm aracı olduğu görülmüştür. Dolayısıyla bu ölçeğin sağlık hizmeti sunan kuruluşların iç tedarik zincirinde, birimler arasında koordinasyonun sağlanmasında ve zincirin performansını arttırılmasında faydalı olabileceği değerlendirilmektedir. Ayrıca ölçeğin, sağlık sektöründe iç tedarik zincirinin performansının değerlendirilmesinde ölçüm aracı olarak kullanılabileceği ve literatürdeki eksikliği de giderebileceği kıymetlendirilmektedir.

Yukarıda belirtilen çalışmanın gerçekleştirilmesi; zincirin birer halkası pozisyonunda bulunan sağlık çalışanları, yöneticiler ve sürece destek veren diğer tüm aktörlerin bilinç düzeylerinin arttırılmasına katkı sağlayacak, ayrıca çalışanlar, sisteme farklı bir pencereden bakarak ölçeğin literatüre sağlayacağı katkı ışığında iç tedarik zinciri performansı geliştirecek kararlar alabilecektir.

Hasta veya paydaş memnuniyetini artırmak ve maliyetleri düşürmek için hastane tedarik zinciri yönetiminin paydaşlarıyla işbirliği yapılması esastır. Bu kapsamda hastaneler, hizmet kalitesinin artırılması için dâhili hastane tedarik zinciri yönetimine ve giderleri azaltmak için

harici tedarik zinciri yönetimine öncelik vermelidir. Gelecekte yapılması muhtemel çalışmalarda, bu makalenin konusu ölçekten elde edilen sonuçlar değerlendirilerek, hastane tedarik zinciri yönetimine yönelik anahtar performans göstergeleri belirlenip, çok ölçütlü karar verme yöntemleri kullanılarak önceliklendirilmesi mümkün olabilecektir. Bu sayede, hastane iç tedarik zincirinin performansını etkileyen kriterlerin önem sırasına göre değerlendirilme imkânı olabilecektir.

TEŞEKKÜR

Bu araştırma hiçbir dış finansman almamıştır.

YAZAR KATKILARI

Bora Karacaer: Kavramsal tasarım, metodoloji, yazma, düzenleme, kaynaklar.

Bahar Özyörük: Gözden geçirme, denetim, onaylama.

ÇIKAR ÇATIŞMALARI

Yazarlar, herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

KAYNAKLAR

- [1] A. J. Fong, M. Smith, ve A. Langerman, "Efficiency improvement in the operating room," *Journal of Surgical Research*, vol. 204, no. 2, pp. 371–383, 2016, doi:10.1016/j.jss.2016.04.054.
- [2] A. El Mokri, L. Benabbou, ve A. Berrado, "Multi-criteria distribution network redesign - case of the public sector pharmaceutical supply chain in Morocco," *Supply Chain Forum An International Journal*, vol. 19, no. 1, pp. 42–54, 2018, doi: 10.1080/16258312.2018.1433436.
- [3] M. A. Rakovska ve S. V. Stratieva, "A taxonomy of healthcare supply chain

management practices," *Supply Chain Forum An International Journal*, vol. 19, no. 1, pp. 4–24, 2018, doi: 10.1080/16258312.2017.1395276.

[4] OECD, "Health spending set to outpace GDP growth to 2030," 2023. <http://www.oecd.org/health/health-spending-set-to-outpace-gdp-growth-to-2030.htm> (Erişim Tarihi 18.06.2023)."

[5] A. Dixit, S. Routroy, ve S. K. Dubey, "A systematic literature review of healthcare supply chain and implications of future research," *International Journal of Pharmaceutical Healthcare Marketing*, vol. 13, no. 4, pp. 405–435, 2019, doi: 10.1108/IJPHM-05-2018-0028.

[6] N. H. Mustaffa ve A. Potter, "Healthcare supply chain management in Malaysia: A case study," *Supply Chain Management*, vol. 14, no. 3, pp. 234–243, 2009, doi: 10.1108/13598540910954575.

[7] Z. Yousefli, F. Nasiri, ve O. Moselhi, "Healthcare facilities maintenance management: a literature review," *Journal of Facilities Management*, vol. 15, no. 4, pp. 352–375, 2017, doi: 10.1108/JFM-10-2016-0040.

[8] K. Moons, G. Waeyenbergh, L. Pintelon, P. Timmermans, ve D. De Ridder, "Performance indicator selection for operating room supply chains: An application of ANP," *Operations Research Health Care*, vol. 23, Dec. 2019, doi: 10.1016/j.orhc.2019.100229.

[9] D. Dobrzykowski, V. Saboori, P. Hong, ve S. Kim, "A structured analysis of operations and supply chain management research in healthcare (1982 – 2011)," *International Journal of Production Economics*, vol. 147, no. 2014, pp. 514–530, 2015, doi: 10.1016/j.ijpe.2013.04.055.

- [10] A. Rais ve F. Alvelos, "Optimization of logistics services in hospitals," *International Transactions in Operational Research*, vol. 25, pp. 111–132, 2018, doi: 10.1111/itor.12370.
- [11] S. Pokharel, "Perception on information and communication technology perspectives in logistics A study of transportation and warehouses," *The Journal of Enterprise Information Management*, vol. 18, no. 2, pp. 136–149, 2005, doi: 10.1108/17410390510579882.
- [12] Z. Xiong, T. Pan, ve S. Pokharel, "Logistics in hospitals: a case study of some Singapore hospitals," *Leadership in Health Services*, vol. 20, no. 3, pp. 195–207, 2007, doi: 10.1108/17511870710764041.
- [13] C. D. I. Martinelly, F. Riane, ve A. Guinet, "A Porter-SCOR Modeling Approach for the Hospital Supply Chain," *International Journal of Logistics*, pp. 1–14, 2009.
- [14] S. Landry, M. Beaulieu, ve J. Roy, "Strategy deployment in healthcare services: A case study approach," *Technological Forecasting & Social Change*, vol. 113, pp. 429–437, 2016, doi: 10.1016/j.techfore.2016.09.006.
- [15] P. P. Carrus ve R. Pinna, "The Performance Measurement of Changes in the Logistics of Health Goods: A Theoretical Model," in *18th Toulon-Verona International Conference*, 2015, pp. 85–100.
- [16] A. Serdar, "Kamu hastaneleri birliklerinde tedarik zinciri yönetimi ve örnek bir uygulama," 2015.
- [17] R. Jayaraman, K. Taha, K. S. Park, ve J. Lee, "Impacts and role of group purchasing organization in healthcare supply chain," in *IIE Annual Conference and Expo 2014*, 2014, no. January 2014, pp. 3842–3851.
- [18] N. Rego, J. Claro, ve J. Pinho de Sousa, "A hybrid approach for integrated healthcare cooperative purchasing and supply chain configuration," *Health Care Management Science*, vol. 17, no. 4, pp. 303–320, 2014, doi: 10.1007/s10729-013-9262-y.
- [19] G. R. Baker et al., "Healthcare Performance Measurement in Canada: Who's Doing What?," 1998, doi: 10.12927/hcq.16555.
- [20] P. Sirisawat, N. Hasachoo, ve T. Kaewket, "Investigation and Prioritization of Performance Indicators for Inventory Management in the University Hospital," pp. 691–695, 2019.
- [21] P. Kelle, J. Woosley, ve H. Schneider, "Pharmaceutical supply chain specifics and inventory solutions for a hospital case," *Operations Research for Health Care*, vol. 1, no. 2–3, pp. 54–63, 2012, doi: 10.1016/j.orhc.2012.07.001.
- [22] J. Cai, X. Liu, Z. Xiao, ve J. Liu, "Improving supply chain performance management: A systematic approach to analyzing iterative KPI accomplishment," *Decision Support Systems*, vol. 46, no. 2, pp. 512–521, 2009, doi: 10.1016/j.dss.2008.09.004.
- [23] D. Çelebi, D. Bayraktar, ve L. Bingöl, "Computers & Industrial Engineering Analytical Network Process for logistics management: A case study in a small electronic appliances manufacturer," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 58, no. 3, pp. 432–441, 2010, doi: 10.1016/j.cie.2009.09.002.
- [24] R. D. Behn, "Why Measure Performance ?

Different Purposes Require Different Measures,” vol. 63, no. 5, 2003.

[25] E. Barbazza, N. S. Klazinga, ve D. S. Kringos, “Exploring the actionability of healthcare performance indicators for quality of care: A qualitative analysis of the literature, expert opinion and user experience,” *BMJ Quality and Safety*, vol. 30, no. 12, pp. 1010–1020, 2021, doi: 10.1136/bmjqs-2020-011247.

[26] C. H. Lawshe, “A Quantitative Approach To Content Validity,” *Personnel Psychology*, vol. 28, no. 4, pp. 563–575, 1975, doi: 10.1111/j.1744-6570.1975.tb01393.x.

[27] C. R. Alpar, Spor, Sağlık ve Eğitim Bilimlerinden Örneklerle Uygulamalı İstatistik ve Geçerlik – Güvenirlik. Detay Yayıncılık, 2020.

[28] C. R. Alpar, Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemler. Detay Yayıncılık, 2017.

[29] U. Lorenzo-seva, “Promin : A Method for Oblique Factor Rotation Promin : A Method for Oblique Factor Rotation,” *Multivariate Behavioral Research*, vol. 3171, no. 1999, pp. 347–365, 2010, doi: 10.1207/S15327906MBR3403.

[30] A. B. Costello ve J. W. Osborne, “Best practices in exploratory factor analysis: Four recommendations for getting the most from your analysis,” *Practical Assessment, Research and Evaluation*, vol. 10, no. 7, 2005.

[31] H. F. Kaiser, “An index of factorial simplicity,” *Psychometrika*, vol. 39, no. 1, pp. 31–36, 1974, doi: 10.1007/BF02291575.

[32] A. Field, *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics : And Sex and Drugs and Rock*

“N” Roll, 4th ed. Sage, Los Angeles, London, New Delhi, 2013.

[33] M. A. Pett, N. R. Lackey, ve J. J. Sullivan, *Making Sense of Factor Analysis: The Use of Factor Analysis for Instrument Development in Health Care Research*. 2003.

[34] A. L. Comrey ve H. B. Lee, *A first course in factor analysis*, vol. 4, no. 1. Psychology Press, 2013.

[35] L. L. Thurstone, “Multiple factor analysis,” *American Psychological Association*, vol. 38, no. 5, pp. 406–427, 1947.

[36] P. M. Bentler, “Factor simplicity index and transformations,” *Psychometrika*, vol. 42, no. 2, p. 6, 1977.

[37] I. T. Jolliffe, “Discarding Variables in a Principal Component Analysis. I: Artificial Data,” *Applied Statistics*, vol. 21, no. 2, p. 160, 1972, doi: 10.2307/2346488.

[38] R. B. Kline, *Principles and Practice of Structural Equation Modeling*. Guilford Publications, 2015.

[39] H. Şeşen ve C. H. Meydan, *Yapısal eşitlik modellemesi AMOS uygulamaları*. Detay Yayıncılık, 2011.

[40] T. A. Brown, *Confirmatory Factor Analysis for Applied Research*. Guilford Publications, 2015.

[41] D. W. Gerbing ve J. C. Anderson, “Monte Carlo Evaluations of Goodness of Fit Indices for Structural Equation Models,” *Sociological Methods & Research*, vol. 21, no. 2, pp. 132–160, 1992.

[42] S. A. Mulaik, L. R. James, J. Van Alstine,

N. Bennett, S. Lind, ve C. D. Stilwell, "Evaluation of goodness-of-fit indices for structural equation models," *Psychological Bulletin*, vol. 105, no. 3, pp. 430–445, 1989.

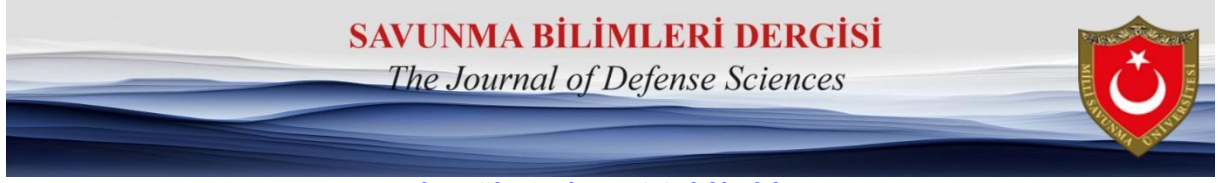
[43] M. S. Garver ve J. T. Mentzer, "Logistics Research Methods: Employing Structural Equation Modeling to Test for Construct Validity," *Journal of Business Logistics*, vol. 20, no. 1, pp. 33–58, 1999.

[44] M. Shevlin, J. N. V Miles, M. N. O. Davies, ve S. Walker, "Coefficient alpha: a useful indicator of reliability?," *Personality and Individual Differences*, vol. 28, no. 2, pp. 229–237, 2000.

[45] S. B. Green ve Y. Yang, "Commentary on coefficient alpha: A cautionary tale," *Psychometrika*, vol. 74, no. 1, pp. 121–135, 2009.

[46] K. Moons, G. Waeyenbergh, ve L. Pintelon, "Measuring the logistics performance of internal hospital supply chains – A literature study," *Omega (United Kingdom)*, vol. 82, pp. 205–217, 2019, doi: 10.1016/j.omega.2018.01.007.

[47] D. Kritchanchai, S. Hoer, ve P. Engelseth, "Develop a strategy for improving healthcare logistics performance," *Supply Chain Forum An Int. J.*, vol. 19, no. 1, pp. 55–69, 2018, doi: 10.1080/16258312.2017.1416876.



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

Kimyasal Savaş Ajanları: Özellikleri, Etkileri ve Dekontaminasyon Stratejileri

Chemical Warfare Agents: Characteristics, Effects, and Decontamination Strategies

İrem Mukaddes BİLGİSEVEN¹ , Serdar KARAKURT^{1,2*} 

¹ Selçuk Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Kimyasal, Biyolojik, Radyolojik ve Nükleer Savunma Anabilim Dalı, Konya, Türkiye

² Selçuk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyokimya Bölümü, Konya, Türkiye

Makale Bilgisi

Derleme makalesi
Başvuru: 14.09.2023
Düzeltilme: 06.03.2024
Kabul: 22.03.2024

Keywords

CBRN
Chemical warfare
Decontamination
Defense
Anahtar Kelimeler
KBRN
Kimyasal savaş
Dekontaminasyon
Savunma

Özet

Kimyasal savaş ajanları (KSA'lar), insanları etkisiz hale getirmek, yaralamak ve öldürmek, gıda kaynaklarını kirletmek ve yok etmek, kaos ve paniğe neden olmak için kullanılan tüm kimyasalları kapsar. KSA'lar çok eski zamanlardan beri kullanılmaktadır ancak en yoğun kullanımı I. Dünya Savaşı sırasında olmuştur. Kimyasal Silahlar Konvansiyonu'na göre, KSA'ların savaş alanında kullanımı yasaktır, ancak bu ajanların endüstriyel kullanımı tamamen yasaklanamaz. Bu nedenle KSA'lar her zaman ve her durumda panik yaratırlar. KSA'lar sinir ajanları, yakıcı ajanlar, boğucu ajanlar, kapasite bozucu ajanlar, isyan kontrol ajanları ve sistemik ajanlar olarak sınıflandırılır. Bu ajanların mekanizmaları birbirinden farklıdır; sinir ajanları asetilkolinesteraz enzimini (AChE) inhibe ederken, yakıcı ajanlar oksidatif stres yaratarak etki gösterir. Bu makalede KSA'nın tarihsel arka planı, insanlar ve çevre üzerindeki etkileri, etkili bir şekilde temizlenme stratejileri ve geleceğe yönelik olası çıkarımlar tartışılmaktadır. Sonuç olarak, KSA'ların ve bunlara karşılık gelen dekontaminasyon protokollerinin kapsamlı bir şekilde anlaşılması, KSA olayları durumunda insan yaşamının ve çevrenin korunması açısından kritik öneme sahiptir. Hazırlıklı olma ve etkili dekontaminasyon prosedürleri küresel güvenliği sürdürmenin temel taşıdır.

Abstract

Chemical warfare agents (CWAs) encompass all chemicals used to incapacitate, injure, and kill people, contaminate, and destroy food sources, and create chaos and panic. Although CWAs have been used since ancient times, their most intense use was during World War I. According to the Chemical Weapons Convention, the use of CWAs on the battlefield is prohibited, but their industrial use cannot be completely banned. Therefore, CWAs always create panic in any situation. CWAs are classified as nerve agents, blister agents, choking agents, incapacitating agents, riot control agents, and systemic agents. These agents have different mechanisms; nerve agents inhibit the acetylcholinesterase enzyme (AChE), while blister agents act by creating oxidative stress. This review discusses the historical background of CWAs, their effects on humans and the environment, effective decontamination strategies, and possible implications for the future. Understanding CWAs and the corresponding decontamination protocols comprehensively is critical for protecting human life and the environment in CWA incidents. Preparedness and effective decontamination procedures are the maintaining global security.

*Corresponding author, e-mail: karakurt@selcuk.edu.tr

1. INTRODUCTION

The term CBRN, an acronym representing Chemical, Biological, Radiological, and Nuclear hazards, encapsulates a spectrum of risky scenarios with profound implications for human society and the natural environment. The increasing prevalence of CBRN risks is inextricably linked to advancements in modern warfare and industrial development. Furthermore, the deliberate application of CBRN materials in acts of terrorism, alongside their employment in industrial settings and research laboratories within the healthcare sector, inadvertently precipitates significant threats. The repercussions of these threats can manifest as the loss of countless lives and grievous injuries, often instigating widespread panic and chaos among the public. The management of CBRN events invariably demands meticulous attention and resources, accentuating the indispensability of personal protective equipment and rigorous decontamination protocols. In the annals of warfare, the deployment of chemical weapons has been historically classified as "chemical warfare." These insidious agents are meticulously crafted to induce both physical and psychological harm by harnessing the toxic attributes of chemical substances. Remarkably cost-effective and resilient to external factors, chemical weapons represent an ominous specter, their ease of development enabling a greater reach of devastation than initially anticipated. The use of chemical weapons gained prominence during and post-World War I, leading to the formulation of countermeasures referred to as "chemical defense." The use of chemical weapons came to the forefront during World War I and led to the

taking of countermeasures called "chemical defense". The First World War demonstrated the deadly and destructive nature of the use of chemicals in modern war. At the beginning of the war, the gas bombs used by the French were not very effective and this continued with bullets filled with tear gas by the Germans. During the war, the Germans continued to produce new bullets filled with chloro-sulfate using powerful chemical industries [1]. These bullets were used against the British in Neuve-Chapelle in October 1914 but had little influence [2]. These inadequate initiatives at the beginning of the war did not prevent the development of new agents on both fronts. The Germans attacked Ypres, Belgium in April 1915 with 168 tons of chlorine gas [3]. In the autumn of 1915, the use of chlorine and phosgene caused serious respiratory problems in soldiers who were exposed. However, because of the gas masks developed to reduce the effects of chlorine and phosgene, the Germans turned to mustard gas to use against the British [4]. Mustard gas was different from other gases, remained in the region for a long time, and exposure was more concerning. In addition, although 100 years have passed since the use of mustard gas on the battlefield, there is still no effective treatment, and research to develop therapeutic compounds continues [5]. In the First World War, chemical casualties were quite high, and it is estimated that approximately 1.2 million soldiers were injured and over 91.000 people died due to the use of chemical agents [6]. The Treaty of Versailles (1919), forbade Germans from producing and using chemical weapons [7]. With the Geneva Protocol signed in 1925 with the approval of 16 countries, the use of chemical

agents was completely banned in the war. The fate of chemical wars changed with the discovery of Germans' organophosphorus-based nerve agents before the Second World War [8]. In 1936, a very toxic organophosphate compound called Tabun was developed by Gerhard Schrader. Thus, Tabun became the first member of nerve agents. Later, Schrader and the research team discovered another organophosphate compound, which is like the tabun, but was more deadly than the tabun. In 1943, German planes sank several American ships on the coast of Italy, and the presence of mustard gas to be used as retaliation on ships was noticed. Throughout the 1950s and 1960s, advances have been made to include sarin and VX in the production and distribution of chemical weapons [9]. While the work on protective masks continued, the concern of not being able to detect nerve agents increased again. In the mid-1950s, major progress was made in the therapeutic of agents inhibiting acetylcholinesterase enzyme, and atropine was developed as an automatic injector [10]. Egyptians were claimed to have used mustard gas and nervous agents in the civil war in Yemen. Thus, this claim was the first use of a nervous agent reported in armed clashes. During the Vietnam War, the United States used tear gas [11]. The Soviet Union was accused of using chemicals in wars in Afghanistan. In addition, during the Jewish Genocide, the Nazis used the medication of insecticide containing carbon monoxide and hydrogen cyanide known as Zyklon-B to kill millions of people in their camps [12]. In 1943, during the Warsaw Ghetto uprising, poisonous gases were used against the Jews. In the 1980s, the use of chemical weapons

during the war was once again important. In 1980, Iraq occupied Iran and used nervous and burning agents. In many ways, this war was similar to the First World War. In 1983, Iran protested Iraq's use of chemical agents, thus proving to use Iraq's mustard agent and tabun. In 1988, the Iraqi army used more than one chemical agent against the Kurdish minority in Northern Iraq (Halabja), and at the end of this incident, about 5.000 people died and many more people were influenced by chemical agents [13]. In the late 1980s, other war agents were developed by the US, such as the M40 gas mask. In addition, progress in collective protection, decontamination, and detection were recorded. In 1984, US President Ronald Reagan issued a statement that called for an international prohibition of chemical weapons. In 1990, President George H.W. Bush and Soviet Union leader Mikhail Gorbachev signed an agreement that prohibited the production of chemical weapons and started the destruction of stocks of both countries. In 1993, the Convention on Chemical Weapons was convened and signed. As of 2008, the majority of the United Nations member states participated in the Chemical Weapons Convention [14]. In 1990, the Iraqi army invaded its neighbor Kuwait. Although chemical war agent was not used on the battlefield, these gases spread to the environment as a result of the destruction of 8.5 tons of sarin and cyclosarin chemicals and rockets where some nerve agents were stored. Thus, many soldiers were influenced by this situation and their long-term effects have continued to the present day. This was called "Gulf War Syndrome" [15].

The potential use of chemical agents by terrorists has become a worldwide concern. The attractiveness of these agents to terrorists is because most of the chemical agents are cheap, and their production and transport are relatively easy. These features made chemicals an ideal weapon to create terrorism. In 1994, members of the Japanese religious sect, known as Aum Shinrikyo, carried out several attacks using sarin. The so-called Matsumoto and Tokyo Metro event includes housing and subway exposure [16]. A total of 19 people were killed and more than 6.000 people needed medical assistance. In the 21st century, chemical war agents re-emerged as contemporary threats. In the fall of 2006, Al Qaeda and the relevant groups used chlorine to spread panic in Iraq [17]. These attacks followed similar attacks in the following months. In August 2013, chemical weapons attacks occurred in the Guta region of Syria. In this case, many people were influenced by chemical agents.

Today, many countries and many different terrorists have chemical war agents. If there are legitimate uses for chemical substances in our society, the risk of conflict and terrorism of chemical agents will always be present. Worldwide research is continuing for better detection, protection, and treatment of chemical war agents. Many countries have signed various agreements to limit the use and production of chemical war agents, but terrorist organizations are not under such restrictions. In addition, the effects of chemical war agents can be seen because of accidents in addition to deliberate use. Accidents during the production or distribution of such substances result in a negative impact on many places and creatures. For example, as a

result of an accident in 1984 in the city of Bhopal (India), 40 tons of methyl isocyanate spread from a factory that produces insecticide [18]. As a result of this factory accident, more than 500.000 people were affected by the incident and thousands of people lost their lives. Accidentally exposed to chemical war agents can be exemplified in many ways in both national and international terms. There have been many toxicological accidents in the history of Türkiye. In Mersin (2011), there was poisoning because of exposure to gas leaking from the tank sold as scrap. In 2014, letters containing yellow powder sent to the Consulate General and Ankara Courthouse aroused danger. Chlorine gas leaking from the chlorine tank in Siirt in 2017 negatively affected 135 people. In Turkey, events based on real chemical terrorist incidents are rare, but due to their geographical location, CBRN events in neighboring countries also affect our country negatively. For this reason, it is very important for any exposure to know what chemical agents are by taking advantage of the past and to investigate the possible effects. Within the scope of this comprehensive review, we delve into the fundamental facets of chemical warfare agents, encompassing their diverse classifications and the intricate procedures requisite for effective decontamination.

2. CHEMICAL WARFARE AGENTS

Chemical warfare agents (CWAs) encompass a broad array of chemicals strategically employed to neutralize, injure, and lethally affect individuals, contaminate food sources, and sow chaos and panic. The deployment of CWAs disrupts economic and strategically vital targets, compelling both military and civilian personnel

to don protective clothing and utilize specialized equipment, significantly limiting their mobility. Gaseous chemical agents are favored in CWA arsenals due to their volatile nature, which enables rapid dispersion across diverse environments. These agents can infiltrate the body through inhalation in gaseous form, absorption through the skin in solid or liquid states, or ingestion if they contaminate foodstuffs. Notably, certain chemical combinations, such as Lewisite with sulfur mustard, have been observed to alter key properties of the latter, including vapor pressure reduction, lowered freezing points, and increased stability. Additionally, sulfur mustard can be combined with phenyldichloroarsine, commonly referred to as "Winterlost" or "winter mustard" [19]. CWAs exhibit a diverse range of characteristics and are classified based on several factors, including their physiological effects, physical state (solid, liquid, or gas), toxicity, and intended use. For instance, some substances, like sulfur mustard, exist in solid form with a freezing point of 14.4°C under cold conditions but transition into a liquid state with a boiling point of 219°C in high-temperature environments [20]. Certain CWAs are colorless and odorless, posing diagnostic challenges. Moreover, the detectability of chemical agents varies, with some becoming evident within short intervals, typically 1-2 hours, while others may manifest their effects only after approximately 48 hours. The lethality of CWAs is contingent upon factors such as application methods, exposure dosage, and duration of exposure. Table 1 comprehensively overviews commonly employed chemical substances used as CWAs. CWAs are divided into six different groups

according to their chemical properties and mechanism of action as shown in Table 1. Accordingly, while tabun is a nerve agent, phosgene is a choking agent. A detailed explanation of the classification of the CWAs was examined in detail in the text.

Table 1: Common Chemical Warfare Agents [21].

Chemical Warfare Agent	Chemical Substance
Nerve Agents	Tabun ($C_5H_{11}N_2O_2P$)
	Sarin ($C_4H_{10}FO_2P$)
	Soman ($C_7H_{16}FO_2P$)
	VX ($C_{11}H_{26}NO_2PS$)
Blister Agent	Sulfur mustard ($C_4H_8Cl_2S$)
	Nitrogen mustard ($C_5H_{11}Cl_2NO$)
	Lewisite ($C_2H_2AsCl_3$)
Choking Agent	Chlorine (Cl_2)
	Chloropicrin (CCl_3NO_2)
	Phosgene ($COCl_2$)
	Diphosgene ($C_2Cl_4O_2$)
Capacity Disrupting Agents (Incapacitating)	BZ ($C_{21}H_{23}NO_3$)
	LSD ($C_{20}H_{25}N_3O$)
Riot Control Agents	Chloroacetophenone (C_8H_7ClO)
	Chlorobenzylidenemalononitrile ($C_{10}H_5ClN_2$)
	Dibenzoxazepine ($C_{13}H_9NO$)
Systemic Poisons (Asphyxiant/Blood)	Hydrogen Chloride (HCl)
	Hydrogen Cyanide (HCN)
	Hydrogen Sulfide (H_2S)

2.1. Nerve Agents

Nerve agents are notorious for their ability to disrupt the functioning of the nervous system, often leading to paralysis or even death. These agents do not occur naturally but are derived from organophosphate (OP) compounds, functioning as potent inhibitors of the acetylcholinesterase enzyme [22]. Remarkably, cholinesterase inhibitors, which are instrumental in treating certain diseases and controlling pests, can also be harnessed as terrorist weapons [21]. Nerve agents are categorized by NATO codes, succinct two-

letter designations, with two principal series, V series and G series agents. The G series, representing the origin of "Germany," encompasses GB (sarin), GD (Soman), and GA (Tabun). On the other hand, the V Series, possibly denoting "Venomous," includes VE, VG, VM, and VX [23]. Though all nerve agents share common traits of being liquid and colorless, impurities can impart a yellow or brown hue to these substances. The physical properties of various nerve agents can markedly differ from one another (see Table 2). VX, characterized by lower volatility compared to G agents, exhibits enhanced stability. In terms of volatility among G agents, the order stands as GB > GD > GA [24].

Exposure to nerve agents can result in a spectrum of physiological effects, including headaches, profuse sweating, impaired balance, respiratory distress, nausea, and vomiting. Additionally, as depicted in Figure 1a, nerve agents can impact the brain, leading to loss of consciousness, coma, and eye constriction, affect the lungs by causing respiratory difficulties, influence blood pressure, and alter respiratory rates. These agents obstruct the nervous system by inhibiting the acetylcholinesterase enzyme (AChE) within the body [25, 26]. By binding to acetylcholinesterase, nerve agents disrupt signal transmission, as acetylcholine breakdown at nerve transmission points is impeded (see Figure 1b) [27]. Acetylcholine is typically hydrolyzed into choline and acetate [28], resulting in the accumulation of acetylcholine, which can trigger a cholinergic crisis—a state characterized by overstimulation of end organs. It's worth noting that VX, unlike other agents, has the potential to induce acute lung injury [21].

Atropine, pralidoxime chloride, and diazepam therapeutics are used under the exposure of nerve agents [29]. Since atropine is effective against all nerve agents, it is one of the most important treatment methods and should be used immediately in case of exposure. Atropine competes with AChE and prevents AChE accumulation. Oximes should be applied in combination with atropine because they are quickly excreted from the body. Diazepam should be used to reduce convulsions against brain damage caused by nerve agents. There are no prophylactic antidotes that can be used before exposure to the nerve agent. The most effective treatment is the application of atropine and pralidoxime chloride as automatic injectors. Pyridostigmine is approved for military use by the FDA as a pretreatment for GD but requires rapid use with atropine and pralidoxime (2-PAM) after exposure to the chemical agent to be effective [30]. In addition to antimuscarinic drugs, reactivators such as HI-6 [31], obidoxime (OBI), and NOX-6 can be used to treat airway shrinkage after exposure to organophosphate compounds [32]. Another alternative approach is to use non-oxime compounds such as Bispyridinium MB327, which reverses the neuromuscular blocking effect of therapeutic OP compounds [33].

Table 2: Physical And Chemical Properties Of Common Nerve Agents [28].

Property	GB	GD	GA	VX
Chemical Structure				
Common name	Sarin	Soman	Tabun	VX

	Isopropyl methyl-phosphon ic-fluoridate	Pinacolyl methyl-phosphon ic-fluoridate	Ethyl dimethyl-amido pyrophosphate	S-(2-diisopropyl aminoethyl) O-ethyl methyl phosphorothioate
Chemical name				
Molecular weight, MW (Da)	140.10	182.18	162.13	267.38
Specific gravity at 25°C	1.009	1.022	1.073	1.008
Boiling point °C	147	167	246	300
Melting point °C	-56	-80	-49	-20

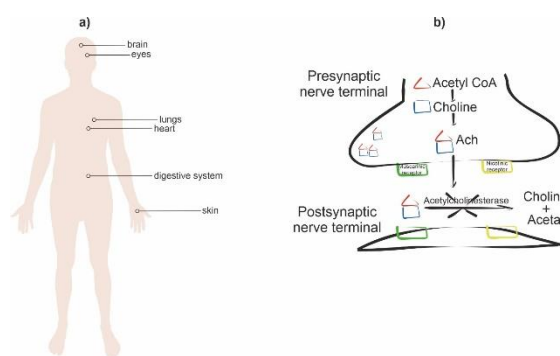


Figure 1: a) Organs Or Systems In The Body That Nerve Agents Affect. b) The Mechanism Of Action Of Acetylcholinesterase.

2.1.1. Sarin (GB): An Artificial Chemical Warfare Agent

Sarin, commonly known as "GB," is a synthetic chemical warfare agent with a unique historical origin. Initially developed as an insecticide in Germany in 1938, its transformation into a deadly weapon marked a significant turning point in its history. In its pure form, Sarin exists as a liquid that is entirely devoid of odor, color, and taste [34]. However, it's worth noting that Sarin possesses the ability to evaporate into the environment. Notably, Sarin stands out as the most volatile among nerve agents, characterized

by its rapid evaporation and dispersion into the atmosphere. The intoxicating effects of Sarin are contingent on several factors, including the amount of exposure, the manner of exposure, and the duration of exposure. Fortunately, antidotes are available for Sarin poisoning and are most effective when administered promptly. The deployment of Sarin for terrorist purposes gained notoriety with incidents occurring in Japan in 1994 and 1995 [35]. These events served as grim reminders of the potent threat posed by this chemical agent and underscored the importance of vigilance and preparedness in dealing with such hazards.

2.1.2. Soman (GD): An Odoriferous Artificial Toxin

Soman, also known as "GD," is a colorless and tasteless artificial toxin with an odor similar to mothballs or rotten fruit. Soman was first discovered in Germany as an insecticide in 1944. Soman is normally liquid but evaporates when heated. Soman is highly volatile. However, its severe exposure is dangerous enough to result in death [36]. It is known that soman or other nerve agents were used in the Iran-Iraq Chemical War in the 1980s. It is known that soman or other nerve agents were used in the Iran-Iraq Chemical War in the 1980s.

2.1.3. Tabun (GA): The Silent Threat from Germany

Tabun, also recognized as "GA," emerged as a significant chemical compound initially developed as a pesticide in Germany in 1936. Unlike its menacing effects, Tabun is nearly imperceptible to the senses. It presents as a tasteless toxin with a subtly fruity fragrance. The

degree of its purity determines its appearance, transitioning from a colorless liquid to a brownish hue. Tabun's peril lies in its capacity to disrupt neural synapses. Even minute doses of Tabun prove lethally toxic, capable of inducing fatality [35]. Its mechanism of action involves the overstimulation of the nervous system, culminating in organ damage. Those exposed to Tabun are at risk of experiencing permanent neurological impairment. Similar to other nerve agents, Tabun can evaporate when subjected to heat. In terms of volatility, Tabun falls between Sarin and VX, being less volatile than Sarin but more so than VX. Its relatively higher density causes it to accumulate in lower areas, further amplifying its hazardous potential. Tabun found infamous application alongside other nerve agents during the Iran-Iraq War in the 1980s, underscoring the grave repercussions of its deployment in conflict scenarios [37].

2.1.4. VX: The Stealthy Lethal Agent from the UK

VX, an acronym that does not belie its ominous nature, is an insidious chemical developed in the United Kingdom during the 1950s. It is characterized by being completely devoid of odor and taste, rendering it exceptionally discreet as a toxic substance. VX presents itself as an oily liquid that exhibits an unusual trait—it is exceedingly slow to evaporate. VX, perhaps the most perilous of all nerve agents, poses an exceptional threat. One distinctive feature is its protracted breakdown within the human body, giving rise to a cumulative effect upon repeated exposures [38, 39]. Notably, VX's exceptionally slow evaporation contributes to the creation of enduring hazards on contaminated surfaces,

making thorough decontamination a critical priority [24]. The sinister history of VX reveals its sole application in chemical warfare, with documented use during the Iran-Iraq War in the 1980s. This exclusive deployment underscores its extraordinary lethality and its resolute place in the annals of chemical warfare agents.

2.2. Blister Agent: Skin and Respiratory Hazards

The damage inflicted by blistering agents, or vesicants, on the skin, bears a resemblance to injuries caused by burns. These noxious substances not only impact the skin but also wreak havoc on the upper respiratory tract and lungs, often leading to the development of pulmonary edema. When these agents come into contact with the skin, they induce burning and swelling. Their harmful effects extend beyond the skin, affecting the eyes, lungs, mucous membranes, and blood-forming organs. Inhalation of blister agents damages the respiratory system, while ingestion can result in symptoms such as vomiting and diarrhea. Although these injuries are typically non-lethal, they tend to heal slowly.

Blister agents encompass several compounds, including arsenic, sulfur mustard (commonly known as mustard gas), nitrogen mustards (HN1, HN2, and HN3), and Lewisite (L1, L2, and L3). Among them, sulfur mustard stands out as one of the most potent blister agents. Pure sulfur mustard has a distinct garlic-like odor and is a colorless liquid. It readily dissolves in organic solvents but exhibits limited solubility in water. Importantly, it has low volatility. Although more resilient than sulfur mustards, nitrogen mustards are comparatively less stable during storage [40,

41]. A common feature shared by blister agents is their ability to induce oxidative stress. Oxidation of thiol groups is ubiquitous in all blister agents due to oxidative stress [42, 43]. This oxidative stress disrupts the redox balance, which governs critical processes such as oxidant production, apoptosis, and the activation of redox-related transcription factors. Additionally, oxidative stress inflicts damage upon cellular organelles and weakens antioxidant defenses, culminating in either necrosis [44] or apoptosis [45].

There is no specific antidote used to treat mustard, but their general treatment is like burn injuries. Blepharospasm can be relieved with an atropine solution (1%), and eye drops such as ciprofloxacin can be used. Additionally, systemic analgesics and antihistamines can be used to relieve itching and pain. However, 2,3-dithiocaptopropanol, known as British Anti Lewisite (BAL), is used against lewisite poisoning and is a therapeutically powerful anaerobic glycolysis inhibitor [46].

2.2.1. Sulfur mustard: A Pungent Menace with Lingering Effects

Sulfur mustard, often referred to by a variety of names such as mustard gas, mustard agent, H, HT, and HD, is a chemical compound that merits careful consideration. While the term "mustard gas" is commonly used, it's important to note that sulfur mustard is, in fact, a liquid under normal conditions. This potent substance is unmistakably characterized by its pungent aroma, akin to garlic, onion, or mustard. In its liquid or solid form, sulfur mustard exhibits a distinct color spectrum, ranging from clear yellow to brown. Its remarkable permanence in the environment is owed to its oily composition and limited

solubility in water. Even at low concentrations, sulfur mustard poses a severe threat to the eyes and skin, possibly inflicting substantial damage. Due to its lipophilic nature, sulfur mustard possesses a swift penetration capability into tissues and cells, effectively corroding these vital structures. The initial chemical reaction involves intramolecular cyclization, culminating in the formation of an electrophilic ethylene sulfonium intermediate. This intermediate can bind to a multitude of biological molecules, including sulfhydryl, carboxyl, aliphatic amino groups, and heterocyclic nitrogen atoms [47, 48]. This process results in alkylation and cross-linking of critical biomolecules such as nucleic acids, proteins, lipids, and various membrane components [41, 49]. Notably, sulfur mustard induces DNA damage and hampers the production of blood cells. Moreover, it exhibits a pronounced affinity for the epithelial layers of the cornea and lungs, eliciting biochemical changes such as apoptosis or necrosis [50, 51]. Sulfur mustard initiates an inflammatory response in the tissues surrounding the eyes and leads to skin reddening. In the absence of prompt decontamination, the affected red skin progresses to ulceration, transforming into watery boils within a relatively short timeframe, typically 4 to 6 hours [52].

2.2.2. Nitrogen Mustard: Versatile Compounds with Dual Roles

Nitrogen mustards, akin to sulfur mustards, belong to the category of blister agents and possess a rich history that dates back to the 1920s when they were first explored as potential chemical warfare agents. These compounds typically present as oily liquids but can also

manifest as solids and gases. Nitrogen mustard is known for its amber or yellow appearance and is characterized by its versatility, with three primary variants: HN-1, HN-2, and HN-3. HN-1, originally developed by the German and Czech pharmaceutical industries, initially served as a pharmaceutical agent intended for the treatment of malignant tumors [52]. Subsequently, it found a darker application as a chemical warfare agent. In contrast, HN-2, designed as a warfare agent, transformed and was later repurposed as an antineoplastic agent. HN-3, developed with military intent, continues to be employed as a chemical warfare agent.

Notably, nitrogen mustards are DNA alkylating agents capable of inducing cross-linking between guanine N-7 atoms on different DNA strands. This cross-linking is irreversible and triggers a process known as apoptosis, leading to programmed cell death [53]. Due to these distinctive properties, nitrogen mustard derivatives have earned recognition in cancer prevention. Several of these derivatives, such as cyclophosphamide, chlorambucil, and melphalan, have secured approval from the US FDA and are deployed in cancer therapy [54]. This dual role—first as chemical warfare agents and then as vital tools in cancer treatment—illustrates nitrogen mustards' complex history and versatility. **Lewisite: The Silent Menace with a Geranium-like Odor**

Lewisite, known by its military designation "L," contains arsenic and is infamous for its potent toxicity, particularly to the skin. In its pure form, Lewisite is a colorless and odorless oily liquid accompanied by a geranium-like scent. This insidious substance readily dissolves in organic

solvents, underscoring its dangerous nature. Exposure to pure Lewisite can lead to severe consequences, including blindness, systemic blood poisoning, and destructive effects on lung tissues. Remarkably, despite its development as a chemical warfare agent, Lewisite was not deployed on the battlefield. This choice may be attributed to its heightened reactivity compared to mustard gas. Lewisite's toxic effects can be devastating and may culminate in death due to severe fluid loss and systemic toxicity resulting from capillary leakage—a condition recognized as "Lewisite shock" [55]. This toxic substance inflicts damage on various organs, including the heart, lungs, liver, kidneys, and gastrointestinal system. Furthermore, Lewisite has been implicated in causing damage to multiple organs [56]. The toxicity of Lewisite stems from its ability to inhibit pyruvate oxidation and its tendency to bind to sulfhydryl-containing proteins or enzymes, leading to cell death. Moreover, Lewisite can induce DNA damage and promote carcinogenic processes [56]. These multifaceted detrimental effects underscore the peril of Lewisite exposure in terms of acute and long-term health consequences. **Choking Agents: Unleashing Havoc on the Respiratory System**

Choking agents, aptly named for their ability to assail the lungs and induce pulmonary edema, fall within the category of lung irritants. These chemical assailants inflict extensive damage on the respiratory tract, with particular emphasis on the nose, throat, and, most significantly, the lungs [57]. In severe cases, their noxious effects can lead to a harrowing outcome—fluid buildup in the lungs, culminating in oxygen deprivation and death, hence the term "choking agents." Choking

agents comprise a roster of perilous substances, including chlorine, phosgene, diphosgene, chlorpicrin, and perfluoroisobutylene (PFIB). Among them, phosgene reigns as the most menacing member of this class [58] and gained notoriety during World War I in 1915, accounting for a staggering 80% of all chemical-related fatalities. Physiologically, exposure to choking agents triggers a cascade of distressing effects, ranging from nose and throat irritation to respiratory distress, a choking sensation, cyanosis (bluish skin discoloration), nausea, vomiting, pulmonary edema (fluid buildup in the lungs), and ultimately, respiratory failure. Choking agents manifest in various forms—liquid, gas, or aerosol—all of which are exceptionally effective. Gaseous choking agents, in particular, are notorious for their capacity to irritate the respiratory tract and induce swelling in these areas. For instance, chlorine, appearing as a greenish gas, does not readily dissolve in water under normal conditions. Consequently, when chlorine is inhaled, it reacts with the water in the body to produce hypochlorous acid (HClO), which penetrates cells by interacting with proteins. On the other hand, phosgene exists as a colorless gas and reacts with water and ammonia to generate hydrochloric acid and urea, respectively [59]. Unfortunately, there exists no antidote for choking agents, making treatment a challenging endeavor. Available options often encompass oxygen therapy and the administration of high-dose steroids [60]. These measures aim to mitigate the devastating impact of choking agents on the respiratory system, underscoring the urgency of early intervention and protective measures in cases of exposure.

2.2.3. Phosgene: The Stealthy and Deadly Gas

Phosgene is a colorless gas in its natural state, exuding a faint odor reminiscent of moldy or freshly mown straw at low concentrations [61]. However, this seemingly innocuous fragrance masks a highly toxic nature that often goes unnoticed by those exposed to it. When released in liquid form into the environment, phosgene swiftly transforms into a gas that hovers close to the ground and disperses rapidly. Generally, the liquid form of phosgene is used for storage and transportation. Phosgene holds the dubious distinction of being one of the most lethal choking agents and gained infamy for its widespread use during the First World War. Beyond its malevolent history, phosgene plays a pivotal role in industrial processes, contributing to the production of pesticides, isocyanates, dyes, pharmaceuticals, and various other industrial chemicals [62] (Figure 2a). The synthesis of phosgene involves the reaction of chlorine and carbon monoxide at high temperatures in the presence of activated charcoal [63].

Exposure to phosgene initiates a sequence of adverse effects, beginning with eye irritation. Interestingly, these effects often accumulate within the body. Phosgene primarily targets lung capillaries, gaining direct access to the bloodstream and causing the lungs to fill with fluid. Even at low concentrations, inhaled phosgene induces a decrease in arterial oxygen partial pressure and bradycardia. However, the precise concentration at which phosgene exerts toxic effects varies among individuals. For instance, approximately 1 ppm of phosgene reduces respiratory volume and capacity, while 3

ppm of phosgene undergoes hydrolysis, yielding HCl and irritating the upper respiratory tract [64]. Phosgene's insidious mode of action involves reactions with amine, thiol, hydroxyl, and sulfhydryl groups found on proteins, carbohydrates, and lipids through an acylation mechanism. Consequently, excessive oxidative damage ensues, depleting glutathione stores [65, 66]. This multifaceted assault underscores the dire consequences of phosgene exposure, emphasizing the importance of preventative measures and swift medical intervention in the event of contact with this deadly gas.

2.2.4. Chlorine: A Versatile Chemical with Disinfectant Properties

Chlorine serves a vital role primarily in drinking water disinfection and the food industry, and it finds its way into various household products [67]. In its gaseous state, chlorine gas typically appears yellow or green and emits a pungent and distinctive odor. The olfactory threshold for detecting chlorine gas is remarkably low, as concentrations as low as 0.2-0.4 ppm can be easily detected thanks to its strong odor, although the perception of this odor may diminish over time. For storage and transportation, chlorine is often pressurized and cooled to transition into a liquid form [68]. In this liquid state, chlorine accumulates near the ground and can spread rapidly, rendering it highly toxic. Although not inherently flammable, chlorine gas can react with explosive substances, introducing another hazard layer. Upon contact with water, chlorine gas undergoes a chemical transformation, giving rise to hydrochloric acid (HCl) or hypochlorous acid (HOCl) (Figure 2b).

Exposure to chlorine gas can lead to a spectrum of adverse effects. Mild exposure can result in symptoms such as vomiting and diarrhea, while more severe exposure triggers inflammation of the bronchial tubes and lungs [69]. This inflammation leads to sputum production, bleeding, and the filling of the lungs with fluid, often culminating in permanent lung damage or death due to suffocation. The toxicity of chlorine gas varies significantly depending on the dose and duration of exposure; exposure to concentrations as low as 1-3 ppm can irritate the eyes and oral mucous membranes, while exposure to 15 ppm initiates pulmonary symptoms. Remarkably, exposure to 430 ppm of chlorine gas can be fatal within 30 minutes [21]. Given its broad applications and potential dangers, the handling and storage of chlorine require meticulous care and adherence to safety protocols to prevent accidental exposure.

2.2.5. Chloropicrin: From Choking Agent to Riot-Control Agent and Beyond

Chloropicrin, also known as PS, occupies a unique place in the realm of chemical agents as it straddles multiple classifications. While it is primarily categorized as a choking agent due to its impact on the upper respiratory tract, chloropicrin has also been used as a riot-control agent. This versatile chemical presents as an oil, ranging in color from colorless to light green, and boasts a sharp, pungent odor akin to anise. Chloropicrin readily dissolves in organic solvents like chloroform, acetone, and ethyl acetate.

Historically, chloropicrin was employed in various capacities. It was mixed with sulfur mustard during the First World War to lower the freezing point. Additionally, the British utilized

chloropicrin in combination with chlorine, giving rise to designations like White Star (comprising 50% chlorine and 50% phosgene), Yellow Star (30% chloropicrin and 70% chlorine), and Green Star (65% chloropicrin and 35% hydrogen sulfide) [70]. Chloropicrin's utility expanded beyond warfare applications when its biocidal and fungicidal properties were recognized towards the end of the First World War, establishing it as a valuable fumigant [71]. However, the use of chloropicrin as a fumigant has waned in contemporary times. Chloropicrin exhibits a notable propensity to disperse in soil and plants, making exposure most likely through the consumption of drinking water disinfected via chlorination (1987). The chemical's initial impact targets the respiratory tract, while ingestion can result in corrosive effects on the anterior stomach tissue [72]. Chloropicrin's multifaceted history highlights its adaptability and underscores the importance of responsible handling and appropriate safety measures when dealing with this substance.

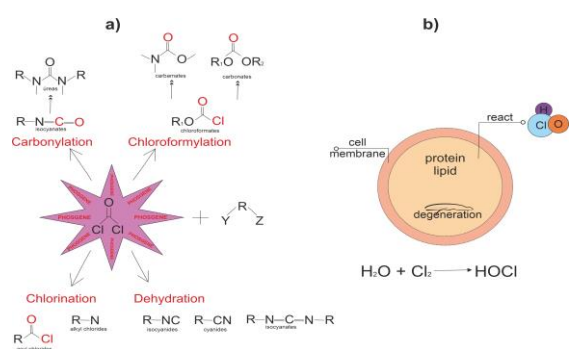


Figure 2: a) Reaction Of Organic Substrates With Phosgene b) If Chloropicrin Is Inhaled, Chlorine Gas Is Oxidized With The Water Present In The Body, And Hypochlorous Acid (Hclo) Is Produced. Hclo Damages Cellular Structures By Reacting With Proteins.

2.3. Riot Control Agents: Maintaining Order through Temporary Disability

Riot control agents, often called irritant, vomiting, and tear agents, serve a crucial role in crowd control [73]. These compounds induce temporary disability by irritating the eyes and upper respiratory tract, making them valuable tools for law enforcement and peacekeeping efforts. RCAs are employed to halt coordinated activities, disperse gatherings, temporarily neutralize demonstrators, and restore order. Their use typically results in the cessation of individual or group actions, the dispersal of communities, and the minimization of injuries. RCAs exert their effects primarily by acting as potent irritants on peripheral chemosensors. Their limited duration of action leads to short-term toxic effects that tend to subside within minutes after exposure [74]. Upon contact with RCAs, individuals often experience symptoms such as tears, eye pain, and skin irritation (Figure 3). Tear agents, for instance, stimulate tear gland nerves, promoting tear production. The intensity of skin irritation and sensations like tearing is so overwhelming that victims may struggle to act rationally, impeding and neutralizing the coordinated activities of those exposed [75].

Modern RCAs typically exist in crystalline solid forms, commonly administered as aerosol sprays, fine particles, or solutions. They include agents like chloroacetophenone (CN), o-chlorobenzylidene malononitrile (CS), and dibenzoxazepine (CR), collectively known as tear agents. These substances promptly affect nerve endings in mucous membranes, the cornea, and the skin, although their physical effects are short-lived. Additionally, vomiting agents such as

adamcide (10-chlor-5, 10-dihydrophenarcarazine) (DM), diphenilarsin chloride (DA), and diphenilarsin cyanide (DC) typically irritate the nose and upper respiratory tract. Solid agents, like these, may also be used to enhance the effects of other toxic gases in certain situations. When treating lachrymator exposure, eyes and clothing should be decontaminated immediately.

2.3.1. Chloroacetophenone: A Former Riot Control Agent with Stringent Toxicity

Chloroacetophenone, known by its military designation CN and its trade name Mace™, was once a prevalent choice among law enforcement agencies as a standard riot control agent. However, due to its elevated toxicity compared to other riot control agents, CN gradually fell out of favor and was supplanted by CS over time [74, 76, 77]. Exposure to CN is associated with more pronounced pathological effects in the lungs, leading to the development of edema. Additionally, CN has been linked to early bronchopneumonia and possesses potent sensitizing properties for the skin. Its acute toxicity stems from its interactions with enzymes containing sulfhydryl (SH) groups, inhibiting certain sulfhydryl-based enzymes, including Lactic dehydrogenase [78]. CN is characterized by an aromatic scent often described as reminiscent of apple blossoms and presents itself in crystalline solid form. CN can find application in various scenarios, including riots, military operations, and exercises. It can be dispersed into indoor or outdoor environments, water sources, food items, and agricultural products, typically delivered in vapor or liquid spray (aerosol) form [73]. It is commonly deployed in the form of powder, smoke, or liquid, discharged from

grenades or similar devices. Despite its former prominence, the inherent toxicity of CN has prompted the adoption of less toxic alternatives for maintaining public order and safety.

2.3.2. *Ortho*-chlorobenzylidene malononitrile: A Widely Used Riot Control Agent

Ortho-chlorobenzylidene malononitrile, better known by its military designation CS, owes its name to its originators, chemists Corson and Stoughton, who synthesized this agent. While CS exhibits minimal solubility in ethyl alcohol, it undergoes rapid hydrolysis upon contact with water. Among riot control agents, CS stands out as the most widely utilized. CS follows two known metabolic pathways. The first involves hydrolysis, leading to the formation of 2-chlorobenzaldehyde and malononitrile, while the secondary pathway results in 2-chlorobenzyl malononitrile without reduction [79]. When CS reacts with water, it produces 2-chlorobenzaldehyde and malonitrile. Notably, the half-life of CS in water is approximately 14 minutes, whereas its reactions with thiols and amines occur much more rapidly. CS possesses a scent reminiscent of pepper and presents itself in the form of white crystalline powder. Exposure to CS can lead to various health effects, including lung, heart, and liver damage, as well as gastrointestinal symptoms [80]. Despite its efficacy as a riot control agent, its use necessitates careful consideration due to its potential health impacts and the need for appropriate safety measures.

2.3.3. Dibenzoxazepine: A Riot Control Agent with Moderate Reactivity

Dibenzoxazepine, also known as dibenz(b, f)-1:4-oxazepine or CR, is a riot control agent with lower reactivity compared to CS or CN, and it undergoes hydrolysis at a relatively slower rate [81]. Consequently, CR is associated with comparatively lower toxicity than other tear agents. Exposure to CR typically results in effective irritation of the eyes, nose, and skin; however, these effects are not permanent. The respiratory tract rapidly absorbs CR, and it follows a metabolic pathway that includes oxidation to the lactam, ring hydroxylation, sulfate conjugation, and subsequent renal excretion [82]. CR has been used in the form of aerosol sprays and capsules to suppress prison riots in Northern Ireland. Notably, CR can be 5-10 times more potent than CS, causing greater irritation even at lower concentrations [83]. This heightened irritant effect can be a valuable asset in crowd control situations where it is essential to deter and disperse individuals without causing lasting harm.

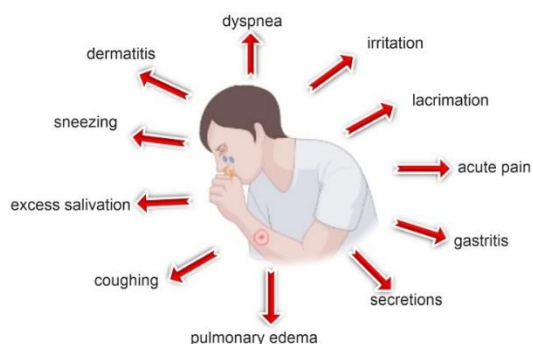


Figure 3: Physiological effects of riot control agents

2.4. Capacity Disrupting Agents (Incapacitating Agents): Altered Perception and Mood without Autonomic Nervous System Effects

Incapacitating agents, also known as psychomimetic substances, induce thought, perception, and mood changes without affecting the autonomic nervous system. Even at very low doses, these agents often elicit effects akin to psychotic disorders or other symptoms related to the central nervous system, such as sensory loss, paralysis, or delusions [84]. Unlike lethal chemical warfare agents, incapacitating agents cause temporary incapacitation and disorders. They are preferred in wartime scenarios because they induce temporary effects on individuals. For incapacitating agents to be effective, they must be highly potent and, when administered in appropriate doses, induce effects that can persist for hours to days without causing permanent disability or fatality [85]. Quinuclidinyl benzilate (BZ) is an example of a central nervous system incapacitating agent. BZ leads to physiological effects such as heart palpitations, dizziness, confusion, and a slowing of mental activities. Lysergic acid diethylamide (LSD) is another chemical agent categorized as a central nervous system stimulant among incapacitating agents. It stands out as one of the most potent agents in this category. Exposure to LSD leads to a profound alteration in an individual's perception, rendering them unable to accurately perceive time or their surroundings. This unique effect underscores the distinctive nature of incapacitating agents in altering cognitive and emotional states without causing permanent harm or death.

2.4.1. Quinuclidinyl benzilate: A Central Nervous System Incapacitating Agent

BZ, also known as QNB, 3-quinuclidyl benzilate, and benzylic acid, is a synthetic glycolic ester with high solubility in polar organic solvents. It crystallizes into a compound with a bitter taste. Unlike lethal agents, BZ serves as a competitive muscarinic cholinergic receptor antagonist, emphasizing its intent to create temporary incapacitation rather than causing fatality [86]. BZ exhibits effectiveness through various administration routes, including oral, parenteral, and inhalation, and undergoes metabolism in the liver before being excreted by the kidneys. By interfering with cholinergic nerve conduction in the brain, spinal cord's peripheral autonomic nervous system, and muscarinic regions, BZ induces an acetylcholine (ACh) deficiency. Notably, BZ readily crosses the blood-brain barrier and binds to subtypes of muscarinic receptors (M1-M5) in ACh [87]. The long-lasting effects of BZ may be attributed to its strong absorption by mitochondria, resulting in reduced oxygen consumption by nerve cells [88]. After exposure to an effective dose of BZ, environmental effects may manifest within 1 hour, while central effects might occur approximately 4 hours post-exposure. The primary effects can last for about 24-48 hours [89]. These distinctive properties render BZ an invaluable tool for temporary incapacitation without causing permanent harm.

2.4.2. Lysergic acid diethylamide (LSD): An Effective Incapacitating Agent

LSD, in its pure form, is a colorless and odorless chemical warfare agent with a distinct bitter taste. It can enter the body through ingestion or

inhalation, and even at low doses, it profoundly alters human perception, behavior, and mood. However, these effects are temporary, making LSD one of the most potent incapacitating agents. Exposure to LSD leads to a significant shift in an individual's perception, resulting in the loss of the sense of time and place, effectively isolating them from reality. Some behaviors exhibited after LSD exposure bear resemblance to symptoms of mental disorders like schizophrenia. The effects of LSD primarily stem from its agonist activity at receptor subtypes such as 5-HT_{2A}, 5-HT_{2C}, and 5-HT_{1A} [90], with LSD also displaying a high affinity for dopamine receptors [91, 92]. Notably, individuals affected by LSD typically do not require first aid, as spontaneous recovery typically occurs within 24 hours. This remarkable characteristic underscores its potential as an agent for temporary incapacitation without causing lasting harm.

2.5. Systemic Agents: Disrupting Oxygen Utilization and Rapidly Affecting Body Tissues

Systemic agents, also known as blood poisoning agents or cyanide chemicals, have a profound impact on bodily functions by impeding the regular utilization of oxygen in body tissues. These agents disrupt the production of blood components and exert toxicity at the cellular level, specifically by interrupting the electron transport chain within the inner mitochondrial membranes. This disruption leads to a swift depletion of oxygen throughout all body tissues, with the central nervous system being particularly vulnerable [93]. Due to the rapid action of cyanide, immediate treatment is imperative when exposed to systemic agents. These agents

typically enter the body via respiration and are expelled as gas or vapor. They are characterized by their high volatility, lighter-than-air properties, and gaseous nature. Exposure to systemic agents can result in death within a matter of seconds. Common systemic agents include arsine, hydrogen cyanide (HCN), and cyanogen chloride (ClCN). Physiological effects of systemic agents encompass respiratory distress, a choking sensation, tachycardia, respiratory irritation, nausea, and vomiting.

2.5.1. Hydrogen Cyanide (Prussic Acid, Hydrocyanic Acid) - NATO Code: AC

Hydrogen cyanide, also known as prussic acid and hydrocyanic acid, is assigned the NATO code AC. This chemical warfare agent exists in various forms, including solid, liquid, and gas, and is characterized by its colorless appearance and bitter almond-like scent. It is highly volatile and can readily transition between these forms. Hydrogen cyanide is soluble in a range of solvents, including water, ethanol, chloroform, and benzene, and retains its properties when dissolved in water. Hydrogen cyanide is lighter than air in its gaseous form, facilitating its rapid dispersion in the atmosphere. Exposure to hydrogen cyanide can occur through inhalation, absorption through skin openings, contact with the skin or eyes, or ingestion [94]. Hydrogen cyanide typically leads to eye and upper respiratory tract irritation, hampering enzyme systems [95]. Once hydrogen cyanide enters the bloodstream, it interferes with the activity of the cytochrome oxidase enzyme, preventing the utilization of oxygen by cells [96, 97]. This disruption results in respiratory failure and eventual fatality.

2.5.2. Cyanogen chloride (ClCN)

Cyanogen chloride (CK), also referred to as chlorine cyanide or chlorocyanogen, is a chemical warfare agent that exhibits different physical states depending on its temperature. It appears as a colorless liquid at temperatures below 12.8°C and a gaseous substance above this threshold. CK is characterized by its high volatility and systemic toxicity, disrupting the body's oxygen utilization mechanisms. Upon exposure, CK transforms hydrogen cyanide, which then deactivates crucial enzyme systems within the body. This results in systemic effects that affect various bodily systems, including the cardiovascular, central nervous, and pulmonary systems. CK exposure poses a significant risk and can lead to severe consequences, including fatality. CK can be combined with stabilizing agents like sodium pyrophosphate to enhance its shelf life. It also finds applications in commercial settings, particularly in chemical synthesis and fumigation processes [98].

2.5.3. Arsine

Arsine is a highly toxic chemical compound that exists as a colorless, flammable gas and emits an odor reminiscent of garlic, a characteristic common to many arsenic compounds. Unlike some other chemicals, arsenic is not naturally occurring but is produced commercially through specific chemical reactions. The industrial synthesis of arsine involves the reaction between aluminum arsenide and water or hydrochloric acid. Alternatively, it can be generated through the electrochemical reduction of arsenic compounds in an acidic solution [99]. Arsine has the potential to accumulate within the body,

leading to harmful effects. It can replace calcium in bones, inhibiting the formation of new blood cells in the bone marrow. When arsine enters the bloodstream via the respiratory system, it can cause liver and kidney damage and give rise to symptoms associated with hemolytic anemia, a condition characterized by the premature breakdown of red blood cells [100].

3. DECONTAMINATION OF CWAS

Decontamination of chemical warfare agents (CWAs) is a critical process aimed at removing these hazardous substances from affected areas or individuals to minimize their harmful effects. Rapid and effective decontamination is crucial for reducing the potential harm caused by CWAs. Decontamination typically involves chemical modification of the CWA through methods such as hydrolysis, catalysis, or oxidation [101, 102]. Here are some key points regarding the decontamination of CWAs:

Importance of Time: Time is a critical factor in the decontamination process. Decontamination should occur as quickly as possible to prevent further exposure and harm. For skin exposure, immediate decontamination (within one minute) is recommended using water, soap, talcum powder, or specialized decontaminants [103].

Contaminated Clothing: If clothing is contaminated with CWAs, it should be removed with care to prevent skin contact with the agent. Cutting off contaminated clothing may be necessary.

Decontaminating Agents:

Hypochlorite Solution: A 0.5% hypochlorite solution (household bleach diluted at 1:10) is

considered one of the most effective decontaminating agents for CWAs. It works through physical removal, oxidation, or hydrolysis of the agent. It can be used on skin and soft tissue injuries, including open lacerations. After using hypochlorite solution on wounds, they should be washed with sterile saline solution.

M291 Resin: Dry wipes, known as M291 resin, composed of dry black carbon material, are used for point decontamination on the skin of contaminated individuals.

Sodium Hydroxide: Sodium hydroxide dissolved in an organic solvent can be used in emergencies. It is effective against V agents and mustard agents. However, it should be used with caution.

DS-2 (Decontamination Solution-2): DS-2 is a decontaminating solution consisting of 2% sodium hydroxide, 28% ethylene glycol monomethyl ether, and 70% diethylene triamine. It is used to decontaminate equipment that has been exposed to nerve or blister agents. DS-2 can neutralize these chemicals within 30 minutes [104].

Effective decontamination is essential to minimize the health risks associated with CWAs. Depending on the specific CWA involved and the affected area or individual, different decontaminating agents and methods may be employed.

4. CONCLUSION

In this comprehensive examination of chemical warfare agents (CWAs) and their associated characteristics, we have delved into a range of

toxic substances, each designed for distinct purposes on the battlefield. These agents, from nerve agents like Sarin and VX to choking agents like Chlorine and phosgene, serve as a chilling reminder of the potential for human-made devastation. Nerve agents, with their unparalleled toxicity, leave little room for error. Immediate decontamination, coupled with timely medical intervention, becomes paramount when confronting the severe consequences of exposure. Likewise, blister agents like Sulfur Mustard Nitrogen Mustards and Lewisite emphasize the dire need for swift response and effective decontamination strategies, given their ability to induce organ damage and promote cellular disruption. Choking agents, Riot control agents, and Incapacitating agents, while less lethal, still pose significant risks and necessitate rapid mitigation and supportive care measures. A thorough understanding of these agents and their potential for harm is crucial for ensuring effective decontamination and minimizing health impacts. Systemic agents, with their swift and devastating effects on the body's oxygen utilization, leave little time for response. Immediate decontamination and medical intervention are paramount to counter the severe consequences of exposure. Decontamination methods, discussed extensively in this manuscript, are the first line of defense against the devastating effects of CWAs. From hypochlorite solutions to specialized decontaminants like M291 resin, the choice of decontaminating agents is vital and depends on the nature of the agent and the affected area. From the past to the present, CWAs have always been a source of concern. In line with the developing technological approaches, it is clear that

traditional weapons can be replaced by new-generation chemicals produced in the laboratory. International agreements such as the Chemical Weapons Convention should be increased. Thus, these agreements should help control the spread of chemical weapons and safely destroy existing weapons. In conclusion, a comprehensive understanding of chemical warfare agents and their corresponding decontamination protocols is critical for safeguarding human lives and the environment in the event of CWA incidents. Preparedness, rapid response, and effective decontamination procedures form the cornerstone of mitigating the catastrophic effects of these toxic substances and upholding global security.

ACKNOWLEDGMENTS

This study was supported by Research Foundation of Selcuk University (Grant number 22212033).

AUTHORSHIP CONTRIBUTION STATEMENT

İrem Mukaddes Bilgiseven: Writing- review & editing, Writing-original draft, Investigation, Conceptualization.

Serdar Karakurt: Writing- review & editing, Validation.

CONFLICTS OF INTEREST

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

REFERENCES

- [1] T. Loveridge, "The Road Past Monchy: Fighting the First World War at Arras, 1914–

- 1918." Indiana University Press, 2024.Publication.
- [2] A. Zieliński, "[First chemical mass attack in history of wars, Bolimów, January 31, 1915]," (in pol), Przegl. Epidemiol., vol. 64, no. 3, pp. 449-53, 2010. Pierwszy masowy atak chemiczny w historii wojen Bolimów, 31 stycznia 1915 R.
- [3] J. Leeke, "The Gas and Flame Men." U of Nebraska Press, 2024.Publication.
- [4] W. S. Zapotoczny, "The Use of Poison Gas in World War I and the Effect on Society," ed, 2007.
- [5] T. C. Nicholson-Roberts, "Phosgene use in World War 1 and early evaluations of pathophysiology," J. R. Army Med. Corps, vol. 165, no. 3, pp. 183-187, 2019, doi: 10.1136/jramc-2018-001072.
- [6] H. Salem, A. L. Ternay Jr, and J. K. Smart, "Brief history and use of chemical warfare agents in warfare and terrorism," in *Chemical warfare agents*: CRC Press, 2019, pp. 3-15.
- [7] J. A. Johnson and R. MacLeod, "The war the victors lost: the dilemmas of chemical disarmament, 1919–1926," in *Frontline and factory: Comparative perspectives on the chemical industry at war, 1914–1924*: Springer, 2006, pp. 221-245.
- [8] N. H. Johnson, J. C. Larsen, and E. C. Meek, "Historical perspective of chemical warfare agents," in *Handbook of toxicology of chemical warfare agents*: Elsevier, 2020, pp. 17-26.
- [9] V. Pitschmann, "Overall view of chemical and biochemical weapons," *Toxins* (Basel), vol. 6, no. 6, pp. 1761-1784, 2014.
- [10] J. Patocka and R. Jelinkova, "Atropine and atropine-like substances usable in warfare," *Mil. Med. Sci. Lett*, vol. 86, no. 2, pp. 58-69, 2017.
- [11] R. Eardley-Pryor, "The Paradoxes of Tear Gas in the Vietnam Era," *Toxic Airs: Body, Place, Planet in Historical Perspective*, p. 50, 2014.
- [12] R. B. Cope, "Acute cyanide toxicity and its treatment: the body is dead and may be red but does not stay red for long," in *Handbook of Toxicology of Chemical Warfare Agents*: Elsevier, 2020, pp. 373-388.
- [13] D. D. Palkki and L. Rubin, "Saddam Hussein's role in the gassing of Halabja," *The Nonproliferation Review*, vol. 28, no. 1-3, pp. 115-129, 2021.
- [14] A. E. Smithson, "The Chemical Weapons Convention," *Multilateralism and US Foreign Policy: Ambivalent Engagement*, pp. 247-266, 2002.
- [15] F. Nguyen and A. K. Shetty, "Gulf War illness with or without post-traumatic stress disorder: differential symptoms and immune responses," *Military Medical Research*, vol. 11, no. 1, p. 5, 2024.
- [16] I. Reader, "Religious violence in contemporary Japan: The case of Aum Shinrikyo." Routledge, 2013.Publication.
- [17] M. Girdhar, "Syria chemical attack," *Fire Engineer*, vol. 42, no. 2, pp. 17-19, 2017.
- [18] R. Goldman and G. C. Gaviola, "Methyl isocyanate—Bhopal, India, 1984," in *History of Modern Clinical Toxicology*: Elsevier, 2022, pp. 85-96.
- [19] M. Czub *et al.*, "Acute aquatic toxicity of arsenic-based chemical warfare agents to *Daphnia magna*," *Aquat. Toxicol.*, vol. 230, p. 105693, 2021.
- [20] T. C. Marrs, "Toxicology of organophosphate nerve agents," *Chemical warfare agents: toxicology and treatment*, vol. 2, 2007.

- [21] S. Chauhan *et al.*, "Chemical warfare agents," *Environmental Toxicology and Pharmacology*, vol. 26, no. 2, pp. 113-122, 2008/09/01/ 2008, doi: <https://doi.org/10.1016/j.etap.2008.03.003>.
- [22] N. H. Barakat *et al.*, "Chemical synthesis of two series of nerve agent model compounds and their stereoselective interaction with human acetylcholinesterase and human butyrylcholinesterase," *Chem. Res. Toxicol.*, vol. 22, no. 10, pp. 1669-1679, 2009.
- [23] C. H. Gunderson, C. R. Lehmann, F. R. Sidell, and B. Jabbari, "Nerve agents: a review," *Neurology*, vol. 42, no. 5, pp. 946-946, 1992.
- [24] N. Munro, "Toxicity of the organophosphate chemical warfare agents GA, GB, and VX: implications for public protection," *Environ. Health Perspect.*, vol. 102, no. 1, pp. 18-37, 1994.
- [25] P. Erkekoğlu and B. Koçer-Gümüşel, "Kimyasal savaş ajanları: tarihçeleri, toksisiteleri, saptanmaları ve hazırlıklı olma," *Hacettepe University Journal of the Faculty of Pharmacy*, vol. 38, no. 1, pp. 24-38, 2018.
- [26] G. S. Sirin, Y. Zhou, L. Lior-Hoffmann, S. Wang, and Y. Zhang, "Aging mechanism of soman inhibited acetylcholinesterase," *The journal of physical chemistry B*, vol. 116, no. 40, pp. 12199-12207, 2012.
- [27] O. Yagmuroglu and B. Subasi, "Nerve agents: chemical structures, effect mechanisms and detection methods," *Open Access J Sci*, vol. 4, no. 2, pp. 47-50, 2020.
- [28] S. Costanzi, J.-H. Machado, and M. Mitchell, "Nerve Agents: What They Are, How They Work, How to Counter Them," *ACS Chem. Neurosci.*, vol. 9, no. 5, pp. 873-885, 2018/05/16 2018, doi: [10.1021/acschemneuro.8b00148](https://doi.org/10.1021/acschemneuro.8b00148).
- [29] K. Ganesan, S. K. Raza, and R. Vijayaraghavan, "Chemical warfare agents," *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, vol. 2, no. 3, pp. 166-178, 2010, doi: [10.4103/0975-7406.68498](https://doi.org/10.4103/0975-7406.68498).
- [30] B. A. Golomb, "Acetylcholinesterase inhibitors and Gulf War illnesses," (in eng), *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 105, no. 11, pp. 4295-300, Mar 18 2008, doi: [10.1073/pnas.0711986105](https://doi.org/10.1073/pnas.0711986105).
- [31] H. Rice, S. J. Whitfield, S. J. Fairhall, I. R. Scott, G. B. Steventon, and J. E. H. Tattersall, "Efficacy of the oxime HI-6 dimethanesulphonate in the treatment of guinea-pigs exposed to the nerve agents GB and GD," *Toxicol. Lett.*, vol. 391, pp. 26-31, 2024/01/01/ 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2023.11.007>.
- [32] F. Göllitz, J. Herbert, F. Worek, and T. Wille, "AChE reactivation in precision-cut lung slices following organophosphorus compound poisoning," *Toxicol. Lett.*, vol. 392, pp. 75-83, 2024/02/01/ 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2023.12.014>.
- [33] M. Noga, A. Michalska, and K. Jurowski, "Review of Possible Therapies in Treatment of Novichoks Poisoning and HAZMAT/CBRNE Approaches: State of the Art," *Journal of Clinical Medicine*, vol. 12, no. 6, p. 2221, 2023. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2077-0383/12/6/2221>.
- [34] M. B. Abou-Donia, B. Siracuse, N. Gupta, and A. Sobel Sokol, "Sarin (GB, O-isopropyl methylphosphonofluoridate) neurotoxicity: critical review," *Crit. Rev. Toxicol.*, vol. 46, no. 10, pp. 845-875, 2016.
- [35] M. Moshiri, E. Darchini-Maragheh, and M. Balali-Mood, "Advances in toxicology and medical treatment of chemical warfare nerve agents," *DARU Journal of Pharmaceutical Sciences*, vol. 20, pp. 1-24, 2012.
- [36] B. Boskovic, "The treatment of Soman poisoning and its perspectives," *Fundam Appl*

- Toxicol, vol. 1, no. 2, pp. 203-13, Mar-Apr 1981, doi: 10.1016/s0272-0590(81)80059-0.[37]
- M. Balali-Mood and H. Saber, "Recent advances in the treatment of organophosphorous poisonings," *Iranian journal of medical sciences*, vol. 37, no. 2, p. 74, 2012.
- [38] M. I. Solano *et al.*, "Quantification of nerve agent VX-butylcholinesterase adduct biomarker from an accidental exposure," *J. Anal. Toxicol.*, vol. 32, no. 1, pp. 68-72, 2008.
- [39] M. Taşkın and K. Baş, "Investigation of Exercise Addiction Levels of Firefighter," *Turkish Journal of Sport and Exercise*, vol. 26, no. 2, pp. 152-159, 2024.
- [40] K. Kehe and L. Szinicz, "Medical aspects of sulphur mustard poisoning," *Toxicology*, vol. 214, no. 3, pp. 198-209, 2005.
- [41] M. P. Shakarjian *et al.*, "Mechanisms mediating the vesicant actions of sulfur mustard after cutaneous exposure," *Toxicol. Sci.*, vol. 114, no. 1, pp. 5-19, 2010.
- [42] A. C. Carr, C. L. Hawkins, S. R. Thomas, R. Stocker, and B. Frei, "Relative reactivities of N-chloramines and hypochlorous acid with human plasma constituents," *Free Radical Biology and Medicine*, vol. 30, no. 5, pp. 526-536, 2001.
- [43] S. Pant, R. Vijayaraghavan, G. Kannan, and K. Ganesan, "Sulphur mustard induced oxidative stress and its prevention by sodium 2, 3-dimercapto propane sulphonic acid (DMPS) in mice," *Biomedical and environmental sciences: BES*, vol. 13, no. 3, pp. 225-232, 2000.
- [44] L. Virág, "Structure and function of poly (ADP-ribose) polymerase-1: role in oxidative stress-related pathologies," *Curr. Vasc. Pharmacol.*, vol. 3, no. 3, pp. 209-214, 2005.
- [45] J. J. Haddad, "Redox and oxidant-mediated regulation of apoptosis signaling pathways: immuno-pharmaco-redox conception of oxidative siege versus cell death commitment," *Int. Immunopharmacol.*, vol. 4, no. 4, pp. 475-493, 2004.
- [46] S. Mouret *et al.*, "Topical efficacy of dimercapto-chelating agents against lewisite-induced skin lesions in SKH-1 hairless mice," *Toxicology and Applied Pharmacology*, vol. 272, no. 2, pp. 291-298, 2013/10/15/ 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.taap.2013.06.012>.
- [47] I. Giuliani, E. Boivieux-Ulrich, O. Houcine, C. Guennou, and F. Marano, "Toxic effects of mechlorethamine on mammalian respiratory mucociliary epithelium in primary culture," *Cell biology and toxicology*, vol. 10, pp. 231-246, 1994.
- [48] K. Kehe, F. Balszuweit, J. Emmeler, H. Kreppel, M. Jochum, and H. Thiermann, "Sulfur mustard research—strategies for the development of improved medical therapy," *Eplasty*, vol. 8, 2008.
- [49] B. J. Lukey, J. A. Romano Jr, and H. Salem, "Chemical warfare agents: biomedical and psychological effects, medical countermeasures, and emergency response." CRC Press, 2019.Publication.
- [50] P. McNutt *et al.*, "Pathogenesis of acute and delayed corneal lesions after ocular exposure to sulfur mustard vapor," *Cornea*, vol. 31, no. 3, pp. 280-290, 2012.
- [51] C. Pohl *et al.*, "Acute morphological and toxicological effects in a human bronchial coculture model after sulfur mustard exposure," *Toxicol. Sci.*, vol. 112, no. 2, pp. 482-489, 2009.
- [52] M. E. Byrnes, D. A. King, and P. M. Tierno Jr, "Nuclear, chemical, and biological terrorism: Emergency response and public protection." CRC Press, 2003.Publication.
- [53] G. S. More, A. B. Thomas, S. S. Chitlange, R. K. Nanda, and R. L. Gajbhiye, "Nitrogen mustards as alkylating agents: a review

on chemistry, mechanism of action and current USFDA status of drugs," *Anti-Cancer Agents in Medicinal Chemistry (Formerly Current Medicinal Chemistry-Anti-Cancer Agents)*, vol. 19, no. 9, pp. 1080-1102, 2019.

[54] Y. Chen, Y. Jia, W. Song, and L. Zhang, "Therapeutic potential of nitrogen mustard based hybrid molecules," *Front. Pharmacol.*, vol. 9, p. 1453, 2018.

[55] C. Li *et al.*, "Molecular mechanism underlying pathogenesis of lewisite-induced cutaneous blistering and inflammation: chemical chaperones as potential novel antidotes," *The American journal of pathology*, vol. 186, no. 10, pp. 2637-2649, 2016.

[56] R. K. Srivastava *et al.*, "Cutaneous exposure to lewisite causes acute kidney injury by invoking DNA damage and autophagic response," *American Journal of Physiology-Renal Physiology*, vol. 314, no. 6, pp. F1166-F1176, 2018.

[57] A. A. Lazarus and A. Devereaux, "Potential agents of chemical warfare: Worst-case scenario protection and decontamination methods," *Postgrad. Med.*, vol. 112, no. 5, pp. 133-140, 2002.

[58] S. Luo, H. Trübel, C. Wang, and J. Pauluhn, "Phosgene-and chlorine-induced acute lung injury in rats: comparison of cardiopulmonary function and biomarkers in exhaled breath," *Toxicology*, vol. 326, pp. 109-118, 2014.

[59] M. Mane, R. Balaskar, S. Gavade, P. Pabrekar, and D. Mane, "An efficient and greener protocol towards synthesis of unsymmetrical N, N'-biphenyl urea," *Arabian Journal of Chemistry*, vol. 6, no. 4, pp. 423-427, 2013.

[60] T. Zellner and F. Eyer, "Choking agents and chlorine gas—history, pathophysiology, clinical effects and treatment," *Toxicol. Lett.*, vol. 320, pp. 73-79, 2020.

[61] G. Leonardos, D. Kendall, and N. Barnard, "Odor threshold determination of 53 odorant chemicals," *Journal of Environmental Conservation Engineering*, vol. 3, no. 8, pp. 579-585, 1974.

[62] J. J. Collins *et al.*, "Results from the US industry-wide phosgene surveillance: the Diller Registry," *Journal of occupational and environmental medicine*, vol. 53, no. 3, pp. 239-244, 2011.

[63] J. Borak and W. F. Diller, "Phosgene exposure: mechanisms of injury and treatment strategies," *Journal of occupational and environmental medicine*, vol. 43, no. 2, pp. 110-119, 2001.

[64] W. Diller, "Pathogenesis of phosgene poisoning," *Toxicology and industrial health*, vol. 1, no. 2, pp. 7-15, 1985.

[65] C. Grainge and P. Rice, "Management of phosgene-induced acute lung injury," *Clin. Toxicol.*, vol. 48, no. 6, pp. 497-508, 2010.

[66] L. S. Hardison, E. Wright, and A. F. Pizon, "Phosgene exposure: a case of accidental industrial exposure," *J. Med. Toxicol.*, vol. 10, pp. 51-56, 2014.

[67] E. TM and S. RJ, "Effect Of Turbidity On Chlorination Efficiency And Bacterial Persistence in Drinking Water," 1981.

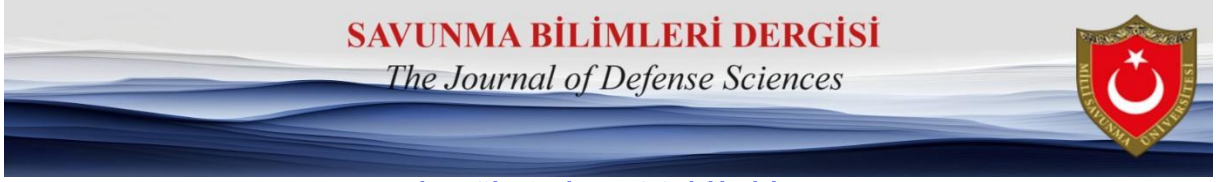
[68] B. Deshwal and H.-K. Lee, "Kinetics and mechanism of chloride based chlorine dioxide generation process from acidic sodium chlorate," *J. Hazard. Mater.*, vol. 108, no. 3, pp. 173-182, 2004.

[69] C. W. White and J. G. Martin, "Chlorine gas inhalation: human clinical evidence of toxicity and experience in animal models," *Proc. Am. Thorac. Soc.*, vol. 7, no. 4, pp. 257-263, 2010.

- [70] D. C. Richter, "Chemical soldiers: British gas warfare in World War I." University Press of Kansas, 1992.Publication.
- [71] K. E. Jackson, "Chloropicrin," *Chem. Rev.*, vol. 14, no. 2, pp. 251-286, 1934.
- [72] L. Condie, F. B. Daniel, G. R. Olson, and M. Robinson, "Ten and ninety-day toxicity studies of chloropicrin in Sprague-Dawley rats," *Drug and chemical toxicology*, vol. 17, no. 2, pp. 125-137, 1994.
- [73] L. J. Schep, R. J. Slaughter, and D. I. McBride, "Riot control agents: the tear gases CN, CS and OC—a medical review," *BMJ Military Health*, vol. 161, no. 2, pp. 94-99, 2015.
- [74] P. G. Blain, "Tear gases and irritant incapacitants: 1-chloroacetophenone, 2-chlorobenzylidene malononitrile and dibenz [b, f]-1, 4-oxazepine," *Toxicol. Rev.*, vol. 22, pp. 103-110, 2003.
- [75] J. P. Sanford, "Medical aspects of riot control (harassing) agents," *Annu. Rev. Med.*, vol. 27, no. 1, pp. 421-429, 1976.
- [76] S. Cucinell *et al.*, "Biochemical interactions and metabolic fate of riot control agents," in *Federation proceedings*, 1971, vol. 30, no. 1, pp. 86-91.
- [77] E. J. Olajos and H. Salem, "Riot control agents: pharmacology, toxicology, biochemistry and chemistry," *Journal of Applied Toxicology: An International Journal*, vol. 21, no. 5, pp. 355-391, 2001.
- [78] J. F. Mackworth, "The inhibition of thiol enzymes by lachrymators," *Biochem. J.*, vol. 42, no. 1, p. 82, 1948.
- [79] E. Rietveld, L. Delbressine, T. Waegemaekers, and F. Seutter-Berlage, "2-Chlorobenzylmercapturic acid, a metabolite of the riot control agent 2-chlorobenzylidene malononitrile (CS) in the rat," *Arch. Toxicol.*, vol. 54, pp. 139-144, 1983.
- [80] C. Rothenberg, S. Achanta, E. R. Svendsen, and S. E. Jordt, "Tear gas: an epidemiological and mechanistic reassessment," *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, vol. 1378, no. 1, pp. 96-107, 2016.
- [81] B. Ballantyne, "The acute mammalian toxicology of dibenz (b, f)-1, 4-oxazepine," *Toxicology*, vol. 8, no. 3, pp. 347-379, 1977.
- [82] M. French *et al.*, "The fate of dibenz [b, f]-1, 4-oxazepine (CR) in the rat, rhesus monkey and guinea-pig. Part I. Metabolism in vivo," *Xenobiotica*, vol. 13, no. 6, pp. 345-359, 1983.
- [83] R. C. Gupta, "Handbook of toxicology of chemical warfare agents." Academic Press, 2015.Publication.
- [84] M. Crowley and M. Dando, "The use of incapacitating chemical agent weapons in law enforcement," *The International Journal of Human Rights*, vol. 19, no. 4, pp. 465-487, 2015.
- [85] R. J. Mathews, "Central nervous system-acting chemicals and the chemical weapons convention: a former scientific adviser's perspective," *Pure Appl. Chem.*, vol. 90, no. 10, pp. 1559-1575, 2018.
- [86] M. J. Roy, "Physician's guide to terrorist attack." Springer Science & Business Media, 2003.Publication.
- [87] R. J. Lefkowitz, "Historical review: a brief history and personal retrospective of seven-transmembrane receptors," *Trends Pharmacol. Sci.*, vol. 25, no. 8, pp. 413-422, 2004.
- [88] R. C. Jović and Š. Zupanc, "Inhibition of stimulated cerebral respiration in vitro and oxygen consumption in vivo in rats treated by cholinolytic drugs," *Biochem. Pharmacol.*, vol. 22, no. 10, pp. 1189-1194, 1973.

- [89] W.-F. Liu, N.-W. Hu, T.-F. Chien, and J. M. Beaton, "Effects of 3-quinuclidinyl benzilate on fixed-ratio responding and open field behavior in the rat," *Psychopharmacology*, vol. 80, pp. 10-13, 1983.
- [90] K. Krebs-Thomson, M. P. Paulus, and M. A. Geyer, "Effects of hallucinogens on locomotor and investigatory activity and patterns: influence of 5-HT_{2A} and 5-HT_{2C} receptors," *Neuropsychopharmacology*, vol. 18, no. 5, pp. 339-351, 1998.
- [91] S. Giacomelli, M. Palmery, L. Romanelli, C. Y. Cheng, and B. Silvestrini, "Lysergic acid diethylamide (LSD) is a partial agonist of D₂ dopaminergic receptors and it potentiates dopamine-mediated prolactin secretion in lactotrophs in vitro," *Life Sci.*, vol. 63, no. 3, pp. 215-222, 1998.
- [92] C. D. Nichols and E. Sanders-Bush, "A single dose of lysergic acid diethylamide influences gene expression patterns within the mammalian brain," *Neuropsychopharmacology*, vol. 26, no. 5, pp. 634-642, 2002.
- [93] T. Cummings, "The treatment of cyanide poisoning," *Occup. Med.*, vol. 54, no. 2, pp. 82-85, 2004.
- [94] M. Ansell and F. Lewis, "A review of cyanide concentrations found in human organs. A survey of literature concerning cyanide metabolism, 'normal', non-fatal, and fatal body cyanide levels," *J. Forensic Med.*, vol. 17, no. 4, pp. 148-155, 1970.
- [95] K. Abraham, T. Buhrke, and A. Lampen, "Bioavailability of cyanide after consumption of a single meal of foods containing high levels of cyanogenic glycosides: a crossover study in humans," *Arch. Toxicol.*, vol. 90, pp. 559-574, 2016.
- [96] D. Donato, O. Nichols, H. Possingham, M. Moore, P. Ricci, and B. Noller, "A critical review of the effects of gold cyanide-bearing tailings solutions on wildlife," *Environ. Int.*, vol. 33, no. 7, pp. 974-984, 2007.
- [97] E. Jaszczak, Ż. Polkowska, S. Narkowicz, and J. Namieśnik, "Cyanides in the environment—analysis—problems and challenges," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 24, pp. 15929-15948, 2017.
- [98] S. Gaskin, L. Thredgold, D. Pisaniello, M. Logan, and C. Baxter, "Is the skin an important exposure route for workers during cyanogen fumigation?," *Pest Manage. Sci.*, vol. 76, no. 4, pp. 1443-1447, 2020.
- [99] D. Pakulska and S. Czerczak, "Hazardous effects of arsine: a short review," *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, vol. 19, no. 1, pp. 36-44, 2006.
- [100] L. T. Rael, F. Ayala-Fierro, R. Bar-Or, D. E. Carter, and D. S. Barber, "Interaction of arsine with hemoglobin in arsine-induced hemolysis," *Toxicol. Sci.*, vol. 90, no. 1, pp. 142-148, 2006.
- [101] T. Mahato, G. Prasad, B. Singh, J. Acharya, A. Srivastava, and R. Vijayaraghavan, "Nanocrystalline zinc oxide for the decontamination of sarin," *J. Hazard. Mater.*, vol. 165, no. 1-3, pp. 928-932, 2009.
- [102] S. Karakurt and K. Baş, "Kimyasal, Biyolojik, Radyolojik ve Nükleer (KBRN) Olayları İçin Dekontaminasyon Solüsyonları ve Teknikleri," *Savunma Bilimleri Dergisi*, vol. 20, no. 1, pp. 29-48, 2024.
- [103] G. Amitai, H. Murata, J. D. Andersen, R. R. Koepsel, and A. J. Russell, "Decontamination of chemical and biological warfare agents with a single multi-functional material," *Biomaterials*, vol. 31, no. 15, pp. 4417-4425, 2010.
- [104] V. Kumar, R. Goel, R. Chawla, M. Silambarasan, and R. K. Sharma, "Chemical, biological, radiological, and nuclear

decontamination: Recent trends and future perspective," Journal of Pharmacy And Bioallied Sciences, vol. 2, no. 3, pp. 220-238, 2010.



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

Forecasting Sustainability Reports with Financial Performance Indicators using Random Forest for Feature Selection and Gradient Boosting for Learning

Özellik Seçimi için Rastgele Orman ve Öğrenme için Gradyan Artırma Kullanılarak Finansal Performans Göstergeleriyle Sürdürülebilirlik Raporlarının Tahmin Edilmesi

Hakan Ayhan DAĞISTANLI^{1*} , Figen ÖZEN² , İlkey SARAÇOĞLU³ 

¹ Department of Industrial and Systems Engineering, Turkish Military Academy, National Defence University, Ankara, Turkey

² Department of Electrical and Electronics Engineering, Haliç University, İstanbul, Turkey

³ Department of Industrial Engineering, Haliç University, İstanbul, Turkey

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi

Başvuru: 31.05.2024

Düzeltilme: 13.06.2024

Kabul: 27.06.2024

Highlights

- Review the circular economy and sustainability reporting with financial performance data.
- Use non-manipulated inputs that are not dependent on market forces for analysis.
- Adapt the column-wise random shuffling method for overcome the data problem.
- Apply machine learning methods for forecasting in BIST Sustainability Index.

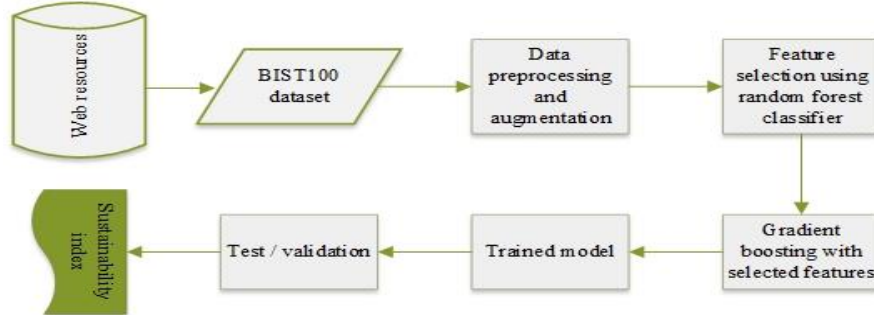
Graphical Abstract

Keywords

Machine Learning BIST Sustainability index
Financial Performance
Circular Economy
Random Forest
Gradient Boosting

Anahtar Kelimeler

Makine Öğrenmesi BIST Sürdürülebilirlik Endeksi
Finansal Performans
Döngüsel Ekonomi
Rastgele Orman
Gradyan Artırma



Abstract

Firms want to be included in the sustainability indices in order to attract the attention of the potential investor. In this study, time series data of financial performance of companies in XUSRD are used. On the other hand, contrary to the statistical analyses in the literature, to predict whether companies will take part in XUSRD, a combination of two machine learning methods, namely random forest for feature selection and gradient boosting for learning, is applied. In addition, to overcome the problem of data scarcity, the column-wise random shuffling method, which is a proven data augmentation technique in predicting stock market indices, has been preferred. The results show that the combination of random forest and gradient boosting reaches a test accuracy of 94.74% and outperforms state-of-the art models, namely, k-nearest neighbor, random forest, decision tree, support vector, naive bayes classifiers.

Özet

Firmalar potansiyel yatırımcının dikkatini çekebilmek adına sürdürülebilirlik endekslerine dahil olmak istiyor. Bu çalışmada XUSRD'deki şirketlerin finansal performansına ilişkin zaman serisi verileri kullanılmıştır. Öte yandan, literatürdeki istatistiksel analizlerin aksine, şirketlerin XUSRD'de yer alıp almayacağını tahmin etmek için, özellik seçimi için rastgele orman ve öğrenme için gradyan artırma olmak üzere iki makine öğrenmesi yönteminin bir kombinasyonu uygulanmaktadır. Ayrıca veri kıtlığı sorununun aşılması amacıyla borsa endekslerinin tahmininde kanıtlanmış bir veri büyüme tekniği olan sütun bazında rastgele karıştırma yöntemi tercih edilmiştir. Sonuçlar, rastgele orman ve gradyan artırma kombinasyonunun %94,74'lük bir test doğruluğuna ulaştığını ve k-en yakın komşu, rastgele orman, karar ağacı, destek vektörü, saf bayes sınıflandırıcıları gibi en gelişmiş modellerden daha iyi performans gösterdiğini göstermektedir.

*Corresponding author, e-mail: rdagistanli@kho.msu.edu.tr

1. INTRODUCTION

The financial and technological innovations of the last two centuries, which are still ongoing, have caused several environmental, social, and economic problems [1, 2]. In today's world, cities and businesses consume more than two-thirds of the world's energy, while producing 80% of greenhouse gas emissions and 50% of the world's waste. This has highlighted the importance of addressing environmental issues such as uncontrolled consumption of natural resources, pollution, global warming and climate change. In terms of sustainability, it is critical for businesses to reduce the environmental damage they cause in their operations or to operate without impacting the environment. Various strategies, in particular the circular economy, have been developed and used by companies to achieve this goal. The circular economy is a business concept that aims to reuse and recycle products and reduce resource consumption. It promotes economic growth, employment and environmental quality [3]. Before discussing the notion of circular economy (CE), it is necessary to discuss linear economy (LE), which played a significant role in the development of this concept. The linear economy is a type of economy that emerged with the industrial revolution, emphasizing the processing of resources, their conversion into goods, and their disposal at the end of their useful life. With this approach, known as buy-use-

dispose, it is understood that resources are employed indefinitely to manufacture items, and products are removed from usage with the intention of "buying better" before they expire. This economic approach has resulted in numerous environmental issues. Among these environmental issues include resource depletion, waste accumulation, and an increase in emissions [4, 5].

The circular economy, on the other hand, is a new economic model that seeks to reduce raw material consumption, waste, and value chain hazards by keeping the resources used in production in the production cycle for as long as possible. As a result, the circular economy appears to be both a sustainable economy and a new economic opportunity [6]. According to the European Action Plan, the circular economy is an economy in which products and materials have value. In this economy, resources are protected for as long as possible and waste generation is limited [7]. This new model, which is widely seen as an alternative to the linear economy, incorporates concepts that are critical for all businesses working within the framework of sustainable development. It focuses on reducing a company's use of resources through reduce, reuse, and recycle (3R principle), ensuring the long-term use of products, and recycling and reusing waste products [8]. Recycling, rethinking, redesign, product renewal and repair are now included in these principles, and it is emphasized that companies carry out

their activities in a cycle by developing extended Rs [9].

The circular economy represents a novel approach to more sustainable social and sectoral growth. The circular economy also aims to increase regional competitiveness and achieve a more equitable distribution of economic growth and wealth. The circular economy and the sustainability approach provide the basis for delivering long-term benefits by ensuring an economic system capable of generating long-term growth and income and functioning with high financial performance (FP) [10-12]. As a result, a deeper exploration of the idea of sustainability is needed. Furthermore, as of 2019 [13], Turkey has started to adopt the circular economy by linking it to sustainability efforts.

Sustainability has recently been considered in many different sectors [2-13]. The concept of sustainability has evolved through several stages to reach its current prominence. Globally, there have been rapid technological breakthroughs since the 1950s. Some challenges, such as environmental pollution and energy depletion, have become socially remarkable as a result of these advances in the manufacturing sector. From this perspective, the declaration adopted at the 1972 UN Conference on the Human Environment in Switzerland could be used to discuss an international awareness of sustainability. With the study [14], the

concept was recognized by a wide range of circles, especially in the field of economics. According to the report, the most common definition of sustainable development is the use of resources without compromising the needs of the present while considering future generations. Following the publication of the study, the Coalition for Environmentally Responsible Economies (CERES) principles were signed in 1989, the Earth Summit was held in 1992, and the Kyoto Protocol was signed in 1997 as part of the United Nations Framework Convention on Climate Change. The Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) Declaration on International Investment and Multinational Enterprises in 2000, the World Business Council on Sustainable Development in 2001, the OECD Parliamentary Commission on the Environment in 2002, and the United Nations Conference on Sustainable Development in 2012 have all focused on global sustainability.

The incorporation of the concept into business management practices is a result of the global importance given to sustainability in the national context. The idea of corporate sustainability has evolved from this perspective. The goal of the business system is to keep the economy viable. However, by considering difficulties related to environmental and social phenomena, rather than just economic objectives, it will be possible to ensure the managerial integration

of sustainability [15]. Once integrated, corporate sustainability will no longer be a management strategy, but an integral part of the company's culture [16]. Stakeholder theory, corporate social responsibility, corporate accountability theory, and sustainable development concepts have all been examined in studies of the management concept that internalizes corporate sustainability [17]. Stakeholder theory and legitimacy theory serve as the basis for corporate sustainability. The owners of companies, employee unions, customers, suppliers, competitors, and society are the stakeholders that give the first hypothesis its name. According to stakeholder theory, in addition to meeting the expectations of owners and shareholders, companies should also treat other stakeholders with sufficient transparency [18]. On the other hand, according to legitimacy theory, a firm's actions must be in the best interest of society as a whole in order for its legitimacy to be recognized [19].

The challenge of measuring sustainability in terms of performance has emerged with the integration of corporate sustainability into management processes and the implementation of information exchange with stakeholders without manipulation. Elkington [20] introduced the idea of the Triple Bottom Line (TBL), also referred to as the "Three Pillars of Sustainability", into the literature to be used in this research.

According to [21], TBL refers to an approach that considers performance in all three areas of economic, social and environmental aspects. Companies will have achieved their sustainability goal if they approach and apply this three-dimensional performance in a comprehensive and interactive manner.

Sustainability reporting (SR) is used to collect and analyze performance data in TBL dimensions and to communicate with stakeholders. Companies use SR to maintain effective communication with stakeholders by demonstrating the links between their actions and sustainability for their information [22-24]. The ever-increasing number of stakeholders and their growing expectations put pressure on companies to maintain SR, and the fact that management openness is provided also promotes the willingness to do so [25]. Companies that prepare SR work with the goal of being able to achieve success in terms of FP while at the same time being transparent to stakeholders.

Companies' research on sustainability has also shown its impact on the country's stock markets over time. The sustainability index, the first examples of which were observed in developed countries in the 1990s, is one of the mechanisms through which stakeholders evaluate the sustainability of organizations [26]. On November 4, 2014, the sustainability index was included in the indices of Borsa Istanbul (BIST) in Turkey. In the first BIST Sustainability Index

(XUSRD) in Turkey, there were 15 companies; by 2021, this number had increased to 65. Companies can use the index to assess their national and international sustainability performance. Previous research has shown a correlation between the XUSRD and the BIST100, with both indices showing a high degree of similarity in their behavior [27]. Furthermore, it has been found that the sustainability efforts undertaken by the companies have a positive impact on the mission, vision, strategy reports and financial reports. According to Mumcu and Ufacık [28] and Yılmaz et al. [29], the inclusion of companies in the XUSRD index has been found to lead to an acceleration of their sustainability initiatives and an increased focus on reporting.

Both anecdotal and empirical evidence support the notion that increased social and environmental reporting can improve a company's financial performance and market value [30]. This study estimates the effect of FP on SR and the publication status of the SR report by examining the relationship between SR and FP. The sample group of the study consists of XUSRD companies. Due to their structure, financial companies (holding companies, banks, insurance companies, and REITs) included in XUSRD were excluded from the sample group [31]. Firms in XUSRD are classified into two groups based on their SR preparation or non-preparation status. Profit, return on assets (ROA), return

on equity (ROE), return on sales (ROS), size, and financial leverage (LVG) are considered as FP indicators. SR was chosen as the decision variable of the model.

The objective of this study is to analyze the importance that companies attribute to SR and its impact on publication status, as evidenced by FP indicators. Numerous studies have been conducted to investigate the relationship between the variables under consideration, as evidenced by the existing literature. This study makes several distinct contributions to the existing body of knowledge. The study makes several significant contributions, which can be summarized as follows: The FP indicators discussed are not dependent on market forces and are immune to manipulation. The studies conducted in the literature used a limited dataset due to their association with the early years of the XUSRD. In contrast, this study used a more extensive and recent dataset. In this context, a comprehensive study was conducted on a sample group of 44 companies, covering the period from 2014 to 2021. The analysis does not include data for 2022, as it is currently unpublished. Rather than using classical statistical analysis based on a single method, as is common in the existing literature, this study used comparative analysis through the application of artificial intelligence techniques. To date, no other empirical investigation has been conducted that examines the correlation

between SR and FP using machine learning algorithms. The existing literature on the relationship between circularity and sustainability has been enhanced by the inclusion of the FP relationship.

The remainder of the paper is organized as follows. An extensive literature review is presented in the second part of the study. Data and methodology are presented in the third section. The methods used and the results of the analysis are presented in the fourth section, and the results and comments are presented in the fifth section.

2. LITERATURE REVIEW AND RELATED WORK

A review of the literature indicates that the terms social responsibility report, corporate social responsibility report, and SR are used interchangeably in most studies. The relationship between SR and FP is actively debated in a variety of countries, industries, and years [15, 32, 33]. There are studies that examine the relationship between these two variables as positive, negative, neutral, or no relationship based on effect. There are also studies that evaluate the FP indicators as statistically significant or insignificant. Comincioli, Poddi, and Vergalli [34] conducted a study to examine the relationship between corporate social responsibility and financial performance. The sample consisted of 317 companies that were included in at least two of three sustainability indices and a control group of 100 companies that were not

included in these indices. The analysis showed that the companies included in the XUSR index had higher market value added than those not included in the index.

Studies in the literature show that SR analysis can be included in the analysis as 1 if a report has been published by the company for the relevant year and 0 otherwise. For example, Kuzey and Uyar [35] investigated the determinants of sustainability reporting practices of companies listed on BIST. In addition to the Leverage, Size and ROA variables, the SR variable takes the value of 1 if the company publishes a sustainability report, and 0 otherwise. Kim and Kim [36] evaluated the benefits of corporate sustainability management activities, including sustainability reporting, to stakeholders with a similar approach. Conducting their research, they concluded that profitability does not significantly affect sustainability activities, but company size does.

As a second step, studies focusing on sustainability and circular economy were discussed. In Güngör's study [37], a detailed literature review was conducted. According to this study, there are descriptive-explanatory and practical studies on circular economy in the literature, as well as studies that evaluate the relationship between circular economy and sustainability on a theoretical level, examine sustainable business models, and focus on the analysis of

sustainability reporting. In addition, the study examined the SR status of 27 companies operating in the food, beverages, chemicals, petroleum, plastics, metals, textiles, leather, mining and forestry, and paper and printing sectors of the BIST100 in 2021. The results obtained are in line with the theory that the circular economy can be analyzed with SR, which was put forward in the research carried out in the textile sector by Stewart and Niero [38].

Despite the growth of multi-variable assessment approaches, the application of supervised and unsupervised learning techniques to sustainability assessment remains largely unexplored [39]. However, many machine learning methods have been used to make predictions on various topics in the stock market [40-44]. Nayak et al. [45] integrated K-Nearest Neighbor (kNN) and Support Vector Machine (SVM) methods to predict the Indian stock market index. The proposed model was found to have partially successful prediction ability based on high-dimensional data. Chen and Hao [46] used a hybrid of feature weighted SVM and feature weighted kNN methods to predict the Chinese stock market index. Ayala et al. [47] tested the performance of Linear Model (LM), Artificial Neural Network (ANN), Random Forests (RF) and Support Vector Regression (SVR) techniques to predict trading signals in three different stock market indices (IBEX, DAX and DJI). Park et al.

[48] proposed the LSTM-Forest model by integrating Long Short Term Memory (LSTM) and RF techniques on three different stock market indices (S&P500, SSE, and KOSPI200). The daily forecasting success of their proposed model was more successful than the RF algorithm. Similarly, hybrid learning methods combined with statistical models or other techniques have also been used in stock market research [49-53].

As a result of a two-step literature review; (i) the increasing trend in the studies is on the effect-based analysis of the relationship between various control variables and SR-FP; (ii) the studies on circular economy and sustainability are focused on the descriptive-explanatory or theoretical level, and the analytical application is extremely rare; (iii) numerical analyses are performed using statistical methods. (iv) It has been observed that there is no study on machine learning methods, which is one of the most recent and superior methods in the academic literature.

3. DATA AND RESEARCH METHODOLOGY

3.1. Data source and description

Companies include detailed information on all their sustainability activities in their SR reports. In this way, both the circular economy and various issues can be examined through these reports. With the global importance of sustainability activities, awareness of this issue has increased in Turkey over the years and XUSR has been

established by BIST. In this study, the data of 44 companies, excluding companies operating in the financial sector (holding, banking, insurance, real estate), included in XUSRD between 2014 and 2021 were collected through the websites of the companies and the Public Disclosure Platform.

The study used FP indicators as independent variables; they can be classified into three types: market-based, accounting-based, and perceptual measures [54]. The perceptual measures of these indicators are subjectively determined by the company's survey ratings. A review of the literature on FP indicators shows that accounting-based indicators have been widely used between 2002 and 2011 because they are objective and verifiable. These studies are followed by studies using partially objective market-based indicators, and the rate of perceptual studies for direct subjective evaluations is very low [55]. In addition to the objectivity of accounting-based measures, the reason for using market-based measures is that they incorporate stakeholders' future expectations for a company's stock [56-58]. ROA, ROE, ROS, and size and financial leverage, which are accounting-based measures with literature consensus on profitability objectivity, were used as variables in this study and are shown in Table 1.

Table 1: Explanations of the Variables.

Symbol	Description/Calculation
SR	1 if the firm publishes a sustainability report, 0 otherwise
Profit	Profit
ROA	Net Profit/Total Assets
ROE	Net Profit/Equity
ROS	Net Profit/Total Sales
Firm Size	Natural Logarithm of Total Assets
lvg	Financial Leverage = Total Liabilities/Equity

In the literature, Vitezic, Vuko and Mörec [59] examined the effect of FP-SR with ROA, ROE and size variables. Data from Croatian companies from 2002 to 2010 were analyzed using logistic regression. According to the data of Croatian companies, both profitability variables (ROA, ROE) and size variable for FP were found to be effective in publishing SR. Dağıstanlı and Çelik [60] used logistic regression analysis in their study with data between 2014-2021 for companies in XUSRD in Turkey. It was found that the size variable was significantly effective in SR publication, but the profitability variables were not. Firms in the BIST 100 sustainability index were classified by cluster analysis according to their environmental, social and governance scores (ESG) [61].

3.2. Data Augmentation Technique: Column-Wise Random Shuffling

In this study, machine learning techniques have been used rather than a single statistical method, as is often the case in the literature

on sustainability and financial performance. In many cases where a machine learning method is used, lack of data may not be an issue. However, these models are not suitable for learning patterns from high-dimensional data sets [62]. A large amount of data does not always lead to accurate results. As a result, various feature selection and feature extraction methods are applied to the inputs to reduce the data size. However, since features are learned directly from the data, reducing the input size may result in data loss and poor performance. In addition, the small data set causes the training data to be recalled, and there may be a lack of fit. Using various regularization methods in the data, it is possible to avoid unnecessary repetitions and over fitting [63].

As in this study, data augmentation is one of the best ways to make sense of and avoid fabrication when training datasets are significantly small in industries such as finance. Data augmentation methods are used in many different areas in the literature [64, 65]. For financial time series input datasets, an approach called column-wise random shuffling is proposed, which does not distort the original input dataset [66]. An example of

column-wise random shuffling using variables (V), firms (C), and years (T) is visualized in Fig. 1. First, data for 6 variables for 44 companies included in XUSRD were collected over an 8-year period, as shown in Fig. 1. For example, all 8-year values of the first variable of company 5 are reserved. New data sets (represented by cubes in Fig. 1) were obtained by randomly mixing these values on a column-by-column basis. This data increment is then iterated for all V values of each company. All new layers are designed to focus on carrying the common features of each company. It is assumed that a random mixing of all relevant V values will not reflect the characteristics of the company. Therefore, the data augmentation is limited to all company-specific V values recorded for the T period. The number of different data sets that can be generated by random shuffling on a column-by-column basis is nearly infinite. The advantage of this situation is that many similar data sets can be generated, while the disadvantage is that data augmentation with such variation can confuse the model and make learning very difficult.

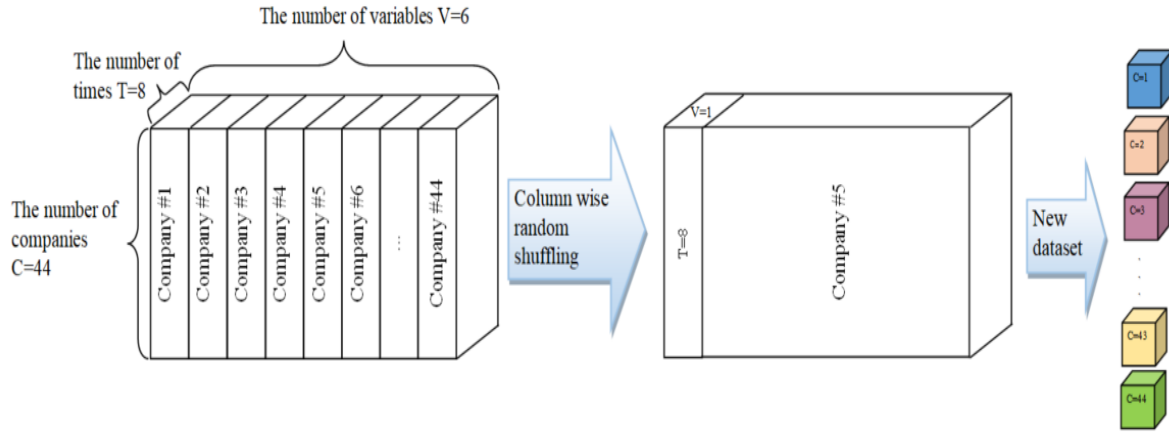


Figure 1:An Example of Column-Wise Random Shuffling In XUSRD.

4. MACHINE LEARNING METHODS USED FOR THE PREDICTION OF SUSTAINABILITY INDEX

In this study, six different algorithms are used to develop six models for classifying and predicting the sustainability indices of the companies in the BIST100. These methods are naive Bayes, k-nearest neighbor, support vector, decision tree, random forest and gradient boosting classifiers.

4.1. Naive Bayes Classifier

This classifier assumes the independence of all the features, hence it is naive. For the features 1 to N ($f_1, f_2, \dots, f_N$), and the $class\ label_i$, where $i = 1$ or 2 for the binary (two-class) problem, the probability of a particular class label given the features can be calculated as in Eq. 1.

4.2. K-Nearest Neighbor Classifier

This method measures the distance between the unknown sample and its neighbors. An evaluation is made according to the number of preselected neighbors, and hence k is predefined, and the new sample is

categorized as a member of the class to which the majority of the nearest neighbors belong. Different numbers of neighbors can be used and this number is a hyper parameter for the algorithm. It is possible to make a grid search and determine the best k . Fig. 2 shows how the k-nearest neighbor classifier works; in the figure, if $k=5$, then the classification for the blue triangle which represents the data whose class is unknown, will be determined as the class of the flag sign, since there are four flag signs and one face sign in the five-neighborhood of the blue triangle, whereas if $k=11$, then the class will be face sign.

$$P(class\ label_i | f_1, f_2, \dots, f_N) = \frac{P(f_1, f_2, \dots, f_N | class\ label_i) P(class\ label_i)}{P(f_1, f_2, \dots, f_N)} \quad (1)$$

If all the features are conditionally independent given the $class\ label_i$:

$$P(f_1, f_2, \dots, f_N | class\ label_i) = P(f_1 | class\ label_i) \dots P(f_N | class\ label_i) \quad (2)$$

Combining Eq. 1 and Eq. 2 gives

$$P(class\ label_i | f_1, f_2, \dots, f_N) = \frac{P(class\ label_i) \prod_{j=1}^N P(f_j | class\ label_i)}{P(f_1, f_2, \dots, f_N)} \quad (3)$$

The classification done by the naïve Bayes can be summarized by Eq. 4:

$$\text{class label} = \underset{i \in \{1, \dots, k\}}{\operatorname{argmax}} P(\text{class label}_i | f_1, f_2, \dots, f_N) \quad (4)$$

The class labels are assigned using the above algorithm [67]. Naive Bayes model can be used to cluster the data, and hence for classification.

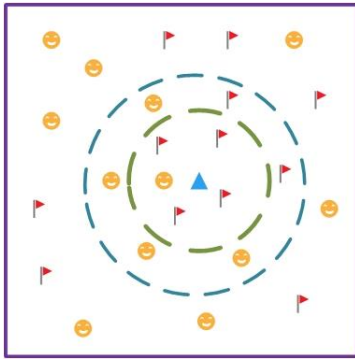


Figure 2: Practical Use of kNN.

4.3. Support Vector Classifier

Support vector machines, when used as classifiers, employ hyper plane approach for achieving their purpose [68]. The hyper planes are selected to maximize the margin for the given data. The maximization is needed to separate the given classes as apart as possible. A simple support vector classifier for a two-class problem is shown in Fig. 3. The vectors of the closest data points to the hyper plane are called the support vectors [69].

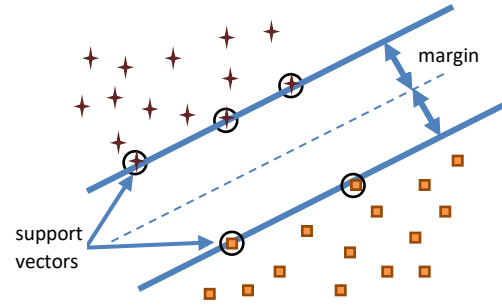


Figure 3: Simple Support Vector Classifier For A Two-Class Problem.

4.4. Decision Tree Classifier

The idea in a decision tree is to ask successive questions and form branches and sub branches to answer them. When no more questions can be asked, sub branching stops. The point at which no more sub branches are possible is called a leaf node (Fig. 4). The first question at which tree formation starts is called the root [70]. A decision tree classifier can easily over fit because it only learns through a single path and the accuracy decreases on a new sample.

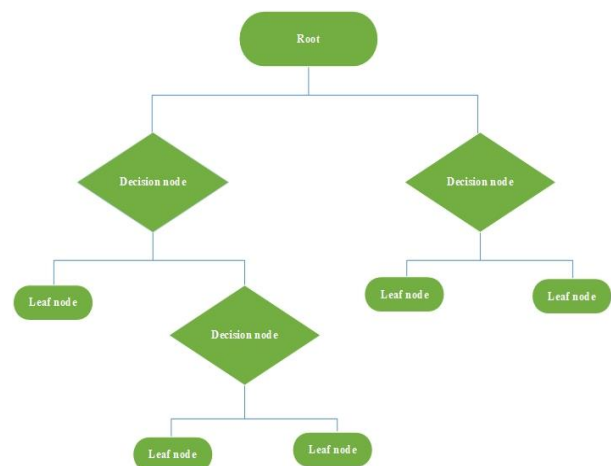


Figure 4: Simple Decision Tree Classifier.

4.5. Random forest classifier

Leo Breiman described a random forest classifier as a collection of tree-structured classifiers. Each of these classifiers is treated as an independent and identically distributed random vector. Although variations are possible, the most popular class is where each tree has a single vote, as shown in Fig. 5 [71].

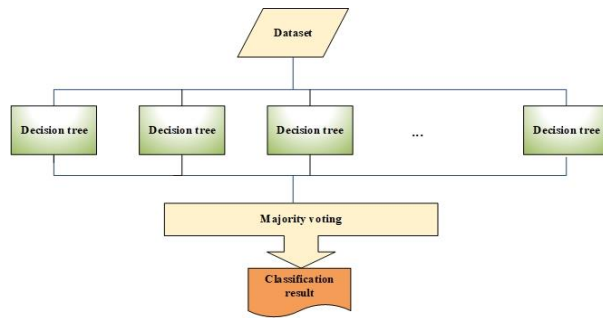


Figure 5: Random Forest Classifier.

4.6. Gradient boosting classifier

A gradient boosting classifier starts from the steepest descent algorithm but forms tree structures to create better classifications, using the concept of boosting [72]. The basic idea is illustrated in Fig. 6.

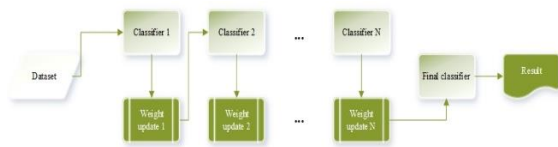


Figure 6: Gradient Boosting Classifier.

4.7. The Proposed Method

The proposed method uses a random forest classifier to select the features to be used by the machine learning algorithm to be applied later. Once the features are determined, a gradient boosting algorithm is used for classification. The classification algorithm is

used to predict the sustainability indices of the companies whose data were not introduced to the algorithm during the training process. The pipeline of the proposed method is shown in Fig. 7.

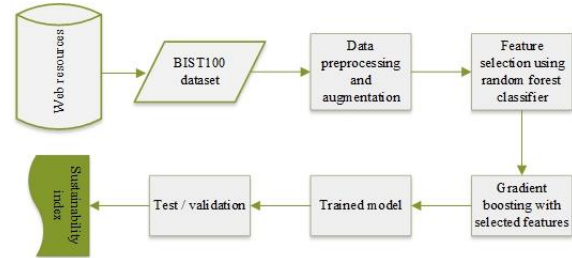


Figure 7: Pipeline For The Proposed Method.

4.7.1. Performance criteria

A number of classical and modern machine learning algorithms are used for prediction. Their performance is compared on the basis of training and test accuracy, precision, recall and F1 scores.

For binary classification, as in this work, the performance metrics are calculated using the confusion matrix given in Table 2.

Table 2: Confusion Matrix Of A Binary Classification Problem.

	Predicted	
	Positive	Negative
Actual	True Positive: <i>TP</i>	False Negative: <i>FN</i>
	False Positive: <i>FP</i>	True Negative: <i>TN</i>

Using the confusion matrix, a series of performance metrics can be defined [68]. For example, accuracy (acc) is a common metric and is defined by Eq. 5:

$$acc = \frac{TP+TN}{TP+FN+FP+TN} \quad (5)$$

Another metric that can be defined using the confusion matrix is the **precision** (Eq. 6):

$$precision = \frac{TP}{TP+FP} \quad (6)$$

Also, recall can be derived from the confusion matrix and is defined by Eq. 7:

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad (7)$$

F1-score can be obtained from precision and recall using their harmonic mean. The definition is given by Eq. 8:

$$F1 - score = \frac{2TP}{2TP+FP+FN} \quad (8)$$

In this work, accuracy, precision, recall and F1-score values for training and test are calculated and used for comparing the models obtained.

5. EXPERIMENTAL RESULTS

The simulations in this study are made using 12th Gen Intel Core i7-12650H Processor at 2.3 GHz with 16 GB of RAM and NVIDIA GeForce RTX 3060. The programming language is Python.

The data is cleaned and augmented using column-wise random shuffling method. The data file has 911 rows of data. The columns contain profit, roa, roe, ros, size, lvg and sustainability data. To give an idea about the content of data, the first five rows of the file are shown in Table 3. The statistical properties of the variables in the file are as calculated and shown in Table 4.

The dataset is almost balanced as can be seen from Fig. 8. There are 452 unsustainable and 459 sustainable companies.

Table 3: The First Five Rows Of The Data File Used In Experiments.

nr	profit	roa	roe	ros	size	lvg	sustainability
0	1	0.1562	0.2165	0.1774	21.1948	0.3864	0
1	1	0.1660	0.2357	0.1927	21.2569	0.4202	0
2	1	0.1557	0.2167	0.1774	21.1948	0.9507	0
3	1	0.0832	0.0951	0.0411	21.9769	1.0147	0
4	1	0.1557	0.2338	0.0980	21.6119	0.4202	0

Table 4: The Statistical Properties Of The Variables In The Dataset.

	count	mean	std	min	25%	50%	75%	max
profit	911	0.8342	0.3721	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0
roa	911	0.0547	0.0775	-0.2728	0.0181	0.0580	0.0998	0.3071
roe	911	0.0688	1.4762	-18.9341	0.0561	0.1521	0.2559	11.1163
ros	911	0.0570	0.1247	-0.7024	0.0115	0.0572	0.1093	0.5251
size	911	22.6309	1.3082	18.9284	21.7194	22.5133	23.7155	26.5917
lvg	911	2.9062	32.2149	-213.4637	0.9011	1.7677	3.0011	458.5816
sustainability	911	0.5038	0.5003	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0

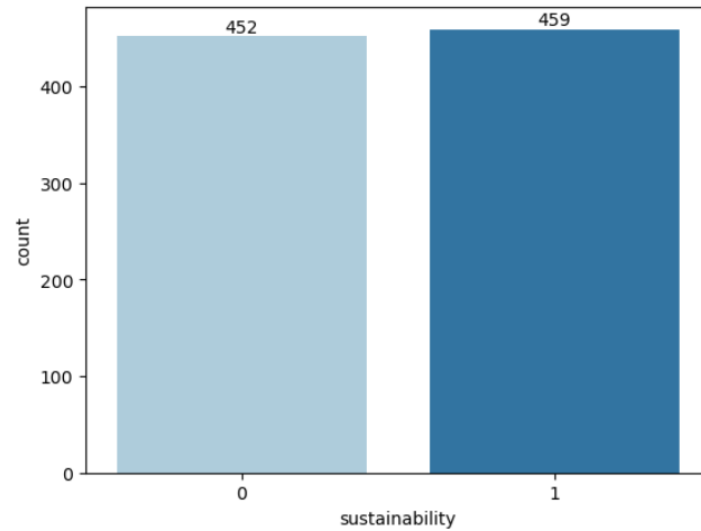


Figure 8: Distribution Of Classes In The Dataset.

5.1. The selection of features using machine learning

The comparison of attribute importance using random forest classifier is shown in Fig. 9. The maximum depth of the random forest classifier used in the attribute importance comparison is 100. It is clear from Fig. 9 that the attribute "profit" should not be used as a feature because it has the lowest importance of all. The remaining attributes have very close importance levels and they are used as features to determine the sustainability index.

Comparison of attribute importances using random forest classifier:
 ['profit', 'roa', 'roe', 'ros', 'size', 'lvg', 'sustainability']
 [0.00769755 0.1780134 0.20974414 0.16289459 0.20912923 0.2325211]

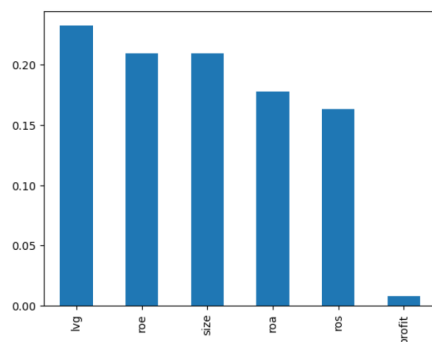


Figure 9: Attribute Importance Rating Of The Dataset Using Random Forest Classifier.

To predict the sustainability indices of the companies in the BIST100, data is manually collected from the companies' websites. Since this data is only available for the last few years, the data set is very small. The modern algorithms, especially the deep algorithms, need a large amount of data for prediction. Therefore, in this study, a data augmentation technique, namely column-wise random shuffling, has been used to increase the size of the data. The total size is 911 rows, where the sustainability index is zero for 452 rows of data and one for 459 rows of data.

To predict the sustainability index for the dataset, 98% of the data is used for training and 2% for testing. Most of the data is used for training simply because deep models have many parameters to determine and these parameters can be defined using a lot of data. The results are shown in Table 5 in ascending order as far as the test accuracy, precision,

recall and F1 score values are concerned. The same order is observed for training, except for the fourth and fifth rows. It is clear from Table 4 that the best results are obtained using the gradient boosting classifier (GBC). For example, the test accuracy is 12.50% better than its closest competitor, the k nearest neighbor classifier (kNN). On the other hand, the worst accuracy is obtained by a classical algorithm, namely naive Bayes classifier (NBC). A comparison of GBC and NBC shows that GBC has a 62.66% higher test accuracy.

Although the test accuracies of the decision tree classifier (DTC) and the random forest classifier (RFC) are the same, the training accuracy of the random forest classifier (RFC) is better. The same discrepancy is

observed for precision, recall and F1 score in training, while the opposite is true for test values. The test scores of k nearest neighbor (kNN) classifier are better than both DTC and RFC, although the training scores of kNN may be a little worse than RFC. Test performance is given a higher priority in this work.

All models obtained in this work are optimized by grid search in simulation. The support vector classifier uses a radial basis function. The nearest neighbor classifier uses 3 neighbors for classification. The decision tree and random forest classifiers use a maximum depth of 5. The gradient boosting classifier uses 100 estimators with a maximum depth of 5.

Table 5: Simulation Results For Various Classifiers For The Given Dataset.

Method	train acc	test acc	prec_train	prec_test	recall_train	recall_test	f1_train	f1_test
NBC	57.06	57.89	0.6464	0.6146	0.5682	0.5611	0.5030	0.5128
SVC	63.12	73.68	0.6497	0.7386	0.6300	0.7333	0.6181	0.7339
DTC	78.92	78.95	0.7962	0.8036	0.7887	0.7833	0.7878	0.7841
RFC	84.87	78.95	0.8492	0.8036	0.8485	0.7833	0.8486	0.7841
kNN	83.97	84.21	0.8416	0.8846	0.8394	0.8333	0.8394	0.8348
GBC	99.89	94.74	0.9989	0.9545	0.9989	0.9444	0.9989	0.9468

To examine the performance of the GBC in more detail, the confusion matrices in training and test are drawn. The results are shown as percentages. In Fig. 10, it is seen that in training phase none of the sustainability “1” data is classified incorrectly, whereas 0.11% of all the data are classified incorrectly as sustainability “1”.

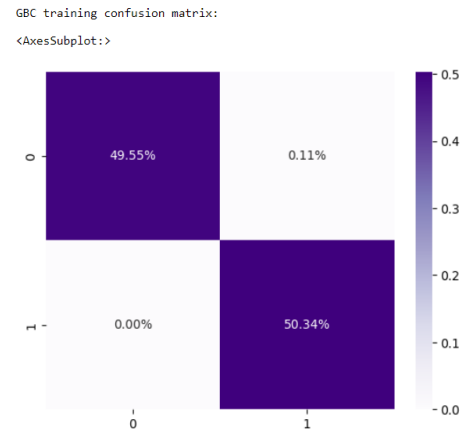


Figure 10: GBC Training Confusion Matrix. Values Are Shown In Per Cent.

On the other hand, the test confusion matrix shows more error. Unsustainable data are classified correctly except for 5.26% of all data. Sustainable data is correctly classified (Fig. 11).

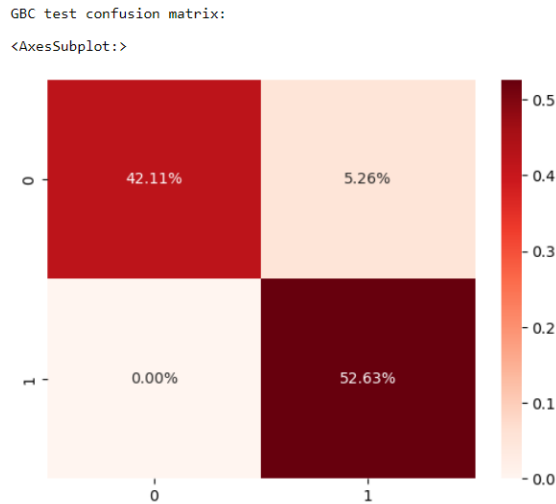


Figure 11: 10 GBC Test Confusion Matrix. Values Are Shown In Per Cent.

The number of (in)correctly classified test data is shown in Fig. 12. Eight of the nine 'unsustainable' data are correctly classified, while all ten 'sustainable' data are correctly classified.

8	1
0	10

Figure 12: Confusion Matrix Of Test Data For GBC.

Test accuracy, macro and weighted averages of precision, recall and F1-score values are shown in Fig. 13. It can be seen that the precision value of the unsustainable data is better than the sustainable data, but the recall and F1-score values are better for the sustainable data.

	precision	recall	f1-score	support
0	1.00	0.89	0.94	9
1	0.91	1.00	0.95	10
accuracy			0.95	19
macro ave	0.95	0.94	0.95	19
weighted ave	0.95	0.95	0.95	19

Figure 13: Classification Of Test Data For GBC.

Since the errors are within acceptable limits, the proposed combination of random forest classifier for feature selection and gradient boosting classifier for prediction of sustainability indices for BIST100 companies gives successful results.

6. CONCLUSION

Companies publish reports containing primarily economic data to facilitate the flow of information to their stakeholders. World developments have shown that economic reporting alone cannot ensure the continuity of this flow. Companies have begun to reflect their sensitivity to participate in sustainability activities, as well as their accountability and transparency to their stakeholders, by preparing reports on their positive social and environmental policies. According to the literature, the basic elements of circular economy are at an extremely high level in these reports [37]. Despite all the advantages, the preparation of a SR is not required by any legal regulation in Turkey. As a result, the factors that influence whether companies publish SRs or not have become a focus of research. In recent years, attention has been drawn to the relationship between SR and FP.

Over time, stock market indices have been established, first in the capital markets of developed countries, where companies are classified into a specific sustainability category. Since 2014, XUSRD has been conducting assessments in Turkey for this specific purpose. Companies' participation in the circular economy encompasses various benefits, such as enhancing reputation, improving corporate image, increasing revenues, increasing profit margins, reducing costs, and promoting employee motivation, among others. There are potentially numerous factors that could be considered. For the purposes of this framework, the sample group of the study has been identified as XUSRD.

This relationship in the XUSRD sample has been discussed using statistical methods from the literature. The study by Vitezic, Vuko, and Mörec [59], which examined the relationship between SR and FP using a logistic regression analysis, is noteworthy. This study was conducted in Croatia using data from 2002 to 2010. ROA, ROE and firm size were used as FP indicators. According to the data from Croatian companies, all three variables are effective in the publication of SR. In their study using 2014-2021 data, Dağıstanlı and Çelik [60] found that the profitability variables had no significant effect, while the size variable did. The studies had classification rates of %80 and %84, respectively.

In this study, contrary to the Turkish Stock Exchange literature, machine learning techniques were used for the first time to predict firms' participation in XUSRD using FP data. Company/year data were collected from the reports of 44 companies in XUSRD, which were studied between 2014 and 2021. The data shortage problem, which is a limitation of machine learning-based predictive modeling in the financial market, was overcome using column-by-column randomization, which is a simple and powerful data augmentation method. The proposed method in this paper is a combination of random forest and gradient boosting, and is compared with five other machine learning methods, namely, k-nearest neighbor, random forest, decision tree, support vector, naive Bayes classifier. The proposed method achieved a test accuracy of 94.74%, while the test accuracy of its closest rival, namely k-nearest neighbor, reached 84.21%. As a result, the SR-FP relationship has been discussed for the first time with machine learning techniques, unlike the methods used so far. The obtained results show that the method applied in the data collection is well suited.

Considering the capital market regulations of developed countries, the SR issuance policy in Turkey is expected to be subject to various regulations. In this way, published reports and cyclical economic data, TBL records and financial data will be made available to

investors in a transparent manner. Forecasts made and to be made in the literature with statistical and machine learning-based methods will become much more meaningful in the future.

The analysis in this study has some limitations, and future research may be conducted on other aspects of the topic. The study used accounting-based measures to analyze the profitability data of the companies in the XUSRD. Market-based ratios, which are partially objectively evaluated, as seen in some studies in the literature, can be added to the independent variables. In addition, variables related to the corporate governance structure (number of supervisory and board members, male/female ratio of board members, etc.), as observed in some studies in the literature, can be included in the scope of research on the attitude towards the publication of SR. To understand the extreme changes of profitability variables in Turkey and some technical details, profitability variables of different countries can be compared with XUSRD companies.

ACKNOWLEDGMENTS

This research received no external funding.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Hakan Ayhan DAĞISTANLI: Conceptual Design, Data Organisation, Research, Drafting and Writing, Revising, Approval

Figen Özen: Analysis, Methodology, Software, Audit, Visualisation, Review, Validation

İlkay Saraçoğlu: Research, Project Management, Methodology, Writing, Experimental studies, Reviewing and Editing

CONFLICTS OF INTEREST

The authors declare that they have no conflict of interest.

REFERENCES

- [1] Huang, K., Sim, N., & Zhao, H. (2020). Corporate social responsibility, corporate financial performance and the confounding effects of economic fluctuations: A meta-analysis. *International Review of Financial Analysis*, 70, 101504. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2020.101504>
- [2] Alatawi, I. A., Ntim, C. G., Zras, A., & Elmagrhi, M. H. (2023). CSR, financial and non-financial performance in the tourism sector: A systematic literature review and future research agenda. *International Review of Financial Analysis*, 102734. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2023.102734>
- [3] OECD(2021).https://www.oecd.org/cfe/regionaldevelopment/Circular_Economy_Flyer.pdf
- [4] Ellen Macarthur Foundation. (2010). *Toward the Circular Economy*.
- [5] Remo-Diez, N., Mendaña-Cuervo, C., & Arenas-Parra, M. (2023). Exploring the asymmetric impact of sustainability reporting on financial performance in the utilities sector: A longitudinal comparative analysis. *Utilities Policy*, 84, 101650. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2023.101650>
- [6] Geisendorf, S., & Pietrulla, F. (2018). The circular economy and circular economic concepts-a literature analysis and redefinition. *Thunderbird International*

Business Review, 60(5), 771-782.
<https://doi.org/10.1002/tie.21924>

[7] European Commission. (2015). Closing the Loop- An EU Action Plan for the Circular Economy. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Brussels.

[8] Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. Resources, conservation and recycling, 127, 221-232.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>

[9] Reike, D., Vermeulen, W. J., & Witjes, S. (2018). The circular economy: new or refurbished as CE 3.0?-exploring controversies in the conceptualization of the circular economy through a focus on history and resource value retention options. Resources, conservation and recycling, 135, 246-264.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.027>

[10]Uhrenholt, J. N., Kristensen, J. H., Rincón, M. C., Jensen, S. F., & Waehrens, B. V. (2022). Circular economy: Factors affecting the financial performance of product take-back systems. Journal of Cleaner Production, 335, 130319.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130319>

[11]Rodríguez-González, R. M., Maldonado-Guzman, G., Madrid-Guijarro, A., & Garza-Reyes, J. A. (2022). Does circular economy affect financial performance? The mediating role of sustainable supply chain management in the

automotive industry. Journal of Cleaner Production, 379, 134670.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134670>

[12]Orsini, L. P., Leardini, C., Danesi, L., Guerrini, A., & Frison, N. (2023). Circular economy in the water and wastewater sector: Tariff impact and financial performance of SMARTechs. Utilities Policy, 83, 101593.
<https://doi.org/10.1016/j.jup.2023.101593>

[13]Amankwah-Amoah, J. (2020). Stepping up and stepping out of COVID-19: New challenges for environmental sustainability policies in the global airline industry. Journal of Cleaner Production, 271, 123000.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123000>

[14]Bruntland, G.H. (1987). Our Common Future, Report of The World Commission On Environment And Development.
<http://www.un-documents.net/ourcommon-future.pdf>

[15]Shin, J., Moon, J. J., & Kang, J. (2023). Where does ESG pay? The role of national culture in moderating the relationship between ESG performance and financial performance. International Business Review, 32(3), 102071.
<https://doi.org/10.1016/j.ibusrev.2022.102071>

[16]Signitzer, B., & Prexl, A. (2007). Corporate sustainability communications: Aspects of theory and professionalization. Journal of Public Relations Research, 20(1), 1-19.
<https://doi.org/10.1080/10627260701726996>

[17]Lee, M. T., & Raschke, R. L. (2023). Stakeholder legitimacy in firm greening and financial performance: What about

greenwashing temptations? *Journal of Business Research*, 155, 113393. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.113393>

[18]Chiong, P.T. (2010). An examination of corporate sustainability disclosure level and its impact on financial performance. Doctor of Philosophy Multimedia University.

[19]Welter, K. A. (2011). A study of publicly-held US corporations on the effects of sustainability measures on financial performance, utilizing a modified regression discontinuity model. Lawrence Technological University.

[20]Elkington, J. (1997). *Cannibals with forks: The triple bottom line of 21st century business*, Oxford: Capstone Publishing.<https://doi.org/10.1002/tqem.3310080106>

[21]Elkington, J. (2004). Enter the triple bottom line. <http://www.johnelkington.com/archive/TBL-elkington-chapter.pdf>

[22]Herzig, C., & Schaltegger, S. (2011). Corporate sustainability reporting. Sustainability communication: Interdisciplinary perspectives and theoretical foundation, 151-169. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1697-1_14

[23]Albertini, E. (2013). Does environmental management improve financial performance? A meta-analytical review. *Organization & Environment*, 26(4), 431-457. <https://doi.org/10.1177/1086026613510301>

[24]Haffar, M., & Searcy, C. (2017). Classification of trade-offs encountered in the practice of corporate sustainability.

Journal of business ethics, 140, 495-522. <https://doi.org/10.1007/s10551-015-2678-1>

[25]Gao, Y. (2011). CSR in an emerging country: a content analysis of CSR reports of listed companies. *Baltic Journal of management*, 6(2), 263-291. <https://doi.org/10.1108/17465261111131848>

[26]Orsato, R. J., Garcia, A., Mendes-Da-Silva, W., Simonetti, R., & Monzoni, M. (2015). Sustainability indexes: why join in? A study of the 'Corporate Sustainability Index (ISE)'in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 96, 161-170. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.071>

[27]Vardari, D. S. L., & Gashi, R. (2020). The impact of corporate sustainability index on BIST sustainability index. *European Journal of Sustainable Development*, 9(2), 375-390. <https://doi.org/10.14207/ejsd.2020.v9n2p375>

[28]Mumcu, A. Y., & Ufacık, O. E. (2016). A research on sustainability indices: BIST Sustainability Index. *Social and economic perspectives on sustainability*, 264-269.

[29]Yilmaz, M. K., Aksoy, M., & Tatoglu, E. (2020). Does the stock market value inclusion in a sustainability index? Evidence from Borsa Istanbul. *Sustainability*, 12(2), 483. <https://doi.org/10.3390/su12020483>

[30]Reddy, K & Gordon, L.W. (2010). The effect of sustainability reporting on financial performance: An empirical study using listed companies. *Journal of Asia Entrepreneurship and Sustainability*, 6(2), 19-42.

[31]Burhan, A. H. N., & Rahmanti, W. (2012). The impact of sustainability reporting on company performance. *Journal of*

Economics, Business, & Accountancy Ventura, 15(2), 257-272. <https://doi.org/10.14414/jebav.v15i2.79>

[32] DasGupta, R. (2022). Financial performance shortfall, ESG controversies, and ESG performance: Evidence from firms around the world. *Finance Research Letters*, 46, 102487. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2021.102487>

[33] Saini, N., Antil, A., Gunasekaran, A., Malik, K., & Balakumar, S. (2022). Environment-social-governance disclosures nexus between financial performance: A sustainable value chain approach. *Resources, Conservation and Recycling*, 186, 106571. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106571>

[34] Comincioli, N., Poddi, L., & Vergalli, S. (2012). Corporate social responsibility and firms' performance: A stratigraphical analysis. Available at SSRN 2132202. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2175513>

[35] Kuzey, C., & Uyar, A. (2017). Determinants of sustainability reporting and its impact on firm value: Evidence from the emerging market of Turkey. *Journal of cleaner production*, 143, 27-39. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.153>

[36] Kim, J., & Kim, J. (2018). Corporate sustainability management and its market benefits. *Sustainability*, 10(5), 1455. <https://doi.org/10.3390/su10051455>

[37] Güngör, N. (2023). Sürdürülebilirlik Raporlarında Döngüsel Ekonomi: Borsa İstanbul'da Bir Araştırma. *Denetim ve Gvence Hizmetleri Dergisi*, 3(1), 36-47.

[38] Stewart, R., & Niero, M. (2018). Circular economy in corporate sustainability

strategies: A review of corporate sustainability reports in the fast-moving consumer goods sector. *Business Strategy and the Environment*, 27(7), 1005-1022. <https://doi.org/10.1002/bse.2048>

[39] Nilashi, M., Rupani, P. F., Rupani, M. M., Kamyab, H., Shao, W., Ahmadi, H., ... & Aljojo, N. (2019). Measuring sustainability through ecological sustainability and human sustainability: A machine learning approach. *Journal of Cleaner Production*, 240, 118162. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118162>

[40] Gorenc Novak, M., & Velušček, D. (2016). Prediction of stock price movement based on daily high prices. *Quantitative Finance*, 16(5), 793-826. <https://doi.org/10.1080/14697688.2015.1070960>

[41] Barak, S., Arjmand, A., & Ortobelli, S. (2017). Fusion of multiple diverse predictors in stock market. *Information Fusion*, 36, 90-102. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2016.11.006>

[42] Hajek, P., & Henriques, R. (2017). Mining corporate annual reports for intelligent detection of financial statement fraud-A comparative study of machine learning methods. *Knowledge-Based Systems*, 128, 139-152. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2017.05.001>

[43] Chen, Y. C., & Huang, W. C. (2021). Constructing a stock-price forecast CNN model with gold and crude oil indicators. *Applied Soft Computing*, 112, 107760. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2021.107760>

[44] Kocaarslan, B., & Soytas, U. (2023). The role of major markets in predicting the U.S. municipal green bond market performance:

New evidence from machine learning models. *Technological Forecasting and Social Change*, 196, 122820. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122820>

[45]Nayak, R. K., Mishra, D., & Rath, A. K. (2015). A Naïve SVM-KNN based stock market trend reversal analysis for Indian benchmark indices. *Applied Soft Computing*, 35, 670-680. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2015.06.040>

[46]Chen, Y., & Hao, Y. (2017). A feature weighted support vector machine and K-nearest neighbor algorithm for stock market indices prediction. *Expert Systems with Applications*, 80, 340-355. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.02.044>

[47]Ayala, J., García-Torres, M., Noguera, J. L. V., Gómez-Vela, F., & Divina, F. (2021). Technical analysis strategy optimization using a machine learning approach in stock market indices. *Knowledge-Based Systems*, 225, 107119. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2021.107119>

[48]Park, H. J., Kim, Y., & Kim, H. Y. (2022). Stock market forecasting using a multi-task approach integrating long short-term memory and the random forest framework. *Applied Soft Computing*, 114, 108106. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2021.108106>

[49]Kim, H. Y., & Won, C. H. (2018). Forecasting the volatility of stock price index: A hybrid model integrating LSTM with multiple GARCH-type models. *Expert Systems with Applications*, 103, 25-37. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.03.002>

[50]Ince, H., & Trafalis, T. B. (2017). A hybrid forecasting model for stock market prediction. *Economic Computation & Economic Cybernetics Studies & Research*, 51(3).

[51]Li, Z., & Tam, V. (2017, November). A comparative study of a recurrent neural network and support vector machine for predicting price movements of stocks of different volatilities. In *2017 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI)* (pp. 1-8). IEEE. <https://doi.org/10.1109/SSCI.2017.8285319>

[52]Eachempati, P., Srivastava, P. R., Kumar, A., Tan, K. H., & Gupta, S. (2021). Validating the impact of accounting disclosures on stock market: A deep neural network approach. *Technological Forecasting and Social Change*, 170, 120903. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120903>

[53]Çelik, T. B., İcan, Ö., & Bulut, E. (2023). Extending machine learning prediction capabilities by explainable AI in financial time series prediction. *Applied Soft Computing*, 132, 109876. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2022.109876>

[54]Orlitzky, M., Schmidt, F. L., & Rynes, S. L. (2003). Corporate social and financial performance: A meta-analysis. *Organization studies*, 24(3), 403-441. <https://doi.org/10.1177/0170840603024003910>

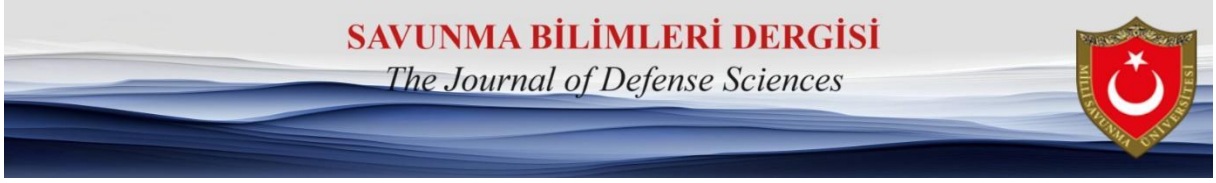
[55]Lu, W., Chau, K. W., Wang, H., & Pan, W. (2014). A decade's debate on the nexus between corporate social and corporate financial performance: a critical review of empirical studies 2002-2011. *Journal of cleaner production*, 79, 195-206. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.04.072>

- [56]Kang, C., Germann, F., & Grewal, R. (2016). Washing away your sins? Corporate social responsibility, corporate social irresponsibility, and firm performance. *Journal of Marketing*, 80(2), 59-79. <https://doi.org/10.1509/jm.15.0324>
- [57]Buallay, A., El Khoury, R., & Hamdan, A. (2021). Sustainability reporting in smart cities: A multidimensional performance measures. *Cities*, 119, 103397. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103397>
- [58]Safari, K., Njoka, C., & Munkwa, M. G. (2021). Financial literacy and personal retirement planning: a socioeconomic approach. *Journal of Business and Socio-Economic Development*, 1(2), 121-134. <https://doi.org/10.1108/JBSED-04-2021-0052>
- [59]Vitezić, N., Vuko, T., & Mörec, B. (2012). Does financial performance have an impact on corporate sustainability and CSR disclosure? A case of Croatian companies. *Journal of Business Management*, 5(Special Edition).
- [60]Dağıstanlı, H. A., & Çelik, İ. (2023). Sürdürülebilirlik Raporlaması ve Firma Performansı: BIST Sürdürülebilirlik Endeksi Üzerine Bir Uygulama. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (76), 1-16. <https://doi.org/10.51290/dpusbe.1153330>
- [61]Sariyer, G., & Taşkın, D. (2022). Clustering of Firms Based on Environmental, Social, and Governance Ratings: Evidence from BIST Sustainability Index. *Borsa İstanbul Review*. <https://doi.org/10.1016/j.bir.2022.10.009>
- [62]Duda, R. O., & Hart, P. E. (2012). *Pattern classification*. John Wiley & Sons.
- [63]Chollet, F. (2018). *Deep learning mit python und keras: das praxis-handbuch vom entwickler der keras-bibliothek*. MITP-Verlags GmbH & Co. KG.
- [64]Zhang, J., Rong, W., Liang, Q., Sun, H., & Xiong, Z. (2017). Data augmentation based stock trend prediction using self-organising map. In *Neural Information Processing: 24th International Conference, ICONIP 2017, Guangzhou, China, November 14-18, 2017, Proceedings, Part II* 24 (pp. 903-912). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-70096-0_92
- [65]Teng, X., Wang, T., Zhang, X., Lan, L., & Luo, Z. (2020). Enhancing stock price trend prediction via a time-sensitive data augmentation method. *Complexity*, 2020, 1-8. <https://doi.org/10.1155/2020/6737951>
- [66]Lee, S. W., & Kim, H. Y. (2020). Stock market forecasting with super-high dimensional time-series data using ConvLSTM, trend sampling, and specialized data augmentation. *expert systems with applications*, 161, 113704. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113704>
- [67]Ertel, W. (2018). *Introduction to artificial intelligence*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-58487-4>
- [68]Dinov, I. D. (2018). *Data science and predictive analytics*. Cham, Switzerland: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-72347-1>
- [69]Koutroumbas, K., & Theodoridis, S. (2008). *Pattern recognition*. Academic Press.
- [70]Kubat, M., & Kubat, J. A. (2017). *An introduction to machine learning (Vol. 2, pp. 321-329)*. Cham, Switzerland: Springer

International Publishing.
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-63913-0>

[71]Breiman, L. (2001). Random forests.
Machine learning, 45, 5-32.
<https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>

[72]Friedman, J. H. (2001). Greedy function
approximation: a gradient boosting machine.
Annals of statistics, 1189-1232.
<https://doi.org/10.1214/aos/1013203451>



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

Askeri Taktik Ağlarda Derin Makine Öğreniminin Etkisi

Impact of Deep Machine Learning on Military Tactical Networks

Fuat ÖZÇAKMAK* 

ODTÜ, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Bilim ve Teknoloji Politikası Çalışmaları (Teknoloji Yönetimi), Ankara, Türkiye

Makale Bilgisi

Derleme

Başvuru: 04.09.2023

Düzeltilme: 27.02.2024

Kabul: 28.03.2024

Önemli Noktalar

Tarih boyunca önemli teknolojik ilerlemeler, askeri güçlerin daha verimli ve etkili olmasını sağlamıştır. Günümüzde yaşanan önemli teknolojik gelişmelerden biri olan yapay zekânın da askeri alanda sinerji yaratacak potansiyele sahip olduğu değerlendirilmektedir. Özellikle Vietnam savaşı sonrasında önemi artan ve geliştirilen askeri taktik ağların veri işleme ve iletme yetenekleri yapay zekâ ile desteklenecek kritik sahaların başında gelmektedir.

Keywords

Deep Machine Learning
Military Tactical Networks
Artificial Intelligence
Military Communication
Deep Neural Networks

Grafiksel Özet

Anahtar Kelimeler

Derin Makine Öğrenimi
Askeri Taktik Ağlar
Yapay Zekâ
Askeri İletişim
Derin Sinir Ağları



Özet

Askeri operasyonlar, her zaman strateji ve taktiklerin etkili bir şekilde kullanılmasını gerektirmektedir. Bu gerekliliğin şekil verdiği teknolojik ilerlemeler, günümüzde askeri güçlerin daha verimli ve etkili kullanılmasını sağlamaktadır. Derin makine öğrenimi gibi yapay zekâ yöntemleri, askeri stratejilerin geliştirilmesi ve uygulanmasında önemli bir rol oynamıştır. Bu stratejilerden biri de Askeri Taktik Ağların tüm harp alanında kullanılması sayesinde yaşanmaktadır. Ancak harp alanında Askeri Taktik Ağlar tarafından üretilen büyük verinin korelasyon yapılarak karar destek sistemlerine anlık bilgi aktarılması ve doğru kararları zamanında verebilmesi zor bir süreç olup, bu sürecin teknoloji desteği olmadan geliştirilemeyeceği aşikârdır. Bu noktada Yapay zekâ uygulamalarından biri olan Derin Makine Öğrenimini askeri taktik ağlar ile bütünleştirmek, daha hızlı ve isabetli tahminler sağlayabilecek, kısıtlamaları hafifletecek, askerler üzerindeki aşırı bilgi yüklemesini azaltacak ve ağ savunma stratejilerinin gelişimini sağlayacaktır.

Abstract

Military operations always require the effective use of strategy and tactics. Technological advances shaped by this necessity enable the more efficient and effective use of military forces today. Artificial intelligence (AI) methods such as deep machine learning (DML) have played an important role in the development and implementation of military strategies. One of these strategies is experienced through the use of Military Tactical Networks (MTN) in the entire battlefield. However, it is a difficult process to correlate the big data produced by MTN in the battlefield and transfer instant information to decision support systems and make the right decisions in a timely manner, and it is obvious that this process cannot be developed without technology support. At this point, integrating DML, one of the AI applications, with MTN will provide faster and more accurate predictions, alleviate restrictions, reduce information overload on soldiers and enable the development of network defense strategies.

*Corresponding author, e-mail: fuat.ozcakmak@tai.com.tr

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Askeri operasyonlar, her zaman strateji ve taktiklerin etkili bir şekilde kullanılmasını gerektirmektedir. Teknolojik ilerlemeler, askeri güçlerin daha verimli ve etkili olmasını sağlamıştır. Son yıllarda, Derin Makine Öğrenimi (DMÖ; Deep Machine Learning-DML) gibi yapay zekâ yöntemleri, askeri stratejilerin geliştirilmesi ve uygulanmasında önemli bir rol oynamıştır. Bu stratejilerden biri de Askeri Taktik Ağların (ATA; Military Tactical Networks-MTN) tüm harp alanında kullanılması sayesinde yaşanmaktadır. Bu ağlar, operasyonlar sırasında askeri birimler arasındaki iletişim ve bilgi alışverişinin omurgasını oluşturmaktadır. Günümüzün tüm modern ordularında kullanılan ve harekât konseptlerinin ayrılmaz bir parçası olan ATA'lar sahada kuvvetler arasında asimetrik güç etkisi yaratabilmektedir.

DMÖ, yapay sinir ağları ve derin öğrenme algoritmalarıyla çalışan bir alanı ifade eder. Büyük veri kümelerini analiz ederek desenleri ve ilişkileri tespit etmek için kullanılır [1]. Derin öğrenme modelleri, katmanlı yapısıyla karmaşık görevleri başarıyla yerine getirebilir ve insanların yapamayacağı kadar büyük veri kümelerini işleyebilir. Bu nedenle, askeri stratejilerin geliştirilmesinde ve optimize edilmesinde önemli bir araç haline gelmiştir.

DMÖ'nin temelini oluşturan derin ağlar, DMÖ için temel bir yapı taşıdır. Derin ağlar karmaşık veri kümelerinden otomatik olarak öğrenme yeteneği sağlar. Derin ağların, herhangi bir eğitimden önce bile sayısal duyarlılık sergileme yeteneği, sayısal bilgileri işlemek için doğuştan gelen bir kapasiteye sahip olduklarını gösterir [2].

Ayrıca, maruz kaldıkları aşamalı gelişimsel iyileştirme, öğrenmenin temel bir yönü olan öğrenme ortamının istatistiksel yapısına uyum sağlayabildiklerini göstermektedir. Genel olarak, bu bulgu, derin ağların yetenekleri ve farklı alanlardaki potansiyel uygulamaları hakkında değerli bilgiler sağlar [3].

Askeri operasyonlarda, hızlı ve doğru karar verilmesi hayati öneme sahiptir. Göztepe, Dizdaroğlu ve Sağıroğlu'na göre DMÖ, algoritmalarının gelişmesine paralel olarak yakın gelecekte operasyonel karar verme sürecini iyileştirmek için kullanılacaktır [4]. Buradan hareketle büyük veri analizi ve derin öğrenme algoritmalarının, düşman faaliyetlerini tahmin etmek, düşman hedeflerini belirlemek ve dost birliklerin hareketlerini optimize etmek gibi görevleri gerçekleştirebileceği söylenebilir. Örneğin, derin öğrenme modelleri, önceki askeri operasyonlardan elde edilen verileri kullanarak düşman stratejilerini ve davranışlarını analiz edebilecek ve gelecekteki operasyonlar için stratejik önerilerde bulunabilecektir.

DMÖ, nesne tanıma ve hedef tespiti konularında da önemli bir olgunluğa erişmiştir [5]. Askeri taktik ağlarında, düşman birliklerini veya tehdit oluşturan unsurları tespit etmek için görüntü veya video verileri iletilmektedir. Derin öğrenme modelleri, bu iletilen verileri analiz ederek düşman hedeflerini tespit etme, tanıma ve takip etme algoritmaları geliştirebilecek yeteneğe ulaşmışlardır. Bu da sahadaki birliklerin ve komuta kademelerinin daha isabetli kararlar almasını ve etkili bir şekilde hedef odaklı operasyonlar yapabilmelerini sağlayabilecektir.

DMÖ, askeri taktik ağlarında kullanılan özerk sistemlerin ve robotların geliştirilmesinde de

büyük bir rol oynar [6]. Örneğin, İnsansız Hava Araçları (İHA'lar) ve İnsansız Kara Araçları (İKA'lar), İnsansız Deniz Araçları (İDA'lar) derin öğrenme modellerini kullanarak çevrelerini algılayabilir, rotalarını optimize edebilir ve hedeflere yönelik saldırıları gerçekleştirebilir. Bu, askeri birliklerin risklerini azaltırken, operasyonel etkinliklerini artıracaktır.

Bu çalışmada, DMÖ'nin ATA'lardaki etkisi araştırılarak potansiyel uygulamaları ve faydaları incelenmiş, ayrıca askeri stratejilerin geliştirilmesinde ve optimize edilmesinde olası kullanım sahaları tespit edilmeye çalışılmıştır. Makalede, elde edilen veriler ışığında yapay zekâ uygulamalarının taktik ağlar ile bütünleştirilmesi sonucunda bu sistemlerin kullanıcılarına sağladığı faydalardaki değişim incelenmiştir. Bu kapsamda modern ordular tarafından kullanılmakta olan mevcut ATA kullanım konseptleri incelenmiş, DMÖ uygulaması ile geliştirilebilecek sahalara öngörülerek bu kapsamda yapılan literatür araştırmaları ile öngörüler karşılaştırılmıştır. NATO ülkelerince kullanılan Link-6, Link-7, Link-10, Link-11, Link-11, Link-16, Link-22, IJMS ve SADL [7] gibi taktik ağlarının konseptlerinin geliştirilmekte olan DMÖ yetenekleri ile birleştirilmesi sonucunda ortaya çıkabilecek değişikliklerin nasıl olabileceğine ilişkin değerlendirmeler yapılmıştır.

Mevcut literatürde konuya ilişkin yapılan çalışmalarda her ne kadar ATA'ların yapay zekâ uygulamaları ile birlikte kullanımına vurgu yapıldığı görülsede DMÖ etkisinin tüm yönleri ile analiz edildiği bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bulunan kaynaklarda en fazla yapay zekanın komuta kontrol sistemlerine olan etkisi bulunmuş

olup DMÖ ile askeri taktik linklerin bütünleştirilmesi konularına değinilmediği tespit edilmiştir [8]. Bu makalede günümüzde daha çok güvenli ve hızlı veri iletimi maksatlı kullanılan ATA'ların, içinde akan veri denizinin hangi fonksiyon alanlarına göre sınıflandırılması (nesnel konumlandırma, siber güvenlik, lojistik, hedef tanıma, asker sağlığı, eğitim, durumsal farkındalık) gerektiği ve DMÖ algoritmalarının etkisiyle bu alanlarda yaşanabilecek gelişmeler incelenmiştir.

Nitel analiz yöntemi ile ele alınan bu makalede, katmanlı yapısıyla karmaşık görevleri başarıyla yerine getirebilen Derin Öğrenme Modellerinin ATA'lara uyumlandırılması ile askeri operasyonlarda potansiyel gelişme sahaları, sorun sahaları ile ortaya konmuştur. ATA'ların DMÖ ile desteklenmesi durumunda bahsedilen sınıflar altında ayrı ayrı incelenmiş, ayrıca askeri stratejilerin geliştirilmesinde ve optimize edilmesinde olası kullanım sahaları tespit edilmeye çalışılmıştır.

Çalışma üç bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde Askeri Taktik Ağların ne olduğu ve hangi maksatlar ile kullanıldığına ilişkin özet bilgi sunulmaktadır. İkinci bölümde DMÖ uygulamalarının tatbik edildiği alanların ATA yeteneklerine sağlayabileceği katkılar araştırılmış, bu kapsamda gelişen ve geliştirilmekte olan DMÖ algoritmaları ile; Nesne Konumlandırma, Siber Güvenlik, Lojistik, Hedef Değerlendirme, Sağlık, Eğitim ve Durumsal Farkındalık fonksiyon sahalarında ATA'lar ile beraber kullanımlarının yaratabileceği sinerji etkileri incelenmiştir. Son olarak DMÖ'nin, ATA'lara entegrasyonuna ilişkin aşılmasına ihtiyaç duyulan zorluklar

sıralanmış ve çalışmadaki temel bulgular üzerinden genel bir değerlendirme yapılarak çalışma sonlandırılmıştır.

2. ASKERİ TAKTİK AĞLARI ANLAMAK (UNDERSTANDING MILITARY TACTICAL NETWORKS)

Askeri taktik ağları, askeri harekatlarda kullanılan güvenli ses ve veri paylaşım sistemleridir. Bu ağlar, askeri birliklerin birbirleriyle, komuta merkezleriyle ve diğer kaynaklarla haberleşmesine olanak tanır. Amaçlarına göre tarihsel olarak gelişim gösteren bu ağlar ile günümüzde askeri birimler arasında taktik veya operatif veri değişimleri, erken ihbar uyarıları, sürekli veya sürekli yayınlar, silah sistemlerinin kontrolü, radar iz paylaşımları ve durumsal farkındalığı artırıcı verilerin tek yönlü veya karşılıklı olarak paylaşımları yapılmaktadır [9].

Günümüz koşullarında kısıtlı operasyonlar da dâhil olmak üzere, tüm operasyon türlerinde bu verilerin anlık ve eksiksiz olarak komuta kademesine aktarılması, karar vericilerin en doğru kararı, en kısa sürede vermesini sağlamaya yardımcı olmaktadır. Bahse konu verilerin komuta kademelerine güvenli ve kesintisiz bir şekilde aktarılmasını sağlayan teknolojik sistemler ise Askeri Taktik Ağlar (ATA) olarak adlandırılmaktadırlar. ATA'ları, genellikle kablosuz iletişim teknolojileri, veri bağlantıları ve bilgi güvenliği protokolleri kullanarak oluşturulur. Bu ağlar, birliklerin sahadaki durumlarını takip etmelerini, koordinasyon sağlamalarını ve gerektiğinde hızlı kararlar almalarını sağlar. ATA'ları, genellikle saha tabanlı olan yerel ağlardan oluşur. Bu ağlar, askeri araçlar, taşınabilir cihazlar, sensörler ve

diğer ekipmanlar arasında iletişim sağlar. Bu iletişim, ses, veri ve video gibi farklı türlerde verilerin aktarılmasını içermektedir [7].

ATA'lar, operasyonlar sırasında askeri birimler arasındaki iletişim ve bilgi alışverişinin omurgasını oluşturmaktadır. Kara, deniz, hava ve uzay dâhil olmak üzere farklı platformlar arasında gerçek zamanlı veri iletimi, durumsal farkındalık ve koordinasyon sağlarlar. ATA'lar içerdikleri teknolojiye bağlı olarak görüş içi veya görüş ötesi menzillerde haberleşebildikleri gibi zaman boyutunu da kullanarak haberleşme etkinliklerini arttırabilmektedirler.

Günümüzün tüm modern ordularında kullanılan ve harekât konseptlerinin ayrılmaz bir parçası olan ATA'lar, sahada kuvvetler arasında asimetrik güç etkisi yaratabilmektedir. Verileri en hızlı şekilde bilgiye dönüştüren ve kararları en kısa sürede birimlerine ulaştırabilen karar vericiler bu avantajı elde etmektedirler. Veriler mobil veya sabit konuşlu sensörlerden elde edilebilmektedir [10]. Söz konusu verileri sağlayabilecek örnek sistemleri ise şu şekilde sıralayabiliriz:

- Kara konuşlu Elektronik Sensörler (Sabit Hava Savunma Radarları, Mobil Hava Savunma Radarları, Elektronik Karıştırıcı Sistemler, Elektronik Algılayıcı ve Tespit Sistemleri, Optik ve Infra Red Kameralar, Pasif Radarlar, Hava Savunma Telsizleri, Dost-Düşman Tanımlama Sistemleri, Elektronik Destek/Taarruz Sistemleri)
- Uçan Elektronik Sensörler (Havadan Erken İhbar Uçakları, İnsansız Hava Araçları, Havadan Karıştırma Uçakları, Havadan Elektronik Destek/Taarruz Uçakları, Elektronik/Optik/Infra

Red Keşif Uçakları, Elektronik Algılayıcı ve Tespit Uçakları)

- Uzay Sistemleri (Keşif Uyduları, Haberleşme Uyduları, Radar Uyduları, Elektronik Destek Uyduları, Uzay ve Hava Savunma Uyduları)
- Silah Sistemleri (Akıllı ve Taktik Ağ bağlantılı her türlü mühimmat)
- Kara Konuşlu Silah Sistemleri (Hava Savunma Sistemleri, Füze Sistemleri, Zırhlı Birlikler, Mobil Komuta Kontrol Merkezleri)
- Uçan Silah Sistemleri (Muharip Jet Uçaklar, Muharip Pervaneli Uçaklar, Muharip Helikopterler, Kargo Uçakları, Havadan Yakıt İkmal Uçakları, Genel Maksat/Arama Kurtarma Helikopterleri,
- Deniz Üstü Silah Sistemleri (Muharip Gemiler, Lojistik Destek Gemileri)
- Deniz Altı Silah Sistemleri (Muharip Denizaltılar)

Örnekleri çoğaltabileceğimiz bu sistemlerin bir arada uyum içerisinde çalışmasını sağlayabilmek ve doğru kararları zamanında verebilmek normal insan zekâsı ile yapılamayacağı aşîkârdır. Çünkü dinamik olan bu sistemlerden akan veri büyüklüğü yüksek boyuttadır ve çok farklı alanlarda anlık olarak korale edilmesi için muhakkak yapay zekâ desteği gerektirmektedir [1]. Ayrıca bu harekât verilerinden daha fazlası da ilave olarak istihbarat, lojistik ve personel birimlerinden de gelmektedir. Elde edilen bu Büyük Verinin yapay zekâ algoritmaları ile işlenmesi ve karar tercihlerine dönüştürülmesi, birliklerini komuta eden karar vericilere büyük kolaylık sağlayacaktır.

DMÖ gibi bir başka yapay zekâ uygulaması olan Derin Sinir Ağları (DSA; Deep Neural Networks-DNN), görüntü ve ses gibi karmaşık, yüksek

boyutlu veriler için özellikle uygun olan bir tür makine öğrenimi modelidir. Chjen ve arkadaşlarına göre katmanlı bir ağ savunma stratejisinin bir parçası olarak, gelen verileri sınıflandırmak ve potansiyel tehditleri tespit etmek için DSA sınıflandırma modelleri kullanılmaktadır [11]. Ancak, makine öğrenimi modellerinin kusursuz olmadığını ve yanlış pozitifler üretebileceğini veya ince anomalileri gözden kaçırabileceğini not etmek önemlidir. Bu nedenle, kapsamlı bir ağ savunma stratejisi için makine öğrenimi modellerinin yanı sıra güvenlik duvarları, erişim kontrolleri ve düzenli güvenlik denetimleri gibi diğer güvenlik önlemlerini dâhil etmek gerekmektedir [12].

Elde edilen bilgiler ışığında yapay zekâ uygulamalarından olan DMÖ ve DSA tekniklerinin askeri taktik ağlar ile bütünleştirilmesi ile, daha hızlı ve isabetli tahminler yapılabileceği, kısıtlamaları hafifletilebileceği, askerler üzerindeki aşırı bilgi yükünün azaltılabileceği ve siber savunma stratejilerinin güçlendirilebileceği söylenebilmektedir.

3. NESNE KONUMLANDIRMA KAPSAMINDA DMÖ UYGULAMALARI (APPLICATION OF DEEP MACHINE LEARNING IN OBJECT LOCATION)

DMÖ'nin ATA'lardaki en önemli uygulamalarından biri de nesne konumlandırma. Geleneksel olarak, denizde, karada ve havada nesne konumu için radar istasyonları, elektronik sorgulayıcılar ve uydular gibi yöntemler kullanılmaktadır. Ancak, bu yöntemler genellikle büyük miktarda veriyi etkili bir şekilde işleme gibi zorluklarla yol açmaktadır. Yapay sinir ağları gibi DMÖ algoritmaları da

nesnelerin hareketindeki anormallikleri analiz ederek ve tanımlayarak nesne konumlandırmayı iyileştirebilmektedir [13].

DMÖ teknolojilerinde, gerçekten de çeşitli araştırma alanlarında dikkate değer ilerlemeler yaşamıştır. Genellikle görüntü işlemede kullanılan ve girdi olarak görselleri alan bir derin öğrenme algoritması olan Evrişimli Sinir Ağlarının (ESA; Convolutional Neural Networks-CNN) sürekli gelişmesiyle, bilgisayar görüntü işleme teknikleri günümüzde yüksek performans ve doğruluk seviyelerine ulaşmış durumdadır. ESA'lar, görüntü sınıflandırma, nesne algılama ve görüntü bölümlendirme gibi bilgisayar destekli görsel analiz yeteneklerinde devrim yarattı demek yanlış olmayacaktır. İlave olarak, Bulanık ARTMAP ve Gauss Karışım Modeli gibi teknikler, belirlenmiş standartlardan herhangi bir sapmayı izlemek ve belirlemek için kullanılabilir [14]. Bu algoritmalar, sistemin önemli olmayan olayları algılayıp kullanmaz iken önemli olaylara dayalı kalıpları öğrenmesini ve yeni bilgi oluşumlarını güncellemesini sağlar.

Derin öğrenmenin ve ESA'ların hızlı gelişimi, aşağıdaki örnekler gibi çeşitli alanlarda bilgisayarla görüntü işleme uygulamalarını büyük ölçüde geliştirmiştir:

3.1 Yüz Tanıma

ESA'lar, yüz tanıma sistemlerinin doğruluğunu ve sağlamlığını önemli ölçüde iyileştirmiş ve en çok kullanılan derin öğrenme algoritmalarından birisi olmuştur [15]. Yapılan çalışmalarda ESA'ların Çok Katmanlı Algılayıcılar (Multilayer Perceptron) gibi birçok algoritmanın performansından daha yüksek bir performans sergiledikleri tespit edilmiştir [16,17]. ESA

algoritmaları sayesinde bilgisayarlar yüz görüntülerinden ayırt edici özellikleri çıkarmayı öğrenebilmektedirler. Bu da bireylerin doğru bir şekilde tanımlanmasını ve doğrulanmasını sağlamaktadır [17]. Bu sayede ATA ile bütünleştirilmiş akıllı silah sistemlerinin ve mühimmatların hedeflerine doğrulukla yönlendirilmesinin sağlanabilmesi mümkün görülmektedir.

3.2 Nesne Tespiti

Daha Hızlı Bölgesel Temelli ESA ve You Only Look Once (YOLO) gibi ESA tabanlı nesne algılama yöntemleri, resimlerdeki veya videolardaki nesneleri belirleme ve yerelleştirme konusunda etkileyici sonuçlar elde edebilmektedir [5]. YOLO bir resimdeki nesneleri gerçek zamanlı olarak algılayan ve tanıyan bir algoritmadır. YOLO, ESA'nı kullanarak nesne tespitini bir regresyon problemi olarak gerçekleştirir. Bu algoritma, görüntülerdeki nesneleri tek bir geçişle tespit etme yeteneğiyle hızlı ve etkili bir yöntemdir. Ayrıca, YOLO tespit edilen nesnelerin sınıf ayrımlarını da sağlar. Bu tekniklerin otonom sürüş, gözetleme, medikal tanı/teşhis ve robotik gibi alanlarda önemli uygulamaları vardır [18].

Nesne tespiti; savunma (gözetleme), insan-bilgisayar etkileşimi, robotik ve ulaşım vb. birçok alanda uygulanmaktadır. Bu teknolojinin kullanıldığı alanlardan biri, sürekli gözetimdir. Sürekli gözetim için kullanılan sensörler, kısa bir süre içinde petabaytlarca görüntü verisi üretebilmektedir. Bu veriler, coğrafi verilere indirgenmekte ve mevcut senaryo hakkında net bir fikir edinmek için diğer verilerle entegre edilmektedir [6]. Bu süreç, ham görüntü

verilerinden insanlar, araçlar ve şüpheli nesneler gibi varlıkları izlemek için nesne konumunu içermektedir [19]. Bu teknoloji, güvenlik alanında kullanılan kamera sistemleri ve uzaktan izleme sistemleri gibi uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra, askeri ulaşım alanında trafik akışını izlemek ve optimizasyon için kullanılabileceği değerlendirilmektedir.

3.3 Nesne Takibi

ESA'lar, nesne takip algoritmalarının geliştirilmesinde de önemli bir rol oynamıştır. Zaman içinde nesne özelliklerini öğrenip tahmin eden bu algoritmalar, nesneleri video karelerinde verimli bir şekilde izleyebilmekte ve onları gözetim ve video analizi gibi alanlarda kullanışlı hale gelmesini sağlamaktadır [20].

ESA'lar, görsel veriler üzerinde derin öğrenme yöntemlerini kullanarak nesne izleme uygulamalarına önemli katkılar sağlamaktadır [21]. Bu algoritmalar, video karelerindeki nesne özelliklerini zaman içinde öğrenmek ve tahmin etmek için derin öğrenmenin gücünü kullanmaktadır [22]. Bu sayede, gözetleme, video analizi ve diğer ilgili alanlarda çeşitli uygulamalar mümkün hale gelmektedir. ESA tabanlı nesne izleme algoritmaları, geleneksel yöntemlere kıyasla daha yüksek doğruluk ve sağlamlık sunmaktadır. Derin öğrenme teknikleri sayesinde, bu algoritmalar nesnelerin daha etkili bir şekilde izlenmesini sağlamakta ve karmaşık ortamlarda dahi iyi performans sergilemektedir. Bu özellikleri sayesinde, ESA tabanlı nesne izleme algoritmaları, modern bilgisayarlı görüş sistemlerinde paha biçilmez araçlar olarak değerlendirilmektedir [21].

Bu gelişmeler, gözetleme, güvenlik, trafik kontrolü, otomatik sürüş, video analizi ve diğer birçok uygulama alanında önemli ilerlemelere yol açmaktadır. ESA'ların gücünü kullanan nesne izleme algoritmaları, gerçek zamanlı nesne takibi için daha etkili ve verimli çözümler sunmaktadır. Bu sayede, özellikle insansız askeri sistemler başta olmak üzere, operasyon alanı içerisinde bulunan tüm dost ve düşman unsurların hareketliliği takip edilebileceği gibi, düşman hareketlerinin hareketliliğinden niyetini tespit edip daha önceden tedbir alınabileceği değerlendirilmektedir.

3.4 Semantik Segmentasyon

Semantik Segmentasyon (Anlamsal Bölütleme), bir görüntüdeki piksel düzeyindeki objeleri algılayarak, farklı sınıflara ait nesnelerin bölgelerini çıkarmak için kullanılan bir görüntü işleme tekniğidir [23]. Tüm sınıfları ayrı ayrı gruplandırmak için, öncelikle bir öğrenme modeli kullanılması gerekmektedir. Bu model, görüntülerdeki farklı sınıflara ait nesnelerin özelliklerini öğrenerek, görüntüdeki pikselleri sınıflara ayırabilir [24]. Bu şekilde, bir görüntüdeki farklı sınıflara ait bölgeleri belirlemek mümkün olur. Anlamsal Bölütleme işlemi genellikle derin öğrenme veya yapay sinir ağlarıyla gerçekleştirilir. Bu yaklaşım, nesnelerin daha karmaşık yapılarını daha iyi tanımlayabilir ve doğru sınıflandırma yapabilir [25]. ESA'lar, bir görüntüdeki her piksele bir sınıf etiketi atamayı içeren anlamsal segmentasyonda devrim yaratmıştır. ESA'lardaki ilerlemeler gerçekten de yeni olasılıkların farkına varılmasını sağlamış ve bilgisayarlı görüntü işleme uygulamalarının performansını iyileştirerek sonuçta çeşitli

endüstrilere ve askeri faaliyet alanlarına fayda sağlamıştır.

Yukarıda bahsedilen örnek uygulamalardan da anlaşılacağı üzere derin öğrenmenin, veriye dayalı yaklaşımlardan öğrenmek için güçlü bir araç olduğu kanıtlanmıştır. Ayrıca manuel olarak tasarlanmış özelliklere duyulan ihtiyacı geride bıraktığını söylemek yanlış olmayacaktır. Büyük ölçekli veri kümelerinin mevcudiyeti gerçekten de derin öğrenmenin başarısında çok önemli bir rol oynadığı görülmektedir. Bu veri kümeleri, derin öğrenme modelleri için adeta yakıt görevi görerek anlamlı kalıpları etkili bir şekilde genelleştirmelerini ve çıkarmalarını sağlamaktadır. Derin öğrenme modelleri, çeşitli ve kapsamlı veri kümeleri üzerinde eğitim alarak verilerin karmaşık temsillerini öğrenebilir ve bu da görüntü tanıma, doğal dil işleme ve daha fazlası gibi çeşitli görevlerde performansın artmasına yol açabilmektedir. Verinin bol olması, daha iyi genelleştirmeye ve mühendislerin manuel olarak tasarlaması zor olabilecek iç görülmesi korelasyonlarını ve özelliklerini ortaya çıkarma potansiyeline olanak tanımaktadır [25].

Uygulama sayısı artmaya devam ettikçe, çeşitli ve zengin uygulama verilerinin birikimi de artmaktadır. Bu veriler, derin öğrenmenin daha da geliştirilmesi ve uygulanmasında çok önemli bir rol oynar. Ancak, verilerin kalitesinin derin öğrenme modellerinin etkinliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olabileceğini not etmek önemlidir. DMÖ algoritmalarında kullanılan yüksek kaliteli, doğru şekilde etiketlenmiş veriler, daha güvenilir ve doğru sonuçlara katkıda bulunmaktadır [26].

Gerçek dünya verilerine ek olarak, sentetik verilerin entegrasyonunu dikkate almak, derin

öğrenme için mevcut veri miktarını artırmak açısından da değerli olabilir. Sentetik veri oluşturma teknikleri, modelin gerçek dünya senaryolarındaki varyasyonları genelleştirme ve işleme yeteneğini daha da geliştirerek mevcut veri setini artırabilir. Bununla birlikte, sentetik verilerin istenen gerçek dünya senaryolarını doğru bir şekilde temsil etmesini sağlamak, optimum performans için çok önemlidir [27].

Özetle, ATA'lar ile bütünleştirilmesi sonucunda derin öğrenmeden elde edilecek büyük ölçekli verilerin mevcudiyeti ve bu verilerin kalitesi, derin öğrenmenin başarısı için çok önemli faktörlerdir. Ek olarak, harp simülasyonları, harp oyunları ve tatbikatlardan sağlanabilecek sentetik verilerin dâhil edilmesi, verilerin miktarını ve çeşitliliğini artırmak, böylece derin öğrenme modellerinin yeteneklerini geliştirmek için tamamlayıcı bir yaklaşım olarak düşünülebilir [28].

4. ASKERİ TAKTİK AĞLARDA SİBER GÜVENLİĞİN ARTIRILMASI (ENHANCING CYBERSECURITY OF MILITARY TACTICAL NETWORKS)

Askeri stratejilerde yapay zekâ uygulamalarının kullanımı, ATA'larda siber güvenlik açısından yeni zorluklar ortaya çıkarmaktadır. Yapay zekâ, siber saldırıların daha sofistike hale gelmesine ve savunma sistemlerinin bu saldırılara uyum sağlamasının zorlaşmasına neden olmaktadır. Bu noktada, Bistron ve Piotrowski tarafından yapay zekânın aynı zamanda askeri taktik ağlarda siber güvenliği artırmak için de güçlü bir araç olarak kullanılabileceği ifade edilmiştir [29].

Askeri taktik ağlarda siber güvenliğin artırılması, sürekli yenilik ve ortaya çıkan tehditlere uyum sağlamayı gerektiren sürekli bir çabadır [30].

Komuta merkezi hareketliliği, güvenli kablosuz iletişim, siber güvenlik önlemleri ve uç bilgi işlem, taktik ağların modernleştirilmesinde ve askeri operasyonların başarısının ve güvenliğinin sağlanmasında en önemli konuların başında gelmektedir.

Orduda kabloludan kablosuz iletişime geçiş süreci, gizli bilgilerin kablosuz ağlar üzerinden güvenli bir şekilde iletilmesinin zorluğuyla yavaş bir gelişim göstermektedir. Tarihsel olarak, sahadaki askerlerin Wi-Fi, Long-Term Evolution (LTE) ve diğer radyo türlerini kullanma yetenekleri, maliyet ve güvenlik izni gereklilikleri nedeniyle gizlilik dereceli verileri iletmek için sınırlıydı [31]. Zamanla gelişen ve yaygınlaşan ATA'lar siber saldırılara karşı savunmasız olduğundan, bu zorlukların üstesinden gelme fikri, siber güvenliği askeri operasyonlarda kritik bir endişe haline getirdi.

Bu endişenin giderilmesi, askeri operasyonların planlanması ve yönetilmesi için kritik öneme sahip olduğundan ATA'ların düşman saldırılarına karşı dayanıklı ve güvenli olması sağlanmalıdır. Bu noktada Sadıku ve arkadaşları, yapay zekânın, bilgisayar ağlarının siber güvenliğini artırmak için aşağıdaki şekillerde kullanılabileceğini belirtmektedir:

Saldırı Tespiti: Yapay zekâ, ağ trafiğini analiz ederek saldırıları tespit edebilir. Normal ağ trafiğinden sapmaları belirleyerek anormal aktiviteleri tanımlayabilir ve hızla yanıt verebilir. Bu, saldırıların erken aşamada tespit edilmesini ve etkilerinin azaltılmasını sağlar.

Davranış Analizi: Yapay zekâ, ağ içerisindeki kullanıcıların ve sistemlerin normal davranışlarını analiz edebilir. Kullanıcı

davranışlarındaki anormallikleri tespit ederek içeriden gelen tehditleri belirleyebilir. Aynı zamanda sistemlerin normal çalışma şekillerini öğrenerek, potansiyel saldırıları önceden tahmin edebilir ve engelleyebilir.

Otomatik Savunma: Yapay zekâ, anlık veri analizi ve karar alma yetenekleriyle, siber saldırılara otomatik olarak tepki verebilir. Ağ dâhilinde saldırıları tespit edip engelleyebilir, savunma sistemlerini güçlendirebilir ve saldırılara uygun karşı önlemleri alabilir. Bu şekilde, ağları saldırılara karşı daha dirençli hale getirebilir.

Zayıflıkların Tespiti: Yapay zekâ, ağlardaki zayıflıkları tespit edebilir ve bunları düzeltmek için önlemler alabilir. Potansiyel güvenlik açıklarını belirleyerek savunma sistemlerinin iyileştirilmesini sağlayabilir. Bu da ağların saldırılara karşı daha güvenli hale gelmesini sağlar [32].

Bu yöntemlerin başarılı bir şekilde uygulanması sonucunda yapay zekâ ATA'larda siber güvenliğinin artırılmasında önemli bir rol oynayacaktır. Siber güvenlik alanında yapay zekâ kullanımı, otonom saldırı tespitinde, tehdit analizinde ve savunma sistemlerinin güçlendirilmesinde büyük faydalar sağlayabilir. Aynı kapsamda Yanin, Ullah ve Katt araştırmalarında yapay zekânın, büyük veri analitiği ve makine öğrenme algoritmalarıyla donatılarak, anormal davranışları tespit etmek, saldırıları önlemek ve sistemleri güçlendirmek için öngörülerde bulunmak gibi görevleri yerine getirebildiğinden bahsetmişlerdir [33].

Benzer olarak Gökdemir ve Çalhan'da yapay zekâ gibi DMÖ de algoritmaları anormal ağ

davranışını algılayıp bunlara yanıt verebileceğini, potansiyel güvenlik açıklarını belirleyebileceğini ve siber tehditlere karşı proaktif olarak savunma yapabileceğini savunmuşlardır [34]. Bu algoritmalar sürekli olarak yeni verilerden öğrenerek ve gelişen saldırı tekniklerine uyum sağlayarak ATA'ların genel dayanıklılığını ve güvenliğini iyileştirebileceği değerlendirilmektedir.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde saldırı tespiti, davranış analizi, otomatik savunma ve zayıflık tespiti gibi alanlarda yapay zekâ uygulamalarının kullanımının, normal bilgisayar ağlarının yanı sıra ATA'ları da saldırılara karşı daha dirençli hale getirebileceği söylenebilmektedir. Paralel olarak, yapay zekânın kullanımıyla birlikte yeni güvenlik zorluklarının ortaya çıkması, teknolojik sürecin doğal sonucu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu zorlukların üstesinden gelmesi maksadıyla yapay zekâ tabanlı savunma sistemlerinin yanı sıra, siber saldırganların da yapay zekâ kullanabileceği göz önünde bulundurulması ve sürekli olarak güncellenen siber güvenlik politikalarıyla önlemler alınması faydalı olacaktır.

5. LOJİSTİK VE TAŞIMACILIK OPTİMİZASYONU (LOGISTICS AND TRANSPORTATION OPTIMIZATION)

Başarılı askeri operasyonlar için verimli lojistik ve nakliye çok önemlidir. Askeri tedarik zinciri yönetimi, askeri ürünlerin, parçaların ve hizmetlerin tedariki, üretimi, onarımı ve teslimatı gibi çeşitli işlevleri içerir. Araştırmalar öncelikli amacın, saldırı ve savunma silah sistemleri için zamanında ve uygun maliyetli desteğin sağlanması olduğunu göstermektedir [35]. Bu husus, alt tedarikçilerin, tedarikçilerin, onarım

depolarının, dağıtım merkezlerinin, perakendecilerin yönetimini ve nihayetinde askeri üslere veya müşterilere/tüketicilere teslimatı içermektedir. Askeri tedarik zincirinin verimli yönetimi, askeri operasyonlarda hazırlık ve etkinliğin sürdürülmesi için çok önemlidir.

Askeri teçhizatın yedek parçalarının ihtiyaç duyulan yerde ve zamanda mevcut olmasını sağlamak için modern ordular, tipik olarak kapsamlı bir tedarik zinciri ve bakım sistemi izlemektedirler. Bu sistem, aşağıdakiler de dâhil olmak üzere birkaç temel bileşenleri içerir:

- *Envanter Yönetimi,*
- *Tahmin ve Planlama,*
- *Tedarik ve Üretim,*
- *Dağıtım ve Lojistik,*
- *Bakım ve Onarım,*

Orduların lojistik birimleri, bu bileşenleri bütünleştirerek, askeri operasyonları desteklemek için ihtiyaç duyulan yerde ve zamanda kullanılabilir olmalarını sağlamak için, yedek parçaların etkili bir tedarik zinciri içerisinde sürekliliğini sağlamaya uğraşmaktadırlar.

Abell makalesinde DMÖ algoritmaları, malların, mühimmatın ve birliklerin taşınmasını optimize ederek maliyetlerin düşmesine ve insanların operasyonel çabalarının azalmasına yol açabileceğinden bahsetmiştir. Makalesinin devamında ABD Kara Kuvvetleri'nin konu hakkında IBM firması ile yapmış olduğu anlaşmadan bahseden Abell, yapay zekâyı askeri ulaşım sistemlerine entegre edilmesi sayesinde, anormalliklerin hızla tespit edilebileceğini ve aksama süresini en aza indirmek ve operasyonel hazırlığı artırmak için bileşen arızalarının tahmin edilebileceğini belirtmiştir [36].

Ek olarak, makine öğrenimi algoritmaları kullanılarak da tedarik zinciri yönetimini, envanter kontrolünü ve rota planlamasını optimize etmek için geçmiş verileri analiz edebilir. Bu, daha etkili kaynak tahsisi sağlayabilir, gecikmeleri azaltabilir ve askeri lojistik ve nakliyyede genel operasyonel verimliliği artırabilir.

Woschank ve arkadaşlarına göre yapay zekânın lojistik endüstrisinde kullanılması, gerçekten de verimliliği ve güvenliği iyileştirme potansiyeli göstermiştir. Makine öğrenimi ve tahmine dayalı analitik gibi yapay zekâ teknolojileri, karmaşık tedarik zinciri operasyonlarını analiz edip optimize ederek maliyetleri azaltabilir, gecikmeleri en aza indirebilir ve genel verimliliği artırabilir [37]. Bu bilgiler neticesinde, yapay zekâ destekli ATA'ların, envanter yönetimi, rota optimizasyonu ve lojistik operasyonları kolaylaştırmaya ve kaynak tahsisini iyileştirmeye yardımcı olan talep tahmini gibi çeşitli görevleri otomatik olarak yapabileceği değerlendirilmiştir. Ayrıca yapay zekâ destekli ATA'ların, lojistik sistemindeki güvenliği artırabileceği; hırsızlık, dolandırıcılık veya yetkisiz erişim gibi potansiyel risklerin erken tespit edilmesini sağlayarak anormallikleri gerçek zamanlı olarak aktif olarak izleyip tespit edebileceği; gelecekteki güvenlik ihlallerini önlemek için geçmiş verileri analiz ederek tedarik zinciri boyunca malların güvenliğini sağlayabileceği değerlendirilmiştir.

Yapay zekâ, lojistikte verimliliği ve güvenliği artırma potansiyelini göstermiş olsa da insan uzmanlığının ve gözetiminin çok önemli olduğunu belirtmek önemlidir. Yapay zekâ teknolojilerini insan kaynaklarıyla birleştirmek, problem çözme becerileri ve karmaşık durumlara

uyum sağlama yeteneği kazandırdığından daha da iyi sonuçlara yol açabilir. Bu nedenle hem yapay zekâ yeteneklerini hem de insan becerilerini kullanan işbirlikçi bir yaklaşımın, lojistik endüstrisinde en uygun sonuçları vermesi muhtemeldir [38].

6. HEDEF TANIMA VE TEHDİT DEĞERLENDİRMESİ (TARGET RECOGNITION AND THREAT ASSESSMENT)

Doğru hedef tanıma ve tehdit değerlendirme, askeri operasyonlar için hayati öneme sahiptir. Makine öğrenimi algoritmaları, raporlar, haber akışları ve belgeler gibi çeşitli yapılandırılmamış bilgi kaynaklarını analiz ederek savunma kuvvetlerine değerli iç görüler ve durumsal farkındalık sağlayabilir [39].

Bu algoritmalar düşman örüntülerini tanımlayabilir, davranışını tahmin edebilir, görev yaklaşımlarını değerlendirebilir ve potansiyel güvenlik açıklarını tespit edebilirler. Askeri birimler, makine öğrenimi tekniklerinden yararlanarak veriye dayalı kararlar mekanizmaları geliştirebilir ve tehditleri etkili bir şekilde belirleme ve etkisiz hale getirme yeteneklerini geliştirebilirler.

İnsan ve yapay zekânın askeri operasyonlara entegrasyonu, savaşın etkinliğini ve verimliliğini artırma potansiyeline sahiptir. Hem insan hem de makine istihbaratının güçleri birleştiğinde, daha geniş bir senaryo yelpazesine sahip olunmakta ve gerekli istihbaratın istenilen zamanda ve yeterlilikte oluşturmak için ilgili birimler daha donanımlı hale gelmektedir [40]. Ancak, askeri operasyonlarda otonom teknolojilerin kullanımına ilişkin ele alınması gereken potansiyel etik hususlar da bulunmaktadır. Genel

olarak, yapay zekâ destekli akıllı ordunun gelecekteki gelişimi, teknolojik ilerlemeler ve politika kararları dâhil olmak üzere çeşitli karmaşık faktörlere bağlı olacağı söylenebilir.

Bir diğer DMÖ uygulaması olan Yapay Sinir Ağı (YSA; Artificial Neural Network-ANN), geleneksel teknikleri kullanarak üstesinden gelinmesi zor olan karmaşık bilgi işleme ve otonom kontrol problemlerini çözmek için büyük bir potansiyele sahiptir [41]. YSA'nın büyük miktarda veriden öğrenme ve uyarlama yeteneği, gerçek zamanlı işleme ve yanıt vermesini sağlayarak onu çeşitli askeri uygulamalar için umut verici bir araç haline getirmektedir. Bir yandan da YSA teknolojisi, askeri uygulamalar için güçlü araçlar sağlama potansiyeline sahiptir. Nöral ağlar, örüntü tanıma konusunda başarılı gelişmeler gösterirken, hedef tanıma ve izleme gibi uygulamalar için de uygun bir uygulama olarak karşımıza çıkmaktadır. Büyük veri kümelerinden öğrenme ve gerçek zamanlı olarak yeni durumlara uyum sağlama becerileri, bu sistemlerin doğruluğunu ve güvenilirliğini artırmaktadır.

İlave olarak, YSA'ları askeri operasyonlara gerçek zamanlı yönlendirme ve hassas seyrüsefer yaptırma konularında yüksek fayda sağlayabilmektedir [41]. Diğer konularda olduğu gibi, yapay zekânın askeri hedef tanımlama ve değerlendirilmesinde kullanımıyla ilgili etik ve yasal yükümlülükleri dikkate almak ve bu teknolojilerin sorumlu bir şekilde ve uygun sınırlar içinde kullanılmasını sağlamak önem arz etmektedir.

Askeri hedef tanıma ve izleme bağlamında YSA'ları, belirli askeri hedefleri veya ilgilenilen nesneleri belirlemek ve izlemek için

eğitilebilecek yapıdadırlar. YSA'ları, görüntüler veya radar bilgileri gibi çok büyük miktarda sensör verisini analiz ederek, kalıpları tanımayı öğrenebilir ve gerçek zamanlı senaryolarda doğru tanımlamalar yapabilir. Ek olarak, YSA'ları gerçek zamanlı yönlendirme sistemlerinde kullanılabilir. Sinir ağları, girdileri sürekli olarak işleyerek ve çıktıları değişen koşullara göre ayarlayarak, İHA'lar veya diğer otonom araçlar gibi askeri varlıkların kontrol edilmesine ve yönlendirilmesine yardımcı olabileceği söylenebilir. Bu yeteneğin, karmaşık ortamlarda gezinme ve mevcut duruma dayalı olarak akıllı kararlar alma becerisini geliştirebileceği değerlendirilmektedir.

Mevcut araştırmalar, bir YSA türü olan derin öğrenme modellerinin, geleneksel makine öğrenimi algoritmalarına kıyasla tehdit algılama performansını gerçekten iyileştirebileceğini göstermiştir [42]. Bunun başlıca nedeni, derin öğrenme modellerinin, karmaşık kalıpları ve özellikleri ayıklamak için birbirine bağlı birden çok düğüm katmanından yararlanarak verilerin hiyerarşik temsillerini otomatik olarak öğrenme yeteneğidir. Sonuçta, derin öğrenme modellerinin performansının, eğitim verilerinin kalitesi, boyutu ve model mimarisi dâhil olmak üzere çeşitli faktörlere bağlı olduğunu not etmek önemlidir.

Bu bağlamda, YSA teknolojisi, çeşitli askeri uygulamalar için güçlü hesaplama araçları sağlama potansiyeline sahip olduğu söylenebilir. Bununla birlikte, etik çıkarımları göz önünde bulundurmak ve yanlış kullanımı veya istenmeyen sonuçları önlemek için uygun gözetimi sağlamak önemlidir.

7. SAVAŞ ALANINDA ASKER SAĞLIĞININ İYİLEŞTİRİLMESİ (IMPROVING BATTLEFIELD HEALTHCARE)

Savaş bölgelerinde, savaş alanı sağlık hizmetleri, askeri personelin refahını sağlamanın kritik bir yönüdür. Savaş, askerlerin hayatlarını riske atan zorlu bir ortamdır. Savaş koşullarında askerlerin sağlığı, savaş etkinliklerindeki başarıyı doğrudan etkileyen önemli bir faktördür. Savaş alanında askerlerin sağlığını korumak, savaşta üstünlük sağlamak için stratejik bir gereklilik haline gelmiştir. Bu nedenle, askerlerin sağlığına ve refahına odaklanmak, askeri operasyonların başarısı için hayati önem taşır. DMÖ, bu alanda önemli bir potansiyele sahiptir.

DMÖ savaşta askerlerin sağlığını artırmak için, çeşitli alanlarda önemli katkılar sağlayabilir. Örneğin, askeri personelin sağlık durumunu izlemek için giyilebilir cihazlar kullanarak DMÖ algoritmaları kullanılabilir. Bu cihazlar, askerin nabız, uyku düzeni, stres seviyeleri gibi önemli sağlık göstergelerini izleyebilir ve gerektiğinde askeri personelin sağlık durumu hakkında uyarılarda bulunabilir. Ayrıca, DMÖ, askerlerin yaralanma riskini tahmin etmek ve önleyici tedbirler almak için kullanılabilir. Geçmiş verileri analiz ederek, askerlerin yaralanma riski taşıdığı durumları belirleyebilir ve bu riskleri azaltmak için uygun önlemler alınabilir.

Gelişmiş teknolojiler, DMÖ ve ATA gibi yenilikçi araçlar, savaşta askerlerin sağlığını artırmak, savaş alanı sağlık hizmetlerini kolaylaştırmak ve askeri personelin refahını artırmak için önemli fırsatlar sunmaktadır. DMÖ, yapay zekâyı Robotik Cerrahi Sistemler, Robotik Yer Platformları ve diğer tıbbi teknolojilerle bütünleştirerek savaş alanı sağlık hizmetlerinin

iyileştirilmesinde önemli bir rol oynayabilir. Panesar ve doktor arkadaşları yapay zekâ özellikli sistemlerin, cerrahi prosedürleri uzaktan destekleyerek ve gerçek zamanlı tıbbi analiz sağlayarak tıbbi müdahalelerin hızını ve doğruluğunu artırabileceğinden bahsetmişlerdir [43].

Bu sistemler ayrıca savaş alanında daha iyi sağlık hizmeti sağlamak için değerli bilgiler ve iç görüler toplamak üzere yaralı askerlerin tıbbi kayıtlarını da araştırır. Yapay zekâ desteği ile, büyük miktarda tıbbi veriyi analiz ederek yaralanmaları teşhis etmeye, tedavi seçenekleri önermeye ve hatta potansiyel olarak cerrahi prosedürlere yardımcı olmaya yardımcı olabilir. Savaş alanı sağlık hizmetlerinde büyük veri ve yapay zekânın bu entegrasyonu, tıbbi karar verme sürecini geliştirmeyi ve hasta sonuçlarını iyileştirmeyi amaçlamaktadır [44].

DMÖ'nin tıp alanına getirdiği gelişmeler göz önüne alındığında, DMÖ ile bütünleştirilmiş ATA'ların, savaş alanında sağlık hizmetlerinin etkin bir şekilde yönetilmesini kolaylaştıracağı rahatlıkla söylenebilecektir. Örneğin, taktik data linkleri, askeri personelin sağlık durumuyla ilgili verilerin gerçek zamanlı olarak sağlık personeline iletilmesini sağlayabilecektir. Bu sayede, sağlık personeli, sahada olan bir askerin acil tıbbi müdahaleye ihtiyacı olduğunu hızlı bir şekilde tespit edebilecek ve gerekli sağlık kaynaklarını yönlendirebilecektir. Ayrıca, bu geliştirilen ATA'lar, savaş alanında sağlık hizmetlerinin lojistik yönetimini kolaylaştıracaktır. Tıbbi malzeme ve ilaç stokları hakkında gerçek zamanlı bilgilere erişim sağlayarak, tıbbi kaynakların doğru bir şekilde

yönetilmesi ve ihtiyaç duyulan bölgelere zamanında ulaştırılması sağlanabilecektir.

DMÖ ve ATA'ların kullanımı, askeri personelin refahını artırmak için de büyük fırsatlar sunmaktadır. DMÖ, askeri personelin stres seviyelerini izleyebilir ve stres yönetimi konusunda önerilerde bulunabilir. Bunun yanı sıra, taktik data linkleri sayesinde askeri personel, aileleriyle daha sık ve güvenli iletişim kurabilir. Bu, askeri personelin moralini yükseltebilir ve psikolojik olarak daha sağlıklı bir ortamda çalışmalarını sağlayabilir. Ayrıca, taktik data linkleri, askeri personelin eğitim ihtiyaçlarını belirlemek ve kişiselleştirilmiş eğitim programları sunmak için kullanılabilir. Bu sayede, askeri personel daha iyi yetişmiş olacak ve savaşta daha başarılı olacaklardır.

Araştırmalar, DMÖ'nin, sağlık uzmanlarına karar vermede yardımcı olarak, teşhis doğruluğunu ve iş akışı verimliliğini artırarak ve klinik tahminleri ve hasta bakımını geliştirerek askeri personelin sağlık hizmetlerini iyileştirebileceğini göstermektedir [45-47].

8. SAVAŞ SİMÜLASYONU VE EĞİTİMİ (COMBAT SIMULATION AND TRAINING)

Simülasyon ve eğitim, askeri personelin muharebe senaryolarına hazırlanmasında çok önemli bir rol oynamaktadır. Askeri eğitim ve savaş simülasyonları, askeri personelin yeteneklerini ve karar alma becerilerini geliştirmek için kullanılmakta ve zayıfları ve riskleri minimize etmekte büyük fayda sağlamaktadır. Fawkes'in bildirisinde belirttiği gibi günümüzde, teknolojinin ilerlemesiyle birlikte DMÖ ve taktik data linkleri gibi yenilikçi teknolojilerin kullanılması, askeri eğitimlerin ve

savaş simülasyonlarının etkinliğini artırmada büyük bir potansiyele sahiptir [48]. DMÖ, gerçekçi senaryolar oluşturarak, düşman davranışını taklit ederek ve kursiyerlere gerçek zamanlı geri bildirim sağlayarak savaş simülasyonunu ve eğitimi geliştirebilir. Bu algoritmalar, dinamik ve sürükleyici eğitim ortamları oluşturmak için geçmiş görev verileri ve gerçek zamanlı sensör girişi dâhil olmak üzere çok büyük miktarda veriyi analiz edebilir.

Makine öğreniminden yararlanan askeri eğitim programları, bireysel kursiyerlerin güçlü ve zayıf yönlerine uyum sağlayabilir, eğitim modüllerini kişiselleştirebilir ve eğitim sonuçlarını optimize edebilir. DMÖ destekli bu yeni program sayesinde, askeri personelin gerçek dünyadaki savaş durumlarına iyi hazırlanmasını sağlayarak daha verimli ve etkili eğitim sağlanabileceği değerlendirilmektedir. Yapılan araştırmalarda, DMÖ, askeri eğitimlerde simülasyon ve sanal gerçeklik gibi yenilikçi teknolojilerle birleştirildiğinde daha gerçekçi ve etkileşimli bir ortam yaratılmasına yardımcı olabileceği görülmüştür [49]. Askeri personel, simülasyonlar aracılığıyla gerçek savaş senaryolarını deneyimleyebilir ve karşılaşabilecekleri farklı durumlar hakkında pratik yapabilir. DMÖ algoritmaları, simülasyonlarda gerçekçi düşman davranışlarını modellere ve senaryolara entegre ederek daha etkili eğitimler sağlayabilir.

DMÖ desteği ile ATA'ların kullanılması, askeri eğitimlerin ve savaş simülasyonlarının etkinliğini artırmada büyük bir potansiyele sahiptir. DMÖ, askeri personelin büyük veri setlerini analiz etmelerine ve daha iyi kararlar almalarına yardımcı olabilir. Ayrıca, DMÖ algoritmaları, askeri eğitimlerde simülasyonlarla

birleştirildiğinde daha gerçekçi bir deneyim sağlayabilir. Taktik data linkleri ise birlikler arasında gerçek zamanlı iletişimi kolaylaştırarak koordinasyonu artırabilir ve DMÖ algoritmalarının veri analizini güçlendirebilir.

Ancak, bu yenilikçi teknolojilerin kullanımıyla ilgili bazı zorluklar da vardır. Özellikle, güvenlik ve gizlilik konuları dikkate alınmalı ve veri paylaşımı süreçleri sıkı bir şekilde yönetilmelidir. Ayrıca, DMÖ algoritmalarının doğruluğunu ve güvenilirliğini sağlamak için sürekli olarak eğitilmeleri ve iyileştirilmeleri gerekmektedir.

9. DURUMSAL FARKINDALIK VE TEHDİT İZLEME (SITUATIONAL AWARENESS AND THREAT MONITORING)

Askeri operasyonlar, hızla değişen savaş alanlarında etkili bir şekilde yönlendirilmek ve kontrol edilmek için güçlü bir durumsal farkındalık ve düşman tehdit izleme yeteneği gerektirmektedir. Bu ihtiyaçları karşılamak için gelişmiş teknolojilerin entegrasyonu kaçınılmaz hale gelmiştir. DMÖ ve ATA veri bağlantıları, askeri durumsal farkındalığı artırmak ve düşman tehditlerini izlemek için potansiyel olarak güçlü bir kombinasyon sunmaktadır.

ATA'lar, askeri platformlar ve birimler arasında iletişimi sağlayarak durumsal farkındalık ve tehdit izlenmesi konusunda gelişmiş silahlı kuvvetlerin omurgasını oluşturmaktadır [50]. Sabit ve hareketli platformlar arasında anlık veri paylaşımı yaparak birlikte çalışmayı kolaylaştırır. Ancak, verilerin anlamlı hale getirilmesi ve tehditlerin tanımlanması konusunda bu yeteneğin hâlâ geliştirilmesi gerekli kısımları mevcuttur. İşte bu noktada DMÖ devreye girmektedir. DMÖ, karmaşık veri kümelerini analiz etmek ve

örüntüleri tanımak için algoritmalar kullanarak bilgisayar sistemlerinin eğitilmesini sağlar. Böylece veri bağlantıları aracılığıyla gelen veriler analiz edilerek düşman tehditleri hızlı ve hassas bir şekilde belirlenir.

DMÖ, büyük miktarda veriyi hızlı bir şekilde analiz edebilme yeteneği sayesinde askeri durumsal farkındalığı artırabilir. ATA aracılığıyla gelen veriler, DMÖ algoritmalarını besleyebilir ve anlamlı bilgilere dönüştürülebilir. Radar verileri, görüntüler, sinyal istihbaratı ve diğer sensör verileri DMÖ modelleriyle analiz edilebilir ve tehditlerin tespit edilmesi için kullanılabilir. DMÖ algoritmaları, taktik data linklerinden gelen verileri analiz ederek düşman birimlerin davranış modellerini tanıyabilir. Bu bilgi, askeri personelin stratejilerini ve taktiklerini daha iyi ayarlamalarına yardımcı olabilir. Ayrıca, DMÖ algoritmaları, derin ağların desteği ile, taktik data linklerindeki verileri gerçek zamanlı olarak izleyebilir ve olası tehditleri önceden tahmin ederek birimlerin proaktif bir şekilde tepki vermesini sağlayabilir. Bu sayede askeri birlikler, sahip oldukları verilere dayanarak daha hızlı ve daha doğru kararlar verebilir.

DMÖ algoritmaları, İstihbarat, Gözetleme ve Keşif (İGK; Intelligence Surveillance Reconnaissance-ISR) verilerini analiz ederek bu yetenekleri geliştirebilir. İHA'lar dâhil olmak üzere çeşitli kaynaklardan gelen İGK verilerini otonom olarak işleyip yorumlayan bu algoritmalar, düşman faaliyetleri hakkında gerçek zamanlı bilgiler sağlayabilir, potansiyel tehditleri belirleyebilir ve karar vermeye yardımcı olabilir. Ayrıca, yapay zekâ özellikli İHA'lar sınır bölgelerinde devriye gezebilir,

potansiyel tehditleri tespit edip izleyebilir ve müdahale ekiplerine ATA üzerinden değerli bilgiler iletebilir. Böylece, askeri üslerin güvenliği güçlendirilir ve askeri personelin savaşta ve uzak yerlerde güvenliği ile etkinliği artırılır.

DMÖ desteği ile ATA'ları düşman tehdit izleme kapasitesini de artırabilir. Derin öğrenme algoritmaları, belirli düşman tehditlerini tanımak ve tahmin etmek için eğitilebilir. Örneğin, düşman hava araçlarının tespiti veya düşman sinyal istihbaratının analizi gibi görevler, DMÖ teknikleriyle daha etkili bir şekilde gerçekleştirilebilir. Bu, dost birliklerin düşman faaliyetlerini daha iyi anlamalarını ve buna göre önlemler almalarını sağlar.

DSA'ları, askeri durumsal farkındalık ve düşman tehdit izleme konularında önemli bir rol oynayabilir. Bu ağlar, büyük miktarda veriyi analiz ederek örüntüleri ve ilişkileri tespit etme yeteneğine sahiptir. Askeri durumsal farkındalık, bir askeri birimin çevresindeki ortamı ve olayları anlama ve takip etme yeteneğini ifade eder. DSA'ları, birliklerin yerini belirleme, düşman hareketlerini izleme, hava durumu analizi gibi durumsal bilgileri işleyerek askeri birimlerin sahip olduğu bilgilerin analizini yapabilir ve bu sayede komutanlara daha doğru ve hızlı kararlar vermelerine yardımcı olabilir. DSA'ları, gözetleme sistemlerinden, uydu görüntülerinden, radar verilerinden ve diğer kaynaklardan gelen verileri analiz ederek düşman birimlerin yerlerini, aktivitelerini ve niyetlerini belirleyebilir. Bu bilgiler, askeri birimlerin stratejik planlamalarını ve müdahale stratejilerini geliştirmelerine yardımcı olabilir.

Derin bir sinir ağının, geleneksel makine öğrenimi yaklaşımına kıyasla, takviyelerin farklı özelliklerine ilişkin daha hızlı ve üstün tahminler sunabilmesi şaşırtıcı değildir. DSA'ları, girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki karmaşık ilişkileri öğrenmek için daha büyük bir kapasiteye sahiptir, bu da onları yüksek derecede karmaşıklık içeren sorunları çözmek için ideal kılar. Geleneksel makine öğrenimi algoritmalarıyla karşılaştırıldığında derin öğrenme algoritmaları, verilerin daha soyut ve hiyerarşik temsillerini öğrenerek daha anlamlı özellikler çıkarmalarını mümkün kılar. Bu nedenle, DSA'larının bu durumda daha hızlı ve üstün tahminler sunabilmesi doğal olarak karşılanmaktadır [51].

10. ZORLUKLAR VE DEĞERLENDİRMELER (CHALLENGES AND CONSIDERATIONS)

DMÖ'nin, ATA'lara entegrasyonunda bir dizi zorluk ve karmaşıklık ortaya çıkabilir. İşte bu zorluklardan bazıları ve nasıl ele alınabilecekleri hakkında birkaç önemli nokta şu şekilde gruplanmaktadır:

Veri Sorunları: DMÖ, büyük miktarda etiketlenmiş veri gerektirmekte ancak ATA'lar genellikle sınırlı veriye sahip olmaktadır. Bu, eğitim için yeterli veri toplama ve etiketleme zorluğu yaratmaktadır. Bu sorunu aşmak için, yapay veri artırma teknikleri kullanılabilir veya benzer görevlerde daha fazla veri toplanabilir. Ancak bu noktada, doğru veri toplama yöntemleri ve veri setlerinin kalitesi büyük önem taşımaktadır. İlave olarak ATA'lar içerisinde iletilen gizlilik dereceli verilerin toplanıp üzerinde çalışılması güvenlik tedbirleri nedeni ile zorunlu prosedürlere maruz kalacak ve işlemlerin yavaş ilerlemesine neden olacaktır.

Güvenilirlik ve Güvenlik: Askeri sistemlerin güvenilirliği ve güvenliği hayati önem taşımaktadır. Veri gizliliği ve güvenliği gibi konular, bu teknolojilerin askeri uygulamalarında dikkate alınması gereken önemli faktörlerdir. DMÖ algoritmaları, yanlış kararlar verebilir veya saldırılara açık olabilir. Bu nedenle, bu algoritmaların güvenilirliği ve güvenliği, sıkı test ve doğrulama süreçleriyle sağlanmalıdır. Bu noktada belirli standartlar oluşturulmasının çok faydası olacaktır. Ayrıca, savunma mekanizmaları ve güçlü şifreleme yöntemleri kullanarak sistemleri korumak önemlidir.

İnsan-Faktörü: DMÖ, birçok askeri görevde insan faktörünün yerini alabilir veya onu tamamlayabilir. Ancak insan karar süreçleri ve zekâsı hala kritik öneme sahiptir. Bu nedenle, DMÖ algoritmalarının insanlarla etkileşim içinde çalışabilmesi ve insanların son kararı vermelerine olanak tanınması önemlidir. İnsanların DMÖ tarafından verilen kararları anlaması ve doğrulaması için şeffaflık ve açıklık sağlanmalıdır.

Etik ve Yasal Sorunlar: ATA'larda DMÖ kullanımıyla ilgili etik ve yasal sorunlar ortaya çıkabilir. Örneğin, savaş hukuku ve insan haklarıyla uyumlu olma, sivil hedeflerin korunması gibi konular dikkate alınmalıdır. Askeri birlikler ve komutanlar, DMÖ algoritmalarının kullanımını denetlemek ve etik kurallara uygunluğunu sağlamak için yönergeler ve politikalar geliştirmelidir.

Söz konusu zorluklara ilave olarak günümüz orduları ele alındığında yapay zekâ teknolojilerinin bütünleştirilmesi ve yaygın kullanıma verilebilmesi için dikkate alınması gereken üç zorluk vardır:

Modelde şeffaflık: Komutanların yapay zekâ sistemlerine olan güvenini kazanmak çok önemlidir. Hâlâ yapay zekâ tarafından sağlanan tavsiyeler, yorumlar ve yapay zekânın beslendiği algoritmanın gücü ile limitleri tam olarak açıklanamamaktadır.

Algoritmanın aktarılabilirliği: Algoritma, yalnızca belirli sorunlar için değil, tüm sorun türleri için uygulanabilir olmalıdır. Bir görevde kullanılan modellerin ile elde edilen algoritmayı diğer göreve aktarılması konusunda potansiyel sorunların yaşanabileceği değerlendirilmektedir.

Yetersiz eğitim verisi: Makine öğrenimi, yeterli miktarda eğitim verisine dayanmaktadır. Bu, yalnızca Denetimli Öğrenme (Supervised Learning) için etiketlenmiş verileri değil, aynı zamanda Takviyeli Öğrenme (Reinforcement Learning) için simülasyon verilerini de içerir. Bu tür verilerin mevcudiyeti askeri bağlamda bir zorluktur [44].

İşlem hızı ve karmaşıklık: Geçmiş bilgiler, elde edilen tecrübeler ve eğitim verileri ile beslenen DMÖ yazılımları verilerin yüksek oranda artması ve anlamlandırılacak verilerin daha fazla çeşitlenmesi neticesinde yüksek seviyede işlemci hızına ihtiyaç duyacaklardır. Zira verilerin çoğalmasının yanı sıra çeşitliliğinin de artması anlamlı sonuçlar çıkarmak konusunda algoritmalara büyük yük getirecektir. Artan ve karmaşıklaşan veriler oranında işlemci hızının artmaması neticesinde DMÖ tarafından zamanında istenilen verilerin sağlanamaması söz konusu olacaktır. Bu bağlamda işlemci hızına bağlı gelişmeler aynı paralelde değerlendirilmelidir.

Bu zorlukları aşmak için, ATA'lara DMÖ entegrasyonunda disiplinler üstü bir yaklaşım benimsenmelidir. Askeri personel, mühendisler, etik uzmanları ve hukukçular gibi farklı disiplinlerden uzmanlar bir araya gelerek bu zorlukları ele almalı ve uygun çözümler üretmelidir. Ayrıca, sürekli izleme, test ve geri bildirim süreçlerini de içeren sıkı bir takip mekanizması oluşturmak önemlidir.

11. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

DMÖ, askeri stratejilerin geliştirilmesi ve uygulanmasında önemli bir rol oynamaktadır. ATA'lar, bu teknolojik ilerlemeler sayesinde daha verimli ve etkili bir şekilde kullanılabilir. Görülmüştür ki DMÖ, ATA'lar ile bütünleştirildiğinde, daha hızlı ve isabetli tahminler yapılmasını sağlayacak, kısıtlamaları hafifletecek, askerler üzerindeki bilgi yükünü azaltacak ve ağ savunma stratejilerini iyileştirecektir. Askeri operasyonlarda DMÖ ile geliştirilen modeller:

- Nesne konumlandırma,
- Siber güvenlik,
- Lojistik,
- Hedef tanıma,
- Tehdit değerlendirmesi,
- Asker sağlığının iyileştirilmesi,
- Simülasyon ve
- Durumsal farkındalık gibi alanlarda radikal değişiklikler sağlayabilecek potansiyele sahiptir.

Derin öğrenme modelleri, karmaşık görevleri başarıyla yerine getirebilen katmanlı yapısıyla askeri taktik ağlara uyumlandırılarak, operasyonlarda önemli bir avantaj sağlayabilecektir. Ancak, DMÖ ile askeri taktik ağlarının bütünleştirilmesi süreci, büyük veri

korelasyonu ve doğru kararların zamanında verilmesi gibi zorluklar içermektedir. İnsan zekâsıyla bu sürecin gerçekleştirilmesi mümkün olmadığından, yapay zekâ bu noktada önemli bir rol oynamaktadır.

DMÖ'nin ATA'lara entegrasyonu, askeri operasyonlarda devrim yaratma potansiyeline sahiptir. Makine öğrenimi algoritmaları, nesne konumunu ve siber güvenliği iyileştirmeden lojistik ve nakliye optimize etmeye kadar önemli avantajlar sunmaktadır. DMÖ, hedef tanımayı, savaş alanı sağlık hizmetlerini, savaş simülasyonu ve eğitimini ve durumsal farkındalığı iyileştirerek daha verimli ve etkili askeri yetenekler sağlar. Ancak, Yapay Zekânın askeri sektörde sorumlu ve güvenli bir şekilde konuşlandırılmasını sağlamak için zorlukların ve etik sonuçların dikkatli bir şekilde değerlendirilmesi gereklidir.

Yapay zekâ alanındaki gelişmeler, etkili askeri operasyonlara yönelik artan ihtiyaçla birlikte, DMÖ'ni ATA'lara entegre etmek konusunda kritik bir odak noktası haline gelmiş durumdadır [52].

Bulunan sonuçlar, derin öğrenme tekniklerinin;

- Güçlü öğrenme yeteneklerine sahip oldukları için operasyonel riski tahmin etmede etkili olduğunu,
- Derin öğrenme modellerinin diğer güçlü makine öğrenimi yöntemlerinden daha iyi performans gösterdiğini ve uygun ağ mimarilerinin tasarımı konusunda rehberlik sağlayabildiğini göstermektedir.

Bu bilgi, operasyonel risk tahmini için uygun tahmine dayalı modelleme tekniklerinin seçilmesi söz konusu olduğunda, risk yönetimi ve

risk azaltma açısından potansiyel faydalar sağlama konusunda gelecekteki karar verme sürecini geliştirmeye yardımcı olmaktadır [53].

DMÖ desteği ile kullanılan ATA'lar, savaşta kullanıldığında silahlı kuvvetlerin konvansiyonel gücünü arttırabilecek önemli bir potansiyele sahiptir. Yapılan araştırmalara ve bulunan makalelere göre fark yaratacak derecede gelişim görülebilecek bu potansiyel sahaları şu şekilde listelenebilir:

- ATA'ların görüş içi ve/veya görüş ötesi menziller haberleşme etkinliklerini arttırmak,
- Ağ savunma stratejilerini iyileştirmek,
- Nesne konumlandırma, tespit, takip yeteneklerini arttırmak,
- Askeri eğitimlerin ve savaş simülasyonlarının kalitesini ve etkinliğini arttırmak,
- Askeri lojistiğin verimliliğini ve güvenliğini arttırmak,
- Hedef tanıma ve tehdit değerlendirme performansını arttırmak,
- Savaş alanında askeri personelin sağlık hizmetlerini iyileştirmek,
- Askeri personelin daha iyi kararlar almasına, daha gerçekçi eğitimler yapılmasına ve daha etkili bir şekilde koordinasyon sağlamasına yardımcı olmak,
- Askeri durumsal farkındalık ve düşman tehdit izleme yeteneklerini arttırmak,
- Askeri birliklerin sahip oldukları verileri daha etkili bir şekilde analiz etmelerini ve tehditleri daha hızlı bir şekilde belirlemelerini sağlamak,
- Operasyonel karar verme sürecini iyileştirmek, nesne tanıma ve hedef tespiti yeteneklerini arttırmak ve özerk sistemlerin performansını geliştirmek.

Sonuç olarak, DMÖ ile birlikte ATA'ların kullanımı, askeri operasyonlarda fark yaratacağı ve bir dizi alanı önemli ölçüde geliştireceği değerlendirilmiştir. Günümüzde gelinen noktada yapay zekâ teknolojisindeki devam eden ilerlemelerle, ATA'larda DMÖ'nin geleceği, savunma sektörü için büyük umut vaat etmektedir. Bu başarıldığında, yeni nesil askeri operasyonların gerçekleştirilebileceği söylenebilir.

Ancak, DMÖ'nin askeri operasyonlarda kullanımı, etik, güvenlik ve siber saldırı riskleri gibi çeşitli zorlukları da beraberinde getirmekte olduğu, veri gizliliği ve güvenlik gibi konuların dikkate alınması gerektiği hususları sürekli gündemde kalmalıdır. Bu nedenle, ATA temelli askeri stratejilerin geliştirilmesinde DMÖ kullanılırken dikkatli bir şekilde değerlendirme ve dengeleme yapılması önemlidir. DMÖ ve ATA veri bağlantılarının ancak doğru ve güvenli bir şekilde bütünleştirilmesi, askeri operasyonlarda üstünlük sağlayabilir ve askeri personelin güvenliklerini artırabilir. Yola çıkılırken bu bütünleştirme sürecinin zorlukları göz önüne alınmalı ve uygulamalar dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. Ayrıca makine öğrenimi modellerinin kusursuz olmadığını ve yanlış pozitifler üretebileceğini veya ince anomalileri gözden kaçırabileceğini not etmek önemlidir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu araştırma hiçbir dış finansman almamıştır.

YAZAR KATKILARI (AUTHORSHIP CONTRIBUTION STATEMENT)

Fuat ÖZÇAKMAK: Kavramsal tasarım, araştırma, metodoloji, kaynaklar, görselleştirme,

yazma-taslak, yazma-gözden geçirme ve düzenleme.

ÇIKAR ÇATIŞMALARI (CONFLICTS OF INTEREST)

Yazar, herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] M. Atalay ve E. Çelik, “Büyük Veri Analizinde Yapay Zekâ ve Makine Öğrenmesi Uygulamaları- Artificial Intelligence and Machine Learning Applications in Big Data Analysis,” Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, cilt 9, no. 22, pp. 155-172, 2017. DOI: 10.20875/makusobed.309727.
- [2] S. Patel, “A Comprehensive Analysis of Convolutional Neural Network Models,” International Journal of Advanced Science and Technology, cilt 29, no. 4, pp. 771-777, 2020., DOI: 10.1109/ICUE49301.2020.9307089
- [3] A. Testolin, W. Y. Zou ve J. L. McClelland, “Numerosity discrimination in deep neural networks: Initial competence, developmental refinement and experience statistics,” Developmental Science, cilt 23, no. 5, 24 January 2020. DOI: 10.1111/desc.12940
- [4] K. Goztepe, V. Dizdaroğlu ve Ş. Sağiroğlu, “New directions in military and security studies: artificial intelligence and military decision making process,” International Journal of Information Security Science, cilt 4, no. 2, pp. 69-80, 2015.
- [5] N. Barışçı ve S. Sarıkaya, “Real-Time Multiple Objects Detection Using Yolo and

Retinanet From Video and Camera,” Uppsala-SWEDEN, 2019. DOI:10.56979/601/2023

- [6] A. Yazici, Koyuncu Murat, S. A. Sert ve T. Yilmaz, “A Fusion-Based Framework for Wireless Multimedia Sensor Networks in Surveillance Applications,” IEEE Access, cilt 7, pp. 88418-88434, 2019. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2926206
- [7] A. Stoica, D. Militaru, D. Moldoveanu ve A. Popa, “TACTICAL DATA LINK – FROM LINK 1 TO LINK 22,” Sci. Bull. Mircea cel Batran Naval Acad, cilt 19, no. 2, pp. 316-322, 2016. DOI: 10.21279/1454-864x-16-i2-046.
- [8] J. Schubert, J. Brynielsson, M. Nilsson ve P. Svenmarck, “Artificial Intelligence for Decision Support in Command and Control Systems,” 23rd International Command and Control Research & Technology Symposium “Multi-Domain C2”, 2018.
- [9] N. Suri, G. Benincasa, R. Lenzi, M. Tortonesi, C. Stefanelli ve L. Sadler, “Exploring value-of-information-based approaches to support effective communications in tactical networks,” IEEE Communications Magazine, cilt 53, no. 10, pp. 39-45, 2015. DOI: 10.1109/MCOM.2015.7295461
- [10] I. Ahmad, K. Shah ve S. Ullah, “Military Applications using Wireless Sensor Networks: A survey,” International Journal of Engineering Science and Computing, cilt 6, no. 6, pp. 7039-7043, June 2016.
- [11] L. Chen, S. Li, Q. Bai, J. Yang, J. Sanlong ve Miao Yanming, “Review of Image Classification Algorithms Based on Convolutional Neural Networks,” Remote

- Sensing, cilt 13, no. 22, p. 4712, 2012. DOI: 10.3390/rs13224712.
- [12] J. Saxe ve K. Berlin, "Deep neural network based malware detection using two dimensional binary program features," 10th International Conference on Malicious and Unwanted Software (MALWARE), Fajardo, PR, USA, 2015. DOI:10.1109/MALWARE.2015.7413680.
- [13] J. Romeo, "The coming of age of artificial intelligence," 20 April 2023. <https://www.militaryaerospace.com/computers/article/14290944/artificial-intelligence-machine-learning>. (01.06.2023).
- [14] E. Granger, J. F. Connolly ve R. Sabourin, "A Comparison of Fuzzy ARTMAP and Gaussian ARTMAP Neural Networks for Incremental Learning," IEEE International Joint Conference on Neural Networks (IEEE World Congress on Computational Intelligence), Hong Kong, China, 2008. DOI: 10.1109/IJCNN.2008.4634267.
- [15] M. Coşkun, A. Uçar, Ö. Yıldırım ve Y. Demir, "Face recognition based on convolutional neural network," Face recognition based on convolutional neural network, Kremenchuk, Ukraine, 2017. DOI: 10.1109/MEES.2017.8248937.
- [16] S. Lawrence, L. Giles, A. C. Tsoi ve A. D. Back, "Face recognition: a convolutional neural-network approach," IEEE Transactions on Neural Networks, cilt 8, no. 1, pp. 98-113, January 1997. DOI: 10.1109/72.554195.
- [17] P. Kamencay, M. Benco, T. Mizdos ve R. Radil, "A New Method for Face Recognition Using Convolutional Neural Network," Advances In Electrical And Electronic Engineering, cilt 15, no. 4, pp. 663-672, 2017. DOI:10.15598/aeer.v15i4.2389.
- [18] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick ve A. Farhadi, "You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection," IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016. DOI:10.1109/CVPR.2016.91.
- [19] Z. Feng, X. Zhu, L. Xu ve Y. Liu, "Research on Human Target Detection and Tracking Based on Artificial Intelligence Vision," IEEE Asia-Pacific Conference on Image Processing, Electronics and Computers (IPEC), Dalian, China, 2021. DOI:10.1109/IPEC51340.2021.9421306.
- [20] A. Rohan, M. Rabah ve S.-H. Kim, "Convolutional Neural Network-Based Real-Time Object Detection and Tracking for Parrot AR Drone 2," IEEE Access, pp. 69575-69584, 2019. DOI:10.1109/ACCESS.2019.2919332.
- [21] Y. Chen, X. Yang, B. Zhong, S. Pan, D. Chen ve H. Zhang, "CNNTracker: Online discriminative object tracking via deep convolutional neural network," Applied Soft Computing, cilt 38, pp. 1088-1098, 2016. DOI: 10.1016/j.asoc.2015.06.048.
- [22] Y. Wang, X. Luo, L. Ding, S. Fu ve X. Wei, "Detection based visual tracking with convolutional neural network," Knowledge-Based Systems, cilt 175, pp. 62-71, 2019. DOI: 10.1016/j.knosys.2019.03.01.
- [23] M. A. Demirtaş, "Derin Öğrenme Yöntemleri ile 3B Nokta Bulutlarının Semantik Segmentasyonuna Genel bir Bakış," Düzce University Journal of Science and Technology, cilt 11, no. 1, pp. 342-357, 2023. DOI: 10.29130/dubited.1004211.

- [24] O. Güler ve İ. Yücedağ, “Derin Öğrenme İle El Hareketi Tanıma Üzerine Yapılan Çalışmaların İncelenmesi” 21. Akademik Bilişim konferansı., 2019.
- [25] L. Zhang, Z. Sheng, Y. Li, Q. Sun, Y. Zhao ve D. Feng, “Image object detection and semantic segmentation based on convolutional neural network,” *Neural Comput & Applic*, p. 1949–1958, 2020. DOI:10.1007/s00521-019-04491-4.
- [26] M. Ren, W. Zeng, B. Yang ve R. Urtasun, “Learning to Reweight Examples for Robust Deep Learning,” 35th International Conference on Machine Learning, Stockholm, Sweden, 2018.
- [27] B. R. Kiran, I. Sobh, V. Talpaert, P. Mannion, A. A. A. Sallab, S. Yogamani ve P. Pérez, “Deep Reinforcement Learning for Autonomous Driving: A Survey,” *EEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, cilt 23, no. 6, pp. 4909-4926, Haziran 2022. DOI: 10.1109/TITS.2021.3054625.
- [28] X. Zhou, W. Gong, W. Fu ve F. Du, “Application of deep learning in object detection,” 16th International Conference on Computer and Information Science (ICIS), Wuhan, China, 2017. DOI:10.1109/ICIS.2017.7960069.
- [29] M. Bistrion ve Z. Piotrowski, “Artificial Intelligence Applications in Military Systems and Their Influence on Sense of Security of Citizens,” *Electronics*, cilt 10, no. 7, p. 871, 2021. DOI:10.3390/electronics10070871.
- [30] S. Joshi, A. Thakar ve C. Patel, “Applications of Machine Learning and Deep Learning in Securing Internet of Battlefield Things: A Futuristic Perspective,” 10th International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom), Delhi, India, 2023.
- [31] P. F. Lamas, L. C. Ribas, A. M. Mendez ve J. C. Albar, “Evolving Military Broadband Wireless Communication Systems: WiMAX, LTE and WLAN,” International Conference on Military Communications and Information Systems (ICMCIS), Brüksel, Belçika, 2016. DOI: 10.1002/9781119892199.ch20
- [32] M. N. Sadiku, O. I. Fagbohunbe ve S. M. Musa, “Artificial intelligence in cyber security,” *International Journal of Engineering Research and Advanced Technology*, cilt 6, no. 5, pp. 1-7, 2020. DOI:10.1088/1742-6596/1964/4/042072
- [33] M. M. Yamin, M. Ullah ve B. Katt, “Weaponized AI for cyber attacks,” *Journal of Information Security and Applications*, cilt 57, 2021. DOI:10.1016/j.jisa.2020.102722
- [34] A. Gökdemir ve A. Çalhan, “Deep learning and machine learning based anomaly detection in internet of things environments,” *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, cilt 37, no. 4, pp. 1945-1956, 2022. DOI: 10.17341/gazimmfd.962375
- [35] D. Tsadikovich, E. Levner ve H. Tell, “AI-Based Integrated Scheduling of Production and Transportation Operations within Military Supply Chains,” *Advances in Artificial Intelligence: 9th Mexican International Conference on Artificial Intelligence, MICAI*, Berlin, 2010. DOI: 10.1007/978-3-642-16761-4_19.
- [36] N. Abell, “7 Key Military Applications of Machine Learning,” 2 October 2020. <https://medium.com/@nqabell89/7-key-military->

applications-of-machine-learning-9818dfa2ea86. (08.08.2023).

[37] M. Woschank, E. Rauch ve H. Zsifkovits, "A Review of Further Directions for Artificial Intelligence, Machine Learning, and Deep Learning in Smart Logistics," *Sustainability*, cilt 12, no. 9, p. 3760, 2020. DOI:10.3390/su12093760.

[38] S. C. Shu ve T. H. Xing, "Application of AI in Modern Logistics Systems," 11th International Conference on Information Technology in Medicine and Education (ITME), Wuyishan, Fujian, China, 2021. DOI:10.1109/ITME53901.2021.00015.

[39] C. Crosby, "Operationalizing Artificial Intelligence for Algorithmic Warfare," July-August 2020. <https://www.armyupress.army.mil/Journals/Military-Review/English-Edition-Archives/July-August-2020/Crosby-Operationalizing-AI/>. (09.08.2023).

[40] S. Fei-fei, Z. Zhi-Min, W. Yue-liang, X. Yang, Z. Fan ve N. Huan-sheng, "Application progress of artificial intelligence in military confrontation." *Chinese journal of engineering*, cilt 42, no. 9, pp. 1106-1118, 2020. DOI: 10.13374/j.issn2095-9389.2019.11.19.001.

[41] B. L. Yoon, "Artificial neural network technology," *ACM SIGSMALL/PC Notes*, vol. 15, no. 3, pp. 3-16, August 1989.

[42] S. Yuan ve X. Wu, "Deep learning for insider threat detection: Review, challenges and opportunities," *Computers & Security*, cilt 104, 2021. DOI: 10.1016/j.cose.2021.102221.

[43] S. Panesar, C. Yvonne, D. Chander, J. Morey, J. Fernandez-Miranda ve M. Kliot, "Artificial Intelligence and the Future of Surgical Robotics," *Annals of surgery*, cilt 270, no. 2, pp. 223-226, 2019. DOI:10.1097/SLA.0000000000003262.

[44] Y. Zhang, Z. Dai, L. Zhang, Z. Wang, L. Chen ve Y. Zhou, "Application of Artificial Intelligence in Military: From Projects View," 6th International Conference on Big Data and Information Analytics (BigDIA), Shenzhen, China, 2020. DOI:10.1109/BigDIA51454.2020.00026.

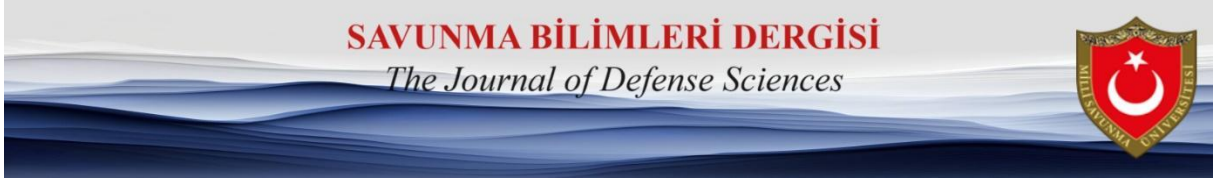
[45] S. Bhavya and A. S. Pillai, "Prediction Models in Healthcare Using Deep Learning," in *Proceedings of the 11th International Conference on Soft Computing and Pattern Recognition (SoCPaR 2019)*, 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-49345-5_21.

[46] O. S. Panykh, S. Guitron, D. Parke, C. Zhang, P. Pandharipande, J. Brink ve D. Rosenthal, "Improving healthcare operations management with machine learning," *Nature Machine Intelligence*, cilt 5, no. 2, pp. 266-273, 18 May 2020. DOI:10.1038/s42256-020-0176-3.

[47] V. P. Gurupur, S. A. Kulkarni, X. Liu, U. Desai ve A. Nasir, "Analysing the power of deep learning techniques over the traditional methods using medicare utilisation and provider data," *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*, cilt 31, no. 1, pp. 99-115, 2018. DOI:10.1080/0952813X.2018.1518999

[48] A. J. Fawkes, "Developments in Artificial Intelligence: Opportunities and Challenges for Military Modeling and Simulation." 017 NATO M&S Symposium, 2017.

- [49] C. Tsatsoulis, "A Review Of Artificial Intelligence In Simulation," ACM SIGART Bulletin, cilt 2, no. 1, p. 115–121, 1991. DOI: 10.1145/122388.106234
- [50] J. L. Burbank, P. F. Chimento, B. K. Haberman ve W. T. Kasch, "Key Challenges of Military Tactical Networking and the Elusive Promise of MANET Technology," IEEE Communications Magazine, cilt 44, no. 11, pp. 39-45, November 2006. DOI: 10.1109/COM-M.2006.24815.
- [51] M. A. Ali, Q. Guan, R. Umer, W. J. Cantwell ve T. Zhang, "Deep learning based semantic segmentation of μ CT images for creating digital material twins of fibrous reinforcements," Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, cilt 139, December 2020. DOI: 10.1016/j.compositesa.2020.106131.
- [52] M. Bistrion ve Z. Piotrowski, "Artificial Intelligence Applications in Military Systems and Their Influence on Sense of Security of Citizens," Electronics, cilt 10, no. 7, pp. 127-145, 2021. DOI:10.3390/electronics10070871.
- [53] A. Kim, Y. Yang, S. Lessmann, T. Ma, M. - C. Sung ve J. E. Johnson, "Can deep learning predict risky retail investors? A case study in financial risk behavior forecasting," European Journal of Operational Research, cilt 283, no. 1, pp. 217-234, 16 May 2020. DOI:10.1002/isaf.1532.



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

Predicting Bitcoin Price: Comparative Analysis of Machine Learning and Deep Learning Models

Bitcoin Fiyat Tahmini: Makine Öğrenmesi ve Derin Öğrenme Yöntemlerine İlişkin Karşılaştırmalı Bir Analiz

Ahmed İhsan ŞİMŞEK ^{1*} 

¹Fırat Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Elazığ, Türkiye

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 22.11.2023
Düzeltilme: 31.01.2024
Kabul: 18.04.2024

Keywords

Bitcoin
Time Series
Deep Learning
Machine Learning
Price Prediction

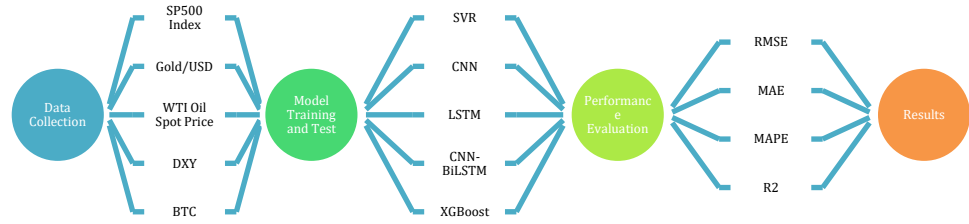
Anahtar Kelimeler

Bitcoin
Zaman Serisi
Derin Öğrenme
Makine Öğrenmesi
Fiyat Tahmini

Highlights

SVR, CNN, LSTM, CNN-BiLSTM and XGBoost models were comprehensively compared for Bitcoin price prediction. S&P500, Gold/Dollar, Oil and Dollar Index were used in Bitcoin prediction, increasing the prediction accuracy. XGBoost's superior success compared to other models shows the power of this model in financial predictions.

Graphical Abstract



Abstract

In recent years, Bitcoin has become an important financial instrument that has attracted increasing attention as a digital currency. Accurately predicting the value of a financial asset is of great importance for both individual and institutional investors. The aim of this study is to evaluate and compare the predictive power of different models (Support Vector Regression (SVR), Convolutional Neural Network (CNN), Long Short-Term Memory (LSTM), Hybrid model, which is a combination of CNN and Bidirectional LSTM (CNN-BiLSTM), and XGBoost) in predicting the Bitcoin price. The main objective of the study is to determine the most effective algorithm in predicting the Bitcoin price. In the study, external factors such as S&P500 index, Gold/Dollar exchange rate, West Texas Intermediate Oil Price and Dollar Index were used to predict the Bitcoin price. The dataset covers 2191 days of data between January 1, 2015 and September 18, 2023. The models went through a two-stage process consisting of training and testing stages. The performance of the models is evaluated using various statistical metrics such as Root Mean Square Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE), Mean Absolute Percentage Error (MAPE) and R-squared (R²). The results show that the XGBoost algorithm gives the best results in all performance metrics. The XGBoost model is followed by CNN-BiLSTM, CNN and LSTM models, respectively. The SVR model exhibited the lowest performance.

Özet

Son yıllarda Bitcoin, dijital bir para birimi olarak giderek daha fazla ilgi gören önemli bir finansal araç haline gelmiştir. Bir finansal varlığın değerini doğru bir şekilde tahmin etmek, hem bireysel hem de kurumsal yatırımcılar için büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmanın amacı, Bitcoin fiyatını tahmin etmede farklı modellerin (Destek Vektör Regresyonu (SVR), Konvolüsyonel Sinir Ağı (CNN), Uzun Kısa Süreli Hafıza (LSTM), CNN ve Çift Yönlü LSTM'nin (CNN-BiLSTM) birleşimi olan hibrit model ve XGBoost) tahmin gücünü değerlendirmek ve karşılaştırmaktır. Çalışmanın temel hedefi, Bitcoin fiyatını tahmin etmekte en etkili algoritmayı belirlemektir. Çalışmada Bitcoin fiyatını tahmin etmek için S&P500 endeksi, Altın/Dolar kuru, West Texas Petrol Fiyatı ve Dolar Endeksi gibi dışsal faktörler kullanılmıştır. Veri seti, 1 Ocak 2015 ile 18 Eylül 2023 tarihleri arasındaki 2191 günlük veriyi kapsamaktadır. Modeller, eğitim ve test aşamalarından oluşan iki aşamalı bir süreçten geçmiştir. Modellerin performansı, Kök Ortalama Kare Hatası (RMSE), Ortalama Mutlak Hata (MAE), Ortalama Mutlak Yüzde Hatası (MAPE) ve R-kare (R²) gibi çeşitli istatistiksel ölçütler kullanılarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar, XGBoost algoritmasının tüm performans ölçütlerinde en iyi sonuçları verdiğini göstermektedir. XGBoost modelini sırasıyla CNN-BiLSTM, CNN ve LSTM modelleri takip etmiştir. SVR modeli ise en düşük performansı sergilemiştir.

* Corresponding author, e-mail: aisimsek@firat.edu.tr

1. INTRODUCTION

The debut of Bitcoin occurred in 2008 under the alias Satoshi Nakamoto. Bitcoin was conceptualized as a novel payment system that facilitates instantaneous electronic currency transactions [1]. When considering Bitcoin, the primary concept that arises is that of blockchain technology. The utilization of blockchain technology ensures that all transactions conducted within the network undergo encryption and subsequent recording. These records of transactions are then saved within blocks. The recent surge in Bitcoin prices has generated heightened interest among investors and regulatory bodies alike. Investors began perceiving Bitcoin as a viable financial vehicle, thereby allocating a portion of their investment

Upon analysis of Figure 1, notable fluctuations are detected in specific time intervals, characterized by significant increases and declines. As an illustration, the value of the asset increased from around \$2,800 in August 2017 to \$18,000 in December 2017, representing a period of approximately four months. Subsequently, the value of the asset saw a decline, reaching a level of 6900 dollars in the month of February in the year 2018. In a comparable vein, the value of the subject in question experienced an increase from approximately \$5000 in early 2020 to reach a peak of \$69000 in the middle of 2021. The significant level of volatility exhibited by this phenomenon garners the interest of investors. Currently, the task of forecasting the price of Bitcoin holds significant importance.

Accurately estimating the valuation of a financial asset holds significant importance for investors. There exist a multitude of techniques employed

portfolio towards Bitcoin. Consequently, the Bitcoin price experienced substantial manipulation, resulting in a notable escalation in fluctuation. Figure 1 depicts the temporal progression of Bitcoin's daily price fluctuations as a time series commencing from the year 2015.

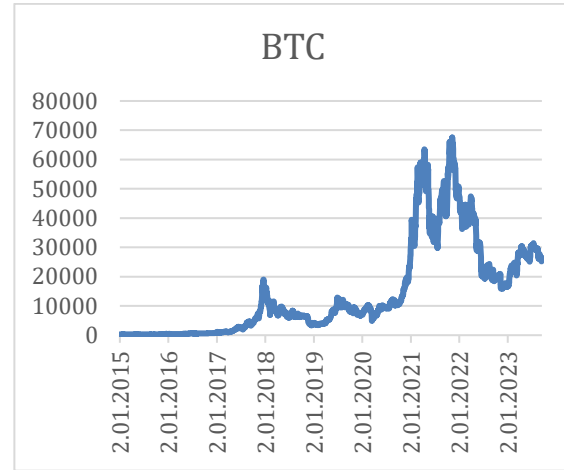


Figure 1: Daily Bitcoin price.

for the purpose of forecasting the value of a commodity. The aforementioned methodologies encompass time series analysis, machine learning, and deep learning techniques. A variety of approaches have been utilized in the existing body of literature to predict the price of Bitcoin. For example, ANN [2, 3], LSTM [4, 5]; SVR [6], CNN [7-9], XGBoost [10, 11] and CNN-BiLSTM Hybrid Model [12-15]. This is the first study that employed gold, stock market, oil and dollar index to predict Bitcoin price. Also in this study 5 different methodologies is compared together for the first time to predict Bitcoin price. In contrast to previous studies, the data set was enlarged and data was collected on 01.02.2015. No study encompassing a more extensive dataset has been located in the existing literature. The use of a substantial data collection facilitated the models to acquire enhanced learning capabilities

and generate superior outcomes in comparison to studies employing smaller data sets.

The objective of this research is to conduct a comparative analysis of various predictive models, namely SVR, CNN, LSTM, XGBoost, and the hybrid model CNN-BiLSTM, in the context of Bitcoin price prediction. Several studies in the literature exclusively utilized Bitcoin data for the purpose of predicting Bitcoin prices [2,12,16]. Furthermore, the literature has research that employ several variables to forecast the price of Bitcoin. The SP500 index price and oil price have a significant impact on Bitcoin price changes [17]. Also the gold price has a role in Bitcoin price [8]. Additionally, some studies emphasize the importance of the Dollar Index (DXY) in relation to Bitcoin price fluctuations [18]. This study incorporated the macroeconomic indicators commonly utilized in the literature to forecast the price of Bitcoin. This study utilized the variables of the S&P500 Index, Gold/USD (ounces), US Dollar Index (DXY), and West Texas Oil Spot Price to make predictions about the price of Bitcoin. The analysis incorporates data from the variables spanning from January 1, 2015, to September 18, 2023. The data pertaining to the variables utilized in the study were collected on a daily basis from the website investing.com. The numpy library was employed in the Python program to assure temporal synchronization of the variables. In order to conduct time series analysis, it is necessary for the data to be temporally synchronized. Specifically, the daily data of the SP500 index, which is one of the variables utilized, distinguishes itself from other variables due to the absence of weekend data in this index. The

synchronization procedure can be performed manually in Excel, or it can be automated within the software by implementing the required coding. To resolve this issue and achieve data parity, the requisite coding was implemented using the Python programming language, resulting in data synchronization. Initially, data was extracted from individual Excel files for each variable. The dates of each variable were transformed into a datetime object using the "pd.to_datetime" function. Additionally, the "Date" column in the variable file was designated as an index using the "set_index" function. Subsequently, the collection of data was consolidated by employing the "pd.concat" function. Subsequently, the data set's time range was established to generate the missing dates, which were then constructed using the "reindex" function, resulting in the data set being indexed based on these dates. Ultimately, all missing values were replaced with the numerical value of "0" through the utilization of the "fillna(0)" method. Once the dates with complete data were identified, a fresh dataset was generated and saved in a new Excel file using the "to_excel" function. Ultimately, the temporal synchronization procedure was finalized by removing the dates that lacked data for any variable in Excel. Following the temporal synchronization of the daily data pertaining to the variables, a total of 2191 days of data spanning from 02.01.2015 to 18.09.2023 were incorporated into the study. Subsequently, the SVR, LSTM, CNN, CNN-BiLSTM, and XGBoost methodologies were implemented in Python for the purpose of this investigation. The respective models were constructed and trained

accordingly. After the conclusion of the training phase, the testing phase was carried out to assess the efficacy of the models. Statistical metrics, including RMSE, MAE, MAPE, and R2 values, were subsequently calculated to assess the models' accuracy. Ultimately, an assessment was conducted on the statistical parameters of the models, leading to the identification of the approach that exhibited the most optimal performance.

The initial phase of the study involves presenting an introduction followed by a brief overview of the relevant literature. Subsequently, the data collection and methodologies employed in the study are presented. During the last section of the study, an assessment is conducted on the performance indicators derived from the models, followed by a comparison of the performances exhibited by these models.

2. LITERATURE REVIEW

The growing curiosity with Bitcoin has led to a surge in research pertaining to the prediction of Bitcoin prices. Based on an analysis of Google Scholar data, it was observed that a mere 11 studies were retrieved while conducting a search using the specified keywords "Bitcoin Price Prediction" within the timeframe of 2011-2015. Nevertheless, a notable rise in the quantity of research studies was seen during subsequent periods, with 403 studies identified between 2016-2020 and a notable surge to 1470 studies between 2021-2023. In the subsequent section, we present a brief overview of various research findings relevant to the prediction of Bitcoin values.

The study conducted by Yiying and Yeze (2019) utilizes advanced artificial intelligence frameworks, specifically ANN and LSTM, to analyze the price patterns of Bitcoin, Ethereum, and Ripple. The findings indicate that s ANN tend to heavily rely on long-term historical information, whereas LSTM networks mostly utilize short-term dynamics [3].

Ferdiansyah et al., conducted a model prediction of the Bitcoin stock market using the LSTM algorithm. The evaluation of the model's performance is determined using the RMSE coefficient. The methodology employed in this research involves the utilization of several techniques and tools to forecast the behavior of Bitcoin within the stock market [4].

Aggarwal et al., conducted a study on the characteristics of gold price that impact the forecast of bitcoin price. The evaluation of this prediction was conducted using the RMSE, applying various deep learning models including CNN, LSTM, and GRU. Based on the obtained findings, it was concluded that the LSTM model generated the most optimal result [7].

In order to address the issue of Bitcoin's highly volatile and unpredictable price fluctuations, offer a novel hybrid neural network model. The proposed model integrates the advantageous features of a CNN with a LSTM models. The findings indicate that the integration of both CNN and LSTM in a hybrid model exhibits a substantial enhancement in the accuracy of both value prediction and direction prediction, in contrast to the use of a singular neural network architecture [14].

Hamayel & Owda, provide an analysis of three distinct recurrent neural network RNN algorithms that are employed for the purpose of price prediction in the context of three specific cryptocurrencies, namely Bitcoin (BTC), Litecoin (LTC), and Ethereum (ETH). The algorithms demonstrate exceptional predictive capabilities as indicated by the MAPE. The findings derived from the conducted experiments indicate that the GRU outperformed both the LSTM and BiLSTM models in terms of accuracy in forecasting across all digital currencies types [5].

Cavalli & Amoretti, presents an innovative methodology for forecasting bitcoin trends, utilizing the One-Dimensional (1D CNN) technique. The researchers employed the Gold, Euro, and AAPL Stock Index as variables in their prediction of the price of Bitcoin. Based on the results obtained from implementation of the (1D CNN) model, which was trained, validated, and tested using the aforementioned datasets, it is apparent that this model demonstrates higher predictive power in anticipating bitcoin trends in comparison to LSTM models [8].

Livieris et al., propose a CNN-LSTM model for the purpose of predicting the price and movement of bitcoin. The forecasting model being suggested utilizes various inputs of cryptocurrency data and handles them as discrete entities. This approach allows for the extraction of significant information from each individual cryptocurrency. This study involved a thorough empirical examination of three consecutive years of cryptocurrency data from three cryptocurrencies with the highest market capitalization, including Bitcoin (BTC), Ethereum (ETH), and Ripple

(XRP). The coefficient of determination R^2 for the proposed models is 0.95 [15].

Tiwari et al., suggests employing ARIMA, Facebook Prophet, and XGBoost methodologies for the purpose of forecasting Bitcoin price. The ARIMA model demonstrates a satisfactory level of accuracy in forecasting the price of bitcoin based on historical data up until the day prior [19].

Murugesan et al., employed the Interval Graph (IG) technique to convert the initial dataset into a format suitable for the application of an s (ANN) model. This model was utilized to forecast the price of Bitcoin, and the accuracy of the predictions was assessed using the MAPE, RMSE, and Dstat metrics for assessment. The study has unequivocally illustrated the promising performance and efficacy of the IG-ANN. The evaluation of the performance of the suggested IG-ANN model is conducted by a comparative analysis with conventional ANN approaches using bitcoin time-series data from 2013 to 2019. The results indicate that IG-ANN exhibits higher accuracy relative to all of the other approaches [2].

Erfanian et al., utilizes various comparative methodologies, such as ordinary least squares (OLS), ensemble learning, SVR, and MLP, to examine the predictive capacity of macroeconomic, microeconomic, technical, and blockchain indicators derived from economic theories in relation to the price of BTC. Based on the findings, it has been shown that SVR has a higher level of performance compared to alternative machine learning and conventional models[20].

Dong presents a novel approach called the segmented integrated learning (ensemble-SVR) method, which is founded on the SVR methodology. In this investigation, the RMSE was employed as a performance parameter. The simulation results demonstrate that our system exhibits notable advantages in predicting virtual currency prices when compared to SVR and other widely-used machine learning techniques [6].

The study conducted by Hasan et al., presents an enhanced methodology that utilizes a deep learning algorithm, specifically a CNN, to forecast cryptocurrency prices. The present methodology is primarily utilized for the purpose of forecasting the price fluctuations of four prominent cryptocurrencies, namely Litecoin, Monero, Bitcoin, and Ethereum. The results of the analysis suggest that the suggested method has a statistically significant level of precision in forecasting prices, around 98.75% [9].

Sekhar et al., conducted a comparative analysis of the performance of LSTM and XGBoost models in predicting Bitcoin price. The dataset comprises Bitcoin statistics spanning the years 2018 to 2021. The performance indicators of the models under consideration were assessed using MAE and R-squared R^2 . Based on the findings, the LSTM model exhibits a MAE value of 0.1073, whereas the XGBoost model demonstrates an MAE value of 0.023. The R^2 values were calculated to be 0.99 and 0.868, respectively [16].

Kazeminia et al., utilized historical data of Bitcoin to generate forecasts for the closing price of the following day. This was accomplished by employing a novel hybrid 2D-CNNLSTM model, which was further enhanced with the application of OPTUNA hyperparameter adjustments. The

dataset utilized for training the model was acquired by an automated web scraping methodology. The model that was suggested resulted in an R^2 error of 0.98166 and a MAPE of 0.034. The model we propose undergoes evaluation in comparison to three unique models, specifically CNN, LSTM, and GRU. The findings of the study indicate that the hybrid model developed in this research demonstrates effectiveness in properly forecasting bitcoin prices and reliability in assisting investors in making informed investment choices. Furthermore, the aforementioned model has demonstrated superior performance compared to other widely utilized algorithms, specifically CNN, LSTM, and GRU, in terms of R^2 and MAPE metrics [13].

Chen presented a mathematical framework that demonstrates a notable level of predictive accuracy in forecasting the price of Bitcoin for the following day. This model was developed using a combination of random forest regression and LSTM approaches. Additionally, the study aimed to elucidate the elements that exert effect on the price of Bitcoin. The primary focus of the research methodologies centers on the utilization of the ARMA model for time series analysis and the LSTM algorithm within the field of deep learning. While the Diebold-Mariano test does not provide conclusive evidence that random forest regression outperforms LSTM in terms of prediction accuracy, it is worth noting that random forest regression exhibits lower prediction errors, specifically in terms of RMSE and MAPE, compared to LSTM [17].

In their study, Sathiyapriya et al., undertake a comparison examination of the XGBoost and

LSTM models to forecast the future value of the digital currency Ether. This analysis is based on the use of processed and spam-filtered Twitter data. XGBoost has demonstrated considerable efficacy in addressing regression challenges associated with samples that have restricted size, such as those pertaining to weather and demand prediction. On the contrary, the LSTM method is widely acknowledged as a highly effective and straightforward deep learning technique for addressing predicting challenges. This study aims to analyze and contrast the base version of the LSTM model with the XGBoost model in terms of their effectiveness for forecasting Ether values [21].

3. DATA & METHODOLOGY

This study employed a dataset that encompassed the time period from January 1, 2015, to September 18, 2023. The dataset consisted of 2191 days of data for the S&P 500 index, Gold/USD, US Dollar Index (DXY), West Texas Oil Spot Price (WTI), and Bitcoin Spot Price (BTC/USD). The sources from which the data were obtained are shown in the Table 1. The present study employed a range of variables, such the S&P 500 index, Gold/USD, US Dollar Index (DXY), and West Texas Oil Spot Price (WTI), to make a forecast of the value of the Bitcoin.

Table 1: Sources Of The Variables.

Variables	Source
BTC/USD	investing.com
WTI	investing.com
DXY	investing.com
Gold/USD	investing.com
SP500 Index	investing.com

The research encompassed six various approaches. The algorithms under consideration

include LSTM, XGBoost, SVR, CNN, and CNN-BiLSTM. The evaluation of the effectiveness of the model encompassed the assessment of several statistical indicators, including the RMSE, MAE, MAPE, and R2. The equations representing the mathematical expressions for computing the aforementioned statistical parameters are denoted as Equations 1, 2, 3, and 4.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{N}} \quad (1)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - x_i|}{n} \quad (2)$$

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{u_t}{y_t}}{n} * 100 \quad (3)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_i (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_i (y_i - \mu)^2} \quad (4)$$

Equation 1 denotes the square root of the average of the squared differences between the observed values (y_i) and the estimated values ($\hat{y}_i$) for a set of N data points. The error values are squared, summed, averaged, and then the square root of this value is determined. Equation 2 represents the mean of the absolute discrepancies between the actual values (y_i) and the anticipated values (x_i) for a set of n data points. The absolute value of each error is computed, then all values are added and divided by the number of samples to obtain the average. Equation 3 determines the mean of the absolute percent errors between the actual values (Y_t) and the predicted values (u_t) for a given number of sample data points (n). Each error is quantified as a percentage, transformed into its absolute value, aggregated, and then computed by dividing it by the total number of samples and multiplying the result by 100. Equation 4 quantifies the ratio of the

variance between the actual values (y_i) and the anticipated values ($\hat{y}_i$) to the variance of the original value. A value close to 1 shows the degree to which the model accurately describes the data. A higher value approaching 1 indicates superior performance of the model.

3.1. Long-Short Term Memory (LSTM) Model

The introduction of LSTM models in 1997 by Hochreiter and Schmidhuber made a notable contribution to the field of neural network models, signifying a substantial progress as they were shown to enhance accuracy when compared to conventional approaches. The LSTM is a recurrent neural network RNN architecture characterized by the presence of gates that regulate the transmission of information inside its cells. The input and forget gate structures have the ability to alter the information that is transmitted along the cell state. As a result, the final result is a refined representation of the cell state, which is influenced by the contextual data provided by the inputs [22]. The stages of the LSTM approach are mentioned in Equation 5-11 below;

$$x_{\text{scaled}} = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (5)$$

$$f_t = \sigma_g (W_f x_t + U_f h_{t-1} + b_f) \quad (6)$$

$$i_t = \sigma_g (W_i x_t + U_i h_{t-1} + b_i) \quad (7)$$

$$C'_t = \sigma_c (W_c x_t + U_c h_{t-1} + b_c) \quad (8)$$

$$C_t = f_t \times C_{t-1} + i_t \times C'_t \quad (9)$$

$$o_t = \sigma_g (W_o x_t + U_o h_{t-1} + b_o) \quad (10)$$

$$h_t = o_t \times \tanh(C_t) \quad (11)$$

Data has been normalized with Equation 5. Equation 6 incorporates the variables x_t , h_{t-1} ,

f_t , and σ_g , which respectively denote the input of the time series, the prior hidden state, output vector, and the activation function respectively. Additionally, the bias coefficient is denoted as b_f , while the forget gates are represented by W_f and U_f . The forget gate is associated with the output vector. This relationship is expressed by Equation 6. Equations 7 and 8 describe the relationship between the current point in the time series input, denoted as x_t , and the hidden state, denoted as h_{t-1} , from the previous time frame. These variables are responsible for determining the values of the coefficients i_t and C'_t within this gate. The calculation of these coefficients involves the utilization of the activation function. The weight coefficients are represented by variables such as W_i , U_i , W_c , and U_c , whereas the activation function is represented by the symbols σ_g and σ_c . In Equation 9, the cell state, represented as C_t , undergoes an update process in which it is obtained by combining the product of the input gate's output, i_t , and the cell candidate data, C'_t , with the result of multiplied the prior cell state, C_{t-1} , by the outcome of the forget gate, f_t . The calculation provides a characterization of the transformed cellular state, denoted as C_{t-1} . The equation denoted as (10) demonstrates the process by which the output vector σ_t is generated by the application of the activation function σ_g to the input vectors h_{t-1} and x_t . The bias coefficient, denoted as b_o , together with the weighted values of the cell state, represented as W_o and U_o , are linked to the input gate. The output gate's resultant value, denoted as o_t , is multiplied by the current sequential cell state, represented as C_t , subsequent to its generation. The results of the hidden layer is generated by

applying the activation function tanh to the outcome, as depicted in Equation (11). The LSTM model is configured with a unit size of 50. The complexity and learning capacity of the model are determined by the number of neurons selected. Although a decrease in the number of neurons may negatively impact the performance of the model, it does result in faster solutions. Increased neuron quantities contribute to a higher likelihood of overfitting. An activation function is a mathematical function that is applied to the output of a neural network node or neuron. It helps to introduce non-linearity into the network, allowing it to learn and model complex relationships Relu has been chosen. This is due to its simplicity and efficacy, which make it a very versatile choice that excels in various scenarios. The Relu function is commonly favored due to its ability to expedite the learning process, its computational efficiency, and its resilience against vanishing gradient issues. The optimizer was chosen with Adam as the parameter. Adam is an efficient optimization algorithm that typically exhibits strong performance in neural network models. The choice of the loss function was the Mean Squared Error (MSE). The Mean Squared Error (MSE) is often used as a loss function in regression issues. The epoch was selected as 100. Higher epoch values contribute to improved generalization in the model, however too high epoch values might lead to overfitting issues. The batch size was selected as 32. A batch refers to the amount of data that the model will analyze in a single iteration. A number of 32 generates acceptable results for numerous applications.

3.2. Convolutional Neural Network (CNN) Model

The CNN model was introduced by LeCun, gaining inspiration from the structure and functioning of the human brain [28]. The architecture of CNN layers primarily comprises two fundamental elements. One of the components utilized in the process of feature extraction is a type of layer referred to as convolution layers. The subsequent layer, known as the pooling layer, is responsible for executing tasks related to regression and classification [23]. The Equations 12-14 depict the sequential phases of the CNN model.

$$x_j^d = \phi \left(\sum_{i \in M_j} x_i^{d-1} * w_{ij}^d + b_i^d \right) \quad (12)$$

$$x_j^d = \phi(\beta_j^d \text{down}(x_j^{d-1}) + b_i^d) \quad (13)$$

$$y^k = \phi(w^k x^{k-1} + b^k) \quad (14)$$

Equation 12 defines the variable x_j^d as the jth feature map of the convolution layer. The feature map is a key component in the context of this discussion. The activation function, denoted as ϕ , is applied to the input M_j , where d is the dimension of the input. The input feature set refers to the set of features that are provided as input to the layer. The variable w_{ij}^d represents the attribute map of the jth attribute in the dth convolutional layer. The characteristic of the (d-1). Attribute j of the convolution layer and attribute i of layer (d-1) are being referred to in Layer i. The variable b_i^d represents the bias term associated with the respective layer. The subsampling function, denoted as $\text{down}(\cdot)$, and the weight matrix β are represented in Equation 13. In Equation 14, subsequent to the application of the convolutional and pooling layers, the process of classification is executed utilizing the complete link layer. Equation 14 defines the

variables used in the context of a layered neural network. The variable "k" represents the layer index, " y^k " denotes the output of the full link layer, " x^{k-1} " represents the input of the full link layer, " w^k " signifies the weighting coefficient, and " b^k " represents the deviation. The CNN model use a filter size of 64. Increasing the number of filters enhances the model's learning capabilities, but it might lead to overfitting issues and lengthen the model's solution process. The kernel size is selected as 3. Minimal values are particularly employed in the context of time series analysis. Greater dimensions can lead to issues of overfitting. The pool size has been chosen as 2. The maxpooling procedure reduces the size of feature maps and enhances the visibility of higher-level features. Maintaining a small value for this parameter guarantees quicker reduction and little loss of information. Additionally, it offers reduced memory use.

3.3. Extreme Gradient Boosting (XGBoost) Model

XGBoost can be characterized as a scalable and comprehensive tree boosting framework. The XGBoost algorithm utilizes the aggregation of weak classifiers in order to construct a robust and high-performing model [24]. Despite the fact that this particular method requires a longer training time in comparison to traditional methods, it distinguishes itself by generating accurate forecasts [25]. The sequential steps of the XGBoost algorithm are illustrated in equations 15-21.

$$\hat{y}_i = \phi(x_i) = \sum_{k=1}^K f_k(y_i), f_k \in \mathcal{F} \quad (15)$$

$$\min L^{(t)}(y_i, \hat{y}_i^{(t)}) = \min \left(\sum_{i=1}^n l(y_i, \hat{y}_i^{(t)}) + \sum_{k=1}^t \Omega(f_k) \right) \quad (16)$$

$$\Omega(f) = \gamma T + \frac{1}{2} \lambda w^2 \quad (17)$$

$$\min L^{(t)} = \min \left(\sum_{i=1}^n \left[g_i f_t(x_i) + \frac{1}{2} h_i f_t(x_i) \right] + \Omega(f_t) \right) \quad (18)$$

$$g_i = \partial_{\hat{y}_i^{(t-1)}} l(y_i, y_i^{t-1}) \quad (19)$$

$$h_i = \partial_{\hat{y}_i^{t-1}}^2 l(y_i, y_i^{t-1}) \quad (20)$$

$$w_j^* = - \frac{\sum g_i}{\sum h_i + \lambda} \quad (21)$$

$$obj^* = - \frac{1}{2} \sum_{j=1}^T \frac{(\sum g_i)^2}{\sum h_i + \lambda} + \gamma \cdot T \quad (22)$$

To forecast the result of a dataset comprising n samples and m features, a tree ensemble model employs K additive functions denoted as $D = \{(x_i, y_i)\} (|D| = n, x_i \in \mathcal{R}^m, y_i \in \mathcal{R})$. Equation 15 denotes the space of regression trees, where $\mathcal{F}$ represents this space. The variable f_k represents the quantity of weak learners, whereas K means the overall count of weak learners. The objective function of the algorithm at time t, abbreviated as $L^{(t)}$, is formally defined by Equation 16. The parameter $l(y_i, \hat{y}_i^{(t)})$ encompasses a variety of loss functions that are utilized to tackle specific issues. Equation 17 presents a regularly employed method for quantifying the level of disparity between the actual value (y_i) and the anticipated value ($\hat{y}_i^{(t)}$), as well as the overall complexity of the model, which is measured by $\sum_{k=1}^t \Omega(f_k)$. The evaluation of the objective function involves the replacement of the

predicted value ($\hat{y}_i^{(t)}$) for the i th sample in the t th iteration. The calculation is executed with the second-order approximation of the Taylor expansion at the previous iteration's estimated value of y , denoted as ($\hat{y}_i^{(t-1)}$), as presented in Equation 18. In Equation 18, the variables g_i and h_i denote the first and second derivatives of the loss function $l(y_i, \hat{y}_i^{(t)})$, respectively. By putting the formulas denoted as Equation 18, Equation 19, and Equation 20 into the aforementioned Equation 16, we may thereafter proceed to compute the derivative. Solutions may be obtained by utilizing Equations 21 and 22. Equations 21 and 22 represent the variable **obj***, which signifies the numerical value of the score of the loss function. A decreased score signifies a tree structure that is closer to ideal. The symbol w_j^* represents the optimal solution for the weights in the specific situation under consideration. The XGBoost model is configured with a value of 100 for the `n_estimators` parameter. This value is typically associated with favorable outcomes. Increasing the number of `n_estimators` results in a greater number of trees, but, this also leads to longer training time. Additionally, selecting bigger numbers may give rise to overfitting issues. The `learning_rate` value was chosen to be 0.3. During the research, an initial value is chosen and then iteratively adjusted to enhance the performance of the model. A smaller learning rate corresponds to a higher number of trees and iterations. Higher values facilitate accelerated learning, but might potentially lead to overfitting issues. Lower `max_depth` values result in simpler and more generalizing trees, but might potentially reduce the flexibility of the model. Higher values of

`max_depth` result in more intricate and detailed trees, but they also elevate the likelihood of overfitting. The study utilized a `max_depth` value of 6. This value is typically an initial reference and has consistently demonstrated strong performance in numerous applications. The subsample value in the study was set to 1. Using small subsample values enables training each tree with a less amount of data, hence enhancing the model's generalizability. Higher subsample values enable each tree to be trained with a larger amount of data, leading to enhanced learning capabilities. However, this can also increase the risk of overfitting. The default value of 1 is commonly chosen and is typically regarded as a suitable starting point for utilizing the complete dataset.

3.4. Support Vector Regression (SVR) Model

The initial introduction of the support vector machine SVR approach can be attributed to Cortes and Vapnik in the 1990s [29]. Following this, a regression methodology called support vector machine for regression was devised [30]. SVR technique was initially devised as a classifier. SVR algorithm is utilized to identify the optimal hyperplane that effectively separates distinct variables. The optimal hyperplane is characterized by having the maximum margin, which ensures an equal separation from all variables [26]. The gradual phases of the SVR technique are outlined in Equation 23-29.

$$f(x) = \omega \Phi(x) + b \quad (23)$$

$$L(f(x), y, \epsilon) = f(x) = \begin{cases} 0 & |y - f(x)| \leq \epsilon \\ |y - f(x)| - \epsilon & |y - f(x)| > \epsilon \end{cases} \quad (24)$$

$$\begin{cases} \text{Min. } \frac{1}{2} \|\omega\|^2 + C \sum_{i=1}^n \xi_i \\ \text{sub. t. } \begin{cases} y_i - \omega\Phi(x_i) - b \leq \varepsilon + \xi_i \\ -y_i + \omega\Phi(x_i) + b \leq \varepsilon + \xi_i^* \\ \xi_i, \xi_i^* \geq 0 \end{cases} \end{cases} \quad (25)$$

$$\omega^* = \sum_{i=1}^l (\alpha_i - \alpha_i^*) \Phi(x_i) \quad (26)$$

$$b^* = \frac{1}{N_{sv}} \left\{ \sum_{0 < \alpha_i < C} [y_i \sum_{x_i \in SV} (\alpha_i - \alpha_i^*) K(x_i, x_j) - \varepsilon] + \sum_{0 < \alpha_i < C} [y_i - \sum_{x_j \in SV} (\alpha_j - \alpha_j^*) K(x_i, x_j) + \varepsilon] \right\} \quad (27)$$

$$K(x_i, x_j) = \exp\left(-\frac{\|x - x_i\|^2}{2\sigma^2}\right) \quad (28)$$

$$f(x) = \sum_{i=1}^l (\alpha_i - \alpha_i^*) K(x_i, x) + b^* \quad (29)$$

The primary aim of SVR is to identify a linear regression function, represented as $f(x)$, within a space that possesses a high number of dimensions. Assume that x represents an element belonging to the set of real numbers, serving as the sample vector. The function Φ has non-linear characteristics in its mapping. The incorporation of a linear insensitivity loss function, represented as $L(f(x), y, \varepsilon)$, contributes to enhancing the robustness of the optimization problem. The numerical illustration of this loss function is given by Equation 25. In equation 25, the variables x_i and y_i represent the input vector and output value, respectively. These variables are associated with a specific serial number, denoted by i . Both x_i and y_i belong to the set of real numbers, denoted as R . The dimension of the input vector is d . In this context, the variable d denotes the cardinality of the elements included within an input vector. The variable n denotes the number of training samples. The symbol ε denotes the quantification of regression precision. The variable C represents a punishment factor that quantifies the extent of penalty applied to a data sample in the event that its mistake surpasses the threshold value ε . The variables ξ_i and ξ_i^* are

utilized as slack variables to enforce penalties on the complexity of the fitting parameters. In order to identify the estimation of ω and b , it is important to address the optimization problem as stated in Equation 26 and 27. The N_{sv} denotes the number of support vectors that have been identified. The Lagrange multipliers, represented as α_i and α_i^* , are constrained to be non-negative. Equation 28 employs the kernel function, represented as $K(x_i, x_j)$, within this particular situation. The Gaussian kernel function, known for its exceptional generalization capability, is selected. The equation that represents the final regression function is denoted as Equation 29. The SVR model was created using a linear kernel function. When the "Kernel" is utilized, the SVM or SVR model generates a linear regression plane. Furthermore, the `random_state` parameter has been chosen. The `random_state` parameter determines the initial state that an algorithm uses to produce random numbers. By utilizing the identical `random_state` variable, the generation of random numbers remains consistent, hence guaranteeing the replication of results upon subsequent executions of your code. Ensuring the repeatability of the model is crucial in order to enhance the reproducibility of the results by others.

3.5. CNN-BiLSTM Hybrid Model

The hybrid architecture known as the CNN-BiLSTM model integrates the CNN and LSTM models. The BiLSTM model is an improvement upon the BiLSTM model as it integrates a $1 - \tanh$ function into the output gate. The adjustment leads to the output gate possessing a value range of around (0.24, 1). Therefore, it is evident that BiLSTM exhibits enhanced

prediction ability during the course of training, while also possessing comparable robust capability for learning to BiLSTM. Accordingly BiSLSTM is an appropriate method for examining temporal data associations [27]. Proposed CNN-BiLSTM model is shown in Figure 2.

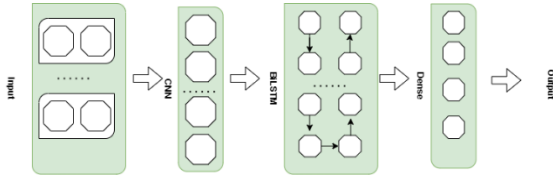


Figure 2: CNN-BiLSTM model.

Each of the stages of the CNN-BiLSTM model are presented in equations 30-35.

$$i_t = \sigma(W_i \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_i) \quad (30)$$

$$\tilde{c}_t = \tanh(W_c \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_c) \quad (31)$$

$$f_t = \sigma(W_f \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_f) \quad (32)$$

$$C_t = f_t * C_{t-1} + i_t * \tilde{c}_t \quad (33)$$

$$o_t = 1 - \tanh(\sigma(W_o \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_o)) \quad (34)$$

$$h_t = o_t * \tanh(C_t) \quad (35)$$

Equation 30 use i_t as the input gate to assess the appropriateness of retaining the current input data via a mathematical approach. The variable $\tilde{c}_t$ is employed in the calculation of data that requires updating using Equation 31. The symbol f_t is frequently utilized in scholarly literature to denote the forget gate. Equation 32 demonstrates the utilization of the sigmoid function in determining the retention of past memories for the present memory state. The variable i_t is utilized as a mechanism for determining the necessity of an update. Furthermore, the variable $\tilde{c}_t$ is employed to calculate if the current state necessitates an update, as determined by Equation

33. After the acquisition of the latest state, the value of the output gate o_t is calculated using equation 34. In contrast to BiSLSTM, the incorporation of the $1 - \tanh(x)$ function is observed at this particular level. The updated memory cell demonstrates the ability to calculate the present concealed state by employing Equation 35.

4. RESULTS AND DISCUSSION

Table 2 presents the results obtained from the implemented LSTM, XGBoost, SVR, CNN, and CNN-BiLSTM models. This investigation employed four statistical metrics. The evaluation tool employed to quantify the discrepancy between projected values and actual values is commonly known as RMSE. A decrease in score indicates a stronger alignment between the model's predictions and actual outcomes. MAPE is a metric used to measure the average size of errors in a forecast, which is presented as a percentage of the actual values. A lower MAPE value is evidence of higher accuracy of the model. The MAE is a statistical measure used to assess the average magnitude of the discrepancies between the expected and observed values. MAE suggests that the model's predictions exhibit a higher level of precision, hence mitigating the impact of significant outliers. The R2 statistic serves as a measure of the proportion of variance in the dependent variable that can be accounted for by the model. When the value of the coefficient of determination R2 approaches 1, it signifies that a significant percentage of the variance in the data can be explained by the model.

Table 2: Statistical performance metrics of the models.

Models/Coeff	RMSE	MAE	MAPE	R ²
LSTM	4.238	2.623	0.520	0.939
CNN-BiLSTM	3.612	2.381	0.820	0.956
XGBoost	1.820	0.956	0.098	0.989
SVR	6.689	5.164	3.555	0.848
CNN	3.834	2.247	0.610	0.950

In comparison to the other models, the SVR model has a lower R² value of 0.848, suggesting a relatively diminished capacity to effectively elucidate the underlying data. The RMSE score of 5.164 is rather large, suggesting that the forecasts exhibit a significant degree of error. The MAE value of 3.555 and MAPE value of 3.555 for this particular model are much greater compared to the other models, suggesting a poor performance of the model.

The LSTM model demonstrates a high R² value of 0.939, suggesting a strong level of explanatory power in relation to the data. Nevertheless, it is worth noting that the RMSE value of 2.623 for this particular model surpasses that of the other models, indicating a greater degree of error in the predictions. The MAE value of 0.520 and MAPE value of 0.520 are deemed acceptable; nonetheless, the model's performance was comparatively inferior to that of the other models.

The R² value (0.950) for the CNN model demonstrates a significant level of accuracy, suggesting that the model effectively elucidates the underlying patterns within the data. The RMSE score of 2.247 demonstrates strong performance in comparison to alternative models. The MAE value of 0.610 and the MAPE value of 0.610 are considered to be within an acceptable range. The performance of CNN was

commendable, however slightly lower compared to that of XGBoost and CNN-BiLSTM.

Based on the findings derived from the CNN-BiLSTM model, it is observed that the R² value exhibits a significantly elevated level (0.956), so signifying a strong capacity of the model to effectively elucidate the underlying data. The RMSE value of 2,381.089 indicates a satisfactory level of performance when compared to alternative models. The MAE value of 0.820 and MAPE value of 0.820 for this model are comparatively higher than those of the other models, suggesting that the predictions generated by this model exhibit a greater degree of error. The CNN-BiLSTM model demonstrates the second highest level of performance.

Upon analysis of the findings presented in Table 2, it is evident that the XGBoost model exhibits a significantly high R² value of 0.989. This substantial number serves as an indication that the model effectively elucidates the underlying patterns within the data. The RMSE value of 0.956 demonstrates a notable decrease in comparison to the other models, suggesting a higher level of accuracy in the predictions, as they closely align with the actual data. The MAE value is seen to be low, specifically 0.098, which suggests that the model's predictions exhibit a generally close proximity to the actual values. The MAPE score exhibits a notable diminution at 0.098, suggesting that the model's prognostications often possess an error margin of under 10%. Based on the obtained findings, it is evident that XGBoost emerges as the model with the highest performance. Upon reviewing the existing literature, it is evident that certain research have demonstrated superior outcomes

when employing hybrid models [13-15]. The LSTM model generated inferior outcomes compared to the CNN model in our investigation. Nevertheless, akin to the aforementioned experiments, the CNN-BiLSTM hybrid model outperformed both the LSTM and CNN models. In their investigation, Sekhar et al. (2022) found that the XGBoost model outperformed the LSTM model [16]. Our investigation demonstrated that the XGBoost model generated superior outcomes. In contrast to the findings of Erfanian et al. (2022), our analysis revealed that the SVR model performed poorly, generating the least favorable outcomes among the algorithms examined [20]. In their study, Cavalli&Amoretti (2021) asserted that the Convolutional Neural Network (CNN) model outperforms the Long Short-Term Memory (LSTM) model in terms of outcomes [8]. Our study generated comparable findings. In contrast to these findings, Aggarwal et al. (2019) discovered that the LSTM model generated superior outcomes compared to the CNN model. Consequently, the XGBoost model emerges as the most effective model in terms of performance on this particular dataset. When the coefficient of determination R^2 is high and the RMSE and MAE are low, the predictions tend to exhibit a high level of accuracy and closely approximate the actual values. The CNN-BiLSTM and CNN models exhibit strong performance, ranking second and third, respectively. However, they fall short in comparison to XGBoost. The performance of the LSTM and SVR models is comparatively inferior to that of the other models.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu araştırma hiçbir dış finansman almamıştır.

YAZAR KATKILARI

Ahmed İhsan ŞİMŞEK: Kavramsal tasarım; Araştırma; Metodoloji; Veri düzenleme; Analiz; Yazma; Görselleştirme; Gözden geçirme ve Düzenleme

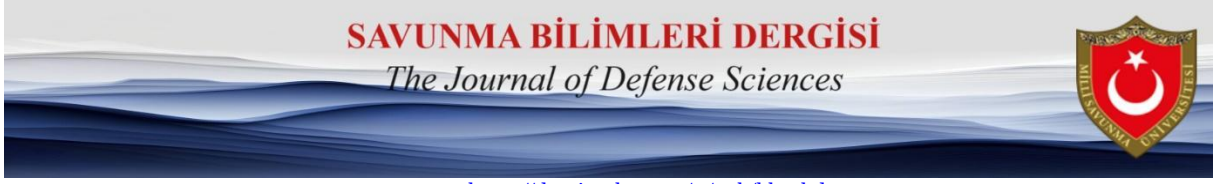
ÇIKAR ÇATIŞMALARI

Yazar, herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

REFERENCES

- [1] S. Nakamoto, "Bridging The Global Digital Divide Through Digital Inclusion: The Role Of ICT Access And ICT Use," Transform. Gov. People, Process Policy, pp. 1–9, 2008.
- [2] R. Murugesan, V. Shanmugaraja, and A. Vadivel, "Forecasting Bitcoin Price Using Interval Graph and ANN Model: A Novel Approach," SN Comput. Sci., vol. 3, no. 5, pp. 1–10, 2022, doi: 10.1007/s42979-022-01291-x.
- [3] W. Yiyang and Z. Yeze, "Cryptocurrency Price Analysis with Artificial Intelligence," 5th Int. Conf. Inf. Manag. ICIM 2019, pp. 97–101, 2019, doi: 10.1109/INFOMAN.2019.8714700.
- [4] Ferdiansyah, S. H. Othman, R. Zahilah Raja Md Radzi, D. Stiawan, Y. Sazaki, and U. Ependi, "A LSTM-Method for Bitcoin Price Prediction: A Case Study Yahoo Finance Stock Market," ICECOS 2019 - 3rd Int. Conf. Electr. Eng. Comput. Sci. Proceeding, pp. 206–210, 2019, doi: 10.1109/ICECOS47637.2019.8984499.
- [5] M. J. Hamayel and A. Y. Owda, "A Novel Cryptocurrency Price Prediction Model Using GRU, LSTM and bi-LSTM Machine Learning Algorithms," Ai, vol. 2, no. 4, pp. 477–496, 2021, doi: 10.3390/ai2040030.
- [6] S. Dong, "Virtual Currency Price Prediction Based on Segmented Integrated Learning," 2022 IEEE 2nd Int. Conf. Power, Electron. Comput. Appl., no. January, pp. 549–552, 2022, doi: 10.1109/icpeca53709.2022.9719070.
- [7] A. Aggarwal, I. Gupta, N. Garg, and A. Goel, "Deep Learning Approach to Determine the Impact of Socio Economic Factors on Bitcoin Price Prediction," 2019 12th Int. Conf. Contemp. Comput. IC3 2019, pp. 1–5, 2019, doi: 10.1109/IC3.2019.8844928.
- [8] S. Cavalli and M. Amoretti, "CNN-Based Multivariate Data Analysis for Bitcoin Trend Prediction," Appl. Soft Comput., vol. 101, p. 107065, 2021, doi: 10.1016/j.asoc.2020.107065.

- [9] S. H. Hasan, S. H. Hasan, M. S. Ahmed, and S. H. Hasan, "A Novel Cryptocurrency Prediction Method Using Optimum CNN," *Comput. Mater. Contin.*, vol. 71, no. 1, pp. 1051–1063, 2022, doi: 10.32604/cmc.2022.020823.
- [10] E. Edgari, J. Thiojaya, and N. N. Qomariyah, "The Impact of Twitter Sentiment Analysis on Bitcoin Price during COVID-19 with XGBoost," 5th Int. Conf. Comput. Informatics, ICCI 2022, pp. 337–342, 2022, doi: 10.1109/ICCI54321.2022.9756123.
- [11] R. G. Tiwari, A. K. Agarwal, R. K. Kaushal, and N. Kumar, "Prophetic Analysis of Bitcoin price using Machine Learning Approaches," *Proc. IEEE Int. Conf. Signal Process. Control*, vol. 2021-Octob, pp. 428–432, 2021, doi: 10.1109/ISPCC53510.2021.9609419.
- [12] Q. Guo, S. Lei, Q. Ye, and Z. Fang, "MRC-LSTM: A Hybrid Approach of Multi-scale Residual CNN and LSTM to Predict Bitcoin Price," *Proc. Int. Jt. Conf. Neural Networks*, vol. 2021-July, pp. 1–8, 2021, doi: 10.1109/IJCNN52387.2021.9534453.
- [13] S. Kazemini, H. Sajedi, and M. Arjmand, "Real-Time Bitcoin Price Prediction Using Hybrid 2D-CNN LSTM Model," 2023 9th Int. Conf. Web Res. ICWR 2023, pp. 173–178, 2023, doi: 10.1109/ICWR57742.2023.10139275.
- [14] Y. Li and W. Dai, "Bitcoin Price Forecasting Method Based on CNN-LSTM Hybrid Neural Network Model," *J. Eng.*, vol. 2020, no. 13, pp. 344–347, 2020, doi: 10.1049/joe.2019.1203.
- [15] I. E. Livieris, N. Kiriakidou, S. Stavroyiannis, and P. Pintelas, "An Advanced CNN-LSTM Model for Cryptocurrency Forecasting," *Electron.*, vol. 10, no. 3, pp. 1–16, 2021, doi: 10.3390/electronics10030287.
- [16] P. C. Sekhar, M. Padmaja, B. Sarangi, and Aditya, "Prediction of Cryptocurrency using LSTM and XGBoost," 2022 IEEE Int. Conf. Blockchain Distrib. Syst. Secur. ICBDS 2022, pp. 1–5, 2022, doi: 10.1109/ICBDS53701.2022.9935871.
- [17] J. Chen, "Analysis of Bitcoin Price Prediction Using Machine Learning," *J. Risk Financ. Manag.*, vol. 16, no. 1, 2023, doi: 10.3390/jrfm16010051.
- [18] D. Y. Lee and S. Y. Park, "Global Energy Intensity Convergence Using a Spatial Panel Growth Model," *Appl. Econ.*, vol. 00, no. 00, pp. 1–20, 2022, doi: 10.1080/00036846.2022.2131715.
- [19] R. G. Tiwari, A. K. Agarwal, R. K. Kaushal, and N. Kumar, "Prophetic Analysis of Bitcoin Price Using Machine Learning Approaches," *Proc. IEEE Int. Conf. Signal Process. Control*, vol. 2021-October, pp. 428–432, 2021, doi: 10.1109/ISPCC53510.2021.9609419.
- [20] S. Erfanian, Y. Zhou, A. Razzaq, A. Abbas, A. A. Safeer, and T. Li, "Predicting Bitcoin (BTC) Price in the Context of Economic Theories: A Machine Learning Approach," *Entropy*, vol. 24, no. 10, pp. 1–29, 2022, doi: 10.3390/e24101487.
- [21] K. Sathiyapriya, S. Vankadara, K. S. Babu, and M. Muralidharan, "Performance Comparison of LSTM and XGBOOST for Ether Price Prediction from Spam Filtered Tweets," *Proc. 2023 Int. Conf. Intell. Syst. Commun. IoT Secur. ICISCoIS 2023*, pp. 650–655, 2023, doi: 10.1109/ICISCoIS56541.2023.10100425.
- [22] F. Sherratt, A. Plummer, and P. Irvani, "Understanding Lstm Network Behaviour Of İmu-Based Locomotion Mode Recognition For Applications In Prostheses And Wearables," *Sensors (Switzerland)*, vol. 21, no. 4, pp. 1–23, 2021, doi: 10.3390/s21041264.
- [23] S. Mehtab, J. Sen, and S. Dasgupta, "Robust Analysis of Stock Price Time Series Using CNN and LSTM-Based Deep Learning Models," *Proc. 4th Int. Conf. Electron. Commun. Aerosp. Technol. ICECA 2020*, pp. 1481–1486, 2020, doi: 10.1109/ICECA49313.2020.9297652.
- [24] A. Boru İpek, "Prediction of market-clearing price using neural networks based methods and boosting algorithms," *Int. Adv. Res. Eng. J.*, vol. 5, no. 2, pp. 240–246, 2021, doi: 10.35860/iarej.824168.
- [25] H. Abar, "Altın Fiyatlarının Kestirimi," vol. 83, no. Yaz, 2020.
- [26] Y. Zouzou And H. Çıtakoğlu, "Reference Evapotranspiration Prediction From Limited Climatic Variables Using Support Vector Machines and Gaussian Processes," *Eur. J. Sci. Technol.*, no. 28, pp. 346–351, 2021, doi: 10.31590/ejosat.999319.
- [27] H. Wang, J. Wang, L. Cao, Y. Li, Q. Sun, and J. Wang, "A Stock Closing Price Prediction Model Based on CNN-BiSLSTM," *Complexity*, vol. 2021, 2021, doi: 10.1155/2021/5360828.
- [28] LeCun, Y., Boser, B. E., Denker, J. S., Henderson, D., Howard, R. E., Hubbard, W. E., & Jackel, L. D., 1990. Handwritten Digit Recognition With A Backpropagation Network. In *Advances in Neural Information Processing systems*, 396-404.
- [29] Cortes, C. & Vapnik, V. (1995). Support vector networks. *Machine Learning*, 20, 273–297.
- [30] Vapnik, V. (1999). The nature of statistical learning theory. Springer science & business media.



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

Kuantum Revizyonu

Quantum Revision

Furkan AKKAYA ^{1*}

¹Harita Genel Müdürlüğü, Harita Yüksek Teknik Okulu, Ankara, Türkiye

Makale Bilgisi

Derleme

Başvuru: 25.07.2024

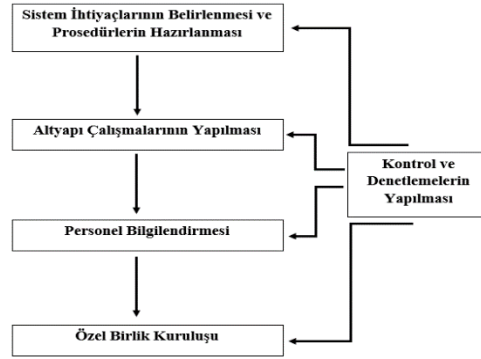
Düzeltilme: 16.09.2024

Kabul: 25.09.2024

Önemli Noktalar

Kuantum teknolojileri farklı askeri alanlarda birçok yeniliğin önünü açmıştır. Kuantum sistemlerine birliklerin hazırlık seviyesinin artırılması geçmiş sistemlerden farklı ve daha kapsamlı bir çalışma gerektirmektedir. Bu maksatla birliklerin adaptasyonu için Kuantum Revizyon planı hazırlanmalıdır.

Grafiksel Özet



Keywords

Quantum physics
Quantum technology
Quantum threats
Revision
Adaption

Anahtar Kelimeler

Kuantum fiziği
Kuantum teknolojisi
Kuantum tehditleri
Revizyon
Adaptasyon

Özet

Kuantum fiziği, elde edilen gelişmeler ile teknoloji alanına hizmet etme kapasitesi olduğunu kanıtlamıştır. Bu alanlardan en önemlilerinden birisi de askeri kullanım alanlarıdır. NATO bünyesinde de bu teknolojinin gelecek muharebe ortamının bir parçası haline gelmesi için müttefikler arasında iş birliği için stratejiler üretilmiştir. Bununla birlikte kuantum teknolojilerinin kullanımında hassasiyet ve altyapı gibi temel kısıtlar bulunmaktadır. Sistemin atom altı boyutta çalışıyor olması dış etkenlere karşı hassasiyeti muharebe ortamında uygulanmasını kısıtlayan bir etken haline gelmiştir. İkinci olarak sistemlerin hassasiyetinden ve uygulamanın güncel teknoloji ile gerçekleşmesinin güç olması sistemlerin kurulumundaki altyapı sorunun oluşmasına neden olmaktadır. Silahlı kuvvetlerin böyle bir değişime adaptasyonunu sağlaması için geçmiş teknolojik gelişmelere karşı yapmış olduğu doktrin ve teşkilat revizyonlarından farklı adımlar atması gerekmektedir. Kuantum revizyonu, silahlı kuvvetlerin adaptasyon sağlaması için kuantum teknolojilerinin askeri kullanım alanlarının araştırılarak bu alanlara karşı değişimde izlenilecek yolun araştırıldığı revizyon konseptidir.

Abstract

Quantum physics has proven that it has the capacity to serve the field of technology with the developments achieved. One of the most important of these areas is military use areas. Within NATO, strategies have been developed for cooperation between allies to make this technology a part of the future combat environment. However, there are fundamental limitations in the use of quantum technologies, such as sensitivity and infrastructure. The fact that the system operates in the subatomic dimension and its sensitivity to external factors has become a factor that limits its application in the combat environment. Secondly, the sensitivity of the systems and the difficulty of implementing them with current technology cause infrastructure problems in the installation of the systems. In order for the armed forces to adapt to such a change, they need to take different steps than the doctrine and organizational revisions they have made against past technological developments. Quantum revision is a revision concept in which the military usage areas of quantum technologies are researched in order to ensure adaptation of the armed forces and the path to be followed in changing these areas.

*Corresponding author, e-mail: h123376@kho.msu.edu.tr

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İnsanlık tarihinin kaçınılmaz parçası haline gelmiş olan savaş ve çatışma kavramı, teknolojik gelişmeler ile eşzamanlı olarak kavram ve motivasyon değişikliğine uğramıştır. İlkçağ savaşlarında sopa ve mızrak kullanan insanlık, barutun icadı ile ateşli silahları muharebe ortamında kullanıma sunması ile savaşın iki hasım arasındaki muharebe sahasının genişlemesine yol açmıştır. Bu durum orduların muharebe sahasında farklı hareket tarzları izlemesine neden olmuştur. Bu tarz gelişmeler farklı araştırma alanları da ortaya çıkarmıştır. Savunma Sanayi'sinin hızla gelişen teknoloji karşısında üretkenliğini korumak için birçok farklı bilim dalından yararlanmaktadır. Bu dallarından biri 20'nci yüzyılda ortaya çıkmış olan kuantum fiziğidir [1].

Kuantum fiziği, gözle görülen dünyadan ayrılarak atomik boyutlardaki durumları incelemesinden kaynaklı olarak diğer fizik alanlarına göre kavranması daha güç bir bilim alanı olmuştur. Kuantum fiziği ile elde edilen edinimler, teknoloji uygulamalarında da farklı bakış açılarının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Kuantum fiziğinin gelişimine devam ediyor olmasından ve teknolojik altyapı eksiklikleri nedeni ile deneysel çalışmalar, büyük laboratuvarlar ve teorik çalışmalar aracılığı ile sürdürülmektedir. Atom altı parçacıklar ile ilgilenilmesi sistem hassasiyetini arttırarak uygulama alanlarının maliyet etkinliğini sınırlamaktadır [2].

Kuantum fiziği prensipleri kullanılarak, atomik boyuttaki parçacıkların manipüle edilerek bilgi işlem üzerine kullanımı amaçlanmaktadır. Güncel kullanımdaki sistemlere karşı elde

edilecek olan yüksek işlem gücü ile yapılması zor veya imkânsız gibi görünen birçok probleme (BigData, kriptoloji, NP problemler vb.) cevap aranmaktadır.

Yeni savaş ortamı ordulara her ne kadar ademi merkezietçi ve savaş tekelinin devletlerin kaybetmesi olarak görülse de farklı bir etken olarak ordular arasında teknoloji yarışının başladığı söylenebilir. Kuantum teknolojileri de bu yarışın bir parçası olmuştur. Kuantum teknolojilerinin gelişimi birçok alanda kendini göstermiştir. Geçmiş teknolojilerin birçok farklı askeri alanı etkilediği gibi kuantum teknolojileri de askeri uygulamalar konusunda yaşanan gelişmeler, çeşitli askeri alanların değişime başlanmasına neden olmuştur. Bu alanlara, Kuantum Veri Bilimi (ing. Quantum Information Science (QİS)), Kuantum Hesaplama (ing. Quantum Computing), Kuantum Haberleşme ve Kriptoloji (ing. Quantum Communication and Cryptography) ve Kuantum Radarı (ing. Quantum Radar (QR)) örnek verilebilir [3, 4].

Bu gelişmeler; keşif ve gözetleme sistemlerini, hava savunma sistemlerini, büyük boyuttaki istihbarat verilerinin incelenmesini, komuta-kontrol sistemlerini, akıllı mühimmat sistemlerini ve siber güvenliği önemli ölçüde etkileyerek gelecekte doktrinsel olarak değişimlere neden olabilecek potansiyele sahip olduğunu kanıtlamıştır. Muharebe sahasındaki gelişmeler ve silahlı kuvvetler içerisindeki tecrübeler ile oluşan ihtiyaçların, kuantum teknolojileri ile bütünleşmiş sistemler aracılığı ile karşılanmaya çalışılması maksadı ile savunma sanayisinde atılacak adımlar önem arz etmektedir [3, 5].

Bu çalışmada, kuantum teknolojilerinin askeri uygulama alanları ve gelecek dönemlerde bu yeni

alanın muharebe sahasında kullanımında güncel doktrin ve teşkilat üzerindeki etkileri incelenerek silahlı kuvvetler bünyesinde bir kuantum revizyonu önerilmektedir. Çalışmada yapılan incelemeler NATO doktrini kapsamında yapılmıştır. Avrupa Birliği, NATO ve Çin gibi devletler/topluluklar gibi ulusal bir strateji planı ve politika izlenmesi gerekmektedir [3].

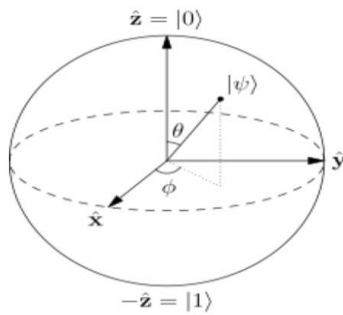
Çalışmanın kalan bölümleri şu şekilde düzenlenmiştir; kullanılacak temel bilgiler ve sistemler Bölüm 2’de sunulmaktadır. Bölüm 3’te askeri uygulama alanları tartışılmış ve son bölümde ise kuantum revizyonu üzerine görüşlere yer verilmiştir.

2.YÖNTEMLER ve TEKNİKLER (METHODS and TECHNIQUES)

2.1 Temel Kuantum Fiziği Konsepti

Temel kuantum fiziği konsepti üzerinde bilgi edinilmesi, günlük gözlemlenebilir dünyadan farklı kurallar ile çalışan kuantum sistemlerinin kavranmasında önemli rol oynamaktadır. Bu bölümde, gelecek bölümlerdeki sistemlerin çalışma prensiplerinin daha rahat anlaşılması maksadı ile temel kuantum konseptleri tartışılacaktır.

2.1.1 Bloch Küresi



Şekil 1: Bloch Küresi Gösterimi [9].

Güncel kullanımda olan klasik bilgisayarların işlem birimi bitlerdir. Bitler temel olarak bozuk paraya benzetilerek “tura” ve “yazı” gibi 0 ve 1’lerden oluşan iki durumlu işlem birimidir. Sistemin 0 ve 1 olma olasılığı dışında herhangi bir olasılık söz konusu değildir. Bunun yanı sıra kuantum bilgisayarlarında ise durum farklılık göstererek kübit adı verilen işlem birimi ile aynı anda iki durumu taşıma (süperpozisyon ilkesi) gibi özel durumlar bulundurabilmektedir. Bu özel durumların somut gösterimi olarak Bloch küresi kullanılmaktadır [9].

2.1.2 Belirsizlik İlkesi

Werner HEISENBERG tarafından ortaya atılan belirsizlik ilkesi; temelinde bir parçacığın konum ve momentumunun aynı anda bilinmeyeceğini, momentum üzerindeki belirsizliğin ortadan kalkması ile doğru orantılı olarak konumundaki belirsizliğin artacağını aynı zamanda konumundaki belirsizliğin azalması ile de momentumundaki belirsizliğin doğru orantılı olarak artacağını gösterilmektedir [10]. Belirsizlik ilkesi (2) numaralı denklemde gösterildiği gibidir.

$$\sigma_A^2 \sigma_E^2 \geq \left(\frac{1}{2i} \langle [\hat{A}, \hat{E}] \rangle \right)^2 \quad (1)$$

Denklemi elde edilir ((1) numaralı denklem genelleştirilmiş belirsizlik ilkesi). Buradan ilk gözlenebilir konum ($\hat{A}=x$), ikinci gözlenebilir momentum ($\hat{E}=p$) olarak kabul edilirse;

$$\sigma_x^2 \sigma_p^2 \geq \left(\frac{1}{2i} \hbar \right)^2 = \frac{\hbar^2}{4} \quad (2)$$

elde edilir [6].

Belirsizlik ilkesi ışığında, sistemde sabit tutulmaya çalışılan parçacığın hareket dinamiği incelenebilmektedir.

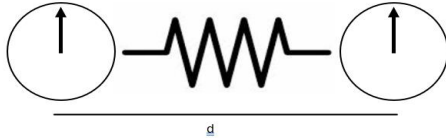
2.1.3 Kuantum Dolanıklığı

Kuantum dolanıklık, Schrödinger denkleminin açık bir sonucudur (üst-üste gelme ilkesi) ve iki benzer parçacığın aralarında fiziksel bir etkileşim olmadan bağlantı kurulmasını ifade etmektedir. Bir parçacığın aynı anda (1) farklı konumlarda bulunma, (2) spininin farklı yönlerde bulunma olasılıklarının sıfırdan farklı olmasını sağlar. Dolanık olaya verilebilecek en iyi örneklerden biri elektronun spin durumu olabilir; Her iki durumunda aynı anda taşınması durumuna günlük hayatta çokça duyulan süperpozisyon durumu denmektedir [6].

Örnek olarak iki kubitlik bir kuantum sisteminde faz vektörü $\sum |\alpha_i|^2 = 1$ olmak üzere,

$$\alpha_1|00\rangle + \alpha_2|01\rangle + \alpha_3|10\rangle + \alpha_4|11\rangle = |\psi\rangle \quad (3)$$

olarak gösterilebilir. Kubitlerin Bell durumuna sokularak dolanık hale gelmesi sağlanabilir [7].



Şekil 2: Dolanık Elektron Benzetimi; d, Parçacıklar Arasındaki Mesafeyi Tanımlamaktadır [9].

2.1.4 Kubit

Klasik bilgisayarlarda kompleks işlemlerin yapılabilmesi için özel bit dizinleri kullanılmaktadır (Megabyte(MB), Gigabyte(GB), Terabyte(TB) vb.). Kuantum Bilgisayarlarında ise kubit adı verilen veri yapısı kullanılmaktadır. Faz değerlerinin çokmesi sonucunda belirli bir değer alan kubitler, bitlerden farklı olarak tek durumda birden fazla durumu taşıyabilmektedir. α ve β değerleri karmaşık sayı olmak şartı ile;

$$\alpha + \beta = 1 \quad (4)$$

$$\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle = |\psi\rangle \quad (5)$$

Kubitlerin sistemde uygulanmasında farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler;

1-Çekirdek enerjileri arasında düşük enerji seviyesi ve yüksek enerji seviyelerini özel olarak atanması,

ENERJİ SEVİYESİ



Şekil 3: Kuantum Durumlarının Enerji Seviyelerindeki Gösterimi [6].

2-Fotonların yukarı ve aşağı polarize hallerinin atanması,

$$\alpha|\uparrow\rangle + \beta|\downarrow\rangle = |\psi\rangle \quad (6)$$

3-Herhangi bir kuantum parçacığında ölçülebilir iki durumun atanması, ile kubitlerin sistemdeki fiziksel yapıları oluşturulabilir [9].

2.2.1 Gerekli Koşulların Oluşturulması

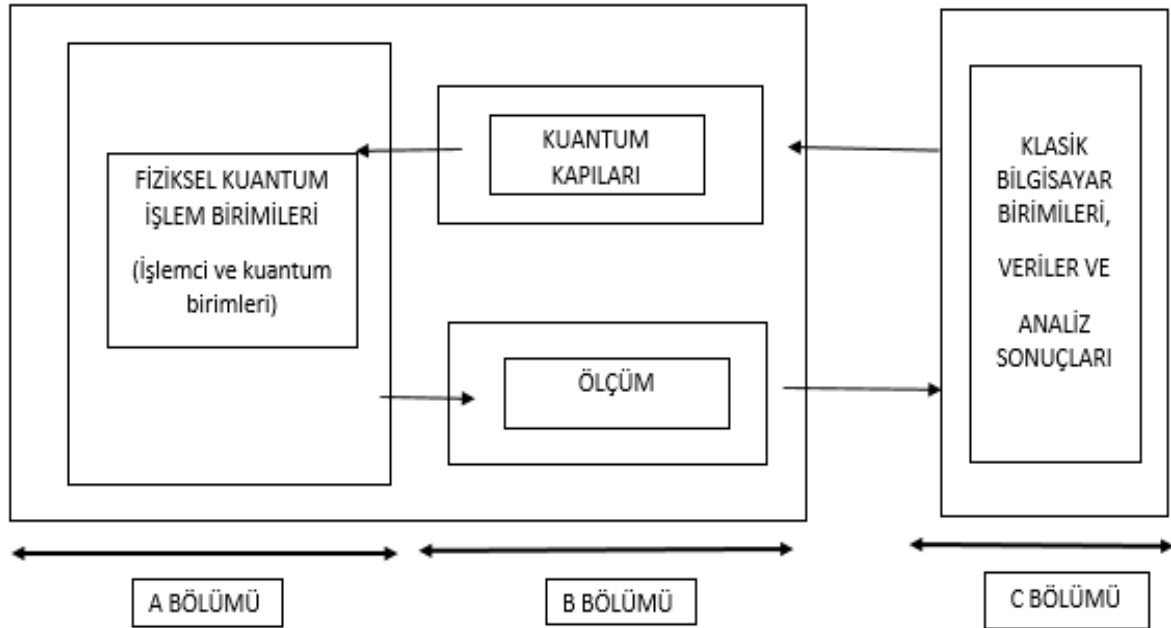
Kuantum sistemlerinin oluşturulması ve kabulünün sağlanması maksadı ile 1995 tarihinde Di Vincenzo 5 maddelik kuantum koşullarını oluşturmuştur. Bu koşullar; (1) Sistemde kullanılacak kubitlerin iyi tanımlanmış olması, (2) Hesaplamanın yapılmasından önce sistemin ilk ölçümden önce tanımlanmış bir taban durumunun oluşturulması, (3) Evrensel tanımlanmış olan kuantum geçitlerine sahip olunması, (4) Oluşturulan kubitlerin üzerinde

ölçme yeteneğinin var olması ve istenildiğinde kubitlerden ayrı ayrı sonuçların alınabilmesi, (5) Sistemin çalışma süresinden daha uzun bir durulma süresine sahip olması olarak özetlenebilir [8].

2.2.2 Genel Kuantum Mimarisi

Kuantum bilgi işlem sistemleri gözle görülebilir ortamdan daha küçük boyutlarda işlem yapılmasından kaynaklı olarak, verinin boyutlar arasında sağlıklı geçiş yaparak işlenmesi sağlanmaya çalışılmaktadır. Bu durum kuantum sistemlerinin mimarisinin veri giriş ve çıkışlarını daha karmaşık hale getirmektedir. Temel olarak kuantum sistemleri Şekil 4'te verildiği üzere 3 bölüme ayrılmaktadır [9]. A bölümü olarak adlandırılan kısım, fiziksel kuantum sisteminin

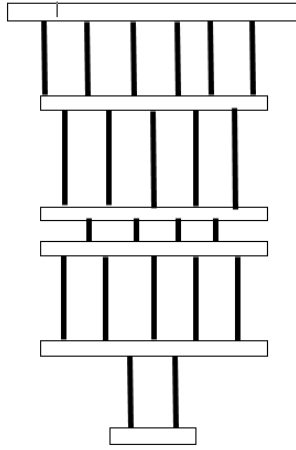
bulunduğu (işlemci) bölümdür. Sistemin en hassas kısımlarından biridir. Sıcaklığı ve içerdiği hava basıncı önemli değişkenler arasında olup A bölümünün değer ölçümlerinin hassasiyetle denetim altında tutulması gerekmektedir. B bölümü ise içeriden veya dışarıdan veri giriş çıkışlarını düzenleyen bölümdür. Gözle görünen dünyadan alınan verilerin kuantum bilgisayarının işleyebileceği veri şekline getirilmesi, klasik mantığa yakın çalışan kuantum kapılarından geçerek A bölümünde işlenir. İşlenen veri, B bölümüne dönerek kuantum dünyasından gözle görünen dünyaya veriyi aktarır. Elde edilen bu veri, hazırlanan ara yüz üzerinden kullanıma sunulur. Bahsi konu bu veriler C bölümüne iletilir.



Şekil 4: Temel Kuantum Sistem Mimarisi [9].

Bu sistem farklı kuruluşlar tarafından farklı yorumlanarak geliştirilmektedir.

En önemli örneklerinden olan avize şekli (Şekil 5) yaygın kullanılan sistem şeklidir [11].



Şekil 5: Kuantum Bilgisayarların Fiziki Sistemlerindeki Avize Sisteminin Gösterimi [11].

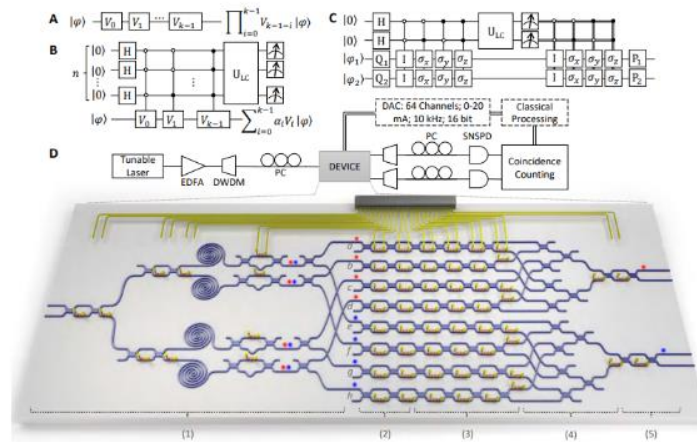
2.2.3 Fiziki Kuantum Uygulamaları

Kuantum teknolojilerinin gündeme gelmesi ile kuantum bilgisayarları büyük bir çalışma alanına dönüşmüştür. Bununla birlikte kurumlar kendi kuantum sistemlerini geliştirmeye başlamışlardır. Bu durum ortaya farklı şekillerde sistem uygulamaları çıkartmıştır. Öncelik olarak sistemlerin prototiplerinin hazırlanması aşamasında klasik bilgisayarlar ile simüle edilen sistemler kullanıma sunulmuştur. Bu sistemlere örnek olarak IBM firmasının kuantum simülasyon sistemleri verilebilir [12].

Tablo 1: Fiziki Kuantum Bilgisayar Sistemleri [9].

Nu	Kuantum bilgisayar sistemleri
1	Süperiletken devre sistemleri (Superconducting loops)
2	Tuzaklanmış iyon sistemleri (Trapped ion systems)
3	Nükleer Manyetik Rezonans Sistemi (Nuclear Magnetic Resonance-NMR)
4	Topolojik kuantum sistemleri (Topological qubits)
5	Fotonik sistemler (Photonics systems)
6	Elmas boşlukları sistemi (NV Center-in-Diamond)

Tablo 1’de gösterilen 1 numaralı sistem olan Süperiletken devre sistemleri, Josephson eklemi bulunan devreler kullanılarak üretilen sistemlerdir. Bu sistemin kuantum durumlarında (ing. quantum states) kalma süresi 0.00005 saniye, kuantum kapılarının uygulanma başarısı ise %99,4’tür. 2 numaralı sistem olan Tuzaklanmış iyon sistemlerinin ise, kuantum durumlarında kalma süresi 1000 saniyeden fazla olup kuantum kapılarının uygulanma başarısı ise %99,9’dur.



Şekil 6: Fotonik Kuantum Sisteminin Devre Gösterimi [9].

Bu bağlamda uygulamada hangi kuantum sistemlerinin seçileceği ihtiyaca uygun (maliyet etkin, yüksek doğruluklu ve kaynaklar dahilinde) olup olmadığı üzerinde durulmalıdır [13].

Lineer optik kuantum hesaplaması (İng. Linear Optics Quantum Computing (LOQC)) ile fotonik çiplerin kuantum bilgisayarlarında kullanımı silikon tabanlı olmasından kaynaklı olarak sistemin maliyetini daha etkin kılmaktadır. Bu maksatla, University of Bristol ve Çin'in National University of Defence Technology'nin birlikte yürüttükleri araştırmada silikon tabanlı çipler kullanılmaktadır [9].

3. ASKERİ KULLANIM ALANLARI (MILITARY APPLICATIONS)

General Heinz GUDERIAN'ın "Dikkat Tank!" (alm. Achtung Panzer!) kitabında da değindiği üzere ordular I. Dünya Savaşı ile tank kullanımının yaygınlaşması ve savaş doktrininin oluşması sonucunda bu yeni silaha olan bakış açılarını genişleterek bünyelerine katmak için savunma sanayilerinde önemli gelişmelere imza atmışlardır. Bu silahın kullanıma sunulmasının ardından istenilen başarının alınması uzun yıllar almıştır. Bunun bir başka örneği ise kuyruktan dolmalı silahların yerine iğneli silahların kullanılması sonucunda istenilen başarının Prusya ordusu için 25 senelik bir sürecin sonucunda alınması verilebilir. Aynı durum Kuantum teknolojileri için de geçerli olabilir. Günümüzde prototipler ve deneysel çalışmalar yürütülen bu yeni teknoloji, yıllar sonra muharebe sahasının ayrılmaz bir parçası haline gelebilir. Son 20 yıl içerisinde birçok ülke -Çin, Amerika Birleşik Devletleri, İngiltere ve Japonya- silahlı kuvvetleri kapsamında, kuantum teknolojilerinin kullanımı üzerine raporlar ve

çalışmalar yapmaktadır. Türk Silahlı kuvvetleri global olarak kuvvet eşitliğinin sağlanması maksadı ile yapılacak AR-GE çalışmaları ve elde edilecek tecrübeler ışığında, milli imkanlar ile geliştirilmiş bir ekosistem oluşturması önem arz etmektedir. Geniş bir kullanım yelpazesine sahip olan kuantum teknolojisi birçok askeri alanda kullanılabilir. Bu bölümde ilgili teknolojinin askeri kullanım alanları tartışılmıştır [1, 12].

3.1 Tehditler

Kuantum teknolojilerinin hasım kuvvetlerce muharebe alanında kullanıma sunulmasına karşılık olarak savunma sistemlerine sahip olunmaması durumunda, düşman kuvvetlerin bu hassasiyetten yararlanarak dost unsurların zayıf taraflarının sömürülmesine neden olabilir.

Kuantum kriptografisi gerek asimetrik gerek simetrik şifrelemeler üzerindeki etkin durumu bilgi iletişim kaynakları üzerinde tehdit yaratarak verinin doğruluğunu, bütünlüğünü ve erişilebilirliği konularında manipülasyonlar yaratabilir. Görüntüleme sistemlerinin kullanılması ile dost kuvvetlerin örtü ve gizlenme vasıtalarının etkinliğini azaltarak birliğin bekası üzerinde olumsuz etkilere neden olabilir [14].

Dost kuvvetlerinin elektronik harp vasıtalarını kullanarak düşman üzerinde sinyal istihbaratı yapmasının önüne geçmek maksadı ile kuantum uyduları ile haberleşmenin sağlanması düşmanın birlikleri ile iletişimi üzerinde üstünlük sağlamasına neden olarak dost kuvvetlerin istihbarat üretimindeki etkinliğinin azaltarak düşman kuvvetler hakkında bilgi sağlamanın önüne geçebilir.

Radar sistemlerinin kullanımı hava taarruzu ve füze sistemlerinin etkinliğini azaltarak düşmanın

bekasını sağlamasına, dost kuvvetlerin hava üstünlüğünü sağlamasına engel teşkil edebilir.

Bu tarz dost kuvvetler üzerinde muharebenin icrasında tehdit oluşturulabilecek sistemler kullanılarak, düşman kuvvetlerin muharebede üstünlük sağlamasına ve dost kuvvetler üzerinde tehditler oluşmasına neden olabilir. Bu durumlarından sakınmak maksadı ile kuantum teknolojilerinin askerî harekât kapsamında kullanılabileceği alanlar araştırılarak düşman üzerinde etki sağlanması amaçlanarak silahlı kuvvetler bünyesinde etkin olarak kullanıma sunulması gerekmektedir.

3.2 Kullanım Alanları

Kuantum teknolojilerinin ortaya çıkması ile konu üzerinde yapılan araştırmalar, farklı konseptlerin ortaya çıkmasına neden olarak çalışma alanını arttırmıştır. Konu üzerinde askeri alanda yapılan çalışmalar, dünya orduları arasında rekabeti arttırarak ilgili alanın farklı askeri alanlarda kullanımı üzerinde çalışmalar yapılmasına neden olmuştur. Yapılan bu çalışmalar, kuantum teknolojilerinin askeri kullanım alanlarını ortaya çıkartmıştır. Bu bölümde araştırmalar sonucunda ortaya çıkan askeri kullanım alanları tartışılmıştır [12].

3.2.1 Kuantum Simülasyon

Kuantum simülasyonları yakın gelecekte uygulama alanına en yakın olan sistemlerden birisidir. Kuantum simülasyon sistemlerinde kullanılacak optimizasyonlar, silahlı kuvvetler çerçevesinde harp oyunları, askeri operasyonları destekleyen karar verme süreçleri, lojistik faaliyetler üzerine kullanıma sunulabilir [3, 12]. Veri bilimi üzerinden örnek olarak, 10 bitlik bir klasik sistem 1024 (2^{10}) durumdan sadece bir

tanecini temsil ederken 10 kübitlik kuantum sisteminin 1024 durumu eşzamanlı olarak içinde temsil etmesi verilebilir. Bu durumda, birçok fonksiyon alanının simülasyon aşamasında işlenmesine olanak sağlayabilir [12].

Harekât planlarının yapılmasında ve harp oyunlarının icra edilmesinde muharebe simülasyon sistemleri (JCATS vb.) son dönemde sıkça başvurulan bir yöntemdir. Harekât ortamında birçok değişkenin olması, sistem karmaşıklığını arttırarak modelleme ve simülasyon sistemlerinin yüksek işlem güçlerine ulaşmasını gerektirerek büyük sistemlere ihtiyaç duyulmasına yol açmaktadır. Kuantum simülasyon sistemleri işlem gücünün yüksek olması nedeni ile değişkenleri ilişkilendirmede ve yorumlamada verimlilik sağlayabilir. Doğru bir eğitim modeli ile yapay zekâ sistemlerinin de etkili kullanılması, muharebe ortamının daha yüksek doğrulukla yorumlanmasını sağlayabilir.

Son yıllarda savunma sanayisinde etik kuralları çok tartışılan otonom sistemler, kuantum veri gücünün makine öğrenmesinde ve yapay zekâ uygulamalarında etkin bir başarı sağlamasına olanak sağlayarak etik kurallar çerçevesinde otonom sistemlerin hedef seçme, hedef belirleme ve silah sistemlerinin (akıllı mühimmat sistemleri vb.) karar verme süreçlerinin gelişimine katkı sağlayabilir [15, 35].

3.2.2 İstihbarat

Kuantum sistemlerinin birçok alandaki avantajlı durumu klasik sistemlerin kullanımının önemini azaltmamaktadır. Klasik sistemler (CPU) ile kuantum sistemlerinin (GPU) birlikte kullanıldığı Hibrit sistemler, (İng. Hybrid systems) yapılandırılan modelin geleneksel istihbarat

sistemlerinden ve kuantum sistemlerinin avantajlarının birlikte kullanılmasını sağlayabilir [3].

Kuantum dolanıklığı kullanılarak güvenli ve hızlı iletişimin kurulmasının yanı sıra karşı istihbarat faaliyetleri olarak düşman kuvvetlerin sinyal dinleme ve kriptografik kanallarının çözülmesi sağlanarak karşı istihbarat sağlanabilir [5].

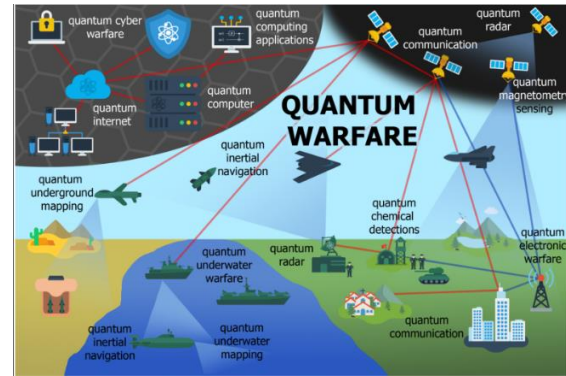
İstihbarat faaliyetlerinin yürütülmesinde en önemli faaliyetlerden biri olan verinin bilgiye çevrilme sürecinde istihbarat çarkının işleyişi esnasında birçok etken göz önünde bulundurularak verinin işlenmesi sağlanmaya çalışılır. Bu verilerin farklı kaynaklardan alınmış olması ve formatlarının çeşitlilik göstermesi (Resim, belge, ses, sinyal vb.) verilerin anlamlandırma sürecinin karmaşık hale gelmesine neden olmaktadır. Bunun yanı sıra verinin anlamlandırma sürecinde kullanılabilmesi için barındırdığı gürültü ve deformasyonların giderilmesi gerekmektedir. Bu faaliyette anlamlandırma sürecinde olduğu gibi yüksek veri gücü ve anlamlandırma becerisi gerektirmektedir. Kuantum sisteminin yapay zekâ modelleri ile birleştirilmesi verinin anlamlandırma sürecine girmesine ve toplam verinin bilgi halini almasında büyük rol oynayabilir.

İstihbarat faaliyetlerinden biri olan karşı istihbaratın sağlanmasında düşman unsurun şifrelenmiş verilerinin elde edilmesinde ve kendi sistemlerimizin güvenliğini, bütünlüğünü, doğruluğunu ve inkâr edilemezliğini sağlamak maksadı ile Kuantum kriptografisi kullanılabilir. Kuantum kriptografisinde en büyük avantajlardan biri vektör atakları ile asimetrik şifrelemeleri etkin bir şekilde kırması ve teorik

olarak simetrik şifrelemelerin üzerinde etki sağlamasıdır [3, 14].

3.2.3 Hava Durumu

Muharebenin icrası üzerinde doğal etkenler olarak ilk akla gelen etkenlerden birisi hava durumudur. Hava durumu, muharebenin icra planlamasında ve kullanılacak silah sistemlerinin seçiminde yoğun olarak göz önünde tutulan bir etkidir. Hava durumunun doğru tahmini muharebenin kesin sonuç alınacak bölge ve zamanın seçimini etkileyebilir. Askeri istihbarat birliklerinin hava durumunu zaman ve doğruluk esasları çerçevesinde, verilerin hızlı ve güncel bir şekilde işlenmesi gerekmektedir. Bu durum veri boyutunu artırarak işlem gücünün azalmasına neden olur.



Şekil 7: Kuantum Teknolojisinin Muharebedeki Kullanım Alanlarının Gösterimi [3].

Kuantum veri gücünün klasik bilgisayarlar üzerindeki yüksek anlamlandırma etkisi kullanılarak simülasyon sistemlerinin kullanılması dahilinde hava durumunun tahmininde kullanılması muharebe planlama ve icra aşamalarına olumlu etkilere neden olabilir.

3.2.4 Komuta ve Kontrol

Askeri hareketlerin planlama ve yürütme faaliyetlerinin düzenli olarak yürütülmesi ve belirsizliklerin çoğaldığı harekât ortamında,

bilginin ilgili birliklere doğru ve değişmeden iletilmesi ile taktik birliklerin bölgelerinden elde etmiş olduğu istihbarat verilerini üst komutanlık kademesine iletme konuları hareketin sürdürülebilmesi ve bekanın sağlanması için önemli etkenlerdendir.

Komuta ve kontrol sistemleri üzerinde durulan en önemli konulardan biri olan güvenliğin sağlanması konusu, telsizlerin kriptografik algoritmaları üzerine yapılan çalışmalar ve fiziki iletim ortamlarının üçüncü kişiler ve dış etkenlerden minimum şekilde etkilenmesi üzerine yapılan çalışmalar gibi teknolojik hamleler ile etkinliği arttırılmaya çalışılmaktadır.

Komuta-Kontrol sistemlerinin güvenliği, kuantum iletişim teknolojisi ile fiziki iletişim protokolleri, operatif ve stratejik seviyelerde klasik fiber optik taşıma şekillerinden daha etkili ve hızlı sonuçlar doğurabilir. Bu durum verinin kullanılan sistemlerden daha doğru ve güvenilir aktarımını sağlayarak hareketin sürdürülmesinde önemli ölçüde etkileyecek potansiyele sahiptir [5].

Komuta ve kontrol sistemlerinde kuantum teknolojilerinin kullanımı dost unsurlar için kuvvet kazandıracak bir etken olsa da düşman tarafından kullanılması halinde de kullanılan sistemlerin devamlılığını ve güvenliğini tehdit edecek operatif ve stratejik tehdit oluşturabilecek etkiler yaratabilir. Örnek olarak belgelerin onaylanması için kullanılan e-imza sisteminin güvenlik sistemi olarak kullanılmasının etkinliğini azaltarak ek güvenlik tedbirlerinin getirilmesi ve muharebe iletişim tekniklerinin (kriptografi vb.) güncellenerek farklı sistemlerin kullanıma sunulması konusunda adımların atılmasına neden olabilir.

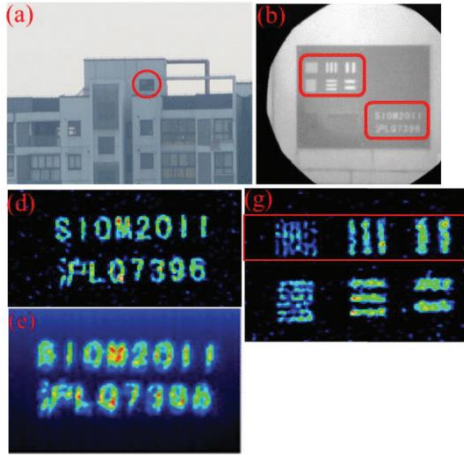
3.2.5 Keşif ve Gözetleme

Kuantum teknolojileri çok boyutlu muharebe ortamının en önemli yapıtaşı olan keşif ve gözetleme konuları bakımından çok önemli yeteneklere sahip bir teknolojidir. Topolojik haritalandırma, keşif ve gözetleme ve yeraltı gözetleme sistemlerinin verilerinin incelenme süreçleri gibi hız ve doğruluk gerektiren süreçlerin ilerleyişine büyük katkılar sağlama potansiyeline sahiptir. Sualtı ve yeraltı değişimlerinin izlendiği sistemlerde hassasiyeti yüksek olan magnetometre ve gravitometrelerin kuantum teknoloji tarafından elde edilmesi bu alanlardaki ölçüm hassasiyetinin artmasına neden olabilir [3].

Kuantum teknolojilerinden yararlanılarak üretilen gravimetrelerin özellikle Türk Silahlı Kuvvetleri'nin son hareketlerinde sıklıkla karşılaştığı mağara ve tüneller gibi yeraltı oluşumlarının derinlik, genişlik ve diğer özelliklerini hassas bir şekilde ölçüm verisi çıkartması, bölgelerdeki yürütülen hareketlerde harekât planlama ve hareket tarzlarının etkin şekilde belirleme kapasitesine sahiptir.

Son dönemlerde harekât ortamında keşif ve gözetleme faaliyetlerinde sıklıkla kullanılan İnsansız Hava Araçları'nın (İHA) keşif ve gözetleme aygıtlarının görüntü analiz sistemlerinin etkin olarak çalışabilmesi için belirli bir irtifada uçuşması İHA'lar üzerinde hedef olma niteliği taşıyan beka sorunlarını beraberinde getirmektedir. Kuantum görüntüleme (İng. Quantum Imaging) sistemlerinin kullanılması İHA'ların beka sorununu gidermek amacıyla daha yüksek bir irtifadan aldığı verileri analiz etmesini sağlayarak İHA birliklerinin bekasının sağlanmasında ve klasik görüntüleme ve analiz

sistemlerinden daha doğru (Işık gibi etkenlerin olmadığı durumlarda daha etkin çalışması) ve hassas ölçümlerin elde edilmesi sağlanır.



Şekil 8: Kuantum görüntüleme sistemlerinin etkinliği; (a) ve (e) Geleneksel kamera ile çekilmiş bir fotoğraf (d) ve (g) Quantum ghost imaging aygıtları ile elde edilen görüntülerdir [16].

Kuantum teknolojilerinin keşif ve gözetlemede kullanılmasının sağladığı bir başka avantaj ise zor hava şartlarında (bulutlu, yağmurlu, sisli, tozlu, dumanlı ve gece), düşük sinyal ve gürültü şartlarında etkin bir şekilde çalışması sayesinde birliklerin operasyon kabiliyetlerini arttırmasıdır. Görüntüleme teknolojilerindeki bu ilerlemeler, askeri operasyonlarda kullanılan ekipmanların verimliliğini, doğruluğunu ve esnekliğini artırarak, güvenlik ve istihbarat alanlarında önemli kazanımlar sunmaktadır.

Bu sistemler, personelin operasyonlardaki güvenliğinin sağlanmasına, riskleri minimize etmesine ve daha etkili kararlar alınmasına yardımcı olabilir. Bu da askeri gücün kullanımını daha etkili ve stratejik hale getirebilir.

3.2.6 Kuantum Radarlar

Kuantum radarlarında kullanılan kuantum sensörlerin muharebe alanında yeni metotlar ile

lojistik, kimyasal ve biyolojik tahlillerin yapılması muharebe hizmet destek birliklerinin etkinliğini arttırarak muharebe gücünün devamlılığında önemli roller oynayabilir.

Kuantum Radar teknolojisi ise, günümüz muharebe sahasını köklü değişimlere uğratacak potansiyele sahip bir teknolojidir ancak günümüz teknolojik koşullarında uzun mesafeli sistemlerin üretilmesi maliyet etkin değildir [5].

Kuantum Radar sistemlerinde Elektronik Harp (E/H) kapsamında zayıf ve yüksek seviyeli dalgaların birlikte kullanıldığı sistemler kullanarak klasik E/H sistemlerinden daha etkin bir sistem tasarlanabilir. Kuantum Sinyallerinin oluşturduğu kanal yapıları 3 temel özelliğe sahiptir.

- 1- Sinyallerin basit manipülasyonlar ile bozulabilir olması; Kuantum Hata Giderme Algoritmaları (İng. Quantum Error Correction) bu nedenle büyük bir öneme sahiptir.
- 2- Çok düşük frekanslarda veri kullanılması, kullanılan sinyallerin tespitinin zorlaşmasına neden olur.
- 3- Kullanılan sinyaller lazer gibi hareket etmesinden kaynaklı olarak bir tarafın konumu tam olarak bilinmezse sinyalin bulunmasını zorlaştırır.

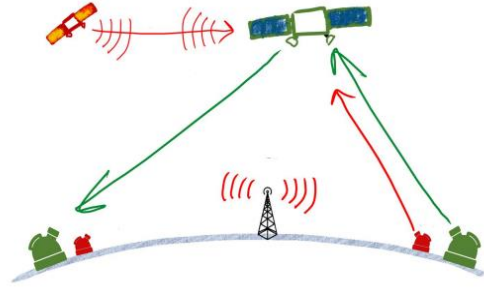
Bu özellikler Kuantum EH sistemlerini klasik EH sistemlerinden ayıran unsurlar haline gelmektedir. Uzun mesafeli savunma sistemlerinde, kuantum dolanıklık ve belirsizlik ilkeleri çerçevesinde üçüncü tarafın etkilerinden arındırılmış olması nedeni ile hedef tespitinde kullanılabilme potansiyeline sahiptir [3, 12].

3.2.7 Kuantum Uyduları

Uydu sistemleri, birliklerin muharebe ihtiyaçlarını önemli ölçüde karşılayan sistemler olarak son zamanlarda etkin olarak kullanılan sistemlerdir. Bu ihtiyaçlara binaen dünya orduları kendi uydularını yörüngelere oturtarak muharebe ihtiyaçlarını karşılamaktadırlar. Çin son zamanlardaki yapmış olduğu çalışmalarla yörüngeye oturtmuş olduğu kuantum uydularını hayalet görüntüleme (İng. Ghost Imaging) teknolojisini kullanıma sunmuştur. Bu sistem verinin güvenliğinin yanı sıra veri iletim mesafesini artırarak muhabere gereksinimlerini karşılamaktadır. Ancak bu teknolojinin yeni kullanıma sunulmasından kaynaklı karşılaşılan zorluklar neticesinde istenilen verimin alınamadığı görülmüştür [3].

Tablo 2: Kuantum Uydu Teknolojilerinde Karşılaşılan Zorluklar [17].

Nu	Karşılaşılan Zorluklar
1	Kuantum anahtar dağıtımı (İng. Quantum key distribution) dolanık parçacıkların etkileşimi ile gerçekleşmesinden kaynaklı olarak fiziki sistemlerin hayata geçirilmesi esnasında verici ve alıcı cihazlar arasındaki izolasyonun sağlanmış olmasını gerektirir.
2	En büyük dezavantajlarından olan sisli, bulutlu ve gece şartlarında hassas parçacıkların etkileşiminin sağlanmasında engel teşkil etmektedir.
3	Atomaltı parçacıkların birbiri arasındaki etkileşimin sağlanması maksadı ile protokollerin oluşturulması, sistem performansının ölçülmesi ve optimizasyon problemlerini beraberinde getirmektedir.



Şekil 9: Kuantum Uydu Sisteminin İşleyişinin Gösterimi [17].

4. Kuantum Revizyonu

Savunma sanayisinde kuantum teknolojileri, dünya genelinde ilgi alanı olarak seçilerek geliştirilmeye devam etmektedir. Bu konuda önemli yatırımlar yapan İngiltere, konu hakkında detaylı çalışmalar yürütmek maksadıyla kuantum teknolojileri üzerine ulusal strateji planları yaparak kuantum teknolojilerini muharebe sahalarında kullanarak milli savunma gücünü arttırmaya çalışmaktadır. İngiltere gibi ülkelerin yanı sıra müttefik ülkelerin oluşturduğu kuruluşlar da bu alanda ellerinde bulunan birikimlerini birleştirerek bir kuvvet alanı oluşturarak savunma teknoloji alanlarını genişletmeye çalışmaktadırlar. Bu durumun en önde gelen örneği olarak Kuzey Atlantik Antlaşması Örgütü (North Atlantic Treaty Organization)'nın Ocak 2024 yılında çıkarttığı NATO'nun Kuantum Teknolojileri Stratejisi Özeti verilebilir. Bu özet stratejide müttefik ülkelerin birbirleri ile ellerinde bulunan teknolojik birikimlerinin birleştirilerek savunma sanayisinde kuantum teknolojilerinin kullanımına hız kazandırmak amaçlanmaktadır [18, 19, 20].

Yıllarca yaşanan muharebelerde ve savaşlarda elde edilen tecrübeler teknolojik ihtiyaçları ortaya çıkartarak savunma sanayisinin ilgili

alanlara yönelmesini sağlamıştır. Günümüz muharebelerinde ortaya çıkan ihtiyaçlara karşı kuantum teknolojileri üzerine yoğunlaşan ülkeler, ilgili teknolojinin kullanımı için ihtiyaç duyulan ortamın sağlanması için çalışmalar yürütmeleri gerekmektedir. Bunun ana sebeplerinden bir tanesi ilgili teknolojinin günümüzde kullanılan klasik teknolojik araçlardan farklı altyapı gereksinimlerine ihtiyaç duymasıdır. Bu nedenle ülkeler teknolojik gelişmeleri sağlarken bir taraftan da silahlı kuvvetlerini bu alana adapte olacak şekilde revize etmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, “Kuantum Revizyon” planı silahlı kuvvetlerin bu alanda adaptasyonunun sağlanması maksadı ile temel olarak üzerinde durulması gereken aşamaları ele almaktadır.

Ulusal kaynakların belirlenmesi, stratejik iş birliktelikleri, uygulamada ihtiyaç duyulan bilim dallarındaki profesyonel kişilerden destek alınması, eldeki teknolojik bilgi birikiminin kullanılması, farklı bilgi alma kaynaklarından elde edilen bilgilerin birleştirilmesi, finansal ihtiyaçların tespiti, politik ve askeri karar mercilerinin koordineli çalışmaları sonucunda bir plan oluşturulmalıdır [5].

Kuantum Teknoloji Revizyon Planı kapsamında;

1. Sistem ihtiyaçları belirlenmesi ve raporların hazırlanması,
 2. Altyapı çalışmaları başlatılması,
 3. Kontrol ve Denetlemelerin yapılması,
 4. Personel bilgilendirmesi yapılması,
 5. Özel birliklerin kuruluşu tamamlanıp sahada görev alması,
- faaliyetleri icra edilmelidir [1].

4.1 Sistem İhtiyaçlarının Belirlenmesi ve Prosedürlerin Hazırlanması

Bir teknolojinin savunma sanayisi için kullanıma sunulmasının en önemli adımlarından biri olan sistem ihtiyaçlarının belirlenmesi, gün geçtikçe belirsizliklerin artmakta olduğu muharebe ortamında kullanılabilir bir sistemin üretilmesinin temel yapıtaşı olacaktır. Bir teknolojinin sivil amaçlı kullanımı ile askeri amaçlı kullanımında arasında oluşacak sistem gereksinimleri kuantum teknolojileri için de geçerlidir.

Zor şartlarda hizmet vermesi beklenen askeri teknolojilere, hassasiyetin yüksek olduğu kuantum teknolojilerinin entegre edilmesi esnasında karşılaşılabilecek zorluklar tespit edilerek sistemin bu yönde revize edilmesi gerekmektedir. Bu revizyon esnasında ihtiyaçların önceden belirlenerek AR-GE çalışmalarında geliştirmelerin bu yönlerde artırılması sağlanmalıdır. Karşılaşılabilecek zorluklar; değişken hava ve arazi şartları, düşman kuvvetlerce yapılacak Elektronik Harp (E/H) faaliyetleri olarak verilebilir [15, 36].

Kuantum sistemlerinin gelişmekte olması nedeni ile ergonomik ihtiyaçları karşılaması da büyük önem arz etmektedir. Operatif veya taktik birlik seviyesinde kullanılacak sistemlerin operatörün kullanımında ve malzemenin intikali esnasında dayanıklılığının sağlanması ve kolay hareket ettirilebilir olması gerekmektedir. Kuantum sensör teknolojisinin birliklerinin teşkili içerisinde kullanımı birliklerin bölgelerinden intikal ile farklı bir noktaya ilerlemeleri süratli bir şekilde yapılarak hedef statüsüne düşmeden bölge değişikliğinin yapılması önem arz etmektedir. Ancak günümüz sistemlerinin boyutu

nedeni ile hem intikal zorluğu hem de düşman gözetlemesinde nokta teşkil etme niteliğine sahiptir. Bu gibi örnekler ile muharebe sahasındaki birliklerin gereksinimleri üzerine sistem ihtiyaçları belirlenmelidir.

Kuantum teknolojilerinin geliştirilmesi esnasında silahlı kuvvetler bünyesine yapılacak stratejik çalışmalar, ilgili birliklerden görüşlerin alınması ve savunma sanayinde görevli personeller ile sivil-asker iş birliği sağlanılarak ihtiyaçların belirlenerek sistem optimizasyonunun sağlanması gerekmektedir. Kuantum teknolojisinin maliyetinden kaynaklı olarak geçmiş dönemlerde prototiplerin kullanıma sunulması veya kullanıma sunulan sistemlerin muharebe sahasına kullanımının ardından sistem güncellemelerinin yapılması konseptlerine uymayarak AR-GE faaliyetlerinin maliyetinin istenilen seviyenin üstüne çıkmasına neden olabilir. Bu nedenle sistemin geliştirilmesinde ihtiyaçların belirlenmesi diğer teknoloji sistemlerine göre daha büyük önem taşımaktadır.

Ülkelerin savunma sanayii sektöründe bireysel yapacakları geliştirme faaliyetlerinin yanı sıra bu alanda çalışmalar yapan müttefik ülkelerin çalışmaları örnek alarak sistem gelişmelerinde bu tecrübelerden yararlanılarak sistem maliyetinin minimize edilmesi sağlanabilir.

Tespit edilecek ihtiyaçların neticesinde gerekli görülen sistemlerin kullanımı ve altyapı çalışmaları için birleştirilmiş protokollerin hazırlanması ile muharebe sahasına sistemlerin entegrasyonu hızlandırılabilir. Birliklerin ilgili protokoller üzerine yapacakları çalışmalar sistemlerin farklı muharebe alanlarına da adaptasyonu sağlar.

4.2 Kontrol ve Denetlemelerin Yapılması

Teknolojik gelişmelerin stratejik olarak silahlı kuvvetler bünyesinde kullanıma sunulması verimin artırılması için sistemlerin düzenli olarak kontrol ve denetlemenin yapılması gerekmektedir. Muharebe sahasında yeni görev alan sistemlerin operasyon alanlarına adaptasyonunun sağlanması maksadı ile kontrol ve denetleme sonuçlarının ilgili kurumlara ulaştırılarak sistemlerin tespit edilen yönlerde gelişimi sağlanmalıdır. Aynı zamanda kuantum sistemlerinin maliyeti ve yeni bir teknoloji olmasından kaynaklı olarak kullanıcı hatalarının önüne geçmek ve sistem güncelliğinin sağlanması gerekmektedir.

Bu kontrol ve denetlemelerde, sistemlerin mevcut askeri sistemler ile uyumlu çalışıp çalışmadığı, muharebe alanındaki fiziki şartlardaki çalışma durumunun (farklı arazi şartlarında sistemler üzerinde yaratacağı istenmeyen manipülasyonların yaşanmasının kontrol ve denetlenmesi) incelenmesi sistemlerin entegrasyon sürecine olumlu etkiler yaratacak etkiye sahiptir.

Güvenlik sistemlerinde (Kuantum kriptografi, kuantum uyular vb.) ise verinin iletiminde bilgi güvenliği ilkelerinin (gizlilik, bütünlük ve erişilebilirlik) korunup korunmadığı üzerine güvenlik kontrol ve denetlemelerinin de yapılması gerekmektedir.

Hazırlanan sistemlerin farklı birlikler tarafından kullanılarak uygunluk testlerine tabi tutması ile bu birliklerin kullanılan sistemler ile geçirdikleri zaman içerisinde üst komutanlığın niyetinin gerçekleştirilmesi çerçevesinde başarı durumları yapılan denetlemeler ile belirlenerek sonuçların

ilgili teknolojilerin geliştirildiği kurumlar ile paylaşılarak analizlerin yapılması sistemlerin gelişiminde katkı sağlayacaktır.

4.3 Altyapı Çalışmalarının Yapılması

Kuantum teknolojileri için altyapı çalışmalarının yapılması kapsamlı stratejik çalışma gerektirmektedir. Hazırlanan raporların birleştirilerek stratejik bütünlüğün sağlanması maksadı ile birliklerin ve karargahların sistemi etkin şekilde kullanmaları sağlanmaya çalışılmalıdır. Günümüz sistemlerinin ihtiyaç duyduğundan farklı gereksinimlere ihtiyaç duyan kuantum teknolojilerinin istenilen performansın elde edilebilmesi için bu gereksinimlerin karşılanması gerekmektedir.

Kuantum hesaplama çerçevesinde fiziki etkenlerden oldukça fazla etkilenmesi nedeni ile gerek elde edilen verinin iletimi gerekse sistemin kendi içerisindeki hesaplama fonksiyonlarının doğru çalışması maksadı ile dış çevreden oldukça izole edilerek kapalı bir sistemin elde edilmesi gerekmektedir. AR-GE çalışmaları ile bu altyapı ihtiyaçlarının belirlenmesi gerekli tedbirlerin alınmasını sağlayacaktır ancak taktik veya operatif birlik seviyesinde kullanılacak sistemlerin malzeme tedarikinin sağlanması için detaylı bir lojistik plana ihtiyaç duyulacaktır. Malzemelerin maliyeti ve hassasiyeti nedeni ile lojistik faaliyetlerin bu hususlar göz önünde alınarak planlanması sağlanmalıdır [15, 20].

Gerekli malzeme tedarikinin yapılmasının ardından sistemin kurulumu ve kullanımı için ilgili birlik personelinin bilgilendirecek özel birlik personellerinin bölgelere intikallerinin sağlanarak sistem devamlılığının sağlanması gerekmektedir.

Kuantum teknolojilerini ilgi konusu olarak almış müttefik ülkeler ile yapılan antlaşmalar çerçevesinde kullanıma sunulan teknolojilerin altyapı çalışmaları hakkında bilgiler alınarak gerekirse ortak çalışmalar ile kuantum teknolojileri için altyapı çalışmaları faaliyetleri planlanmalı ve kullanıma sunulmalıdır [21].

Altyapı çalışmalarının devamlılığının sağlanması için sistemlerin modülerliğinin sağlanması ile çalışmaların belirli kalıplar halinde prosedürler hazırlanmalı ve bu prosedürler çerçevesinde birliklere yeni bir sistemin kullanıma sunulacağı zamanlarda ilgili prosedürlerin birliklerle paylaşılarak sistemin kullanıma sunulma aşamasının hızlandırılması sağlanır. Bu prosedürler aynı zamanda farklı arazi bölgelerinde görev yapan birliklerin sistemlerinin kurulumu için ihtiyaç duyulan ortamın hazırlanması konusunda ön çalışmalar yaparak gerektiği durumlarda ek tedbirlerin alınması yönünde kurulum yapacak personelleri bilgilendirebilir.

4.4 Personel Bilgilendirmesi

Kuantum teknolojilerinin kullanımı geçmiş dönem uygulamaya sunulan teknolojilerden daha farklı bir konsepte sahip olmasından kaynaklı olarak personel bilgilendirme konusu daha teknik ve detaylı bir bilgilendirme içermek zorundadır. Bu durum ilgili personelin konu hakkında ilgili ve seçim aşamasında yeteneklerinin örtüşmesi geçmişteki personel seçimlerinden daha detaylı yapılmalıdır. Konu kapsamının teknik bilgilerinin yüksek matematik, fizik ve algılama seviyesine ihtiyaç duymasından kaynaklı olarak uygulama kısmında çalışacak personelin geçmiş

safahatının uygun olması önem arz etmektedir [20, 21].

Bahsi konu durumunda sadece uygulama kısmında bulunan personelden ziyade sistemin hassasiyetinden kaynaklı olarak kullanıcı kısım personelin de gerekli bilgi seviyesine ulaşması sağlanmalıdır. Örnek olarak Kuantum iletişim kısmından yaralanacak personelin dolanık çiftin kapsamını ve hassasiyetine hakim olarak olası sistemi dezavantaja sokacak manipülasyonlara karşı koruma tedbirlerini uygulayacak seviyede olmalıdır.

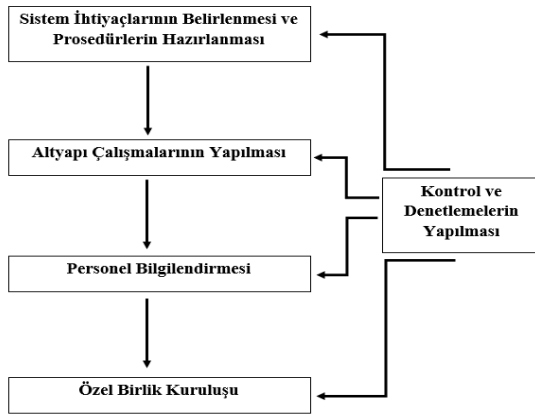
Özellikle kullanıcı kısmında bulunan personelin konu kapsamını daha rahat kavrayabilmesi açısından konular basitleştirilerek, teoriden ziyade daha çok uygulama alanlarının hassasiyetlerinden korunma kapsamlı broşürler hazırlanarak gerekirse tek er seviyesinde dağıtılarak olası istenmeyen sistem manipülasyonlarının önüne geçileceği değerlendirilmektedir. Kuantum sistemlerinin en büyük dezavantajlarından biri olan sistem hassasiyeti muharebe alanında dost birlikler için bir dezavantaj niteliği taşımasından kaynaklı olarak özellikle bu konu kapsamlı değerlendirmeler ve bilgilendirmeler yapılmalıdır [20, 22].

Uygulama alanı genel olarak taktik birlik seviyesinden ziyade daha geniş bir kapsam alanında olmasından kaynaklı olarak stratejik ve operatif birlik seviyesinde uygulama alanına sahip olacağı değerlendirilmektedir. Bu durum kapsam içinde bulunan personelin bir bütün olarak çalışmasını sağlamak maksadı ile özel birlik kuruluşlarına ihtiyaç duyulabilir.

4.5 Özel Birlik Kuruluşu

Uygulanmak istenen sistemlerin genelinde ihtiyaç duyulan yüksek bilgi seviyesi ihtiyacı nedeni ile konu üzerindeki çalışmaların etkinliğinin sağlanması maksadı ile özel birlik teşkilatlarına başvurularak personelin tek çatı altında toplanması birliğin hızla değişen kuantum teknoloji atılımlarına ayak uydurması sağlanabilir. Özellikle eğitim ve uygulama konularına ağırlık verilmesi ile güncel birlik teşkilatlarından farklı olarak personelin bilgi seviyesinin yeterliliği her gelen sistem güncellemesi ve kullanıcı alanındaki geri bildirimlerin sistemlere uygulanması sağlanabilir. Kuantum teknolojilerinin muharebe sahasında yeni ortaya çıkması, sistemlerin muharebe sahasındaki etkilerinin tam olarak ortaya konulmasının önüne geçilmektedir. Bu nedenlerden dolayı kurulacak teşkilatın muharebe sahasından gelecek olan geri dönüşlere yüksek adaptasyon sağlayacak irtibat ve güncelleme birliklerinde ihtiyaç duyulacağı değerlendirilmektedir. Teşkilatın bir diğer önceliğinin de müttefik ülkelerin kuantum teknolojileri üzerine askeri alanlardaki çalışmalarında iş birliğinin kurulması maksadı ile koordinasyon sağlanmalıdır.

Muharebe sistemlerinin ilgili bölgelere kurulumu, birlikler tarafından kullanıma sunulması, kullanılan sistemlerin güncellenme ve hataların giderilme süreçleri içerisinde karşılaşılabilecek aksaklıklar ve sistemlerin genel itibari ile karmaşık ve hassas olmasından kaynaklı olarak sistemlerin muharebe sahasında etkin kullanımını sağlayacak birliklerin teşkil edilerek muharebe sahasında görev yapması sağlanmalıdır [26].



Şekil 10: Kuantum Revizyonu İcra Planı.

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Tarihte ortaya çıkan teknolojik gelişmeler askeri bilimler üzerinde önemli gelişmelere neden olmuştur. Bu bağlamda 20'nci Yüzyılda ortaya çıkmış olan kuantum fiziğinin teknolojik alanlarda kullanıma sunulması ile askeri bilimler üzerinde etkiler göstermeye başlamıştır. Ülkeler bu gelişmeler çerçevesinde savunma sanayilerini bu alana yönlendirerek stratejik raporlar hazırlamış ve müttefik ülkeleri ile konu kapsamında müşterek çalışmalar yürütme çabaları göstermektedir. Kuantum teknolojileri güncel kullanımda bulunan hedef tespit, keşif, gözetleme, hava savunma, akıllı mühimmat sistemlerine katılarak muharebe alanının yeniden şekillenmesine neden olacak gelişmeler yaşanmaktadır. Kullanıma sunulması ile dost unsurlar üzerinde yapacağı olumlu etkilerin yanı sıra düşman unsurların üzerimizde kullanımı sonucu hassas taraflarımızı sömürerek muharebenin gidişatını kendi avantajlarına çevirecek tehditlere de neden olmaktadır. Kuantum kriptografisi ile muhabere kaynaklarının manipülasyonu ile kriptolu iletişimin açığa çıkarak unsurlar arasındaki iletişimi deşifre edilmesine neden olmasına, radar sistemleri ile akıllı mühimmatların, füze

sistemlerinin ve hava kuvvetleri birliklerinin etkinliğinin azaltılmasına, Kuantum uydu sistemlerinin E/H kapsamında kullanımı telsiz karıştırmaları ile birlikler arası iletişimin sekteye uğratılması sağlanarak dost unsurların muharebe etkinliğinin azalmasına sebebiyet verecek faktörler barındırmaktadır.

Bu kapsamda dost ve müttefik silahlı kuvvetler ile yapılacak teknolojik iş birlikleri ve kendi kaynaklarının kullanımı ile muharebe sahasında kuantum teknolojilerinin kullanımının yaygınlaştırılması çerçevesinde, girişimlerde bulunularak savunma sanayinde gelişmeler için çalışmalar yapılmalıdır. Yaşanacak gelişmeler ile üretilecek olan sistemlerin silahlı kuvvet bünyesinde adaptasyonunun sağlanması maksadı ile bir revizyon çalışması sürdürülmelidir. Uygulamaya alınan diğer sistemlerden farklı olarak daha hassas bir sistem olması ve birinci kullanıcı seviyesinde daha fazla bilgi gereksinimine sahip olunması gerekmesinden kaynaklı olarak özel revizyon planına ihtiyaç duyulacaktır. Kuantum revizyonu kapsamında sistem ihtiyaçlarının belirlenmesi ve prosedürlerin hazırlanması, altyapı çalışmalarının yapılması, personel bilgilendirmesi, özel birlik kuruluşu ve kontrol ve denetlemelerin yapılması konu kapsamında üretici ve birinci kullanıcının koordinasyonu sağlanarak sistemlerin adaptasyon sürecinin hızlanması sağlanacaktır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu araştırma hiçbir dış finansman almamıştır.

YAZAR KATKILARI

Furkan AKKAYA: Veri düzenleme, Analiz, Araştırma, Metodoloji, Kaynaklar, Denetim,

Onaylama, Görselleştirme, Yazma – Taslak, Geçirme ve Düzenleme.

ÇIKAR ÇATIŞMALARI

Yazar, herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir

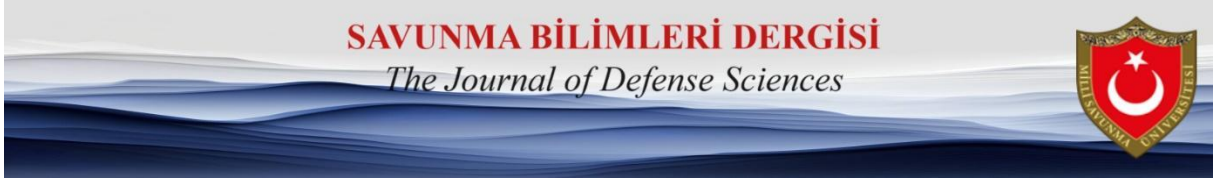
KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Guderian, H. (2012). *Achtung Panzer!* Hachette UK. ISBN: 978-975-282-23-51
- [2] Hossain, K. A. (2023). The potential and challenges of quantum technology in modern era. *Scientific Research Journal*, 11(6).
- [3] Krelina, M. (2021). Quantum technology for military applications. *EPJ Quantum Technology*, 8(1). <https://doi.org/10.1140/epjqt/s40507-021-00113-y>
- [4] Acín, A., Bloch, I., Buhrman, H., Calarco, T., Eichler, C., Eisert, J., Estève, D., Gisin, N., Glaser, S. J., Jelezko, F., Kuhr, S., Lewenstein, M., Riedel, M. F., Schmidt, P. O., Thew, R., Wallraff, A., Walmsley, I. A., & Wilhelm, F. K. (2018). The quantum technologies roadmap: a European community view. *New Journal of Physics*, 20(8), 080201. <https://doi.org/10.1088/1367-2630/aad1ea>
- [5] Gül, Ç. D. (2021). Quantum Technologies (Vol. 4). SETA. <https://setav.org/en/assets/uploads/2023/05/R232En.pdf>
- [6] Griffiths, D. J. (2013). *Kuantum mekaniğine giriş*. ISBN: 978-605-133-640-4
- [7] Ural, M. N. (2021). *Kuantum Hesaplayıcılar ve Kuantum Hesaplamaya Giriş*. Kodlab yayın dağıtım yazılım LTD. ŞTİ. ISBN: 978-605-7744-41-8

- [8] Di Vincenzo D.P. ,1995, Two-bit gates are universal for quantum computation, *Phys.Rev.A*, 51, 1015-1022
- [9] Hidary, J. D. (2021). *Quantum Computing: an Applied Approach*. Springer. ISBN: 978-3-030-83273
- [10] Heisenberg, W. Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik. *Z. Physik* 43, 172–198 (1927). <https://doi.org/10.1007/BF01397280>
- [11] Ho, N. (2024, January 23). Why quantum computers resemble chandeliers? pQCee Pte Ltd. <https://qcve.org/blog/why-quantum-computers-resemble-chandeliers>
- [12] Choi, D. (2023). Quantum Technology and the Military-Revolution or Hype?: The impact of emerging quantum technologies on future warfare. *Expeditions With MCUP*, 2023. <https://doi.org/10.36304/expwmcup.2023.11>
- [13] Fisher, C. (2022). IBM | Quantum Computing. IBM Quantum. <https://www.ibm.com/quantum-computing/>
- [14] Tanenbaum, A. S. (2021). *Computer networks*. Prentice Hall. Inglesant, P., Jirotko, M., & Hartswood, M. (2018). Responsible innovation in quantum technologies applied to defence and national security. *NQIT (Networked Quantum Information Technologies)*.
- [15] Defense primer: quantum technology. (2023). Congressional Research Service, IF11836. <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/download/IF/IF11836/IF11836.pdf>

- [16] Chengqiang Zhao, Wenlin Gong, Mingliang Chen, Enrong Li, Hui Wang, Wendong Xu, and Shensheng Han, "Ghost Imaging Lidar via Sparsity Constraints," *Applied Physics Letters*, Vol. 101, No. 14, 2012, Figure 2, p. 141123-2, used with the permission of AIP Publishing
- [17] Sidhu, J. S., Joshi, S. K., Gündoğan, M., Brougham, T., Lowndes, D., Mazzarella, L., Krutzik, M., Mohapatra, S. R. P., Dequal, D., Vallone, G., Villoresi, P., Ling, A., Jennewein, T., Mohageg, M., Rarity, J., Fuentes, I., Pirandola, S., & Oi, D. K. L. (2021). Advances in space quantum communications. *IET Quantum Communication*, 2(4), 182–217. <https://doi.org/10.1049/qtc2.12015>
- [18] X. Qiang, X. Zhou, J. Wang, C. M. Wilkes, T. Loke, S. O' Gara, L. Kling, G. D. Marshall, R. Santagati, T. C. Ralph, et al. Large-scale silicon quantum photonics implementing arbitrary two-qubit process-ing. *Nature Photonics*, 12(9):534, 2018. arXiv: 1809.09791.
- [19] Defence Science and Technology Laboratory. A perspective of UK Quantum Technology prepared by and for the UK Quantum Technology Community. 2016. Available at: <http://uknqt.epsrc.ac.uk/files/ukquantumtechnologylandscape2016/>.
- [20] Nato. (n.d.). Summary of NATO's quantum Technologies strategy. NATO. https://www.nato.int/cps/en/natohq/official_texts_221777.htm
- [21] National Quantum Strategy. (2023). In <https://www.gov.uk/government/publications/national-quantum-strategy>. Department of Science, Inovation and Technology. https://assets.publishing.service.gov.uk/media/6411a602e90e0776996a4ade/national_quantum_strategy.pdf
- [22] Zaiser, S., Rendler, T., Jakobi, I., Wolf, T., Lee, S., Wagner, S., Bergholm, V., Schulte-Herbrüggen, T., Neumann, P., & Wrachtrup, J. (2016). Enhancing quantum sensing sensitivity by a quantum memory. *Nature Communications*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/ncomms12279>
- [23] Susskind, L., & Friedman, A. (2014). *Quantum Mechanics: the theoretical minimum*. Penguin UK. ISBN: 978-014-1977-81-2
- [24] Feynman, R. P., Leighton, R. B., & Sands, M. L. (2016). *Feynman fizik dersleri*. ISBN: 978-605-171-343-4 (tk)
- [25] Pritchard, P., & (PhD) Till, S. (2014). *UK Quantum Technology Landscape (DSTL/PUB75620)*. Defence Science and Technology Laboratory. <https://www.quantumcommshub.net/wp-content/uploads/2020/09/QuantumTechnologyLandscape.pdf>
- [26] Akıncı, E. (2007). *Türk Savunma Sanayiinde Teknoloji Ve Strateji* [Master Thesis, İstanbul Teknik Üniversitesi]. <https://polen.itu.edu.tr/bitstreams/30f6f59a-f6c8-4cc0-a0e0-2da1865117d5/download>
- [27] Comparison of classical and quantum cryptography using QKD simulator. (n.d.). IEEE Conference Publication | IEEE Xplore. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8390120>
- [28] Havenstein, Christopher; Thomas, Damarcus; and Chandrasekaran, Swami (2018) "Comparisons of Performance between Quantum and Classical Machine Learning," *SMU Data Science Review*: Vol. 1: No. 4, Article 11.

- [29] Parker, E. (2022). Commercial and military applications and timelines for quantum technology.
- [30] Fabbri, N., De Natale, P., & Cataliotti, F. S. (2022). Quantum sensing technologies for Defence applications: the project QUANDO. Istituto Nazionale Di Ottica Consiglio Nazionale Delle Ricerche, and LENS European Laboratory. <https://doi.org/10.23919/irs54158.2022.9904994>
- [31] Krelina, M. (2020). Quantum Warfare: Definitions, Overview and challenges [Czech Technical University]. <https://indianstrategicknowledgeonline.com/web/2103.12548.pdf>
- [32] Wang, Y. Quantum computation and quantum information. *Statistical Science*, (27), (3) 2012
- [33] Koch, C. P., Boscain, U., Calarco, T., Dirr, G., Filipp, S., Glaser, S. J., Kosloff, R., Montangero, S., Schulte-Herbrüggen, T., Sugny, D., & Wilhelm, F. K. (2022). Quantum optimal control in quantum technologies. Strategic report on current status, visions and goals for research in Europe. *EPJ Quantum Technology*, 9(1). <https://doi.org/10.1140/epjqt/s40507-022-00138-x>
- [34] Danon, J., Ali, S., Fuchs, F. G., UiO, N. L., Selstø, S., UiO, S. V., & UiO, J. W. Quantum Technology in Norway Proposal for a National Funding Strategy.
- [35] Wawrzyniak, Z. (2023). Quantum Computing – Challenges For The Military Needs. *Elektronika*, 1(8), 88–91. <https://doi.org/10.15199/13.2023.8.17>
- [36] Magnuson, S. (2019). Quantum Technology: Defense Community Slow to Grasp Potential of Quantum-Based Devices. *National Defense*, 103(784), 20–25. <https://www.jstor.org/stable/27022507>



<https://dergi.park.org.tr/tr/pub/khosbd>

Yetenek Temelli Savunma Planlaması için Bulanık AHP-TOPSIS ile Silah Seçimi

Weapon Selection with Fuzzy AHP-TOPSIS for Capability-Based Defense Planning

Serkan AKSOY¹  Memduh BEĞENİRBAŞ²  Kemal Gürol KURTAY^{3*} 

¹ Milli Savunma Üniversitesi, Alparslan Savunma Bilimleri ve Millî Güvenlik Enstitüsü, Savunma Tedarik ve Lojistik Yönetimi, Çankaya/Ankara

² Milli Savunma Üniversitesi, Kara Harp Okulu Dekanlığı, Savunma Yönetimi Bölümü, Çankaya/Ankara

³ Milli Savunma Üniversitesi, Kara Harp Okulu Dekanlığı, Endüstri ve Sistem Mühendisliği Çankaya/Ankara

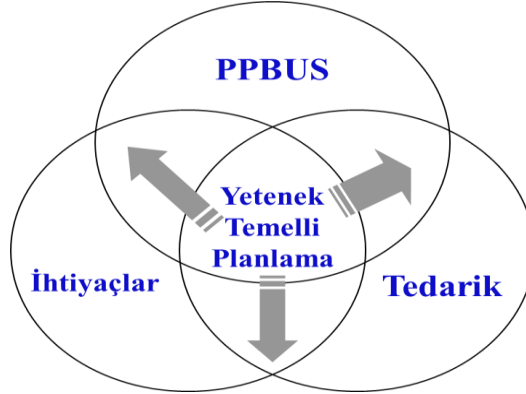
Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 03.06.2024
Düzeltilme: 24.07.2024
Kabul: 10.09.2024

Önemli Noktalar

- Senaryo tabanlı risk değerlendirmesi ile savunma planlaması.
- Yetenek temelli silah seçimi.
- Bulanık AHP ve TOPSIS entegrasyonu ile sistem değerlendirmesi.

Grafiksel Özet



Keywords

Defense planning,
Capability-based planning,
TOPSIS,
Fuzzy AHP,
Weapon Selection.

Anahtar Kelimeler

Savunma planlaması,
Yetenek temelli planlama,
TOPSIS,
Bulanık AHP,
Silah Seçimi.

Özet

Yetenek temelli planlama (YTP), yeni bir paradigma olup stratejik veya uzun vadeli planlama için analitik bir çerçeve sunarak yetenek kavramını kullanmaktadır. Bu çalışmada askeri hedefleri sağlayabilecek yetenekler için 6 farklı senaryo oluşturulmuş ve buna göre YTP içerisinde her bir senaryo için meydana gelme riski hesabı yapılmıştır. Belirlenen hedeflerin başarılı olması için gerekli olan alt yetenekler tanımlanmıştır. Askeri hedeflerin karşılanmasına yönelik silah seçim problemi için Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), ile kriter ağırlıkları hesaplanmış ve İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Sıra Tercihi Tekniği (TOPSIS) metodu ile önceliklendirilmesi yapılmıştır. Bu çalışmanın ana motivasyonu literatürdeki senaryo tabanlı yeteneklerin belirlenmesi ve değerlendirilmesi için karar süreçlerine ait analitik değerlendirmeye yönelik boşluğu doldurmaktır.

Abstract

Capability-based planning (CAP) is a new paradigm that uses the concept of capability to provide an analytical framework for strategic or long-term planning. In this study, 6 different scenarios were created for the capabilities that can meet military objectives, and accordingly, the risk of occurrence for each scenario was calculated within the CAP. The sub-skills necessary for the success of the determined goals have been defined. For the weapon selection problem to meet military objectives, criterion weights were calculated with Fuzzy Analytical Hierarchy Process(AHP), one of the Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods, and prioritized with the Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) method. The main motivation of this study is to fill the gap in the literature regarding analytical evaluation of decision processes for identifying and evaluating scenario-based capabilities.

*Corresponding author, e-mail: kkurtay@kho.msu.edu.tr

DOI: 10.17134/khosbd.1494965

Elektronik/Online ISSN:1303-6831

Basılı/Printed ISSN:2148-1776

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Her gelişmiş ülkede silahlı kuvvetler, güvenlik politikasının uygulanmasına yönelik temel bir savunma bileşenini oluşturmaktadır. Böyle bir görevi verimli bir şekilde yerine getirmek için silahlı kuvvetlerin ulusal güvenliğe yönelik en olası tehditlere karşı hazır olmaları gerekmektedir. Bu kapsamda en uygun yetenek ihtiyaçlarının belirlenmesi ve uygulanması ülkelerin güvenliği için büyük önem taşımaktadır. Yetenek temelli planlama (YTP), nispeten yeni bir paradigma olup, stratejik veya uzun vadeli planlama için analitik bir çerçeve sunarak yetenek kavramını kullanmaktadır.

Yeteneğin savunma literatüründe tanımı, bir operasyonel etki elde etme veya kapasitesi olarak belirtilebilir [1]. YTP süreci ise, belirsizlik altında planlama yapmayı gerektiren ekonomik bir çerçeve içinde çalışırken, günümüzün çeşitli zorluklarına ve koşullarına uygun yeteneklerin sağlanması için kapsayıcı bir planlama çerçevesi olarak tanımlanır. Dünyanın farklı bölgelerindeki birçok savunma birimi, ABD, İngiltere, Kanada, Avustralya Savunma Kuvvetleri dâhil olmak üzere gelecekte etkili bir şekilde çalışabilecek kuvvet yapılarını geliştirmek için YTP kullanmaktadır. Bu birimler, gelecekte ortaya çıkabilecek çeşitli senaryolar kapsamında YTP'yi uygulayarak gelecekteki yeteneklerini optimize etme amacındadır [2].

Yetenek temelli savunma planlaması içinde program yönetimi ve belirli proje portföyü (silah sistemleri) seçimi ile planlama ve yürütme süreçleri kritik bir öneme sahiptir. Bir program, “kurumun stratejik hedefleriyle ilgili sonuçları ve faydaları sağlamak için bir dizi ilgili proje ve faaliyetin uygulanmasını koordine etmek,

yönlendirmek ve denetlemek için oluşturulan geçici, esnek bir plan” olarak adlandırılır [3]. Program yönetimi, tüm mevcut, önerilen ve beklemedeki projelerin (çalışmada silah sistemleridir) tanımlanması dahil olmak üzere dört temel süreci içermektedir [4]. Bunlar; *projelerin stratejik önemlerine göre önceliklendirilmesi, optimal proje karmasının seçimi, ilerleme ve izleme* şeklinde ifade edilebilir.

Savunma sektöründe, YTP süreci, diğer sektörlerde karşılaşılan standart proje portföyü seçimi sorununa ek zorluklar sunmaktadır. Bu zorluklar arasında çok yüksek maliyetli yatırım kararları, uzun vadeli yetenek geliştirme süreçleri ve yönetim tarafından uygulanan sıkı bütçe kısıtlamaları yer almaktadır. Savunma planlamasına yönelik problemleri diğer sektörlerde ait problemlerden ayıran iki temel faktör ise optimizasyon hedeflerinin ve bu hedeflerle ilişkili belirsizliğin türüdür. Savunmada en büyük endişe ulusal güvenliktir. Savunma portföyü optimizasyonunda, stratejik riskin en aza indirilmesi birincil öncelik haline gelmiştir. Savunma sektöründe, stratejik risk genellikle derin belirsizlikle ilişkilidir. Bu belirsizlik, yönetim ve siyasi değişiklikler, ulusal güvenlik politikaları ve tehdit senaryoları gibi genel iş sorunlarından kaynaklanabilir. Senaryo tabanlı yaklaşımlar, bu tür koşullarda planlama yapmak için sıklıkla tercih edilir.

Bu çalışmada, YTP süreci içerisinde yer alan ve en önemli aşamalardan biri olan yeteneklerin önceliklendirilmesi üzerinde durulmuştur. Savunma planlaması içerisinde yetenek planlamaları yapılırken bazı kısıtlar ve karşılanması gereken hedefler mevcuttur.

Konuya yönelik literatür ve ülkelerin uygulamaları incelendiğinde yeteneklerin belirlenmesinde en çok karşımıza çıkan risk değerlendirilmesi, bütçe kısıtı ve projelerin yetenekleridir. Ayrıca yine literatürde yapılan incelemede yeteneklerin belirlenmesi ve değerlendirilmesine yönelik karar verme süreçlerinin, sayısallaştırılmış değerlendirmelerin eksik olduğu gözlemlenmiştir. Karar vericilerin savunma planlaması sürecinde daha çok sezgisel yöntemlerle çalıştığı göz önünde bulundurulduğunda, yeteneklerin belirlenmesinin artık daha zorlaştığı günümüz güvenlik koşullarında sayısallaştırılmış karar destek yöntemlerinden faydalanılması gerektiği fikri ön plana çıkmıştır.

YTP, savunma geliştirme planlamasına yönelik baskın çağdaş yaklaşımlardan biridir ve nihai hedefi, devletin görevlerini yerine getirebilmeleri için gerekli yetenekleri sağlamaktır. Bu yetenekleri geliştirmek için çeşitli seçenekler vardır ancak hangi seçeneğin en uygun olduğunun belirlenmesi ve önceliklendirilmesi öncelik arz etmektedir. Ayrıca güvenliğin sağlanmasındaki çok karmaşık dinamikler ve belirsizlikler ile savunmaya ayrılan sınırlı kaynaklar ve riskleri de dikkate almak gerekmektedir [5].

Askeri görevlerin başarıyla gerçekleştirilebilmesi için yakın, orta ve uzun vadede ne gibi yeteneklere ihtiyaç duyulduğunun belirlenmesi kritik bir öneme sahiptir. Gelecekte güvenlik birimlerine yüklenen görevlerin başarısı, gerçek yeteneklerin belirlenmesiyle doğru orantılıdır. Bu yeteneklerin tespiti yapıldıktan sonra, mevcut olanlarla karşılaştırılması ve aralarındaki

boşlukların saptanarak *yetenek açıklarının* ortaya çıkarılması şarttır. Bu tespit edilen yetenek açıkları, bir plan dâhilinde özellikle öncelik sırasına göre ele alınmalı ve giderilmelidir. Dolayısıyla yeteneklerin önceliklendirilmesi etkili bir savunma planlaması için yapılması gerekenlerin başında gelmektedir [6].

2. LİTERATÜR TARAMASI (LITERATURE REVIEW)

Literatürde yapılan incelemede; silah sistemlerinin seçimine yönelik çalışmalar olsa da bunu bir yetenek karması halinde inceleyen, yetenek temelli ve analitik yöntemlerin bir arada kullanıldığı, savunma planlamasına uyumlu bir şekilde yapılan çok fazla çalışma olmadığı gözlemlenmiştir.

Yetenek gereksinimlerinin belirlenmesi, YTP sürecindeki en karmaşık aşamalardan biridir [7]. Bu aşamanın anlamı, belirli standartlar ve koşullar altında görevleri gerçekleştirmek ve istenen operasyonel etkileri elde etmek için gereken yetenekleri belirlemektir.

Söz konusu yeteneklerin belirlenmesi ve yeteneklerin önceliklendirilmesi vb. süreçler için sabit bir metodoloji bulunmamaktadır. Her savunma planlamasının ve her uygulamanın kendine özgü gereksinimleri vardır. Savunma planlamasında analitik süreçlerin de ağırlık kazanması ile analitik yaklaşımlar bu yeteneklerin belirlenmesi veya önceliklendirilmesinde önemli rol oynamaktadır [8].

YTP, ülke güvenlik politikasının yönlendirmesinin yanı sıra teknolojik gelecek için güvenlik ortamının veya savunma hedeflerinin ve görevlerinin neler olabileceğinin

öngörüsü ve analizi ile başlar. Literatürde YTP'nin farklı tasarımları bulunmasına rağmen çıktısı her zaman istenilen yeteneklere sahip olan kuvvet yapısıdır. Bu kuvvet yapısının en önemli bileşenlerinden birisi de silah sistemleri yani savunma projeleridir.

Campbell tarafından vurgulanan en önemli husus ise, tanımlanan çeşitli yetenek gereksinimlerinin önceliklerini belirlemek için resmi analitik metodolojilerin çok az kullanımıdır. Bunun yerine, karar vericinin yargısı en yaygın yaklaşım olarak belirtilmiştir. Uzun vadeli savunma planlamasını desteklemek için çeşitli analitik yöntemler, modeller ve araçlar kullanılabilir [9].

Analitik sürecin optimizasyonunun yapılması yetenek alternatifleri arasından, tanımlanan yetenek eksikliklerine göre en iyi seçeneği bulabilme imkânı sağlar. Optimizasyonun temel amacı, belirli bir yetenek eksikliğini ele alan bireysel bir alternatifin askeri değerini, ele aldığı yetenek eksikliğinin önemine dayanarak, minimum maliyet için maksimum etkinlik değeri sağlayan çözümleri belirlemektir. Çözümün fizibilitesi, gerekli askeri personel sayısı, minimum etkinlik puanı gibi çeşitli kısıtlamalarla sınırlıdır [10].

Kaynakların tahsisi genellikle birbiriyle çelişen veya seçim yapılması gereken hedefler içerir. Birden fazla hedef olması durumunda, karar verici bu hedeflerin göreceli önemini (ağırlığını) ayarlayabilir ve herhangi bir Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) tekniği kullanarak seçeneklerin ağırlıklarını bulabilir. Bunları önem derecelerine göre sıralar, sıralanan listeyi istenen yeteneklere göre değerlendirerek hangi seçenekleri seçeceğine karar verir.

ÇKKV tekniklerinin yanında savunma yönetiminin planlanmasında ele alınabilecek askeri problem sahalarının bir çoğunun çözümünde yöneylem araştırması da kullanılmaktadır. Yöneylem araştırmasının en yaygın askeri kullanım alanları Tablo-1'de sunulmuştur [11].

Konu hakkında farklı çalışmalar ve uygulamalarda kritik hassasiyetler, kritik ihtiyaçlar ve kritik yeteneklerin belirlenmesi ve önceliklendirilmesinde bilimsel karar destek yöntemlerinin (Bayes Olasılık Teoremi, ÇKKV yöntemleri vb.) kullanılmasının faydalı olacağı belirtilmiştir [9, 12 – 20].

ÇKKV, birden fazla kriteri göz önünde bulunduran karmaşık problemlerin çözümü için oldukça faydalıdır. Savunma planlamasında farklı tehdit senaryoları, kaynak kısıtlamaları, stratejik hedefler gibi pek çok faktör bir araya gelmektedir [21].

Bu tür bir planlama, genellikle karmaşık ve çok boyutlu bir karar verme sürecini gerektirir. Her bir sistem farklı maliyetler, kapasiteler, etkinlik seviyeleri ve bakım gereksinimleri gibi birçok kriteri barındırabilir.

Yetenek temelli savunma planlaması yapılırken, ÇKKV yöntemleri bu tür karmaşık değişkenleri dikkate alabilir. Bunlar arasında AHP, TOPSIS, Elimination and Choice Translating Reality (ELECTRE) ve, The Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation (PROMETHEE) gibi yöntemler bulunmaktadır.

Tablo 1: Yöneylem Araştırmasının Yaygın Askeri Kullanım Alanları.

Sıra Nu.	Kullanım Alanı	Sıra Nu.	Kullanım Alanı
1	Savunma planlarının oluşturulması	11	İkmal noktalarının belirlenmesi
2	Harekât ihtiyaçlarının analizi	12	İkmal dağıtım yollarının seçilmesi
3	Harekât planlaması	13	Kaynak planlaması
4	Birliklerin konuşlandırılması	14	Ulaştırma
5	Silah sistemlerinin geliştirilmesi	15	İnsan gücü planlaması
6	Taktik alternatiflerin seçimi	16	Kuvvet yapılarının değerlendirilmesi
7	Tehdit analizi	17	Kuvvet planlaması
8	Hedef analizi ve ateş planlaması	18	Bakım ve onarım
9	Kriz yönetimi	19	Tesis yeri seçimi
10	Lojistik faaliyetlerin planlanması	20	Savunma bütçesinin planlanması

Özellikle TOPSIS, ideal çözüme en yakın ve ideal olmayan çözüme en uzak alternatifleri belirlemek için kullanılır. Bu yöntem, her bir alternatifin pozitif (ideal) ve negatif (ideal olmayan) çözümlere olan yakınlığını ölçer ve bir sıralama yapar. Bu sayede, karar vericilerin hangi savunma yeteneklerinin en uygun olduğunu daha kolay bir şekilde belirleyebilmelerine imkân sunmaktadır. Bu tür bir yaklaşım, savunma kaynaklarını daha etkin bir şekilde tahsis etmek, çeşitli tehdit ve riskleri daha iyi değerlendirmek için kritik öneme sahiptir [22]. Bizkevelci ve Çakmak iki senaryo için görev gereksinimlerini önceliklendirmiştir [12]. Söz konusu çalışmada görev gereksinimlerine göre belirlenen faaliyetler doğrultusunda, her senaryo için teknoloji alanları da önceliklendirilmiştir. Önceliklendirme sonuçları, her senaryo için belirli görev gereksinimlerinin ve teknoloji alanlarının

önemini göstermektedir. Özellikle hedef tespiti, hedef tanıma, güvenilir iletişim ve uzun süre dayanabilme gibi gereksinimlerin öncelikli olduğu dikkat çekmektedir [12].

Silah sistemlerinin seçiminin optimizasyonuna yönelik 1999-2020 yılları arasındaki çalışmalar incelenmiş ve bu kapsamda 54 çalışma tespit edilmiştir. 54 çalışma içerisinde 46 çalışmada ÇKKV yöntemi kullanılmıştır.

Farklı senaryolara göre farklı ihtiyaçlar ortaya çıkmış, dolayısıyla projelerin öncelikleri de aynı şekilde değişiklik göstermektedir. Analitik yöntemlere yönelik özellikle savunma literatüründe yeterince çalışma bulunmadığından Bulanık AHP-TOPSIS hibrit metodolojisi benimsenmiştir.

3. YETENEK TEMELLİ PLANLAMA (ABILITY-BASED PLANNING)

20. yüzyılın sonlarına doğru, asimetrik güvenlik sorunları birçok ülke için en önemli ulusal güvenlik tehdidi haline gelmiştir. Bu durum, bazı ülkelerin savunma güçlerini her türlü zorlukları daha etkin bir şekilde ele almak için uyarılma ve modernize etme ihtiyacını ortaya çıkarmıştır [23].

Özellikle Soğuk Savaşın sona ermesinden günümüze kadar ülkelerin silahlı kuvvetleri aynı anda birden çok ve çeşitli tehditlere karşı hazır olmak zorundadır. Kimyasal, biyolojik, radyolojik ve nükleer silahların yayılmasını önlemek, uluslararası organize suç ve terör örgütleriyle savaşmak ve doğal afetlere müdahale etmek, askeri birliklerin bu dönemde yerine getirdiği çeşitli görevler arasında sıralanabilir. Bu farklı görevleri yerine getirebilmek için farklı yeteneklere ihtiyaç duyulmaktadır.

Stratejik savunma planlaması sonucunda ortaya çıkan nihai ürünler; ülkelerin sınırlı mali durumlarını göz önünde bulundurarak ulusal ve kolektif çıkarlarını ilerletmek amacıyla gelecekteki güvenlik ortamının risk ve tehditleriyle yüzleşmek için ihtiyaç duydukları yeteneklerdir. Temel amaç, kamu harcamalarının azaldığı ve satın alma süreçlerinde verimlilik, hesap verebilirlik ve şeffaflık taleplerinin arttığı bir dönemde, savunma kabiliyetini sürdürebilmektir.

NATO Savunma Planlama Süreci (NATO Defence Planning Process- NDPP), temel ve devamlı amacı olan üye ülkelerin güvenliğinin temini maksadıyla dönemler halinde yürütülen savunma planlama faaliyetlerinin genel adıdır [24]. NDPP, 4 yıllık dönemi kapsayan ve 5 safhadan oluşan bir süreçtir. Yapısı itibarıyla dönemler ardışık olarak devam etse de, dönem içindeki safhaların bazı faaliyetleri bir önceki dönemde başlar ve bir sonraki dönem içinde de devam eder [25].

NATO [26] savunma planlamalarına ilişkin çeşitli yöntemleri ortaya koymuş olup söz konusu planlara aşağıda başlıklar halinde yer verilmektedir.

- *Yeteneğe Dayalı Planlama:* Bu yaklaşım, gelecekte karşılaşılabilecek muhtemel tehditlerin ve olayların analitik bir incelemesini içerir. Savunma yetenekleri, kuvvetlere verilen görevlere göre yani muhtemel senaryolara göre belirlenir. Muhtemel senaryolardaki tehditlere karşı genel yetenek ihtiyaçları belirlenir.

- *Senaryo Tabanlı Planlama:* Savunma yeteneği gereksinimleri için çeşitli kriterlerle oluşturulmuş muhtemel olaylara yönelik senaryolar kullanılır.

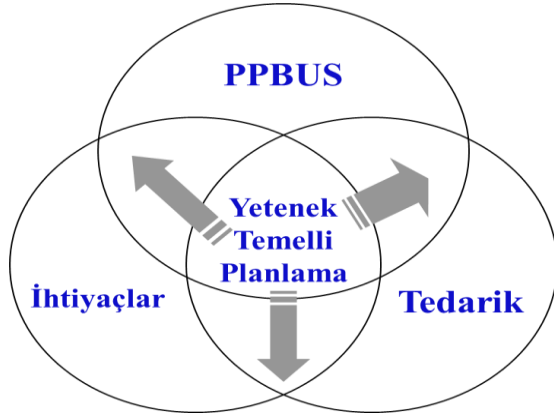
Bu senaryolar genellikle varsayımsal olarak oluşturulur.

- *Tehdit Temelli Planlama:* Tehdit temelli planlama, gelecekteki potansiyel düşmanları ve tehditleri esas alır. Düşman ve sahip olduğu yetenekler belirlenir, müteakiben bu düşmanı bertaraf etmeye yönelik yetenekler geliştirilir.

- *Görev Temelli Planlama:* Bu planlama yöntemi, silahlı kuvvetlerin misyonuna ve ana görevlerine odaklanmaktadır. Normalde ana görev ve görevler barış zamanı, kriz zamanı ve savaş zamanı olarak ayrılır. Tüm görev yelpazesini yerine getirmek için hem sabit hem de konuşlandırılabilir yetenekleri değerlendirilir.

Amerika Birleşik Devletleri'nde Planlama, Programlama, Bütçeleme ve Uygulama Sistemi (PPBUS), 1960'larda stratejileri, ülkenin politika hedeflerini en iyi şekilde karşılayan ve bütçe kısıtlamalarına uyan programlara bağlamak için Amerika Birleşik Devletleri Savunma Bakanlığı'nda (DoD) tanıtılmıştır [27]. PPBUS'nin amacı bir plan, ardından planın hedeflerini karşılayacak programlar ve mali kısıtlamalar dahilinde seçilen programları finanse eden bir bütçe üretmektir. Uzun bir zaman çerçevesi dikkate alındığında, bütçe planlaması yapılırken PPBUS sayesinde mevcut alternatifler arasından seçim yapılırken daha bilinçli karar alınmasına olanak sağlanmaktadır. Daha fazla seçeneğin mevcudiyeti ve sistem analizi araçlarını kullanarak bu seçeneklerin daha derinlemesine araştırılması yoluyla PPBUS, politika hedeflerini karşılayan programları seçerken kaynakları en uygun şekilde tahsis etmektedir [28].

Dolayısıyla PPBUS, YTP içerisinde vazgeçilmez bir yere sahiptir. Bu kapsamda PPBUS süreci ile YTP arasındaki ilişki Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1: PPBUS ve Yetenek Temelli Planlama ilişkisi [6].

Belirlenecek ihtiyaçların, yeni bir silah/sistem/malzeme tedariki veya mevcut sistemlerin modernizasyonu ile giderilebileceği değerlendirildiği takdirde, PPBUS sürecine alınır. PPBUS, silahlı kuvvetler bünyesinde yürütülen tüm savunma planlama çalışmalarına esas teşkil etmelidir.

Savunma planlamasının kesin olarak bilindiği varsayılan bir gelecek için sürekli sabit planlamalar ve sonuçlar oluşturduğunu düşünmek çok büyük bir hatadır çünkü zaman ve koşullar sürekli değiştiği ve dünyadaki savunma algısı evrim geçirdiği için gelecekteki öngörüler de değişmektedir [29].

Ekonomi, stratejik planlamanın vazgeçilmez bir bileşenidir ve belirlenen her savunma stratejisinin uygulanabilmesi için gereken araçlar ve kaynaklar ekonomi tarafından sağlanır. Savunma bütçesinin belirlenmesi siyasi bir süreçtir ve ekonomi, bu sürecin kilit bir parçasıdır [30]. Savunma planlaması yapan kişiler, mevcut ekonomik duruma göre hangi yeteneklerin

geliştirilmesi gerektiğini belirlemeli ve ekonomik sınırlamaları dikkate almalıdır.

Günümüzde, Batı ülkeleri soğuk savaş dönemindeki gibi güç gösterisinde bulunmak yerine, vatandaşların sosyal refahını artırmak için kamu yatırımlarını öncelikli hale getirmiştir [31]. Sağlık, eğitim gibi sosyal hizmetlere yapılan harcamalar, genel bütçenin büyük bir kısmını oluşturur ve önceliği alır. Bu nedenle, silahlı kuvvetler genellikle bu sosyal harcamaların ardından kalan bütçeden faydalanmaya çalışır.

Savunmanın etkinliğini ölçmek, savunma planlamacıları için önemli bir zorluktur. Kullanılan tankların sayısını belirlemek basit olabilir ancak bunların etkinliğini değerlendirmek veya operasyonel kavramları ölçmek oldukça karmaşıktır [31].

Gelecekte caydırıcılık, silah ve sistemlerde sayı üstünlüğü yerine, etki üstünlüğü ile sağlanabilecektir. Etki üstünlüğü ise; eğitim, disiplin, moral ve motivasyon, sevk ve idare üstünlüklerinin yanı sıra esas olarak teknolojik üstünlükle sağlanan nitelik üstünlüğü ile gerçekleştirilebilecektir. Bu kapsamda modernizasyon ihtiyaçları, silahlı kuvvetlerin kendisine verilen veya konseptler doğrultusunda verilecek harekât görevlerini başarabilmek ve konseptlerin ortaya koyduğu stratejileri uygulamak için ihtiyaç duyduğu; silah, sistem, malzeme, teçhizat, araç ve gereçlerden oluşan ihtiyaçlardır. Harekât ihtiyacının doğru olarak tespit edilmesi, bütün tedarik faaliyetlerine yön verdiğinden, ihtiyaçlar her seviyede bilimsel yöntemler kullanılarak ortaya konmalı ve savunma yönetimi süreci buna göre ele alınmalıdır.

3.1. Harekât Etkinlik Değeri (HED, Operational Lethality Index_OLI)

Savunma planlamalarına yönelik süreçler çok uzun sürmekte ve ciddi planlamalar gerektirmektedir. Savunma sistemlerinin önceliklendirilmesi, hem karar vericilere etkili kuvvet yapısı oluşturmada bir öneri sağlamakta hem de savunma sanayisinde faaliyet gösteren firmalara bir projeksiyon oluşturmaktadır. Bu süreçlerin çok fazla bilgi ve veri içermesinden dolayı karar makamlarının ve planlayıcıların sağlıklı karar verebilmesi için analitik yöntemlerin kullanılması gerekmektedir. Özellikle doğru ve etkin kuvvet yapılarının belirlenmesinde yöneylem araştırması gibi analitik süreçlerin kullanılması ve özellikle çok kriterli karar verme yöntemlerinden istifade edilmesi tavsiye edilmektedir. Askeri alanda ve diğer uygulama alanlarında ÇKKV ve Bulanık ÇKKV yaklaşımlarının üstün özellikleri ile çözüm getirilmesi literatürde oldukça sık kullanılmaktadır [32 – 37]. Savaşın nicel analizi, tarihsel analizlerden farklı olarak çatışmaların matematiksel ve istatistiksel yönlerine odaklanarak gerçekleştirilir. Nicel analizler geniş bir bilgi ve veri yelpazesi sunar. Nicel ölçümler, savaşta trendleri belirleme, silah sistemlerini belirlenmiş taktiklere göre test etme, simüle edilmiş savaş koşullarında personeli eğitime ve çeşitli savaş senaryoları altında savaş derslerini doğrulama kapasitesine sahiptir. Her nicel analiz, basitleştirilmiş varsayımların dâhil edildiği ve her faktörün modelde hesaba katılamayacağını kabul edildiği, gerçek savaş ortamının benzetilmeye çalışıldığı analitik çalışmalardır. Bununla birlikte, seçici ve uygun yöntemin uygun ortamda kullanıldığında nicel yöntemler,

kuvvet etkinliğinin artmasına önemli katkı sağlamaktadır [38].

Savaş sonucunda çıkarılacak dersler, yalnızca olumlu derslerin incelenmesi anlamına gelmez, muhtemelen savaşın olumsuz dersleri daha öğretici olabilmektedir. Bir muharebedeki mağlubiyet, o mağlubiyete yol açan faktörlerin titiz bir şekilde incelenmesine neden olur. Savaşta yaşanan başarısızlıkların iç muhasebesi ve nedenleri, gelecekteki bir savaşta performansının iyileştirilmesine önemli katkılar sağlayabilmektedir [39].

Nicelikli Yargılama Yöntemi (QJMA) Tarihsel Değerlendirme ve Araştırma Kurumu tarafından, savaş gücünü değerlendirmek ve ölçmek için Dupuy Associates, Inc. tarafından geliştirilen bir araçtır [39]. QJMA modeli, savaş veya çatışma sonuçlarını belirlemek için bilgisayar tabanlı savaş simülasyonlarına yönelik tasarlanmış bir yaklaşımdır. QJMA'nın temeli, bireysel silah sistemlerinin ölümcüllüğünün veya Teorik Ölümcül İndeksi'nin (TLI) nicelleştirilmesidir. TLI, bir silah sisteminin savaş potansiyelini veya gücünü değerlendirmek için katı bir nicel yaklaşım sunmaktadır. TLI; atış hızı, hedefler üzerindeki etki, menzil, doğruluk, güvenilirlik gibi silah sistemlerinin çeşitli faktörlerini dikkate alır. Bunun gibi çeşitli değerler bir araya getirilerek, ideal koşullarda bir silah sisteminin TLI değeri hesaplanmaktadır. TLI değeri Harekât Etkinlik Değerlerine (OLI) dönüştürülerek savaş alanındaki etkinliği yansıtacak bir değere ulaşılmaktadır [39]. OLI halihazırda silah sistemlerinin etkinliklerinin değerlendirilmesine yönelik en fazla alt kriteri (73 adet) içeren ve gerçek savaş koşullarında tecrübe edilmiş, geçerliliği ispatlanmış bir değerdir [39 – 41].

Bu değerin çalışmada kullanım gerekçesi hâlihazırda literatürde gerçek savaş şartları ile geçerliliği kanıtlanmış ve günümüzde çeşitli silahlı kuvvetler tarafından kuvvet planlamalarında veya harp hazırlıklarında kullanılıyor olmasıdır. Bu yapılan çalışmada da silah sistemleri için parametre değerleri olarak kullanılacak ve seçimi etkileyen ölümcüllük katsayısı olarak ele alınacaktır.

4. PROBLEMİN TANIMLANMASI (DEFINITION OF THE PROBLEM)

YTP, belirsizliği yönetme stratejisidir. Bu yaklaşımın temelinde, potansiyel senaryoları ve bu senaryoların oluşturduğu senaryo yelpazesini doğru ve tutarlı bir şekilde tanımlama gereksinimi yatmaktadır. Bu durum bir ülkenin belirlenen senaryolara uygun şekilde yeteneklerini en üst düzeyde kullanmasını mümkün kılar.

YTP'nin her ülkede farklılık gösterdiği göz önüne alındığında NATO metodolojisi örnek alınmıştır. Çalışma YTP özelinde yapıldığından farklı senaryoların oluşturulması ve gösterilmesi gerekmektedir. Senaryoların, herhangi bir ülkeye atıfta bulunabileceği göz önünde bulundurularak jenerik olarak oluşturulmasının daha doğru olacağı değerlendirilmiştir. Ayrıca literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde senaryo çalışmalarının neredeyse tamamının jenerik şekilde oluşturulduğu gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada da, literatüre uygun olarak askeri hedefler yani senaryolar jenerik olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla, senaryolar görevlerin tanımlanmasını ve bu görevleri yerine getirebilmek için hangi yeteneklere ihtiyaç duyulduğunun belirlenmesini sağlamaktadır.

Çalışmada senaryo bazında askeri hedefleri yerine getirmek ve bu sayede ilgili senaryoya ait yeteneklere sahip olabilmek için silah seçim problemi üzerine durulmaktadır. Silah sistemleri (savunma projeleri) Harekât Etkinlik Değerlerine (OLI) göre belirlenmiştir. Her silah sisteminin ana grubu içerisinde OLI değeri en yüksek olan 3 tanesi seçilmiştir.

Silah seçim problemine yönelik uygulama 4 ana bölümden oluşmaktadır;

1. Risk matrisinin oluşturulması
2. Silah sistemlerine yönelik kriterlerin belirlenmesi
3. Kriterlerin ağırlıklandırılması ve silah sistemlerinin önceliklendirilmesi
4. Sonuçların yorumlanması

Silah sistemlerinin değerlendirilmesine yönelik kriterler öncelikle literatür taraması ile tespit edilmeye çalışılmış ve bu kapsamda literatürde belirtilen 5 kriter (*harekât etkinlik değeri, maliyet, sistemin kullanım ömrü, mürettebat sayısı ve kullanılan mühimmatın menzili*) seçilmiştir.

YTP içerisinde kuvvet yapılarının nasıl oluşturulacağına dair analitik bir çözüm ile sistemlerinin önceliklendirilmesi yapılmıştır. Askeri bir bakış açısıyla askeri hedefleri sağlayabilecek yetenekler için oluşturulan 6 farklı senaryo Tablo 2'de verilmiştir. Bu senaryoların ayrı ayrı değerlendirilmesi gerçekleştirilmiş örnek senaryo olarak Teröristle Mücadele Harekâtına ait uygulama adımları ayrıntılı şekilde sunulmuştur.

Olası tehdit ve risk senaryolarına yanıt verebilmek için "Hudut Güvenliği", "Teröristle

Mücadele Harekâtı", "Barışı Destekleme Harekâtı", "Sınır Ötesi Harekâtlar", "Taarruz Harekâtı" ve "Savunma Harekâtı" olmak üzere altı ana askeri hedef belirlenmiştir.

Her bir hedef için oluşturulan senaryolar, bu hedeflerin gerçek dünya koşullarında nasıl karşılanacağını modellemektedir. Belirlenen her bir askeri hedefe uygun olarak, bu hedeflerin başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesi için gerekli

lan örnek alt yetenekler tanımlanmıştır. Alt yetenekler, belirlenen hedeflerin daha spesifik, ölçülebilir ve gerçekleştirilebilir bileşenlerini ifade etmektedir.

Bu yöntem, olası tehdit senaryolarına en uygun askeri yanıtların nasıl şekillendirileceğini ve hangi yeteneklerin geliştirilmesi gerektiğini detaylı bir şekilde ortaya koymaktadır.

Tablo 2: Yetenek İhtiyaçlarının Belirlenmesine Yönelik Senaryo Portföyü.

POLİTİK/STRATEJİK	STRATEJİK		OPERATİF / TAKTİK	
AMAÇ	KODU	ANA KRİTERLER (ASKERİ HEDEFLER)	KODU	ALT KRİTERLER (SAHİP OLUNACAK YETENEKLER)
ÜLKE GÜVENLİĞİNE YÖNELİK ASKERİ GÜÇ BOYUTUNDA ETKİLİ SAVUNMA PLANI OLUŞTURULMASI	1	Hudut Güvenliği	A1	Kontrolsüz Geçişlerin Önlenmesi
			A2	Sınırın Korunması ve Güvenliği
			A3	Etkin Keşif ve Gözetleme
	2	Terörle Mücadele Harekâtı	B1	Baskın ve Sabotajların Önlenmesi
			B2	Alan Hâkimiyetinin Sağlanması
			B3	Tüm Terörist Unsurlarının Yok Edilmesi
	3	Barışı Destekleme Harekâtı	C1	Sivil Asker İşbirliğinin Tesisi
			C2	Bölgede Caydırıcı Güç Unsuru Olma
			C3	Hızlı Yığılabilirlik
	4	Sınır Ötesi Harekâtlar	D1	Meskün Mahallelerde Muharebe Edebilme
			D2	Uzak Mesafelerden Düşman Unsurlarının İmhası
			D3	Hem Taarruz Hem de Savunma İcra Edebilme
	5	Taarruz Harekâtı	E1	Hızlı Manevra Edebilmek
			E2	Düşmana Fark Edilmeden Baskın Etkisi
			E3	Kendi Kendine Uzun Süre Yeten Sistemler
	6	Savunma Harekâtı	F1	Tesir Çapı Yüksek Silah Sistemleri
			F2	Düşman Unsurlarının Erken Tespiti
			F3	Etkili Beka Sistemi

4.1 Risk Matrisinin Oluşturulması

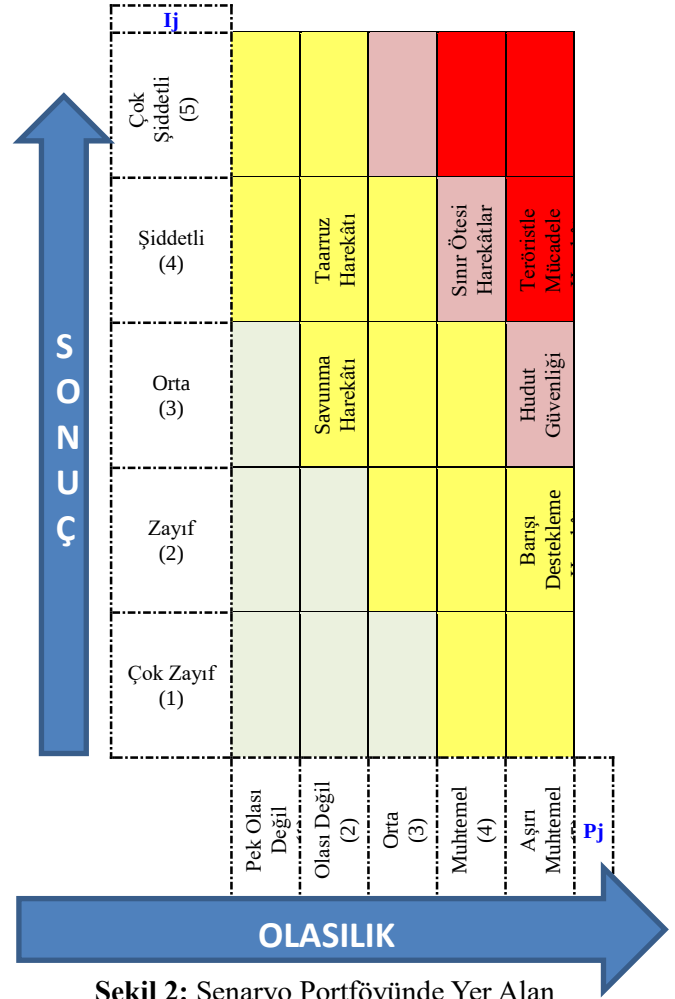
Senaryolar, bir ülkenin karşılaşılabileceği potansiyel güvenlik zorluklarını ve muhtemel olayları tanımlamada yardımcı olur. Savunma planlamacılarının riskleri değerlendirmek için bir

yönteme ihtiyacı vardır. Bu kapsamda risk matrisi; riskleri değerlendirmek ve belirlemek, ortaya çıkaracağı etkiyi ön görmek için kullanılabilecek önemli bir araçtır. Matriste yukarı doğru çıktıkça olayın şiddeti, sağa doğru

ise meydana gelme olasılığı artmaktadır. Eğer silahlı kuvvetler belirli bir tehdit ya da zorluğa başarılı bir şekilde karşılık veremezse, ulus nasıl bir etki hissedecektir? Olabilirlik olasılıkla ilgilidir. Bir senaryoda belirtilen tehditlerin veya olayların gerçekleşme ihtimali var mıdır? Yüksek etkili ve yüksek olasılıklı riskler öncelikli olarak kabul edilirken, düşük etkili ve düşük olasılıklı riskler daha düşük önceliğe sahip olmaktadır. Risk değerlendirmesi, sınırlı kaynaklar göz önüne alındığında hangi yeteneklerin geliştirilmesi gerektiğini belirlemeye çalışırken bilinçli ödünler verilmesine olanak tanımaktadır. YTP içerisinde risk hesabının yapılması kaçınılmaz bir süreçtir ancak riskin sahip olduğu olasılık, sonuç veya zaman gibi boyutların metrik hale getirilmesine yönelik savunma planlaması literatüründe sabit bir yöntem gözlemlenmemiştir.

Yeteneklere ilişkili maliyetler ve riskler bilinebilir ve yönetilebilir olmalıdır, aksi takdirde girdiler yanlış değerlendirilerek verimsizliklere yol açabilir. Yetenek temelli savunma planlaması içerisinde risk değerlendirilmesi en önemli ön koşullardan birisidir [5], [9], [26]. Risk değerlendirmesi konusunda literatürde sıkça kullanılan birçok farklı risk tanımlanması yer almaktadır [42].

Çalışmada askeri risk değerlendirilmesine ve savunma planlamasına yönelik literatürde belirtilen geleneksel 5X5 risk matrisi kullanılmıştır [43]. Senaryo portföyünde belirtilen askeri hedefler risk matrisi içerisinde jenerik değerlendirme ile yerleştirilmiştir. Müteakiben sonuç ve olasılıklar 1'den 5'e kadar puanlanmış ve her hedefin toplam risk puanı hesaplanarak Şekil 2'de, sonuçlar ise Tablo 3'de verilmiştir.



Şekil 2: Senaryo Portföyünde Yer Alan Faaliyetlerin Risk Matrisinde Gösterimi.

Geleneksel 5X5 risk matrisi modelini esas alarak, her bir hedef için "sonuç" ve "olasılık" boyutları değerlendirilmiştir. Bu iki kritere göre toplam risk puanı hesaplanmıştır. Jenerik bir ülke politikası bağlamında, "Hudut Güvenliği" ve "Teröristle Mücadele Harekâtı"nın yüksek sonuç ve olasılık puanları alması, bu tehditlerin ülkenin sınırları ve iç güvenliği için ciddi bir risk oluşturduğunu göstermektedir. "Barışı Destekleme Harekâtı"nın düşük sonuç, fakat yüksek olasılık puanı alması, böyle bir harekâtın gerçekleşme olasılığının yüksek olduğunu, ancak gerçekleştiğinde ciddi bir sonuca yol açmayabileceğine işaret etmektedir. Bu matris, ülkenin savunma ve güvenlik politikalarının belirlenmesinde kritik bir araç olarak

kullanılabilir ve stratejik savunma planlamalarında yönlendirici olabilir.

Tablo 3: Askeri Hedeflerin Toplam Risk Puanları.

NO	ANA KRİTERLER (ASKERİ HEDEFLER)	(I_j)	(P_j)	TOPLAM RİSK(R_j) ($P_j I_j$)
1	Hudut Güvenliği	3	5	15
2	Terörist Mücadele Harekâtı	4	5	20
3	Barışı Destekleme Harekâtı	2	5	10
4	Sınır Ötesi Harekâtlar	4	4	16
5	Taarruz Harekâtı	4	2	8
6	Savunma Harekâtı	3	2	6

Gerçekleşme olasılıkları ve gerçekleşmesi durumunda yansıtacağı sonuçların değerlendirilmesi sonucu hesaplanan toplam risk puanına göre en yüksek risk puanına sahip “Teröristle Mücadele Harekâtı” için örnek uygulama yapılmıştır. Risk değerlendirmesi sayesinde askeri hedeflerin ağırlıkları ve önemleri ortaya konmuş olmaktadır. Senaryoda hesaplanan toplam risk savunma yönetimi kapsamında belirlenen askeri hedeflerin sağlanabilmesi için gereken toplam yetenek puanı olarak ele alınmıştır.

4.3. Silah Sistemlerinin Değerlendirilmesine Yönelik Kriterlerin Belirlenmesi

Çalışmanın devamında silah sistemlerinin değerlendirilebilmesi, seçim yapılırken savunma planlamasında ele alınan ve bir silah sisteminin temininde olmazsa olmaz önemli başlıca kriterler eklenmiştir. OLI’nın yanı sıra *sistem maliyeti*, *sitemin kullanım ömrü*, *mürettebat sayısı* ve *kullanılan mühimmatın menzili* kriterleri de ele alınmıştır.

Silah sistemlerinin seçimine yönelik Scopus, Mendeley ve Google Akademik veri tabanı

üzerinde “weapon selection” şeklinde yapılan arama sonuçlarına göre en çok alıntı yapılmış 3 çalışma [44 - 46] incelenmiş ve söz konusu çalışmalarda ortak olan “price” veya “cost” şeklinde tabir edilen *sistem maliyeti* kriterlerinin seçim sürecinde ele alındığı görülmüştür. Silah sistemlerinin seçimine yönelik yapılan çalışmalar incelendiğinde Tablo 4’te toplam 6 çalışma için ele alınmış olan kriterler ve kullanılan yöntemler gösterilmiştir.

Tablo 4: Silah Sistemlerinin Seçimine Yönelik Yapılan Çalışmalar.

Referans	Çalışmanın Konusu	Kriterler	Kullanılan Yöntem
(Cheng, 1999) [46]	Bulanık Sayı Sıralaması Kullanarak Silah Sistemlerini Değerlendirme	Taktik Teknoloji Bakım, onarım Ekonomi Hareket Kabiliyeti	Bulanık Çok Kriterli Karar Verme
(Dağdeviren vd., 2009) [44]	Bulanık Ortamda AHP Ve TOPSIS Yöntemleri Kullanılarak Silah Seçimi	Fiyat Ağırlık Namlu Özelliği Modülerlik Farklı İklim Koşullarında Kullanım Geri tepme	AHP TOPSIS
(Lee vd., 2010) [45]	Silah Sistemleri Seçiminde Hibrit Bir Hedef Programlama Yaklaşımı	Temel Yetenekler Operasyonel Yetenekler Maliyet ve Teknik Etkiler	AHP
(Yu vd., 2012) [47]	Gelişen Yetenek İhtiyaçlarına Yönelik Silah Sistemi Sistemleri Portföy Planlama Araştırması	İstihbarat Gözetleme Keşif	TOPSIS
(Zhang vd., 2014) [48]	Silah Sistemlerinin Yeteneklerinin Çoklu Senaryoya Göre Değerlendirilmesi	Algılama Mesafesi Vuruş Yüzdesi Hız Hareketlilik Hazırlık Süresi	TOPSIS
(Kabak, 2011) [49]	Birlik Hava Savunma Önceliklerinin Tespitine Bulanık Bir Yaklaşım	Kritiklik Hassasiyet Onarım kabiliyeti Taarruza maruz kalma derecesi	Bulanık TOPSIS

Bu çalışmada literatürde az sayıda kullanılan kriterlerle birlikte hiç savunma yönetimi

kapsamında kullanılmayan OLI kriteri olmak üzere toplam 5 kriter ele alınmıştır. Bu çalışma kapsamında ele alınmış olan kriterlerin literatürde kullanıldığı kaynaklar Tablo 5'te sunulmuştur.

Tablo 5: Silah Seçimine Yönelik Kriterlerin Referans Kaynakları.

Kriter Adı	Referans
Harekât Etkinlik Değeri (OLI)	(Dupuy, 1979)[39], (Ciano, 1988)[40], (Hogg, 1993)[41]
Maliyet	(Dağdeviren vd., 2009)[44], (Lee vd., 2010)[45], (Cheng, 1999)[46]
Kullanım Ömrü	(Lee vd., 2010)[45], (Cheng, 1999)[46]
Mürettebat Sayısı	(Lee vd., 2010)[45], (Cheng, 1999)[46], (Zhang vd., 2014)[48], (Dağdeviren vd., 2009)[44]
Kullanılan Mühimmatın Menzili	(Lee vd., 2010)[45], (Cheng, 1999)[46], (Zhang vd., 2014)[48], (Dağdeviren vd., 2009)[44]

Sonuç olarak bu çalışmada silah seçimlerinde kullanılacak kriterler; *Harekât Etkinlik Değeri (OLI)*, *maliyet*, *kullanım ömrü*, *mürettebat sayısı* ve *kullanılan mühimmatın menzili* olarak belirlenmiştir.

5. SİLAH SEÇİM PROBLEMİ (WEAPON CHOICE PROBLEM)

5.1. Silah Alternatiflerinin Belirlenmesi

Savunma planlamasında belirlenen askeri hedeflere ulaşmada hangi silahların kullanılarak hedeflerin en etkin ve verimli şekilde karşılanacağına yönelik silah sistemleri incelenmiş ve ana silah grupları belirlenmiştir. Ana silah gruplarının belirlenmesinde Birleşmiş Milletler Konvansiyonel Silahlar Kaydı (UNROCA) tarafından belirlenen konvansiyonel silah sistemleri kategorileri kullanılmıştır [50]. Senaryolara uyumlu olması maksadıyla kara kuvvetleri birliklerinde kullanılan Tanksavar Silahları, Hava Savunma Silahları, Topçu

Silahları, Tanklar, Zırhlı Araçlar (Silah Taşıyan Platformlar) ve Taarruz Helikopterleri kategorileri, modern savaş alanının temel unsurlarını oluşturmaktadır. Bu yaklaşım ve bakış açısından hareketle çalışmada; kara, hava ve topçu unsurları arasında denge kurarak, kapsamlı bir savunma yeteneği oluşturulmasına imkân tanınması hedeflenmiştir.

5.2. Silah Sistemlerinin Senaryoda Yer Alan Askeri Hedeflerle Eşleştirilmesi

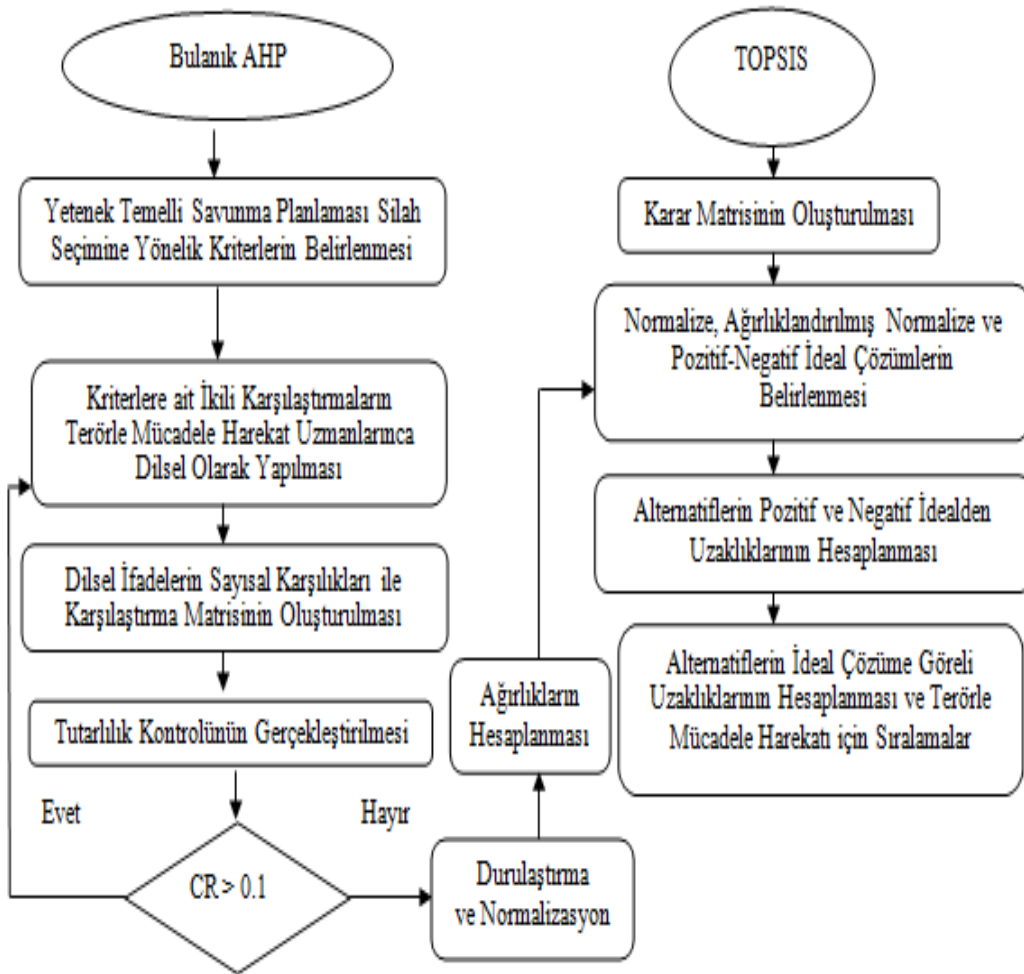
Savunma planlaması kapsamında ana hedeflere (askeri hedeflere) ulaşılmasına yönelik yeteneklerin belirlenebilmesi maksadıyla öncelikle hangi hedef için hangi silah sistemlerinin kullanıldığına yönelik eşleştirme yapılması önem taşımaktadır. Hangi askeri hedeflere ulaşmak için hangi silah sistemlerinin daha etkili olduğunun belirlenmesi gerekmektedir. YTP mantığına uygun olarak öncelikle göreve yönelik silah sistemlerinin ana gruplarının belirlenmesi gerekmektedir çünkü en iyi silah sistemini tedarik etmek onu tüm askeri görevlerde kullanabileceğimiz anlamına gelmez. Önemli olan icra edilecek askeri göreve yönelik en iyi silah sistemini belirleyebilmektir. Senaryolara göre silah sistemlerinin dağılımları yapılmış ve hangi silah sisteminin yeteneğinin hangi görev tipi için daha uygun olduğu belirlenmiş ve her bir yeteneğe göre gerekli olan silah sistemleri uzman kişilerle yapılan değerlendirme sonucunda belirlenerek Tablo 6'da gösterilmiştir.

5.3. Kriterlerin Ağırlıklandırılması ve Silah Sistemi Alternatiflerinin Önceliklendirilmesi

Problemin temel safhası olan odak silah sistemlerine ait ÇKKV metodolojisi bu bölümde yapılmıştır. Askeri karar verme problemleri için literatürde yapılan çalışmalarda ortak görüş bu problem sahasının bulanık küme teorisi ile bağlantılı olduğudur. Bu sebeple silah seçim problemlerine ait literatürde kriterlerin ağırlıklandırılmasında kullanılan AHP yöntemi bulanık küme teorisi ile entegre edilmiş ve silah alternatifleri ise TOPSIS ile sıralanmıştır. Problemin genel çözüm metodolojisi Şekil 3'te verilmiştir.

5.4. AHP Yöntemine ait Adımlar

AHP yönteminin ilk ve en önemli adımı ölçütlerin belirlenmesi ve hiyerarşik yapının oluşturulmasıdır. AHP'nin diğer ÇKKV yöntemlerine göre dikkat çeken en belirgin özelliği ele alınacak problemi elemanlarına ayırırken hiyerarşik yapıyı kullanmasıdır. Yöntemin ikinci adımı ikili karşılaştırma matrislerinin uzmanlar tarafından doldurulması işlemidir. Matrisler Saaty (1977) [51] tarafından geliştirilen ölçek yardımıyla puanlanmaktadır. Bahsedilen ölçek ve puan karşılıkları Tablo 7'de verilmiştir.



Şekil 3: Metodoloji.

Tablo 6: Senaryoda Yer Alan Hedeflere Yönelik Silah Sistemlerinin Kullanım Durumu.

NO	SİLAH GRUBU	SİLAH CİNSİ	Hudut Güvenliği	Teröristle Mücadele Harekâtı	Barişi Destekleme Harekâtı	Sınır Ötesi Harekâtı	Taarruz Harekâtı	Savunma Harekâtı
X1	Tanksavar Silahları	HELLFIRE				X	X	X
X2		KORNET-E						
X3		NT-D(SKIFF)						
X4	Hava Savunma Silahları	MISTRAL				X	X	X
X5		STINGER						
X6		RBS70						
X7		S-300P						
X8		S-300PM						
X9		SA-15 TOR M1						
X10	Topçu Silahları	155mm ZUZANAN OBÜS		X		X	X	X
X11		155 mm M198 OBÜS						
X12		155 mm PzH 2000 K/M OBÜS						
X13	Zırhlı Araçlar (Tanklar)	ABRAM S M1A2		X	X	X	X	X
X14		CHALLENGER 2						
X15		LECLERC						
X16		LEOPARD-2 A6 HELL						
X17		MERKAVA MK3						
X18		T-90						
X19	Zırhlı Araçlar (Silah Taşıyan Platform)	BTR80	X	X	X	X	X	X
X20		EE-3 JARARACA						
X21		M-113 A1 ZPT						
X22		CASCAVALE EE-9						
X23		KENTARUS						
X24		BMP 3						
X25		AH 64D						
X26	Taarruz Helikopteri	KİNG KOBRA		X		X	X	X
X27		KAMOV KA-50-2						

Tablo 7: Dilsel Ölçek.

Dilsel İfade	Sembol	Bulanık Sayı			Karşıt Bulanık Sayı			Sembol
Eşit	E	1	1	1	1.000	1.000	1.000	1/E
Eşit Önemli	EÖ	1	1	3	0.333	1.000	1.000	1/EÖ
Zayıf Önemli	Z	1	3	5	0.200	0.333	1.000	1/Z
Önemli	Ö	3	5	7	0.143	0.200	0.333	1/Ö
Çok Önemli	ÇÖ	5	7	9	0.111	0.143	0.200	1/ÇÖ
Kesinlikle Önemli	KÖ	7	9	9	0.111	0.111	0.143	1/KÖ

n adet satırı ve n adet sütunu bulunan bir problem için ikili karşılaştırma matrisine ait gösterim Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8: Karşılaştırma Matrisi.

Karar Matrisi	C1	C2	C3	C4	C5
C1	E	Ö	1/Ö	1/KÖ	EÖ
C2	1/Ö	E	1/KÖ	1/KÖ	1/Ö
C3	Ö	KÖ	E	1/Z	Ö
C4	KÖ	KÖ	Z	E	KÖ
C5	1/EÖ	Ö	1/Ö	1/KÖ	E

Karşılaştırma ölçeği yardımıyla satır elemanından başlayarak, o elemanın sütundaki elemanlarla karşılaştırılması sonucu belirlenen değerler matrise yazılır. Eğer satır elemanı kendisi ile kıyaslanıyorsa sonuç 1'e eşittir. Bu sebeple matrisin tüm köşegen değerleri 1'e eşit olur. Köşegenin altındaki hücre değerleri a_{ij}

olarak ifade edilirse üst değerler $1/a_{ij}$ olarak hesaplanabilir. Bu durum dikkate alındığında aslında köşegenin yalnızca altı veya üstü hesap edilmesi yeterlidir yargısına ulaşılabilir.

Tablo 9: Karşılaştırma Matrisi Puan Karşılıkları.

Kriter	C1			C2			C3			C4			C5		
C1	1.00	1.00	1.00	3.00	5.00	7.00	0.14	0.20	0.33	0.11	0.11	0.14	1.00	1.00	3.00
C2	0.14	0.20	0.33	1.00	1.00	1.00	0.11	0.11	0.14	0.11	0.11	0.14	0.14	0.20	0.33
C3	3.00	5.00	7.00	7.00	9.00	9.00	1.00	1.00	1.00	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
C4	7.00	9.00	9.00	7.00	9.00	9.00	1.00	3.00	5.00	1.00	1.00	1.00	7.00	9.00	9.00
C5	0.33	1.00	1.00	3.00	5.00	7.00	0.14	0.20	0.33	0.11	0.11	0.14	1.00	1.00	1.00

Ölçütlere ait ağırlık değerlerinin yani önceliklerin hesaplanması için karşılaştırma matrislerinden faydalanılır. Yerel öncelik ismi de verilen bu işlemin yapılabilmesi için normalizasyon işlemi gerekmektedir. Daha sonra ise öncelikler vektöründen yararlanılır. Normalizasyon işlemi için kullanılan formül Eşitlik 1'de verilmiştir. Ardından öncelikler vektörü hesaplanması işlemi gelecektir. Bu işlem için gerekli formül ise Eşitlik 2'de verilmiştir.

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}, \forall (i,j) \quad (1)$$

$$w_j = \frac{\sum_{i=1}^n b_{ij}}{n}, \forall j \quad (2)$$

Tablo 10: Kriter Ağırlıklarının Hesaplanması.

	L	M	U		L	M	U	Durulaştırılmış	Normalize
C1	0.54	0.64	1.00	w1	0.05	0.08	0.17	0.10	0.09
C2	0.19	0.22	0.30	w2	0.02	0.03	0.05	0.03	0.03
C3	1.66	2.37	3.38	w3	0.16	0.28	0.56	0.33	0.30
C4	3.21	4.66	5.16	w4	0.30	0.55	0.85	0.57	0.51
C5	0.44	0.64	0.80	w5	0.04	0.08	0.13	0.08	0.07
Sonuç	0.09	0.12	0.17					1.11	1.00

Ağırlıkların hesaplanması için, matrislerin tutarlılık kontrollerinin yapılması gerekmektedir. Bu oran için kabul edilebilecek en büyük matematiksel seviye olarak 0.1 belirlenmiştir. Tutarlılık kontrolü hesabı yapılırken şu adımlar izlenir. Matriste yer alan elemanlara ait sütun toplamı hesaplanır. Matristeki her eleman için Eşitlik 1 yardımıyla normalize edilmiş matris değerleri hesaplanır. Normalize edilmiş elemanlar için Eşitlik 2 yardımıyla öncelikler vektörü hesaplanır. Elde edilen vektör en başta verilen matris ile çarpılarak Tüm Öncelikler Matrisi elde edilir. Eşitlik 3 yardımıyla Tutarlılık İndeksi (CI) hesaplamasına gidilir. Eşitlik 4 yardımıyla Tutarlılık Oranı hesabı yapılır.

$$CI = \frac{\lambda_{enb} - n}{n-1} \quad (3)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4)$$

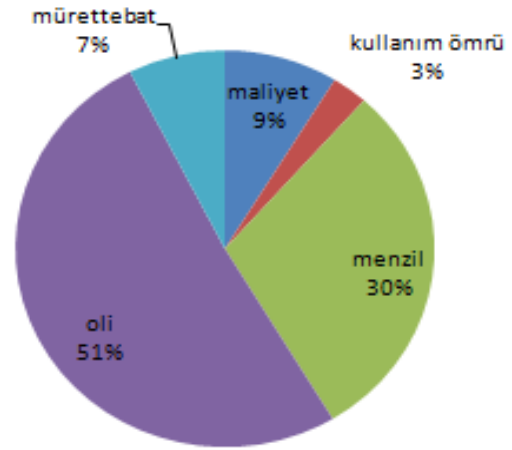
Eşitlik 3'te verilen λ_{enb} öncelikler matrisi elemanlarının, vektör elemanlarına bölünmesi ve elde edilen yeni matris elemanlarının ortalamalarının en büyüğünün alınmasıyla bulunur. Eşitlik 4'te verilen RI değeri ise rastgele

değer indeksini temsil eder. Problemde kullanılan RI değerleri Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 11: Rassal İndeks (Random Indeks).

Ölçüt Sayısı	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
RI	0,382	0,946	1,220	1,032	1,468	1,402	1,350	1,464	1,576	1,476

Alanında uzman kişiler tarafından oluşturulan ikili karşılaştırma matrislerine ait tutarlılık oranlarının (Consistency Ratio-CR) alt sınır değeri 0.1'den daha küçük olup olmadığı kontrol edilmiştir. Nihai ikili karşılaştırma matrisi elde edilmiş ve ölçütlere ait ağırlıklar hesaplanmıştır. Ölçüt ağırlıkları Şekil 4'te verilmiştir.

**Şekil 4.** Ölçüt Ağırlıkları.

5.5. TOPSIS Yöntemine ait Adımlar

Bu yöntem uzlaşık bir yapıda olup alternatifleri ideal çözümler için yakınlık ve uzaklık durumlarına göre kıyaslar. Kıyaslama sonucunda pozitif ideal çözüme en yakın alternatif veya başka bir deyişle negatif ideal çözüme en uzak olan alternatif birinci sırayı alır. Her alternatif göreceli alternatif puanına göre kıyaslamaya ve sıralamaya tabi tutulur [52]. TOPSIS yönteminin ilk adımı karar matrisinin oluşturulmasıdır. Karar vericilerin puanlarıyla elde edilen karar matrisi

$m \times n$ boyutlu olarak kabul edilirse x_{ij} 'lerden oluşan karar matrisi Eşitlik 5'te genel gösterimi yapıldığı gibi belirtilir.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Teröristle Mücadele Harekâtına yönelik uygulamada belirlenen silah sistemlerinin 5 kritere göre Bulanık AHP yöntemiyle ağırlıkları hesaplanmış toplamda 18 silah sistemi için uzman değerlendirmeleri yapılmış ve TOPSIS yöntemine göre oluşturulan karar matrisi Tablo 12'te verilmiştir.

Tablo 12: Karar Matrisi.

w	0.09	0.03	0.3	0.51	0.07
Karar Matrisi	Maliyet	Kullanım Ömrü	Menzil	HED	Mürettebat
155 mm Zuzana Obüs	7,000,000	50	50	916.30	4
155 mm M198 Obüs	527,337	20	40	677.77	11
155 mm PzH 2000 K/M Obüs	17,000,000	50	67	1,414.71	3
ABRAMS M1A2	10,000,000	50	4	2,406.58	4
CHALLENGER 2	4,900,000	30	8	2,383.91	4
LECLERC	16,000,000	50	4	2,396.64	3
LEOPARD-2 A6 HELL	11,000,000	50	5	2,389.93	4
MERKAVA MK3	4,500,000	40	5	2,397.41	4
T-90	2,230,000	40	5	2,357.53	3
BTR80	1,000,000	45	2	219.41	3
EE3 JARARACA	82,000	40	2	268.15	3
M-113 A1 ZPT	300,000	40	2	187.10	2
CASCAVALE EE-9	500,000	25	2	397.26	3
KENTARUS	1,000,000	40	2	410.65	3
BMP3	1,100,000	30	4	754.16	3
AH 64D	52,000,000	20	11	26,503.95	2
KING KOBRA	22,000,000	20	15	19,482.31	2
KAMOV KA-50-2	30,500,000	30	16	17,159.21	2

Yöntemin ikinci adımı normalize edilmiş karar matrisinin hesaplanmasıdır. Karar matrisi oluşturulduktan sonra her x_{ij} 'nin karesi alınır ve elde edilen karelerin toplamından sütuna ait toplam hesaplanır. Tüm x_{ij} değerleri kendisine ait hesaplanan sütun toplam değerinin kareköküne bölünür ve normalize edilmiş matris değerleri Eşitlik 6 kullanılarak her hücre için hesaplanır. Daha sonra Eşitlik 7'de gösterimi yapılan matris elde edilir.

$$R_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}, i=1,2,\dots,12; j=1,2,\dots,7. \quad (6)$$

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Normalize edilmiş karar matrisinden elde edilen hücre değerlerinin her biri w_j ağırlık değerleri ile çarpılarak ağırlıklandırma işlemine tabi tutulur. Bu işlem, TOPSIS yönteminin subjektif yargıları probleme yansıtması olarak da isimlendirilebilir. Burada önemli olan nokta ağırlıklar toplamının 1'e eşit olmasıdır. Bu durum Eşitlik 8'de gösterilen formülle hesaplanabilir. Bu ağırlıklandırma işlemine ait genel gösterim Eşitlik 9'da matris üzerinde verilmiştir.

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (8)$$

$$V = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & \cdots & w_n r_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 r_{m1} & \cdots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{11} & \cdots & v_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{m1} & \cdots & v_{mn} \end{bmatrix} \quad (9)$$

Yöntemin üçüncü adımı alternatiflerin negatif-pozitif idealden uzaklıklarının hesaplanmasıdır. V matrisinin elde edilmesinden sonra problemde ele alınan ölçütün yapısına bakılır. Ölçüt, en büyükleme yani fayda yönlü bir durum söz konusu ise o ölçütün bulunduğu sütuna ait en büyük değerler bulunur. Yine aynı şekilde o sütuna ait en küçük değerler de bulunur. İlk durumdaki değerlere pozitif ideal, ikinci durumdaki değerlere negatif ideal değerler adı

verilir. Eğer ölçüt, en küçükleme yani maliyet yönlü bir ölçüt ise bu işlemler tam tersi yönde yapılır. Pozitif ideal ve negatif ideale ait çözümlerin hesaplamaları Eşitlik 10 ve Eşitlik 11'de gösterilmiştir.

$$V_j^+ = \frac{Enb(V_{ij})}{Enk(V_{ij})}, j=1,2,...,7, \text{ eğer ölçüt gösterge fayda ise;} \quad (10)$$

$$V_j^- = \frac{Enk(V_{ij})}{Enb(V_{ij})}, j=1,2,...,7, \text{ eğer ölçüt gösterge fayda ise;} \quad (11)$$

Normalizasyon ve ağırlıklandırma aşamalarından geçmiş, negatif ve pozitif idealden uzaklık hesabı yapılmış karar matrisi Tablo 13te verilmiştir.

Tablo 131: Ağırlıklandırılmış Normalize Karar Matrisi.

Ağırlıklı Normalize	Maliyet	Kullanım Ömrü	Menzil	HED	Mürettebat
155 mm Zuzana Obüs	0.034	0.020	0.162	0.26	0.023
155 mm M198 Obüs	0.003	0.008	0.129	0.19	0.064
155 mm PzH 2000 K/M Obüs	0.083	0.020	0.217	0.40	0.017
V+	0.003	0.020	0.217	0.397	0.064
V-	0.083	0.008	0.129	0.190	0.017
ABRAMS M1A2	0.039	0.014	0.092	0.210	0.031
CHALLENGER 2	0.019	0.008	0.184	0.208	0.031
LECLERC	0.063	0.014	0.092	0.209	0.023
LEOPARD-2 A6 HELL	0.043	0.014	0.115	0.208	0.031
MERKAVA MK3	0.018	0.011	0.115	0.209	0.031
T-90	0.009	0.011	0.115	0.205	0.023
V+	0.009	0.014	0.184	0.210	0.031
V-	0.063	0.008	0.092	0.205	0.023
BTR80	0.086	0.019	0.173	0.284	0.045
EE3 JARARACA	0.007	0.017	0.173	0.347	0.045
M-113 A1 ZPT	0.026	0.017	0.173	0.242	0.030
V+	0.007	0.019	0.173	0.347	0.045
V-	0.086	0.017	0.173	0.242	0.030
CASCAVALE EE-9	0.029	0.013	0.122	0.214	0.040
KENTARUS	0.057	0.021	0.122	0.221	0.040
BMP3	0.063	0.016	0.245	0.407	0.040
V+	0.029	0.021	0.245	0.407	0.040
V-	0.063	0.013	0.122	0.214	0.040

AH 64D	0.073	0.015	0.134	0.36	0.04
KİNG KOBRA	0.031	0.015	0.183	0.27	0.04
KAMOV KA-50-2	0.043	0.022	0.196	0.24	0.04
V+	0.031	0.022	0.196	0.364	0.040
V-	0.073	0.015	0.134	0.236	0.040

Uzaklık hesaplamaları için Öklid uzaklık formülü kullanılır. Bu durumda pozitif idealden uzaklık ve negatif idealden uzaklıklar bu formül ile hesaplanmaya çalışılır. Hesaplamalara ait formüller Eşitlik 12 ve Eşitlik 13'te verilmiştir.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2}, i=1,2,...,12. \quad (12)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}, i=1,2,...,12. \quad (13)$$

Yöntemin son adımı alternatiflerin ideal çözüme göreceli yakınlığının hesaplanması ve sıralamadır. Uzaklıkların hesaplanmasında kullanılan formül Eşitlik 14'te verilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta hesaplanan uzaklık değerlerinin 0 ile 1 arasında değer almasının gerekliliğidir. Uzaklık değerinin 1'e eşit olması ideal çözüme olan mutlak yakınlığı ifade eder.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+}, i=1,2,...,12. \quad (14)$$

Alternatifler, C_i değerlerine göre büyükten küçüğe doğru sıralanarak karar vericilere uygun alternatifi seçmelerinde yardımcı olunabilir. En büyük C değerine sahip olan silah sistemi en etkin sistemi ifade etmektedir. Söz konusu değerler Tablo 14'te belirtilmektedir.

Teröristle Mücadele Harekâtı için Topçu Silahları sınıfında en iyi silah sistemi 155 mm PzH 2000 K/M OBÜS, Tanklar sınıfında en iyi silah sistemi Challenger 2, Zırhlı Personel Taşıyıcıları sınıfında en iyi silah sistemi EE3 JARARACA, Zırhlı Muharebe Araçları sınıfında en iyi silah sistemi BMP-3, Taarruz Helikopteri

sınıfında en iyi silah sistemi AH 64D olarak hesaplanmıştır.

Askeri hedeflerin gerçekleştirilebilmesi için hangi silah sistemlerinin kullanılması gerektiği, bunların öncelik sıralamaları, silah sistemi gruplarının ağırlık katsayıları ve öncelik sıralamalarının tamamlanmasının ardından yeteneğin sunulacağı her askeri hedef için kendi grubu içerisindeki en iyi silah sistemleri seçilmiştir. Seçilen silah sistemlerinin ağırlık katsayıları (C^*) yetenek katsayısı olarak isimlendirilecektir. Son aşama her yetenek katsayısı, askeri hedefin risk katsayısı ile çarpılarak toplamda elde edilen değer “Askeri

Hedef Puanı” olarak değerlendirilmiştir. Bu puan değeri ülkelerin gelecekte karşılaşabilecekleri tehditlere yönelik olarak bulundurmaları gereken temsili bir puandır. Ülkeler karşılaşacağı tehdidin karakteristiğine göre belirleyecekleri puan değerini silah sistemlerinden elde edilen puanlarla karşılamalıdır. Bu konuda stratejik seviye çalışılması gereken ayrı bir çalışma alanıdır. Bölüm 4’de Tablo 2’de paylaşılan senaryolara göre yapılan analizler sonucu hesaplanan Askeri Hedef Puanları Tablo 15’te verilmiştir.

Tablo 14: Nispi Uzaklıkların Hesaplanması ve Silah Sistemlerinin Sıralaması.

Ağırlıklı Normalize		+	-			Silah Cinsi	Cort
155 mm Zuzana Obüs	s1	0.158912	0.090055	c1	0.36	2	0.453904
155 mm M198 Obüs	s2	0.224919	0.09298	c2	0.29	3	
155 mm PzH 2000 K/M Obüs	s3	0.09298	0.224919	c3	0.71	1	
ABRAMS M1A2	s4	0.096697	0.025753	c4	0.21	5	0.389703
CHALLENGER 2	s5	0.012028	0.101895	c5	0.89	1	
LECLERC	s6	0.106772	0.006531	c6	0.06	6	
LEOPARD-2 A6 HELL	s7	0.07696	0.031779	c7	0.29	4	
MERKAVA MK3	s8	0.069459	0.051396	c8	0.43	3	
T-90	s9	0.069445	0.058759	c9	0.46	2	0.549531
BTR80	s10	0.10104	0.044477	c10	0.31	3	
EE3 JARARACA	s11	0.002075	0.132161	c11	0.98	1	
M-113 A1 ZPT	s12	0.107693	0.060158	c12	0.36	2	0.350136
CASCAVALE EE-9	s13	0.228197	0.034429	c13	0.13	2	
KENTARUS	s14	0.223847	0.01224	c14	0.05	3	
BMP3	s15	0.034845	0.228071	c15	0.87	1	0.468092
AH 64D	s16	0.07457	0.128456	c16	0.63	1	
KİNG KOBRA	s17	0.097565	0.071986	c17	0.42	2	
KAMOV KA-50-2	s18	0.129008	0.068554	c18	0.35	3	

6. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Savunma planlaması içerisinde yetenek planlamaları yapılırken bazı kısıtlar ve karşılanması gereken hedefler mevcuttur.

Konuya yönelik literatür ve ülkelerin uygulamaları incelendiğinde yeteneklerin belirlenmesinde en çok dikkat edilmesi gereken noktalar senaryo bazlı risk değerlendirmesi, ülkelerin bütçe kısıtları ve proje çıktılarına

yönelik beklentilerdir. Karar vericilerin savunma planlaması sürecinde daha çok sezgisel yöntemlerle çalıştığı göz önünde bulundurulduğunda yeteneklerin belirlenmesinin zorlaştığı günümüz güvenlik koşullarında sayısallaştırılmış karar destek yöntemlerinden faydalanılması verilecek kararların etkinliği açısından önemlidir. Bu çalışmanın ana motivasyonu literatürdeki senaryo tabanlı yeteneklerin belirlenmesi ve değerlendirilmesi için karar süreçlerine ait analitik değerlendirmeye yönelik boşluğu doldurmaktır.

Bu çalışmada Yetenek Temelli Savunma Planlanması için; i) Ülkelerin karşılaşılabilecekleri durumlara ait risk değerlendirmelerine göre farklı senaryoların oluşturulması, ii) Senaryolardaki ihtiyaca cevap verebilecek silah sistemlerinin çeşitli kriterlere göre belirlenmesi ve sıralanması

için Bulanık AHP ve TOPSIS temelli analitik bir metodolojinin oluşturulması, iii) Senaryolarda kullanılacak silah sistemlerine göre Askeri Hedef Puanı sisteminin kurulması gerçekleştirilmiştir. Silah sistemlerinin önceliklendirilmesine yönelik literatürde yapılan inceleme neticesinde silah sistemi seçiminde OLI değerleri ilk defa bir ÇKKV çalışmasında kullanılmıştır.

Çalışma sonucunda, YTP yaklaşımının farklı tehdit senaryolarına esnek şekilde uyarlanabilir olduğu gözlenmiştir. Bu esneklik, savunma yeteneklerinin sadece mevcut tehdit ve koşullara değil, aynı zamanda gelecekteki olası tehditlere de uyum sağlayabileceğini göstermektedir. Ayrıca, YTP için kaynakların daha etkin bir şekilde kullanılmasını sağlayamaya yönelik ÇKKV yöntemlerinin kullanımının faydalı olabileceği değerlendirilmiştir.

Tablo 15: Senaryo Analizleri.

KODU	ANA KRİTERLER(ASKERİ HEDEFLER)	KUVVET YETENEKLERİ(SİLAH SİSTEMLERİ) (X_i)	SİLAH YETENEĞİ KATSAYISI (C_i)	RİSK KATS AYISI (R_j)	HEDEF KATSAYISI	TOPLAM HEDEF PUANI
1	Hudut Güvenliği	EE-3 JARARACA	0,459378031	15	6,890670471	15,16
		BMP 3	0,55106903		8,26035444	
2	Teröristle Mücadele Harekâtı	155 mm Pz H 2000K/M OBÜS	0,579216809	20	11,58433619	51,7
		T-90	0,485355523		9,707110458	
		M- 113 A1 ZPT	0,4842228443		9,684568852	
		BMP 3	0,475176437		9,503528742	
		KING KOBRA	0,561765347		11,2350695	
3	Barışı Destekleme Harekâtı	T-90	0,746320878	10	7,463208777	19,6
		M-113 A1 ZPT	0,556487441		5,564874412	
		BMP 3	0,613201806		6,132018064	
4	Sınır Ötesi Harekâtlar	NT-D (SKIFF)	0,495452158	16	7,927234531	66,96
		STINGER	0,48348557		7,797576913	
		SA-15 TOR M1	0,505141104		8,082257662	
		155 mm PzH 2000 K/M OBÜS	0,590597387		9,449558199	
		LE CLERC	0,495148408		7,922374528	
		M- 113 A1 ZPT	0,48534456		7,765512964	
		BMP 3	0,479746366		7,67594186	

		AH 64D	0,646236498		10,33978396	
5	Taarruz Harekâtı	NT- D (SKIFF)	0,495452158	8	3,963617265	33,48
		STINGER	0,48348557		3,898788456	
		SA-15 TOR M1	0,505141104		4,041128831	
		155 mm PzH 2000 K/M OBÜS	0,590597387		4,7247791	
		LE CLERC	0,495148408		3,961187264	
		M- 113 A1 ZPT	0,48534456		3,882756482	
		BMP 3	0,479746366		3,83797093	
		AH 64D	0,646236498		5,169891981	
6	Savunma Harekâtı	NT- D (SKIFF)	0,495452158	6	2,972712949	25,11
		STINGER	0,48348557		2,924091342	
		SA-15 TOR M1	0,505141104		3,030846623	
		155 mm PzH 2000 K/M OBÜS	0,590597387		3,543584325	
		LE CLERC	0,495148408		2,970890448	
		M- 113 A1 ZPT	0,48534456		2,912067361	
		BMP 3	0,479746366		2,878472197	
		AH 64D	0,646236498		3,877418986	

Oluşturulan senaryolarda her görev için ihtiyaç duyulan silah sistemlerinin ana gruplarının önceliklerinin birbirinden farklı olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuç yetenek temelli savunma planlamasının genel yaklaşım tarzı ile uyum göstermektedir. Askeri hedeflerin gerçekleşme durumu göz önüne alındığından her hedefin yetenek önceliklerinin birbirinden farklı olması gerektiği ÇKKV metodolojisi ile desteklenmiştir. Askeri hedeflerin tümünü karşılayacak en iyi silah sistemi yaklaşımı değil, her askeri hedef için ihtiyaca yönelik farklı silah sistemlerinin belirlenmesi yaklaşımının daha doğru olduğu çalışmanın öne çıkan diğer bir sonucudur. Ayrıca senaryo tabanlı hesaplanan askeri hedef puanları hem yeteneklerin önceliklendirilmesinde bir yaklaşım sunabilir hem de yetenek kazanımlarına yönelik bir değerlendirme sağlayabilir. Puanlama sistemi

savunma planlamasının stratejik seviyeden taktik seviyeye kadar olan tüm kademelerdeki paydaşlara bir vizyon sağlamaktadır. Bu çalışmada 5 kriter ve her bir senaryo için 3 tip silah sistemi için yapılmış olan yetenek temelli çözüm metodolojisi daha fazla kriter ve araç tipi için yapılabilir. Bu sayede her çeşit silah sisteminin analizi yapılabilir.

Gelecekteki konuya yönelik araştırmalarda analitik çalışmaların, savunma planlamasının gerektirdiği her senaryoya yönelik yetenekleri belirleme noktasında da yoğunlaşması gerekmektedir. Bu yöntemler, sadece belirli silah sistemleri için değil, genel savunma yeteneklerini ve senaryolara uygunluğunu da göz önünde bulundurularak zenginleştirilebilir. Araştırmacılar, farklı senaryolar ve ihtiyaçlar için analitik yöntemlerin uygulanabilirliğini

araştırmalı, mevcut yeteneklerin gelecekteki senaryolara ne kadar uygun olduğunu değerlendirmeli ve duruma göre özelleştirmelidir. Ayrıca silah sistemlerinin seçimi ve önceliklendirilmesi için kriter havuzu artırılabilir, modern bulanık ÇKKV yöntemleri, yöneylem araştırması ve harekâta yönelik askeri simülasyonlar ile çözüm uzayı genişletilebilir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Bu araştırma hiçbir dış finansman almamıştır.

YAZAR KATKILARI (AUTHORSHIP CONTRIBUTION STATEMENT)

Serkan AKSOY: Kavramsal tasarım, Yazma, Deneysel Çalışmalar.

Memduh BEĞENİRBAŞ: Kavramsal Tasarım, Yazma, Denetim.

Kemal Gürol KURTAY: Kavramsal Tasarım, Yazma, Metodoloji, Deneysel Tasarım, Sonuçların Yorumlanması.

ÇIKAR ÇATIŞMALARI (CONFLICTS OF INTEREST)

Yazarlar, herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

REFERANSLAR

- [1] Government, A. (2012). Defence capability development handbook 2012.
- [2] Gaidow, S. ve Boey, S. (2005). Australian Defence Risk Management Framework: A Comparative Study.
- [3] Barclay, C. ve Osei-Bryson, K. M. (2010). Project performance development framework: An approach for developing performance criteria & measures for information systems (IS) projects. *International Journal of Production Economics*, 124(1). <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.11.025>
- [4] Martinsuo, M. (2013). Project portfolio management in practice and in context.

International Journal of Project Management, 31(6).

<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.10.013>

[5] Davis, P. K. (2002). *Analytic architecture for capabilities-based planning, mission-system analysis, and transformation*. Rand Corporation.

[6] Begenirbaş, M. (2022). *Savunma yönetimi ve planlaması* (1. Baskı). Nobel Akademik Yayıncılık.

[7] Stojkovic, D., Kankaras, M. ve Mitic, V. (2016). Determination of defence capability requirements. *Vojno Delo*, 68(8). <https://doi.org/10.5937/vojdelo1608076s>

[8] Mezey, G. (2004). Defence planning of conventional forces. 3(5).

[9] Campbell, A. (2010). Analytic implications of the NATO defence planning process. *NATO C3 Agency*.

[10] Cimon, Y. (2017). Perspectives for the development of key industrial capabilities for Canada's defence sector. *Defense and Security Analysis*, 33(4). <https://doi.org/10.1080/14751798.2017.1377422>

[11] Palaz, H. (2008). *Analitik hiyerarşi prosesi ve hedef programlama kullanılarak denizaltı kuvvet yapısının belirlenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Hava Harp Okulu Komutanlığı Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü.

[12] Bizkevelci, S. ve Çakmak, M. A. (2008). Technology management model application in concept approval decision - Case study: Concept of operations and mission need assesment for a defence system. *PICMET: Portland International Center for Management of Engineering and Technology, Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/PICMET.2008.4599767>

[13] Hristov, N., Radulov, I., Iliev, P. ve Andreeva, P. (2010). Prioritization methodology for development of required operational capabilities. *Alındığı yer:* <https://ssrn.com/abstract=3135696>

[14] Nesterenko, O., Netesin, I., Polischuk, V. ve Trofymchuk, O. (2020). Development of a procedure for expert estimation of capabilities in defense planning under multicriterial conditions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(2-106): 33-43. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.208603>

[15] Harrison, K. R., Elsayed, S., Garanovich, I., Weir, T., Galister, M., Boswell, S., Taylor, R. ve

Sarker, R. (2020). Portfolio optimization for defence applications. *IEEE Access*, 8: 60152-60178.

<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2983141>

[16] Kurtay, K. G., Dağıstanlı, H. A., & Erol, S. (2021). Plastik Boru ve Kaynak Makinesi Seçim Problemi için Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Gri İlişkisel Analiz Yöntemlerinin Entegrasyonu. *Savunma Bilimleri Dergisi*, 2(40), 267-291.

<https://doi.org/10.17134/khosbd.1001230>

[17] Desticioğlu, B., Kurtay, K. G., Altundaş, A., & Dağıstanlı, H. A. (2021). Hastanelere aşı dağıtımı için uygun rotaların belirlenmesi: Ankara ili örneği. *Politeknik Dergisi*, 26(1), 231-241. <https://doi.org/10.2339/politeknik.1014921>

[18] Dagistanli, H. A., & Üstün, Ö. (2023). An integrated multi-criteria decision making and multi-choice conic goal programming approach for customer evaluation and manager assignment. *Decision Analytics Journal*, 8, 100270.

<https://doi.org/10.1016/j.dajour.2023.100270>

[19] Altundaş, A., Kurtay, K. G., & Dağıstanlı, H. A. (2023). KBRN Kiti Dağıtım Ağı Tasarımı Optimizasyonu İçin Eş Zamanlı Topla Dağıtım Araç Rotalama Problemi Yaklaşımı. *SAVSAD Savunma ve Savaş Araştırmaları Dergisi*, (1), 171-196.

<https://doi.org/10.54078/savsad.1370431>

[20] Dağıstanlı, H. A. (2023). Çok ünlü çok depolu araç rotalama problemi: askerî ilaç fabrikası örneği. *Politeknik Dergisi*, 1-1. <https://doi.org/10.2339/politeknik.1224140>

[21] Desticioğlu, B., & Ayan, M. A. (2022). Savunma Tedarik Konusunda Yapılan Çalışmaların Bibliyometrik Analizi. *SAVSAD Savunma ve Savaş Araştırmaları Dergisi*, 32(1), 159-196.

<https://doi.org/10.54078/savsad.1134266>

[22] Desticioğlu Tasdemir, B., & Asilogullari Ayan, M. (2023, May). Sustainable Supplier Selection in the Defense Industry with Multi-criteria Decision-Making Methods. In *International Symposium on Intelligent Manufacturing and Service Systems* (pp. 95-106). Singapore: Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-6062-0_10

[23] Taliaferro, L. M., Gonzalez, M., Tillman, P., Ghosh, P., Clarke, W., Hinkle, A. C. ve John Harvey, A. C. (2019a). Institute for defense analyses defense governance and Management:

Improving the defense management capabilities of foreign defense institutions A Guide to Capability-Based Planning (CBP).

[24] Petras, Z. (2017). Comparative analysis of national approaches to military capability planning. *International Conference Knowledge-Based Organization*, 23(1). <https://doi.org/10.1515/kbo-2017-0037>

[25] Ciocan, F. (2011). Perspectives on interoperability integration within nato defense planning process. *Journal of Defense Resources Management (JoDRM)*, 2(2).

[26] NATO. (2003). Handbook on long term defence planning work performed by the RTO Studies, Analysis and Simulation Panel (SAS). Distribution and Availability on Back Cover.

[27] Holcombe, S. G., Johnston, N. C., Candreva, P. ve Webb, N. J. (2008). *Naval postgraduate school monterey, california mba professional report*. Analysis of the PPBE Process in the Current Dynamic Political Environment.

[28] Church, A. T. W. (2009). DOD planning programming budgeting and execution system. *JFQ Joint Force Quarterly*, 53.

[29] Nelson, D. (2002). Beyond defense planning. *Connections: The Quarterly Journal*, 1(2). <https://doi.org/10.11610/connections.01.2.08>

[30] Drew, D. M. ve Snow, D. M. (2006). Making twenty-first-century strategy. *An Introduction to Modern National Security Processes and Problems*.

[31] Par Malan, L. (2019). The process of defence planning.

[32] Saraçoğlu, İ., & Dağıstanlı, H. A. (2017). Tedarikçi Seçiminde Bulanık Mantık-Ahp Ve Vikor Yönteminin Bağlantı Elemanları Firmasında Uygulanması. *Yaşar Üniversitesi E-Dergisi*, 12, 40-54.

[33] Kurtay, K. G., Gökmen, Y., Altundaş, A., & Dağıstanlı, H. A. (2021). Savunma Sanayii Projelerinin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Önceliklendirilmesi Ve Karşılaştırılması: Karma Bir Model Önerisi. *Savsad Savunma ve Savaş Araştırmaları Dergisi*, 31(1), 1-24.

[34] Erdal, H., Kurtay, K. G., Dagistanli, H. A., & Altundas, A. (2023). Evaluation of Anti-Tank Guided Missiles: An integrated Fuzzy Entropy and Fuzzy CoCoSo multi criteria methodology using technical and simulation data. *Applied Soft*

- Computing*, 137, 110145.
<https://doi.org/10.1016/j.asoc.2023.110145>
- [35] Begenirbaş, M., Kurtay, K. G., Dağistanlı, H. A., & Altundaş, A. (2023). Determining the Importance Level of Effective Criteria in the Employees in the Defense Acquisition Process via Fuzzy DEMATEL Method. *Journal of Defense Sciences/Savunma Bilimleri Dergisi*, 2(43).
<https://doi.org/10.17134/khosbd.1216154>
- [36] Erdal, H., Kurtay, K. G., & Dağistanlı, H. A. (2024). Suggesting A Stochastic Measurement Tool for Determining Crime and Safety Indexes: Evidence from Turkey. *Gazi University Journal of Science*, 37(1), 339-355.
<https://doi.org/10.35378/gujs.1110735>
- [37] Dağistanlı, H. A., & Kurtay, K. G. (2024). Facility Location Selection for Ammunition Depots based on GIS and Pythagorean Fuzzy WASPAS. *Journal of Operations Intelligence*, 2(1), 36-49.
<https://doi.org/10.31181/jopi2120247>
- [38] Dağistanlı, H. A., & Gencer, C. Hibrit Tehdit Perspektifinden Orman Yangınları ve Türkiye'nin Mücadele Politikası. *SAVSAD Savunma ve Savaş Araştırmaları Dergisi*, (1), 35-70. <https://doi.org/10.54078/savsad.1377722>
- [39] Dupuy, T. N. (1979). *Using history to evaluate combat factors and the outcome of battles. numbers. Predictions and War.*
- [40] Ciano, J. F. (1988). The Quantified Judgment Model and historic ground combat. Alındığı yer: <http://hdl.handle.net/10945/23101>
- [41] Hogg, D. (1993). *Correlation of forces: The quest for a standardized model.* School of Advanced Military Studies United States Army Command and General Staff College.
- [42] Erkut, E. ve Ingolfsson, A. (2005). Transport risk models for hazardous materials: Revisited. *Operations Research Letters*, 33(1).
<https://doi.org/10.1016/j.orl.2004.02.006>
- [43] Aaron, C., Taliaferro, L. M., Gonzalez, M., Tillman, P., Ghosh, P., Clarke, W., Hinkle, A. C. ve John Harvey, A. C. (2019). Institute for defense analyses defense governance and management: Improving the defense management capabilities of foreign defense institutions a guide to capability-based planning (CBP).
- [44] Dağdeviren, M., Yavuz, S. ve Kiliç, N. (2009). Weapon selection using the AHP and TOPSIS methods under fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*, 36(4).
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.10.016>
- [45] Lee, J., Kang, S. H., Rosenberger, J. ve Kim, S. B. (2010). A hybrid approach of goal programming for weapon systems selection. *Computers and Industrial Engineering*, 58(3).
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2009.11.013>
- [46] Cheng, C. H. (1999). Evaluating weapon systems using ranking fuzzy numbers. *Fuzzy Sets and Systems*, 107(1).
[https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(97\)00348-5](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(97)00348-5)
- [47] Yu, Z., Tan, Y. J., Yang, K. W. ve Yang, Z. Y. (2012). *Research on evolving capability requirements oriented weapon system of systems portfolio planning.* *Proceedings - 2012. 7th International Conference on System of Systems Engineering*, SoSE 2012.
<https://doi.org/10.1109/SYSoSE.2012.6384128>
- [48] Zhang, S. T., Dou, Y. J. ve Zhao, Q. S. (2014). Evaluation of capability of weapon system of systems based on multi-scenario. *Advanced Materials Research*, 926-930.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.926-930.3806>
- [49] Kabak, M. (2011). Birlik hava savunma önceliklerinin tespitine bulanık bir yaklaşım. *Savunma Bilimleri Dergisi*, 10(2), 1-17.
- [50] <https://www.unroca.org/categories>
- [51] T.L. Saaty, A scaling method for priorities in hierarchical structures, *J. Math. Psych.* 15 (3) (1977) 234–281, [http://dx.doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](http://dx.doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5).
- [52] C.L. Hwang, K. Yoon, C.L. Hwang, K. Yoon, Methods for multiple attribute decision making, in: *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications a State-of-the-Art Survey*, 1981, pp. 58–191, http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9_3