T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNSANSIZ HAVA ARACI LOJİSTİK SÜREÇLERİNE BLOKZİNCİR TEKNOLOJİSİ ENTEGRASYONU İÇİN ÖNCELİKLİ FAALİYETLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Güzide UYGUN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Mühendislik Yönetimi Programı

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Özge Nalan BİLİŞİK

Temmuz, 2025

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNSANSIZ HAVA ARACI LOJİSTİK SÜREÇLERİNE BLOKZİNCİR TEKNOLOJİSİ ENTEGRASYONU İÇİN ÖNCELİKLİ FAALİYETLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Güzide UYGUN tarafından hazırlanan tez çalışması 14.07.2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Mühendislik Yönetimi Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Özge Nalan BİLİŞİK
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Özge Nalan BİLİŞİK, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Mert EDALI, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi Nazlı Gülüm MUTLU SÖNMEZ, Üye
Sağlık Bilimleri Üniversitesi _____

Danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Özge Nalan BİLİŞİK sorumluluğunda tarafımca hazırlanan "İnsansız Hava Aracı Lojistik Süreçlerine Blokzincir Teknolojisi Entegrasyonu İçin Öncelikli Faaliyetlerin Değerlendirilmesi" başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Güzide UYGUN

İmza

Bu çalışma, "…Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Koordinatörlüğü'nün 1234A…" numaralı projesi ile desteklenmiştir.



Aileme

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca desteğini hiç esirgemeyen, vermis olduğu bilgiler ile daima yol gösterici olan danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Özge Nalan BİLİŞİK'e,

Bu süreçte beni sürekli motive eden dualarını eksik etmeyen değerli aileme,

Zengin bir tarihin imar etmiş olduğu medeniyetimizi ecdadımızın mirasına sahip çıkarak "Kızılelma" olarak ifade ettiğimiz ufkun ötesindeki hedeflerimize ulaştırmak için Milli Teknoloji Hamlesi'ne canını, emeğini, desteğini veren her bir ferde sonsuz teşekkür ederim.

Güzide UYGUN

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ **ix**

KISALTMA LİSTESİ **x**

ŞEKİL LİSTESİ **xi**

TABLO LİSTESİ **xii**

ÖZET **xiii**

ABSTRACT **xv**

1 GİRİŞ **1**

1.1 Literatür Özeti 3

1.2 Tezin Amacı 10

1.3 Hipotez 10

2 KAVRAMSAL TASARIM **11**

2.1 Blokzincir Teknolojisi Kavramı 11

2.2 Blokzincir Kavramları ve Mimari Kökleri 14

2.2.1 Veri Katmanı 15

2.2.2 Ağ Katmanı 16

2.2.3 Fikir Birliği Katmanı 16

2.2.4 Teşvik Katmanı 17

2.2.5 Sözleşme Katmanı 17

2.3 Blokzincir Mimarisinin Sınıflandırılması 17

2.4 Blokzincir Teknolojisinin Fırsatları 18

2.5 Blokzincir Teknolojisine Yönelik Eleştiriler 21

2.6 İnsansız Hava Aracı Kavramsal Çerçevesi 22
2.7 İnsansız Hava Araçlarının Tarihsel Gelişimi 24
2.8 Türkiye'nin İnsansız Hava Aracı Yolculuğu 28
2.9 İHA Sistemlerinde Sınıflandırma.....32
2.10 İnsansız Hava Aracının Sistemsel Bileşenleri.....35
2.10.1 Gövde İskeleti 35
2.10.2 Uçuş Kontrol Ünitesi 36
2.10.3 Uçuş Bilgisayarı.....36
2.10.4 Haberleşme Modülü.....36
2.10.5 Faydalı Yük.....37
2.10.6 Güç Sistemi.....38
2.11 İnsansız Hava Aracı Lojistik Süreçleri 38
2.12 İHA Lojistik Süreçlerinde Teknolojik Yenilikler 40
2.13 İHA Lojistik Süreçlerinde Blokzincir Teknolojisi.....42
3 METODOLOJİ **44**
3.1 Bulanık Küme Teorisi.....44
3.2 Sezgisel Bulanık Kümeler.....45
3.3 Pisagor Bulanık Kümeler 46
3.4 Q Seviyeli Bulanık Kümeler 46
3.4.1 Q Seviyeli Bulanık Kümelerde Aritmetik İşlemler.....48
3.5 Q Seviyeli Bulanık Küme Temelli Critic.....49
3.6 Q Seviyeli Bulanık Küme Temelli Cronbach Katsayısı 51
3.7 Q Seviyeli Bulanık Küme Temelli Cradis 53
4 UYGULAMA **56**
4.1 Veri Toplama 57
4.2 Karar Modeli Unsurları.....58

4.2.1 Blokzincir Seçim Kriterleri 58
4.2.2 Uygulamada Kullanılan Alternatifler 61
4.2.3 Karar Verici Uzman Ekip Hakkında Bilgiler 63
4.3 QSBK Temelli Critic Metodunun Sonuçları 63
4.4 QSBK Temelli Cronbach Metodunun Sonuçları 65
4.5 QSBK Temelli Cradis ile Alternatiflerin Sıralanması 67
4.6 Duyarlılık Analizi ve Farklı Senaryoların Değerlendirilmesi 69
5 SONUÇ **74**
KAYNAKÇA **77**
A ANKET SORULARI **85**
B ETİK KURUL BEYANI **89**
C KRİTERLERE İLİŞKİN UZMAN DEĞERLENDİRMELERİ **90**
D UZMANLARIN KRİTER TEMELLİ ALTERNATİF DEĞERLENDİRMELERİ **91**
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR **95**

SİMGE LİSTESİ

AWQ_j^-	Anti - ideal çözüm değeri
AWQ_j^+	İdeal çözüm değeri
CC_j	Cronbach katsayısı
RA_i	Sıralama değeri
S_l	Önem düzeyi
U_i^-	Negatif fayda fonksiyonu
U_i^+	Pozitif fayda fonksiyonu
VD_i^-	Anti ideal değerden sapma uzaklığı
VD_i^+	İdeal değerden sapma uzaklığı
$\nu_A(x)$	Üye olmama derecesi
μ_A	Üyelik derecesi
π_A	Tereddüt derecesi
ω_j	Ağırlık katsayısı
$\prod$	Çarpım
$\sum$	Toplam
σ	Varyans

KISALTMA LİSTESİ

ANP	Analytic Network Process
BZT	Blokzincir Teknolojisi
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
EASA	European Aviation Safety Agency
ELD	Entegre Lojistik Destek
FAHP	Fuzzy Analytic Hierarchy Process
FCC	Flight Control Computer
FFD	Fractional Factorial Design
GPS	Global Positioning System
HVT	Hava Veri Terminali
ICAO	International Civil Aviation Organization
IOT	Internet Of Things
İHA	İnsansız Hava Aracı
İHAS	İnsansız Hava Aracı Sistemi
PBK	Pisagor Bulanık Küme
QSBK	Q Seviyeli Bulanık Küme
SAGA	Simulated Annealing–Genetic Algorithm
SBK	Sezgisel Bulanık Küme
TSK	Türk Silahlı Kuvvetleri
YDT	Yer Destek Teçhizatı
YKİ	Yer Kontrol İstasyonu
YZ	Yapay Zeka

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Geleneksel merkezi defter ve dağıtık defter sistemlerinin karşılaştırılması **12**
Şekil 2.2 Blokzincir temel bileşenleri **12**
Şekil 2.3 Blokzincir mimarisi katmanları **14**
Şekil 2.4 Blok yapısı **15**
Şekil 2.5 Queen Bee **25**
Şekil 2.6 Firebee **26**
Şekil 2.7 Predator B **28**
Şekil 2.8 Anka-S **30**
Şekil 2.9 Bayraktar TB3 ..... **31**
Şekil 2.10 Bayraktar Kızılelma **31**
Şekil 2.11 İnsansız hava aracının unsurları **35**
Şekil 2.12 Yer kontrol istasyonu (YKİ) **37**
Şekil 2.13 Yer veri terminali (YVT) **37**
Şekil 2.14 Entegre lojistik destek elemanları ile optimum lojistik destek ilişkisi **39**
Şekil 3.1 Bulanık küme teorisinin tarihsel gelişimi **44**
Şekil 3.2 Bulanık küme türlerinin karşılaştırılması **48**
Şekil 3.3 Cradis yaklaşımı **53**
Şekil 4.1 Q seviyeli bulanık küme tabanlı uygulama aşaması **56**

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 Çok kriterli karar verme perspektifinden lojistikte blokzincir.....**3**
Tablo 2.1 Blokzincir teknolojisinin gelişim aşamaları.....**13**
Tablo 2.2 Blokzincirin türlere göre farklılaşması **18**
Tablo 2.3 Akıllı sözleşme - geleneksel sözleşme karşılaştırması **20**
Tablo 2.4 NATO'nun insansız hava aracı sınıflandırması.....**33**
Tablo 2.5 EUROUVS'un insansız hava aracı sınıflandırması **33**
Tablo 2.6 Vazifelerine göre faydalı yük tipleri yaklaşımı **38**
Tablo 4.1 Kriterlerin yönü ve kısaltmaları **59**
Tablo 4.2 Uzmanlara ait bilgiler **63**
Tablo 4.3 Kriterlere ilişkin dilsel derecelendirme.....**64**
Tablo 4.4 Uzman çiftlerine ait korelasyon **64**
Tablo 4.5 Uzmanların önem düzeyi değerleri.....**65**
Tablo 4.6 Normalize edilmiş uzman ağırlıkları **65**
Tablo 4.7 Kriterlere ilişkin uzman değerlendirmeleri **65**
Tablo 4.8 Kriterlere ilişkin ağırlıklı korelasyon matrisi.....**66**
Tablo 4.9 Kriterlere ilişkin cronbach katsayısı **66**
Tablo 4.10 Kriterlerin normalizasyon değerleri.....**66**
Tablo 4.11 Alternatiflerin dilsel derecelendirmesi.....**67**
Tablo 4.12 Ağırlıklandırılmış değerlendirme matrisi **67**
Tablo 4.13 İdeal ve anti ideal çözüm değerleri **68**
Tablo 4.14 Alternatiflerin ideal ve anti ideal sapma uzaklık değerleri **68**
Tablo 4.15 Alternatiflerin normalizasyon değerleri.....**68**
Tablo 4.16 Alternatiflere ait sıralama sonuçları.....**69**
Tablo 4.17 Senaryo temelli kriter sıralamalarının karşılaştırılması **70**
Tablo 4.18 Senaryo temelli kriter sıralamalarının karşılaştırılması **70**

ÖZET

İnsansız Hava Aracı Lojistik Süreçlerine Blokzincir Teknolojisi Entegrasyonu İçin Öncelikli Faaliyetlerin Değerlendirilmesi

Güzide UYGUN

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Özge Nalan BİLİŞİK

Blokzincir teknolojisi, teorik düzeyde 1980'lere dayanırken 2008 finansal krizi sonrasında kripto para uygulaması bitcoin ile hayatımıza hızlı bir giriş yapmıştır. Akıllı sözleşmelerin kullanımıyla çeşitli potansiyel uygulamalara açık hale gelirken umut verici bir bilgi teknolojisi olmuştur. Finans sektöründen gıda lojistiğine, havacılık yönetiminden kamu hizmetlerine uzanan çeşitli uygulama alanları oluşsa da blokzincir teknolojisinin kabulü beklenilen düzeyde değildir. Blokzincir teknolojisi, işlemlerin güvenliğini sağlamak üzere dağıtık defter mimarisini uygular. Bilgilerin döngüsel şekilde kriptolanması, güvenilirlik, değiştirilemezlik, silinmezlik ilkeleriyle kayıt tutulduğunun ispatıdır. İnsansız hava aracı lojistik süreçlerinin çalışma prensibi ise blokzincir teknolojisinin çalışma ilkeleri ile uyumludur.

Bu çalışmada insansız hava aracı lojistik süreçlerine blokzincir teknolojisi entegrasyonu için gerekli kriterler ve bu kriterleri gözeten sistem içerisindeki faaliyetlerin önceliklendirmesi incelenmiştir. Çalışmanın amacı insansız hava aracı lojistik süreçlerinde blokzincir teknoloji kabulü için gerekli kriterlerin değerlendirilmesi ile ilgili kriterleri gözeten operasyonel süreçlerin stratejik

amaçlarda kullanmak için önceliğinin belirlenmesidir. Acil dönüşüm ihtiyacı için değerlendirilmek üzere 6 adet İHA lojistik süreci, alternatif olarak seçilmiş ve 9 adet kriter verisi ışığında değerlendirmek üzere q-seviyeli bulanık küme temelli entegre bir çok kriterli karar verme yöntemi önerilmiştir. Bu çerçevede, q seviyeli bulanık küme ile birleştirilmiş CRITIC yöntemi, uzmanların önem derecelerinin belirlemesi için sunulmuştur. Daha sonra q-seviyeli bulanık küme ile birleştirilmiş CRONBACH katsayısı kriter ağırlıklarını belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Son olarak, q-seviyeli bulanık küme ile birleştirilmiş CRADIS metodu genişletilerek önceliklendirme için bir sonuç önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Blokzincir teknolojisi, insansız hava aracı, q seviyeli bulanık küme, CRITIC, CRONBACH katsayısı, CRADIS

ABSTRACT

Evaluation Of Priority Activities For Integration Of Blockchain Technology Into Unmanned Aerial Vehicle Logistics Processes

Güzide UYGUN

Department of Industrial Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Dr. Özge Nalan BİLİŞİK

While blockchain technology dates back to the 1980s at the theoretical level, it made a rapid entry into our lives with the cryptocurrency application bitcoin after the 2008 financial crisis. It has become a promising information technology while becoming open to various potential applications with the use of smart contracts. Although there are various application areas ranging from the finance sector to food logistics, from aviation management to public services, the acceptance of block chain technology is not at the expected level. Blockchain technology applies distributed ledger architecture to ensure the security of transactions. The cyclic encryption of information proves that records are kept with the principles of reliability, unchangeability and indelibility. The working principle of unmanned aerial vehicle logistics tracking systems is compatible with the working principles of block chain technology.

This study examines the criteria required for the acceptance of block chain technology in unmanned aerial vehicle logistics tracking systems and the prioritisation of activities within the system that observe these criteria. The aim of the study is to evaluate the criteria required for the acceptance of block chain

technology in unmanned aerial vehicle logistics tracking systems and to determine the priority of the operational processes that observe the relevant criteria for strategic purposes. Six UAV logistics processes are selected as alternatives to be evaluated for the urgent conversion need and an integrated multi-criteria decision making method based on q-level fuzzy set is proposed to evaluate them in the light of 9 criteria data. In this framework, the CRITIC method combined with q-level fuzzy set is presented for the experts to determine the importance levels. Then, CRONBACH coefficient combined with q-level fuzzy set is used to determine the criteria weights. Finally, a result for prioritisation is proposed by extending the CRADIS method combined with q-level fuzzy set.

Keywords: Blockchain technology, unmanned aerial vehicle, Q Rung Fuzzy Set, CRITIC, Cronbach's coefficient, CRADIS

1
GİRİŞ

Blokzincir teknolojisi (BZT), nesnelerin interneti, 5G, yapay zeka, büyük veri, kuantum bilgisayarlar ile birlikte geleceğin potansiyel yenilikler sunan teknolojileri arasında yerini almıştır. BZT'nin temelinde bir veri işleme mekanizması vardır. Bu yapıdaki işlemler, gerçekleştirilen tüm işlemleri merkezi bir otoriteye ihtiyaç olmadan, bloklar halinde halka açık, değiştirilemez, şeffaf, yüksek güvenlikli ve denetlenebilir bir defterde saklayan bir mimariye sahiptir. 2008 finansal krizi sonrası kripto para ile bir pazar payı kazanan blokzincir, kayıt defterlerinin kriptolanarak birbirine bağlanan veri blokları oluşturması özelliği ile çok çeşitli iş alanlarında fırsatlara açık bir teknoloji olarak yol almıştır. Günümüzde BZT'nin, dijital para olarak kullanımının ötesinde finans, yönetim, kamu, gıda, havacılık, nakliye ve lojistik takip faaliyetleri başta olmak üzere farklı iş kollarında uygulamaları mevcuttur.

İnsansız hava araçları (İHA), savunma sanayisinde farklı vazifelerde operasyonel faaliyet icra edebilecek bir teknoloji ürünüdür. Bu araçlar günümüzde savunma sanayisinde bir dönüm noktası olmakla birlikte yüksek irtifada uzun süre uçma kabiliyeti, cephede istihbarat amacıyla bilgi aktarma, düşman hareketliliğinin takibini yapma özellikleri sayesinde orduların stratejik kararlar alarak başarısızlık riskini azaltırken başarılı sonuçlara imza atmaktadır. Bununla beraber İHA sistemleri yazılım odaklı yenilikler ile gelişime açık bir mekanizmadır. Yazılım kabiliyeti geliştirildikçe İHA sistemleri daha gelişmiş bir teknoloji ürününe dönüşür. İnsansız hava araçlarının farklı görevlerdeki icra yeteneği artarken, diğer taraftan arıza, bakım ve çeşitli lojistik operasyonları için kritik öneme sahip yönetim planlarının oluşturulmasını beraberinde getirir.

Bu çalışmada İHA'ların lojistik süreçlerine BZT entegrasyonu için gerekli kriterlerin sıralaması incelenirken, bu kriterleri gözeten ve acil ihtiyaç dönüşümü gerektiren faaliyetler araştırılmıştır.

Bu tez beş bölümden oluşmaktadır.

İlk bölümde, blokzincir, İHA lojistiği ve çok kriterli karar verme (ÇKKV) alanlarındaki temel kavramlar ve literatür sistematik biçimde incelenmiş, savunma sanayinde BZT ile ilgili bilgi boşlukları tespit edilerek çalışmanın özgün katkı alanları belirlenmiştir. Araştırmanın amacı açıklanmış ve bu amaçları test etmek için hipotez geliştirilmiştir.

İkinci bölümde BZT'nin temel prensipleri, mimarisi ve tedarik zincirindeki uygulamaları ele alınmış; İHA'ların teknik özellikleri ve lojistik destek ihtiyaçları belirtilmiş, bu iki alanın kesişiminde blokzincirin İHA lojistik süreçlerine sağladığı izlenebilirlik, güvenlik, verimlilik ve diğer avantajları detaylandırılmıştır.

Üçüncü bölümde, bulanık küme teorisinin temel kavramları ve q-seviyeli bulanık kümeler özelinde uygulamaları açıklanmış; CRITIC, CRONBACH ve CRADIS yöntemlerinden oluşan hibrit modelin yapısı ve hesaplama süreçleri adım adım sunulmuştur.

Dördüncü bölümde, savunma sanayinde faaliyet gösteren bir İHA üreticisi firmada yapılan gerçek bir probleme dayalı çalışma anlatılmıştır. Uzmanlardan toplanan dilsel veriler q-seviyeli bulanık sayılara dönüştürülerek sayısallaştırılmış, uzman ağırlıkları CRITIC yöntemiyle, kriterlerin tutarlılığı CRONBACH katsayısı ile ve alternatiflerin önem dereceleri CRADIS algoritması ile analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar duyarlılık analizine tabi tutulmuş ve farklı senaryolar ışığında yorumlanmıştır.

Beşinci bölümde İHA destekli savunma lojistiği süreçlerine yönelik blokzincir entegrasyonunun operasyonel sürdürülebilirlik, veri bütünlüğü ve karar hızına katkıları vurgulanmış; çalışmanın pratik çıktıları savunma alanındaki İHA lojistik süreçlerine yönelik önerilerle desteklenmiştir. Son olarak, araştırmanın sınırlılıkları ve gelecekte yapılabilecek çalışmalar için potansiyel araştırma yolları sunulmuştur. Bu bütüncül yaklaşım, blokzincir tabanlı İHA lojistik süreçlerinin değerlendirilmesinde yenilikçi bir metodolojik çerçeve sağlayarak ilgili literatüre ve uygulayıcılara anlamlı katkılar sunmayı hedeflemektedir.

1.1 Literatür Özeti

Bu çalışmada yapılan literatür incelemesinde Web of Science veri tabanı kullanılmıştır. Taramada, "Logistics", "Multi-Criteria Decision Making" ve "Blockchain" İngilizce anahtar kelimeleri tercih edilmiştir. Elde edilen çalışmalar, araştırmacı, yayın yılı ve kullanılan yönteme göre sistematik şekilde sınıflandırılmış ve bu bilgiler Tablo 1.1'de sunulmuştur.

Tablo 1.1 Çok kriterli karar verme perspektifinden lojistikte blokzincir

Aranan Kavram	Kaynak No	Yazar	Yıl	Uygulama Yöntemi
"Multi criteria decision making" "Logistics" "Blockchain"	1	Cihat Öztürk, Abdullah Yıldızbaşı	2020	Bulanık AHP Bulanık TOPSIS
	2	Jeong-Han Yoon, Jin-Sup Kim, Hong-Gyue Park	2020	AHP
	3	Ifeyinwa Juliet Orji, Simonov Kusi-Sarpong, Shuangfa Huang, Diego Vazquez- Brust	2020	ANP
	4	Şen-Tsu Wang, Meng-Hua Li, Chun-Chi Lien	2021	FFD-SAGA Gri İlişkisel Analiz
	5	Mladen Krstić, Giulio Paolo Agnusdei, Paolo Miglietta, Snežana Tadić	2022	Bulanık Delphi Bulanık ANP Bulanık COBRA
	6	Nguyen Van Thanh	2022	Bulanık AHP Bulanık WASPAS
	7	Hadi Balouei Jamkhaneh, Rıza Şahin, Guilherme Luz Tortorella	2022	Bulanık DEMATEL Bulanık ANP
	8	Jian Zhang, Xuanjian Zhang, Wei Liu, Ming Ji, Arunodaya Raj Mishra	2022	Q-seviyeli bulanık Entropi yöntemi MULTIMOORA
	9	Ömer Faruk Görçün, Dragan Pamucar, Sanjib Biswas	2023	Bulanık AHP Bulanık VIKOR
	10	Mohammed S. Alsaqer, Majid H. Alsulami, Rami N. Alkhawaji, Abdulellah A. Alaboudi	2023	Tereddütlü Bulanık AHP Tereddütlü Bulanık TOPSIS
	11	Seyyed Celaleddin Hosseini Dehshiri, Maghsoud Amiri	2024	SWARA CoCoSo
	12	Mai Mohamed, Shaimaa Ayman, Rui Yong, Jun Ye	2024	Bulanık SWARA Bulanık MARCOS
	13	Miloş Veljoviç, Snezana Tadiç, Mladen Krstić	2024	Bulanık ANP Bulanık ADAM
	14	Rashmi Pathak, Badal Soni, Naresh Babu Muppalaneni, Muhammet Deveci	2024	Q-seviyeli bulanık CRITIC Q-seviyeli bulanık Copras

Öztürk ve Yıldızbaşı (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, lojistik sektöründe BZT'nin benimsenmesinde karşılaşılan zorluklar, bulanık AHP ve TOPSIS yöntemlerinin birleşimiyle geliştirilen ÇKKV modeli kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında, yüksek yatırım maliyetleri, veri güvenliği endişeleri ve beklenen faydaların yeterince net olmaması gibi başlıca engeller tespit edilmiştir. Ayrıca, sağlık ve lojistik sektörlerinin blokzincir entegrasyonunda daha karmaşık yapılar sergilediği ve daha basit tedarik zinciri yapısına sahip sektörlerin bu teknolojiyi daha hızlı benimsediği sonucuna ulaşılmıştır. Önerilen model, lojistik alanında BZT'nin stratejik olarak uygulanmasına yönelik yol gösterici bir araç olarak değerlendirilmiştir.

Yoon, Kim ve Park (2020) Güney Kore'deki Busan ve Incheon limanlarına odaklanarak, deniz-lojistiği ağlarında blokzincir (BZT) teknolojisinin benimsenmesini etkileyen faktörleri Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ile önceliklendirmiştir. Çevrim-içi anketle toplanan birincil veriler üzerinde yürütülen AHP analizi, ekonomik boyutun özellikle maliyet ve zaman tasarrufuna ilişkin beklentilerin en yüksek öneme sahip olduğunu göstermiş, bunu çevresel, teknik ve örgütsel faktörler sırasıyla izlemiştir. Ayrıca sonuçlar, uygulayıcı lojistik yöneticilerinin BZT'nin somut faydalarını netleştirmekte zorlandığını, danışmanlar ile akademisyenlerin ise teknolojik olgunluk düzeyine dair çekinceler taşıdığını ortaya koymuştur. Bu bulgular, deniz lojistiğinde BZT yatırımlarının stratejik planlanmasında ekonomik gerekçelerin hâlen belirleyici olduğunu, ancak çevresel sürdürülebilirlik ve teknolojik altyapı koşullarının da göz ardı edilemeyecek ölçüde etkili olduğunu vurgulamaktadır. Çalışma, liman lojistiğinde blokzincir uygulama stratejilerinin tasarımına yönelik ampirik kanıt sunarak literatüre katkıda bulunmaktadır.

Orji vd. (2020), yük lojistiği sektöründe BZT'nin benimsenmesini etkileyen kritik faktörleri teknoloji-organizasyon-çevre (TOE) çerçevesi kapsamında incelemişlerdir. Araştırmada, Analitik Ağ Süreci (ANP) yöntemi kullanılarak, BZT'nin kabulünü şekillendiren çoklu faktörler arasındaki karmaşık ilişkiler ve geri beslemeler sistematik biçimde analiz edilmiştir. Çalışmanın amacı, kamu kurumları, yük lojistiği firmaları ve blokzinciri hizmet sağlayıcıları için stratejik karar alma süreçlerinde rehberlik sağlamaktır. Elde edilen sonuçlara göre, BZT'nin yük lojistiği sektöründe benimsenmesini en çok etkileyen üç faktör; blokzinciri

araçlarının kullanılabilirliği, altyapı tesislerinin mevcudiyeti ve hükümet politikası ile desteğidir. Bu bulgular, lojistik alanında dijital dönüşümün etkin yönetimi için politika yapıcılar ve sektör paydaşları açısından önemli stratejik çıkarımlar sunmaktadır.

Shen-Tsu Wang ve çalışma arkadaşları (2021), lojistik sektöründe blokzinciri tabanlı akıllı dolap sistemlerinin optimal uygulanabilirliğini değerlendiren bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmada, veri güvenliği, operasyonel verimlilik ve hizmet sürdürülebilirliği gibi çok sayıda kriter dikkate alınmış; karar sürecinde FFD-SAGA (Fractional Factorial Design–Simulated Annealing–Genetic Algorithm) ve gri karar verme yöntemi kullanılmıştır. Geliştirilen sistem, modüler ve ölçeklenebilir bir mimari çerçevesinde kurgulanmış olup, çeşitli senaryolar altında performans analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, BZT'nin lojistik operasyonlara entegre edilmesinin, özellikle güvenli teslimat ve kullanıcı etkileşimi açısından önemli katkılar sağladığını ortaya koymaktadır.

Krstić vd. (2022), sürdürülebilir dairesel ekonomi ve kapalı tedarik zinciri sistemleri bağlamında, akıllı ters lojistik sistemlerinin geliştirilmesine yönelik en uygun senaryonun seçilmesi amacıyla kapsamlı bir karar destek modeli geliştirmiştir. Çalışmada, Nesnelerin İnterneti, otonom araçlar, yapay zeka, büyük veri ve veri madenciliği, blokzincir, bulut bilişim ve elektronik/mobil pazar yerleri gibi ileri Endüstri 4.0 teknolojilerinin entegre edilmesiyle oluşturulan dört geliştirme senaryosu değerlendirilmiştir. Ana paydaş temsilcileri tarafından altı ana kriter ve geniş bir alt kriter kümesi üzerinden gerçekleştirilen değerlendirmede, bulanık ortamda Delphi, ANP ve Kapsamlı Mesafe Tabanlı Sıralama (COBRA) yöntemlerinin hibrit olarak kullanıldığı ÇKKV yaklaşımı benimsenmiştir. Bu yöntemler, belirsizlik ve karmaşıklık içeren lojistik karar alma süreçlerinde etkili sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır. Çalışma, lojistik ve ters lojistik süreçlerinde Endüstri 4.0 teknolojilerinin uygulanabilirliği ile ilgili karar destek sistemlerine önemli bir katkı sunmakta olup, özellikle blokzincirin lojistikteki rolünün stratejik değerlendirmesine bilimsel bir temel oluşturmaktadır.

Nguyen (2022), lojistik organizasyonları için blokzincir geliştirme hizmet sağlayıcılarının değerlendirilmesine yönelik iki aşamalı bir bulanık ÇKKV modeli önermiştir. Model, bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (FAHP) ile kriter ağırlıklarını belirlemekte, ardından Ağırlıklı Toplam Ürün Değerlendirme (WASPAS) yöntemi

kullanılarak alternatif hizmet sağlayıcılar sıralanmaktadır. Önerilen hibrit yaklaşım, gerçek bir lojistik organizasyonunda gerçekleştirilen vaka çalışmasıyla doğrulanmıştır. Çalışma, lojistik sektöründe blokzinciri teknolojisi hizmet sağlayıcılarının seçimi için sistematik ve etkili bir değerlendirme aracı sunarak literatüre önemli bir katkı sağlamaktadır.

Balouei Jamkhaneh vd. (2022), gelişmekte olan ekonomilerde Lojistik 4.0 hizmet kalitesini etkileyen sürdürülebilirlik sağlayıcılarını inceleyen kapsamlı bir çalışma gerçekleştirmiştir. Araştırmada, lojistik hizmet kalitesini belirleyen kriterler, literatür taraması ve alan uzmanlarının görüşleri doğrultusunda sınıflandırılmış; bu kriterler, rekabet avantajı sağlayan ve sosyal değer yaratan olarak iki ana grupta toplanmıştır. Çalışmada, lojistik süreçlerde BZT başta olmak üzere yapay zeka, ileri robot teknolojileri ve eklemeli üretim gibi dijital teknolojilerin sürdürülebilirlik açısından önemi vurgulanmıştır. Yöntem olarak, ÇKKV tekniklerinden bulanık DEMATEL (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory) ve ANP kullanılmıştır. Bulanık DEMATEL yöntemi, kriterler arasındaki nedensellik ilişkilerini ve etkileşim yoğunluklarını belirlemek için uygulanmış, ANP yöntemi ise kriterlerin ağırlıklandırılmasında ve önceliklendirilmesinde tercih edilmiştir. Bu yöntemler sayesinde, lojistik 4.0 bağlamında hizmet kalitesini artıran dijital sürdürülebilirlik sağlayıcıları sistematik ve objektif bir şekilde analiz edilmiştir. Araştırma bulguları, BZT'nin lojistik süreçlerin şeffaflığını ve güvenliğini artırarak, hizmet kalitesinin yükseltilmesinde kritik rol oynadığını ortaya koymuştur. Bu çalışma, lojistik sektöründe dijital dönüşüm ve sürdürülebilirlik entegrasyonunu değerlendiren literatüre önemli metodolojik ve uygulamalı katkılar sağlamaktadır.

Zhang vd. (2022), lojistik sektöründe BZT'nin sürdürülebilir tedarik zinciri uygulamalarındaki kritik başarı faktörlerini belirlemeyi amaçlayan kapsamlı bir çalışmada, gelişmiş ÇKKV tekniklerini kullanmıştır. Araştırmada, karar vericilerin belirsiz ve karmaşık değerlendirmelerini daha etkili biçimde modelleyebilmek için QSBK teorisi benimsenmiştir. Kriterlerin ağırlıklandırılmasında entropi ve rank-sum ağırlıklandırma metodu kullanılarak, faktörlerin önem dereceleri objektif bir şekilde hesaplanmıştır. Alternatiflerin sıralanması için ise çok boyutlu optimizasyon yöntemi olan MULTIMOORA uygulanmıştır. Bu metodolojik çerçeve, BZT'nin lojistik tedarik zincirinde şeffaflık, güvenlik ve sürdürülebilirlik

sağlamadaki rolünü sistematik olarak analiz etmeye olanak tanımıştır. Çalışmanın bulguları, blokzincirin lojistik süreçlerde dijital dönüşümü destekleyerek tedarik zincirinin dayanıklılığını ve performansını artırdığını ortaya koymaktadır. Bu araştırma, lojistik sektöründe blokzincir tabanlı sürdürülebilirlik uygulamalarının karar alma süreçlerine entegre edilmesi açısından önemli teorik ve pratik katkılar sunmaktadır.

Görçün vd. (2023) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, lojistik sektöründe BZT'nin benimsenme sürecine yönelik ÇKKV yöntemleri kullanılmıştır. Araştırmada, bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci ile bulanık VIKOR yöntemlerinin entegrasyonu sağlanarak, lojistik firmalarının blokzincir uygulamalarında karşılaştığı faktörlerin önceliklendirilmesi ve karar destek mekanizmasının geliştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın sonuçları, güvenliğin blokzincir entegrasyonunda belirleyici bir unsur olduğunu göstermiştir. Ayrıca, blokzincirin lojistik süreçlerde şeffaflık, izlenebilirlik ve veri güvenliğini artırmada önemli katkılar sağladığı vurgulanmıştır. Bu yöntem, lojistik sektöründe teknoloji entegrasyonuna ilişkin karar süreçlerinin sistematik ve kapsamlı bir şekilde desteklenmesine olanak tanımaktadır.

Alsaqer vd. (2024), çalışmalarında çeşitli BZT modellerini inceleyerek bu modellerin lojistik sektörüne etkilerini analiz etmektedir. Araştırmanın temel amacı, güvenlik politikaları çerçevesinde ulaştırma sektöründeki profesyonellerin en uygun blokzinciri modelini belirlemelerine yardımcı olacak BZT çerçevelerinin, elektronik kayıt güvenliği üzerindeki etkisini değerlendirmektir. Bu kapsamda, hangi BZT model özelliklerinin daha kritik olduğunu belirlemek amacıyla tereddütlü bulanık AHP yöntemi uygulanmış; modellerin farklı lojistik sistemlerdeki performans düzeylerini tahmin etmek için ise tereddütlü bulanık TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen bulgular, özel blokzinciri modelinin ulaştırma işletmeleri açısından en etkili çözüm olduğunu göstermektedir. Bu modelin uygulanmasının, lojistik operasyonların yürütülme biçiminde önemli yapısal değişimlere yol açabileceği değerlendirilmektedir.

Hosseini Dehshiri ve Amiri (2024), lojistik ve sürdürülebilir tedarik zinciri bağlamında BZT'nin uygulanabilirliğini değerlendirmek amacıyla yenilikçi bir karar destek modeli geliştirmiştir. Çalışmada, karar vericilerin belirsizlik ve subjektif değerlendirmelerini daha gerçekçi yansıtabilmek için Z-sayıları (Z-

numbers) kavramı temel alınmıştır. Bu yaklaşım, karar alma süreçlerindeki güven derecesini ve belirsizlikleri etkin bir biçimde modele dahil etmektedir. Yöntemsel olarak, ÇKKV tekniklerinden Adım Adım Ağırlık Değerlendirme Oranı Analizi (SWARA) ile kriterlerin önceliklendirilmesi sağlanmış; alternatiflerin değerlendirilip sıralanması aşamasında ise Birleşik Uzlaşma Çözümü Yöntemi (CoCoSo) kullanılmıştır. Bu birleşik yöntem, blokzincir uygulamalarının sürdürülebilir lojistik tedarik zincirinde şeffaflık, güvenlik ve performans artışı sağlama potansiyelini sistematik ve objektif olarak analiz etmeye olanak tanımaktadır. Araştırmanın sonuçları, BZT'nin lojistik süreçlerde dijital dönüşümün temel bir bileşeni olduğunu ve karar alma mekanizmalarında belirsizliklerin azaltılması yoluyla stratejik uygulamalara rehberlik ettiğini göstermektedir. Böylece çalışma, blokzincirin lojistik ve sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimindeki kritik rolüne yönelik literatüre metodolojik ve uygulamalı önemli katkılar sunmaktadır.

Muhammed vd. (2024), lojistik sektöründe teslimat süreçlerinin etkinliğini artırmak amacıyla Nesnelerin İnterneti (IoT) tabanlı drone teknolojisinin kullanımının giderek yaygınlaştığını belirtmişlerdir. Ancak, belirli kısıtlamalar ve güvenlik endişeleri nedeniyle, BZT teslimat süreçlerinin izlenmesinde kullanılmasına rağmen, müşterilerin ihtiyaçlarını en iyi şekilde karşılayacak lojistik işletmelerinin seçimi karar vericiler için karmaşık bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Bu kapsamda, araştırmacılar, alternatif değerlendirme sürecinde belirsizliğin etkisini azaltmak ve karar kalitesini artırmak amacıyla Üçgen Bulanık Adım Adım Ağırlık Değerlendirme Oranı (Triangular Fuzzy SWARA) ve Üçgen Bulanık Alternatiflerin Ölçümü ve Uzlaşma Çözümüne Göre Sıralama (Triangular Fuzzy MARCOS) yöntemlerini içeren bütünleşik bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Önerilen yöntemde, Bulanık SWARA kriter ağırlıklarının tayininde, Bulanık MARCOS ise alternatiflerin sıralanması ve en uygun lojistik işletmesinin seçilmesinde kullanılmıştır. Böylelikle çalışma, lojistik sektöründe karar alma süreçlerinde belirsizliği minimize eden etkili bir model sunarak literatüre değerli katkılar sağlamaktadır.

Veljović vd. (2024), son mil lojistiğinde karşılaşılan zorlukların üstesinden gelmek amacıyla hangi Endüstri 4.0 teknolojilerinin öncelikli olarak uygulanması gerektiğini incelemişlerdir. Araştırmada, karmaşık ve belirsiz karar ortamlarını

daha etkin analiz etmek için bulanık Analitik Ağ Süreci (FANP) ile bulanık Eksensel Mesafeye Dayalı Toplu Ölçüm (Fuzzy ADAM) yöntemleri entegre edilmiştir. Bu bütünleşik ÇKKV yaklaşımı, son mil lojistiğine yönelik teknolojilerin performansını değerlendirmiştir. Elde edilen bulgular, elektronik/ticaret pazaryerlerinin en uygun çözüm olduğunu ortaya koyarken, bunu bulut bilişim destekli yönetim ve kontrol sistemleri ile BZT takip etmiştir. Çalışma, lojistik süreçlerin dijital dönüşümünde yaygın şekilde benimsenen bu teknolojilerin son mil lojistiğinin verimliliğini artırmada kritik rol oynadığını göstermektedir. Böylece, BZT'nin de dahil olduğu Endüstri 4.0 uygulamalarının, lojistikte sürdürülebilir ve şeffaf bir operasyonel yapı sağlamada etkili olduğu vurgulanmıştır.

Pathak vd. (2024), BZT'nin farklı sektörlerde benimsenmesini etkileyen faktörleri değerlendirmek amacıyla, belirsizliklerin yüksek olduğu karar ortamlarında geçerli olan aralık değerli QSBK temelli bir ÇKKV yaklaşımı önermiştir. Çalışmada, kriter ağırlıkları CRITIC yöntemiyle objektif olarak belirlenmiş ve sektörlerin performansı COPRAS yöntemiyle analiz edilmiştir. Lojistik sektörünün de dahil edildiği değerlendirmede, veri gizliliği, değiştirilemezlik, işlem maliyeti ve ölçeklenebilirlik gibi kriterler öne çıkan unsurlar arasında yer almıştır. Bulgular, lojistikte blokzincir uygulamalarının özellikle izlenebilirlik, güvenlik ve operasyonel verimlilik açısından yüksek potansiyel taşıdığını ortaya koymuştur. Bu yönüyle çalışma, lojistik bağlamında blokzincirin çok kriterli değerlendirilmesine dair metodolojik olarak güçlü ve güncel bir katkı sunmaktadır.

Sonuç olarak yapılan literatür taramasında, BZT uygulamalarının büyük ölçüde lojistik ve tedarik zinciri süreçlerine odaklandığı, ayrıca karar verme süreçlerinde ÇKKV yöntemlerinin sıklıkla bir arada kullanıldığı görülmektedir. Bu tez çalışması, mevcut literatürde yer alan araştırmalardan farklı olarak, savunma alanında İHA'ların lojistik süreçlerine BZT entegrasyonu kapsamında, acil ihtiyaç dönüşümüne yönelik öncelikli faaliyet kolunun belirlenmesine odaklanmaktadır. Önceki çalışmaların kapsamı dışında kalan yenilikçi ve bütüncül bir yöntem setiyle, önerilen karar modelinde öznel yargılardan kaynaklı rastgeleliği ve belirsizliği en aza indirmek amacıyla QSBK çerçevesinde CRITIC, CRONBACH katsayısı ve CRADIS yöntemleri hibrit biçimde entegre edilmiştir.

1.2 Tezin Amacı

Çalışmada ulaşılmak istenen hedef; insansız hava aracı lojistik süreçlerine BZT entegrasyonu için gerekli kriterlerin değerlendirilmesi ve stratejik amaçlarda kullanmak üzere ilgili kriterleri gözeten İHA tabanlı lojistik süreçlerin içerisinde acil ihtiyaç dönüşümü gerektiren faaliyetlerin belirlenmesidir. Bununla birlikte, BZT kabulünü q seviyeli bulanık küme (QSBK) yöntemiyle modelleyerek karar vericilerin farklı bilgi ve tecrübelerine dayalı olarak meydana gelen belirsizlikleri göz önünde bulundurup gerçekçi sonuçlar elde etmek ve etkili insansız hava aracı lojistik süreçleri için alternatif bir uygulama oluşturabilmek amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

Çalışmanın hipotezi, blokzincir teknolojisi ile insansız hava aracı lojistik süreçlerinin ortak çalışma prensipleri birlikte ele alınarak teknoloji entegrasyonu için bir karar modeli önerilmesidir. Uygulamada, İHA alanında faaliyet gösteren bir kurumun lojistik süreçlerinde blokzinciri teknolojisi entegrasyonu için belirlenen kriterlerin sıralaması gerçekleştirilmiştir. İncelenen karar alma probleminde, karar vericilerin ve kullanıcıların beklentileri doğrultusunda blokzinciri entegrasyonunu yönlendiren ve acil dönüşüm gerektiren faaliyetler değerlendirilmiş; uzman ağırlıkları dikkate alınarak İHA tabanlı lojistik faaliyetlerin önem düzeyine göre önceliklendirilmesi amaçlanmıştır.

Teknoloji entegrasyonu için uygulama sonuçlarının doğru stratejik kararlar alınmasına yön verebilmesi amacıyla QSBK temelinde modellenmiş CRONBACH katsayısı yöntemi ve ÇKKV tercihlerinden CRITIC ve CRADIS metodolojilerinden oluşan birleşik bir yöntemin katkı sağlayabileceği öngörülmektedir.

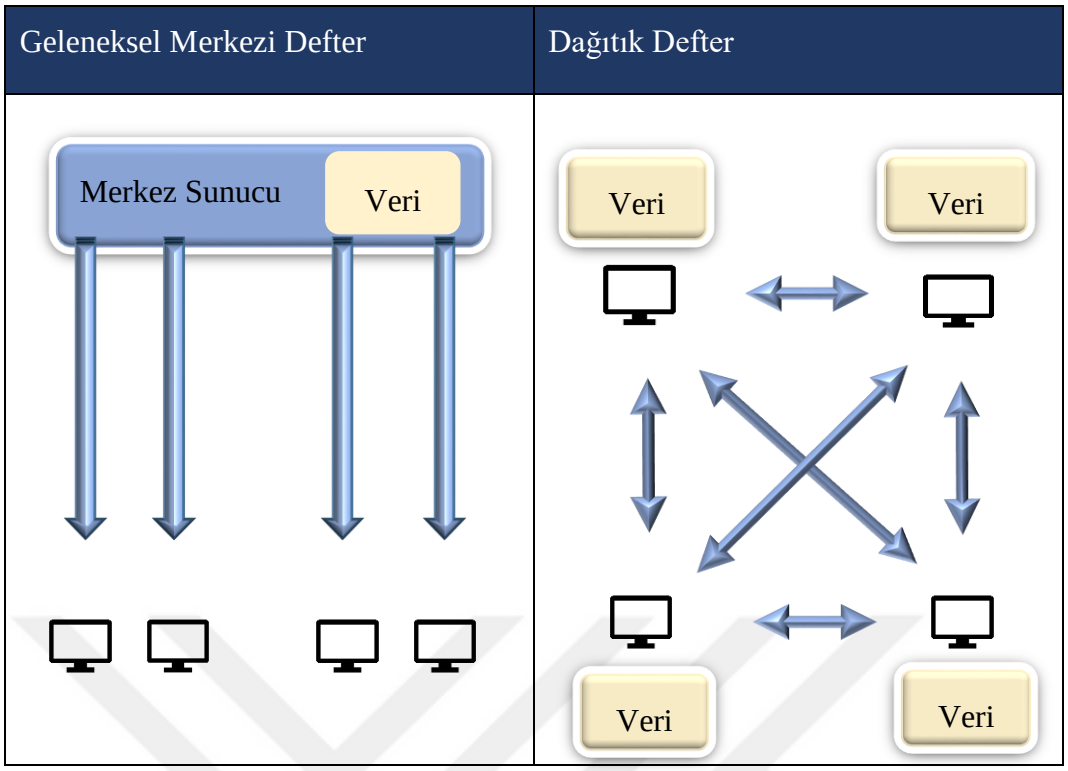
2
KAVRAMSAL TASARIM

2.1 Blokzincir Teknolojisi Kavramı

Blokzincir kavramı, 2008 finansal krizi akabinde kripto para birimi olarak kullanılan bitcoinin gelişimi ile hayatımıza girmiştir (Almeshal ve Alhogail, 2021). "Satoshi Nakamoto" takma isimli bilinmeyen bir kişi veya grup "Bitcoin: A Peer to Peer Electronic Cash System" başlıklı makalesinde bitcoinin matematiksel mimarisini ifade ederken blokzincir teknolojisinden söz etmişlerdir (Kama, 2023). Bloklar, sistem içerisindeki işlemleri kayıt altına alan birimlerdir; zincir ise bu blokların kriptografik bağlarla ardışık şekilde birbirine eklenmesiyle oluşan bütünsel yapıyı tanımlar.

BZT, merkeziyetsiz bir veri tabanı sayesinde verilerin güvenli ve şeffaf bir şekilde iletim işlemini gerçekleştiren, değiştirilemez bir dağıtık defter teknolojisidir. Başka bir ifade ile güven ilişkilerinin, aracı kurumlara gerek kalmaksızın, kriptografi, protokoller ve yazılım tabanlı teknolojiler yoluyla doğrudan ve güvenli biçimde kurulmasını mümkün kılan bir sistemdir. Blokzincirde temsil edilen düğüm, içinde blokları ve işlemleri kapsayan bütüncül bir kopyaya sahiptir. Geleneksel merkezi sistemlerde, karar tek bir konumdan verilirken bu dağıtık defterde ise kullanıcı topluluğu ve düğümlerden meydana gelen mutabakatla (Şekil 2.1) karar alınmaktadır.

BZT'nin odak noktası finansal uygulamalar olmasına rağmen, bu teknolojinin sıra dışı özellikleri farklı pazarlarda finansal olmayan ticari faaliyetlerde dahi uygulanmasına ilham kaynağı olmuştur. Başlangıçta tedarik zincirleri, enerji faaliyetleri, kamusal hizmetler, sağlık hizmetleri, havacılık hizmetleri gibi teknoloji odaklı bazı iş sahaları bu teknolojiye yakından ilgi göstermişlerdir.



Şekil 2.1 Geleneksel merkezi defter ve dağıtık defter sistemlerinin karşılaştırılması (Ganne, 2018)

BZT'nin, veri işleme faaliyetlerinin yürütüldüğü her alanda kullanılacağı öngörülmektedir. Bu doğrultuda, veri depolama ve paylaşım süreçlerini desteklemek amacıyla, söz konusu teknoloji giderek artan bir şekilde küresel ölçekte farklı endüstrilerle entegre biçimde kullanılmaktadır. Potansiyel olarak birçok alanda yenilikçi uygulamalara zemin hazırlayan blokzincir modelleri, belirli temel bileşenler üzerine inşa edilmiştir. Bu temel bileşenler Şekil 2.2'de görselleştirilmiştir.



Şekil 2.2 Blokzincir temel bileşenleri

BZT, kripto para birimleri olan birinci nesilden (Blokzincir 1.0) makine zekasının kullanılmasıyla potansiyel gelişimlere açık beşinci nesile (Blokzincir 5.0) kadar

farklı aşamalardan geçmiştir. BZT'nin ne şekilde evrildiği Tablo 2.1'de gösterilmektedir.

Tablo 2.1 Blokzincir teknolojisinin gelişim aşamaları

Blokzincir 1.0	Blokzincirin finans alanında para birimi için kullanımı
Blokzincir 2.0	Blokzincirin akıllı sözleşme için kullanımı
Blokzincir 3.0	Şeffaflığı sağlamak amacıyla blokzinciri merkezi olmayan P2P ağında çalıştırma
Blokzincir 4.0	Gerçek hayatta blokzinciri operasyonlarda uygulanır hale getirmek
Blokzincir 5.0	Akıllı uygulamaları otomatikleştirmek maksadıyla makine zekâsı ile veri analitiğini kullanmak.

Blokzincir 1.0: BZT'nin ilk defa atılım yaptığı bu aşamada içerisinde barındırdığı eksikliklere de eleştiriler yapılmış, tartışmalar olmuştur. Bitcoini takip eden süreçte değişik kripto para birimleri ortaya çıkarken aracılar olmadan para transferleri, finansal ödemeler yapılmıştır. Geleneksel para transfer süreçlerinde gerçek kimlik ile işlemler yapılırken blokzincirde anonim kişiler tarafından para transfer işlemleri yapılabilmektedir.

Blokzincir 2.0: Bu aşamanın atılım yapmasının temel sebebi akıllı sözleşme kavramıdır. Literatürde "Smart contract" şeklinde ifade edilen akıllı sözleşmeler ile blokzincir, kripto para birimlerinin ötesinde bir özelliğe bürünmüştür. Belirli koşullar göz önünde tutularak tarafların kabul ettikleri faaliyetleri içeren bilgisayar programlarına akıllı sözleşmeler denilmektedir. Akıllı sözleşmelerin sunduğu avantajlar ile BZT, kripto para işlemlerinden daha fazla yeni imkanlara sahip olmuştur. Maliyeti düşük işlem kabiliyetleri ve işlemlerin şeffaf bir çerçevede yürütülmesi gibi fırsatları doğurmuştur.

Blokzincir 3.0: Bu aşama, ölçeklenebilirlik, gelişmiş akıllı sözleşme özelliği, maliyet gibi eksikliklerin giderildiği, sürdürülebilir çözümlerin sunulduğu bir evredir. Yapay zekâ, IOT, makineler arası iletişim (M2M) gibi teknolojiler ile entegre uygulamaları kapsar.

Blokzincir 4.0: Bu aşamada kullanıcı dostu platformlar ortaya çıkarken sunulan hizmetlerde daha fazla veri gizliliği ve ölçeklenebilirlik özellikleri ön plana çıkmaktadır. Yapay zekanın gücü ile sektör liderleri blokzincir kavramını çeşitli iş çözümleri çerçevesinde uygulamaya dönüştürmüşlerdir.

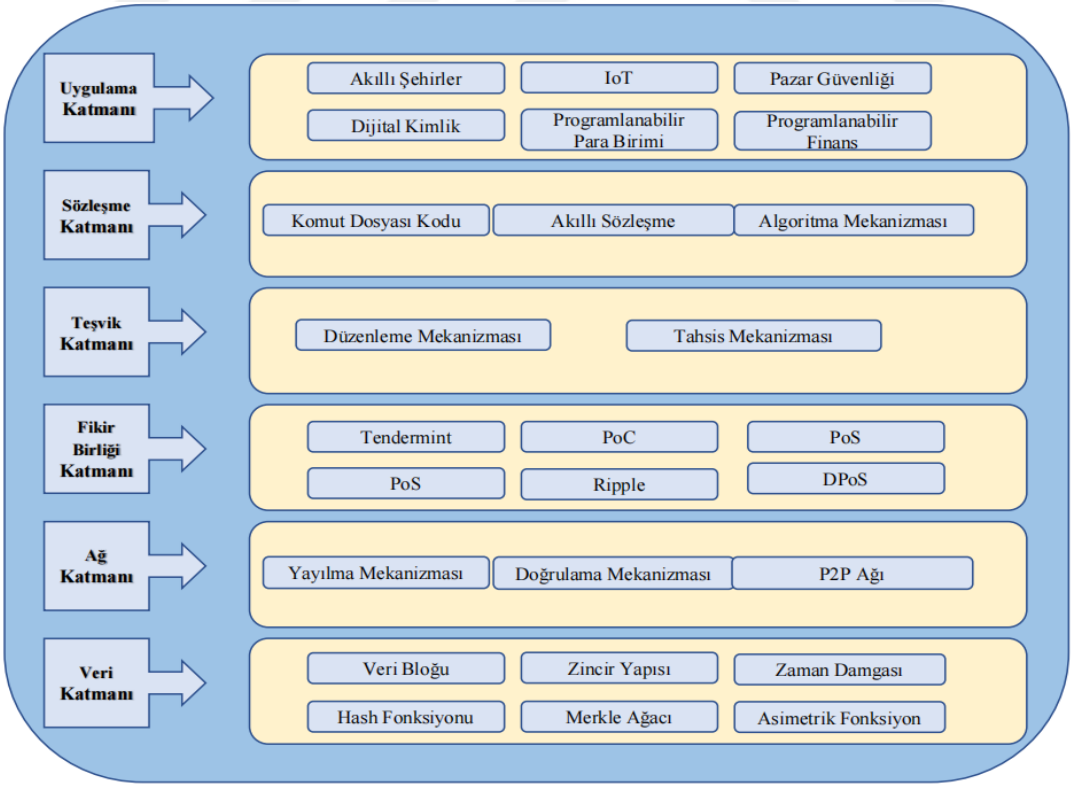
Blokzincir 5.0: Blokzincir 5.0, BZT ile birlikte akıllı ve otomatik uygulamaların hayata geçirildiği aşamadır. Daha fazla geliştirilmiş temel özelliklerle birlikte çevre dostu iş çözümleri bu aşamanın temel bileşenleridir. BZT'ni kabul eden çoğu şirket mevcut durumda Blokzincir 4.0 aşamasındadır ancak yakın gelecekte Blokzincir 5.0'a adım atacaktır (Choi ve Siqin, 2022).

2.2 Blokzincir Kavramları ve Mimari Kökleri

Blokzincir mimarisini şu altı temel katman oluşturur;

- Veri katmanı,
- Ağ katmanı,
- Fikir birliği katmanı,
- Teşvik katmanı,
- Sözleşme katmanı ve
- Uygulama katmanı,

Şekil 2.3, sistemin katmanlarına ilişkin mimari yapı ve işlevsel içerikleri ayrıntılı biçimde sunmaktadır.

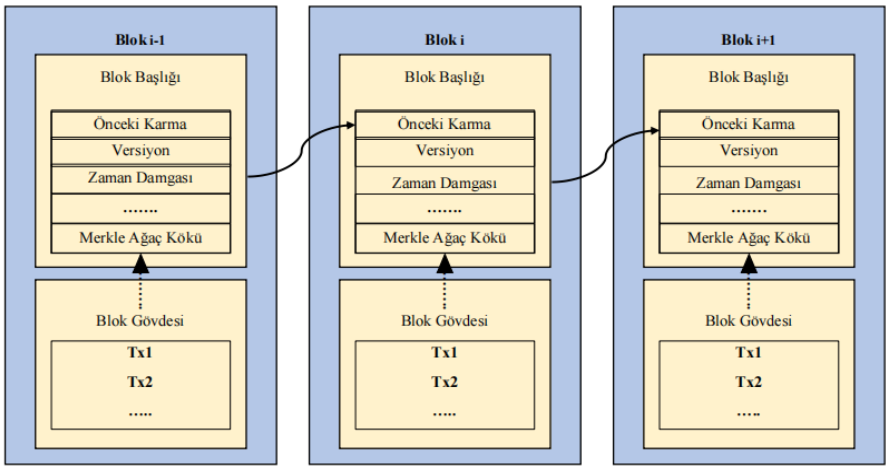


Şekil 2.3 Blokzincir mimarisi katmanları (Badri ve ark., 2024)

2.2.1 Veri Katmanı

BZT'de veri katmanı; blok yapısı, işlem yapısı, genel - özel anahtar şifreleme, dijital imza, merkle ağacı ile zaman damgası başta olmak üzere blokzincirinin veri yapısıyla ilgili konuları içerir.

Blok yapısında (Şekil 2.4), veriler işlemler halinde depolanırken işlemler de blok halinde paketlenir. Bloklar ise tarih sırasına göre zincirlenirler. Blok başlığı, merkle ağacı, zaman damgası, önceki karma, sürüm gibi uygulamaya bağlı taleplere uygun alanlar dahil olmak üzere blok hakkında meta verilerdir. Önceki karma alanı, bir önceki bloğun karma değerini ifade etmektedir. Bir blok, önceki blok başlığının karma değerlerini hafızasında tuttuğu için olası değişimi önleyebilmektedir. Zaman damgası alanı, her bir bloğun meydana getirildiği zamanı göstermektedir. Merkle ağaçları, her dalında alt dalların özetini (karma değerini) taşıyan ikili yapılardır. Bu yapı, kriptografik karma işlevlerinin çarpışmaya karşı dayanıklı olmasından yararlanır. Merkle ağacının en üstünde bulunan kök değer (Merkle root), bloğun içeriğinin bütünlüğünü korumaya yarar. Blok içerisinde yer alan ve kullanıcılar tarafından dijital olarak imzalanan işlemler, ağacın en alt seviyesindeki yaprak düğümleri oluşturur. Bu işlemlerden herhangi birinde yapılacak en küçük bir değişiklik bile, ağacın köküne kadar ulaşan bir etki oluşturarak Merkle kökünü değiştirir. Kullanıcılar, blokta kayıtlı olan kök ile yeniden hesapladıkları kökü karşılaştırarak verinin değişip değişmediğini anlayabilirler. Her blokta, o bloğa ait Merkle kökü ile önceki bloğun karma değeri birlikte saklanır. Bu sayede blokzinciri yapısı, tüm verilerin bütünlüğünü uçtan uca koruma özelliği kazanır (Kuznetsov ve ark., 2024).



Şekil 2.4 Blok yapısı (Rust ve ark., 2019)

Bir işlemin yapısı, temel olarak girdi (input) ve çıktı (output) bileşenlerinden oluşur. Girdiler, bir önceki işlemlerdeki çıktılara atıfta bulunan adresler ve bu adreslere karşılık gelen değerleri içerir. Bir işlemde birden fazla girdi yer alabilir. Çıktılar ise, belirli bir alıcı adresine yönlendirilmiş ve belirli bir değeri temsil eden bileşenlerden oluşur. Bu adresler, kullanıcıların genel anahtarlarına dayalı olarak oluşturulan karakter dizileridir ve kullanıcılar güvenlik ilkeleri doğrultusunda birden fazla adres oluşturabilir. Girdi değeri, ilgili adresle ilişkilendirilmiş şekilde tanımlanırken, işlemin toplam tutarı çıktı değerleriyle ifade edilir. Bu yapı sayesinde işlem akışı doğrulanabilir ve takip edilebilir hâle gelir. BZT'de her kullanıcıya bir genel ve özel anahtar çifti atanır. Özel anahtar, işlemleri imzalamak ve harcamaları onaylamak için kullanılırken, genel anahtar ise bu imzanın doğruluğunu başkalarının teyit etmesini sağlar. Kriptografik yöntemler, blok zincir uygulamalarında güvenlik ve gizliliği sağlamak amacıyla sıkça kullanılmaktadır. Örneğin, Zcash platformunda Zk-SNARK teknolojisi, Monero'da ise halka imzaları, işlemlerin gizliliğini ve güvenliğini artırmak için tercih edilmektedir. Ayrıca, Ethereum'daki gaz ücretleriyle ilgili alanlar ve Bitcoin'deki sıra numarası gibi bazı özel ve isteğe bağlı alanlar, farklı blokzincir sistemlerine özgü özellikler sunar.

2.2.2 Ağ Katmanı

Blokzincirde tüm eş düğümler doğrudan veya dolaylı şekilde birbirine bağlıdır ve bu yapı bir P2P (A Peer to Peer) ağıdır. Ağ katmanının işlevleri arasında eş keşfi, eşlere bağlanma, blok indirme, blok ve işlem yayınlama bulunmaktadır. Blokzincir ağına yeni katılan bir eş düğüm, ağ katmanı tarafından diğer düğümleri keşfedebilir, onlarla iletişim kurabilir ve yeni blokları indirerek blokzincir ağının senkronize bir şekilde faaliyetini sürdürmesine katkı sağlar. Ayrıca eş düğümler yeni işlem ve bloklar oluşturabilir, ağda diğer düğümlere yayın yapabilir ve alınan blokları iletmek için röle düğümleri olabilirler.

2.2.3 Fikir Birliği Katmanı

Bu katman, PoW (iş kanıtı), PoS (hisse kanıtı) ve PBFT (pratik Bizans hata toleransı) gibi farklı türde fikir birliği protokolleri de dahil olmak üzere blokzinciri sistemlerinin istikrarlı çalışmasını sürdürmek ve garantilemek içindir. Fikir birliği protokolleri, düğümlerin, işlemlerin, ve blokların aynı kurallar çerçevesinde doğrulama yapabilmesini sağlamak için uygulanması gerekli kaidelerdir.

2.2.4 Teşvik Katmanı

Bu katman, teşvik çeşitlerini ve bu teşvik mekanizmalarının düğümlere ne şekilde iletildiğini ifade etmektedir. Düğümler, blokzincirin yapısında eşit eşler olup katılımcı düğümlerin işbirliği içerisinde ağa katkı sunması için teşvik edici bir mekanizma işletirler.

2.2.5 Sözleşme Katmanı

Blokzincirin uygulama sınırlarını genişletebilen farklı programlanabilir araçlar ve hizmetlerin entegre edildiği katmandır. Sözleşme katmanı akıllı sözleşme, zincir kodları ve işlem kodları gibi farklı türde sözleşmelerin oluşturduğu bir yapıdır.

2.3 Blokzincir Mimarisinin Sınıflandırılması

Blokzincir mimarisi, verilerin dağıtık ve güvenli bir biçimde saklandığı özelleştirilebilir bir teknolojidir. Dağıtık defter şeklinde işlev gören BZT'de, amaca bağlı olarak defterde kimlerin yazma, okuma ve onaylama yetkisi bulunduracağı fonksiyonları değişim göstermektedir. Farklı uygulama alanları açılması ile beraber ihtiyaçları gidermek üzere blokzincir üç ana türe dönüştürülmüştür.

- **Halka Açık Blokzincir**: Bu türde merkezi bir otorite yoktur. Herkesin erişim sağlayabildiği merkeziyetsiz dijital defterdir. Ağa serbestçe katılabilen katılımcılar, dijital defterdeki verilere erişim ve görüntüleme yetkisine sahiptir. "Bitcoin", "Ethereum" gibi platformlar, bu türde işlev görürken güvenilir bir çatı oluşturma amacıyla katılımcıların mutabakata vardığı bir mekanizmadan oluşmaktadır (Chbaik ve ark., 2024). Halkı katılıma teşvik etmesi ile şeffaflık ilkesine dayansa bile ananomim kimlik yönetimi ve düğümün öngörülemez oluşu bu türün zorlukları arasında yer alır.
- **Özel Blokzincir**: Kapalı hiyerarşide çalışan bu türde katılım yetkili kurum veya gruplarla sınırlandırılmıştır. Son kullanıcılar, bloklara erişim yetkisine sahip özel çalışanlardır. Bu tür düzenleyici uyumluluğa öncelik veren, okuma izni açık veya izine bağlı olabilen, yüksek verimli bir modeldir.
- **Konsorsiyum Blokzincir:** Önceden belirlenen sayıda düğüm ve tanınan kimliklere sahip birden fazla organizasyon grubu bir konsorsiyum oluşturarak işlem gönderimi ve verilerin okunmasına izin verilmektedir (Shrivas, 2019). Sıkı kimlik doğrulama ve yetkilendirme sistemlerini içeren bu türde katılımcının

gerçekliğini sağlamak hedeflenmektedir. Ayrıca tanımlanan taraflarca fikir mutabakatına ihtiyaç duyan kurumlar için daha uygundur. Genel blokzincirlerinin aksine, işlemleri teşvik etmek için belirteçlere ihtiyaç duymazlar, bunun yerine ağ içindeki verimlilik ve gizlilik iyileştirmelerine odaklanırlar.

Blokzincir türlerine göre farklılaşma **Tablo 2.2**'de gösterilmektedir.

Tablo 2.2 Blokzincirin türlere göre farklılaşması (Ceylan ve Işık, 2023)

Özellik	**Açık Ağ**	**Özel Ağ**	**Konsorsiyum Ağ**
Mutabakat Mekanizması	Onay gerektirmez	Onay gerektirir	Onay gerektirir
Okuma İzni	Açık	Açık veya izinli	Açık veya izinli
Verimlilik	Düşük	Yüksek	Yüksek
Merkeziyetçilik	Dağıtık	Merkezi	Kısmen merkezi

2.4 Blokzincir Teknolojisinin Fırsatları

Merkezi Olmayan Defter Mimarisi: Blokzincir yapısı, dağıtık defter teknolojik özelliğinde hizmet verirken öte yandan merkeziyetsiz olarak veri bütünlüğünü oluşturan açık genel defterlerdir. İşlemlerin merkezi olmayan uçtan uca (Eşler arası) ağda düğümler olarak tanınan bilgisayarlarda paylaşılan bir defter olarak saklayarak işlemektedir. BZT'nin merkeziyetsiz çalışma prensibi dolayısıyla üçüncü taraflara bağımlı olmayı azaltır, şeffaflık ve güvenliği artırdığı söylenebilir (Wang ve ark., 2019).

Düşürülmüş İşlem Maliyeti: Merkezi bir taraf aracılığıyla işlemlerin doğrulandığı geleneksel merkezi sistemlerde merkezi sunucularda maliyet ve performans kısıtları kritik düzeylerde darboğaz oluşturabilmektedir. Blokzincir ağında ise işlemler direkt olarak taraflar arasında gerçekleştirilirken üçüncü bir tarafın doğrulamasına ihtiyaç bulunmamaktadır. BZT'nin bu niteliği, merkezi sunuculardaki performans kısıtlarının yükünü azaltırken sunucu masraflarını büyük ölçekte minimum seviyelere düşürmektedir.

Güvenlik: BZT'de bloklar, güvence prensibi ve kriptografik olarak kullanıcılara güven veren yapısı sayesinde P2P ağı üzerinden bilgileri değiştirilemez şekilde kayıt altına alır. Katılımcılar tarafından kabul edilmiş rasyonel verileri muhafaza eder. Kayıt defterlerinin sonuna yeni işlemler eklenirken katılımcıların veri düzenleme ya da silmesi söz konusu değildir. Bu yönüyle veri tabanı

teknolojisinden farklıdır. Öte yandan, veriler ilişkisel bir veri tabanında merkezi bir yönetici tarafından değiştirilebilir veya silinebilir. Ayrıca, ilişkisel bir veri tabanı merkezi uygulama için tasarlanmıştır. BZT, temelde kriptografi, dağıtık hesaplamalar ile oyun teorisi mantığına dayanmaktadır (Namasudra ve ark., 2020). Blokzincirde, defterin sonuna yeni girişler eklenir ve hiç kimsenin verileri düzenlemesine veya silmesine izin verilmez. Ayrıca, dağıtık defter teknolojisi olan blokzincirde işlemlerin doğrulanmasında üçüncü taraflara ihtiyaç olmamakla beraber bir güvenlik katmanı meydana getirir. Kriptografi, dağıtık sistemler ve çeşitli disiplinlerin kombinasyonu olan BZT'de bloklardaki her bir işlem kriptografik algoritmalar ile korunur ve manipülasyona dirençli hale getirilerek güvence sağlanır. Merkezi sistemler ile karşılaştırma yapılacak olursa BZT daha sağlam bir güvenlik sağlar.

Akıllı Sözleşmeler ve Otomasyon: BZT'de akıllı sözleşmeler, karşılanması gereken hüküm ve koşulları belirten kendi kendini yürüten ve blokzincirde saklanan kodlardır (Emma, 2024). Akıllı sözleşme, işlemlerin defter durumunu değiştirmesine izin verir. BZT, bitcoinden sonra kazandırdığı akıllı sözleşme kavramı ile sayısız uygulama için umut vaat eden bir gelecek olmakla beraber sözleşmelerdeki hüküm ve koşulları otomasyonel hale getirerek BZT'ni bir adım öteye taşır. Otomasyon özelliği kazandırılmış sözleşmeler, dışarıdan bir müdahaleye mahal vermeden sisteme tanımlı koşullar doğrultusunda eylemleri otomatik bir yapıda gerçekleştirir. Örnek olarak, akıllı sözleşmeler mal veya hizmet teslimi gibi belirli kriterlere bağlı şartlar karşılandığında finansal fonları taraflar arasında aktarabilir. Bütüncül bakıldığında süreç tamamen şeffaf, verimli, ve anlaşmazlık olasılığı çok düşüktür. Akıllı sözleşmelerin bir diğer yeteneği ise dolandırıcılığı azaltma özelliğidir. Zira, sözleşme algoritması ve tüm şartların taraflara açık ve defter kayıtlarının değiştirilemez oluşu, hata ve manipülasyon riskini en aza düşürür. Dahası, otomasyon yapısı sayesinde tarafların yükümlülüklerini üçüncü bir taraf doğrulamasına gerek duymadan, gecikmeksizin eş zamanlı olarak yürütmesine imkan tanımaktadır. Geleneksel sözleşmeler ile akıllı sözleşmeler **Tablo 2.3**'te karşılaştırılmıştır.

Tablo 2.3 Akıllı sözleşme - geleneksel sözleşme karşılaştırması(Moosavi ve ark., 2024)

Gereklilikler	Akıllı Sözleşme	Geleneksel Sözleşme
Üçüncü Taraf	Gerekli Değil	Bankalar, Düzenleyiciler
Yürütme Zamanı	Dakika	Gün
Şeffaflık	Mevcut	Mevcut Değil
İmza	Dijital	Manuel
Süreç	Otomatik	Manuel
Başarı	Kolay	Zor
Güvenlik	Son Derece Güvenilir	Sınırlı

İş Birliği ve Birlikte Çalışabilirlik: BZT'nin yeni bir teknoloji olması nedeniyle standartlar netlik göstermediğinden değişik senaryolara karşı birtakım belirsizlikler vardır. Bu şekilde bir ekosistemde tarafların, kuruluşların vb. birlikte çalışması ve iş birliği yapmaları teknolojinin geliştirilmesinde kritik öneme sahiptir. Değer yaratan, güçlü iş birlikleri BZT'nin ilerleme kaydetmesinde olmazsa olmaz araçlardan biridir. Tarafların uygulama çözümlerini, başarı ve başarısız neticeleri teknoloji sağlayıcıları ile paylaşması demek farklı alternatiflere zaman kaybetmeden ulaşmak demektir. İş birliği ve birlikte çalışabilir tarafların varlığı bu yeni teknolojinin endüstriyel normlarının oluşturulmasına fayda sağlamaktadır. Bununla beraber yazılım ve kod geliştirme sahası da genişleyecektir. Neticede stratejik öneme haiz kazan-kazan iş birliği modelleri blokzincir uygulamalarının başarılı sonuçlar doğurması için kilit faktörlerdir.

Denetlenebilirlik/İzlenebilirlik: Veri izlenebilirliği/denetlenebilirliği BZT'nin en temel ilkelerinden biri olmakla beraber blok içerisindeki her veri kurcalamaya karşı korunaklı şekilde defterde kayıt altına alınmaktadır. Blokzincir, eklenen verileri bir önceki girişe bağlarken aynı zamanda depolar ve zaman damgalaması yapar. Blokzincir, işlemlerin akışını izlemek için kullanılabilir ve işlenen verilerin denetçiler veya düzenleyiciler tarafından hesaba katılmasına ve doğrulanabilir olmasına fırsat sunar. Blokzincir aracılığıyla veri izlenebilirliği, taraflara eylemlerin açık ve denetlenebilir bir izini sağlayarak hesap verebilirliği de artırır. Bu şeffaflık düzeyi, veri kullanımının ve işlenmesinin ayrıntılı belgelenmesini gerektiren düzenleyici çerçevelere uyumu sağlamak için paha biçilmezdir. Blokzincir yalnızca bu süreci basitleştirmekle kalmaz, aynı zamanda kayıtların

güvenli olmasını ve değiştirilememesini sağlayarak düzenleyicilere verilerin bütünlüğüne dair güven sağlar (Naseri, 2023).

2.5 Blokzincir Teknolojisine Yönelik Eleştiriler

Dijital Dönüşüm İhtiyacı: BZT kabulünde var olan sistemler yenilikçi uygulamalara evrileceğinden sarsıcı etkiler oluşturabilecek düzeydedir. Bundan ötürü BZT kabulü için öncelikle zihinlerde değişim fikri kabul edilerek strateji geliştirilmelidir. Tüm altyapı sistemleri oluşturulduktan sonra eylem planı hayata geçirildiğinde olası problemlerin minimum seviyede atlatılacağı düşünülmektedir.

Yatırım Maliyeti: BZT kabulünde alt yapı kurulum aşamasında yüksek maliyetlerle karşı karşıya kalınmaktadır. Teknolojiyi potansiyel kullanmak isteyen kişi veya tüzel kişiler için caydırıcı hale gelebilmektedir. Bununla birlikte alt yapı gereksinimleri, uygulama örneklerinin az olması, yazılımsal riskler vb. nedenler ile BZT kabulüne ön yargılı yaklaşılmasına sebep olmaktadır. Dolayısıyla bu etkenler göz önünde bulundurulduğunda doğrudan ya da dolaylı olarak maliyeler yükselebilmektedir.

Depolama Optimizasyonu: Günden güne işlem miktarının artması ile blokzincirleri hantal hale gelmektedir. Her düğümün doğrulama vazifesini yerine getirilebilmesi için tüm işlemler depolanmak zorundadır.

Teşvik Sınırlılığı: BZT'nin yasal mevzuatlarla belirlenmiş bir sınıra sahip olmaması, hatalı eylem sonucu ne ile karşı karşıya kalınacağı ve kimlerin sorumlu olacağı gibi meseleler, devletleri ve finansal otoriteleri çekimser kılmaktadır. Blokzincir tabanlı finansal sistemleri düzgün bir şekilde düzenleme girişiminde tanık olunan zorluklar neticesinde düzenleyici riskler bir sorun olmaya devam etmektedir (Golosova ve Romanovs, 2018).

Siber Saldırılar: Teknolojik yeniliklerin hızla arttığı günümüz dünyasında karşı karşıya kalınan risklerden biri de siber saldırılardır. BZT her ne kadar potansiyel sorunları giderebilecek donanıma sahip bir güvenlik unsuru vaat etse de siber güvenliğin güçlendirilmesi ve gizliliğin korunması hususunda bir takım ikazlar yapılmaktadır. BZT uygulama olarak henüz emekleme aşamasında olmakla beraber söz konusu teknolojinin siber tehditlere karşılık savunma mekanizmasının mevcut sistemlere göre üstünlüğünü kıyas etmek için çok sayıda DLT ve blokzincir

uygulaması yoktur. Diğer bir husus ise mevcut önlemlerle kıyas edildiğinde BZT'nin bileşenleri koruma kabiliyetine yönelik tezlerin olgusal araştırmalarının olmamasıdır (Kshetri, 2017).

Enerji Tüketimi: Blokzincir teknolojisinin en çok eleştirilen yönlerinden biri, yüksek düzeyde enerji tüketimine neden olan yapısıdır. Bu teknoloji, özellikle Proof of Work (İş Kanıtı) gibi konsensüs algoritmalarına dayanan sistemlerde, işlemlerin doğrulanması için yoğun hesaplama gücü gerektirir. Verilerin değiştirilemezliği, sistemin saldırılara karşı dirençli yapısı ve merkeziyetsiz defterin korunması amacıyla sürekli çalışan yüksek kapasiteli donanımlar, ciddi bir enerji sarfiyatını beraberinde getirir. Bu nedenle, zayıf enerji altyapısına sahip bölgelerde blokzincir teknolojisinin sürdürülebilir ve kesintisiz bir şekilde uygulanması güçleşmektedir. Özellikle internet bağlantısındaki istikrarsızlıklar ve sık yaşanan elektrik kesintileri, bu teknolojinin yaygınlaştırılmasında önemli bir engel oluşturmaktadır (Truby, 2018).

Kuantum Hesaplamaları: BZT'nin çalışma prensiplerinden biri de kriptografidir. Kriptografi ile sağlam şifreleme işlemleri yapılmasına rağmen son yıllarda kuantum bilgisayarlar ve kuantum hesaplamaların yaygınlaşması değişime adaptasyon sağlanmasını kaçınılmaz kılmaktadır. Bu bağlamda kuantum hesaplamalarına dirençli blokzinciri sistemlerinin performansına ilişkin araştırmalar bazı sorulara yanıt aramaktadır. Blokzincir sistemlerinin kuantum hesaplama saldırılarına karşı temel güvenlik açıkları, bu güvenlik açıklarını ortadan kaldırmak için hangi kuantuma dayanıklı alternatifler uygulanabileceği, kuantuma dirençli çözümlerin nasıl performans göstereceği başlıca sorular arasındadır (Wu ve ark., 2025).

2.6 İnsansız Hava Aracı Kavramsal Çerçevesi

21. yüzyılın popüler icatlarından biri de insansız hava araçlarıdır. İlk başta yalnızca askeri hedefler için kullanılan bu sistemler sunduğu yenilik ve avantajlar sayesinde sivilleşerek farklı sektörler için de fayda ve hizmet sağlamaya başlamıştır. Günümüzde insansız hava aracı sektörüne olan ilgi ve talep hızla artış gösterirken birçok insansız hava aracı tipi ve kontrol sistemi geliştirmek için araştırmalar yapılmaktadır. Literatürde her ne kadar "insansız hava aracı" olarak adlandırılsa da çeşitli kurumlar tarafından yapılmış farklı tanımlamalar mevcuttur.

Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO) ‘nün tanımına ilişkin insansız hava aracı, pilotu olmayan bir hava aracıdır ve bir pilot komutası olmaksızın uçurulur veya başka bir yerden (kara, başka bir hava aracı, uzay) uzaktan ve tamamen kontrol edilir ya da programlanır ve tamamen otonomdur. ICAO Meclisi'nin 35. Oturumuna istinaden insansız hava araçlarına ilişkin bu anlayış onaylanmıştır (ICAO, 2011).

Avrupa Havacılık Emniyeti Ajansı (EASA), İHA'yı "bir "insansız hava aracı", "kontrol istasyonu" ve uçuşu mümkün kılmak için gerekli diğer sistem unsurlarından oluşan bireysel bir sistem unsuru, yani "komuta ve kontrol bağlantısı" ve "fırlatma ve kurtarma unsurları" şeklinde tanımlamaktadır. Ayrıca Bir İHA içinde birden fazla kontrol istasyonu, komuta ve kontrol bağlantısı ve fırlatma ve kurtarma unsurları olabileceğine dikkat çekmektedir.

Ülkemizde ise Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü, motor gücü sayesinde uçuş yapabilen, içerisinde insan olmayan ve kontrol bağlantısıyla İHA pilotu tarafından kontrol edilen veya otonom operasyonu İHA pilotu tarafından planlanarak takip edilen hava aracı olarak tanımlanmıştır (Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü, 2020).

İnsansız hava araçlarının önemli bir konuma sahip olmasının ana nedeni bu teknolojik araçların uzaktan kontrol edilebilir özellikte olmalarıdır. Bundan ötürü, hava araçlarının düşmesi, vurulması vb. durumlarda can kaybı yaşanmayacaktır. Ayrıca bu araçların herhangi bir şekilde zarara uğramaları halinde maddi zarar insanlı hava araçlarına kıyasla göreceli olarak daha az olacaktır Çünkü İHA’ların insanlı hava araçlarına göre daha küçük yapıda üretildiği bilinmektedir. Bir diğer avantajlı yönü ise İHA pilotlarının eğitiminin insanlı hava aracını kullanacak pilotların alması gereken eğitime göre daha kısa sürmesi ve daha az masraflı olmasıdır.

İHA’lar bir insanın duyusal algıları ile elde edebileceği verilerden çok daha fazlasını çok kısa zamanda derleyebilmekte ve insanlı hava araçlarının gitmesinin mümkün olamayacağı sahalarda çalışabilme esnekliğine sahiptir. İlave olarak insan-makine etkileşimli teknoloji yoğun çalışan bu araçlar, üretim konsepti ve görev icra kabiliyeti açısından taktik kapasitesi çok güçlü mekanizmalardır. Kirli, tehlikeli ve sıkıcı olarak tabir edilen (*dirty, danger and dull*) 3D görevlerin yerine getirilmesi hususunda oldukça başarılıdırlar. Bununla beraber ilaçlama hizmetleri, arama kurtarma eylemleri, yüksek gerilim hatlarının kontrol edilmesi, büyük ölçekli

haritalama, ormanlık alanlara yönelik çalışmalar gibi geniş alana yayılan görev kabiliyetine sahiptirler (Sever, 2021).

2.7 İnsansız Hava Araçlarının Tarihsel Gelişimi

İnsansız hava araçlarının ilk çıkış noktası balonlardır. Tarihte ilk insansız hava saldırısı olarak kabul edilen olay, Avusturya'nın 1849 senesinde Venedik şehrini bombalamak maksadıyla iki yüz tane pilotsuz balon kullanmasıdır. Zaman ayarı yapılmış fitilli bombalar ile yüklü balonların bir kısmı hedefi imha ederken bir kısmı ise öngörülenin aksine Avusturya sınırlarında patlamıştır. İHA tanımını tam manasıyla karşılamasa bile insansız hava saldırılarının ilki olarak bu olay kabul görmektedir (Kahveci ve Can, 2017).

1860'lı yıllara gelindiğinde iç savaş esnasında Amerikan ordusu keşif faaliyetlerinde kullanılmak üzere envanterinde beş adet sıcak hava balonu bulunmaktadır. 1863 senesinde mucit Charles Perley, Venedik saldırısında kullanılan balonlarla benzer prensipte çalışan bomba yüklü balonları geliştirmiş ve patent almıştır (Monash University, 2003).

1898 senesinde İspanyol-Amerikan Savaşı'nda ABD ordusunda onbaşı olan William Eddy, uzak mesafeden tetiklenebilen kameraları hava uçurtmalarında kullanmıştır (Hannavy, 2008).

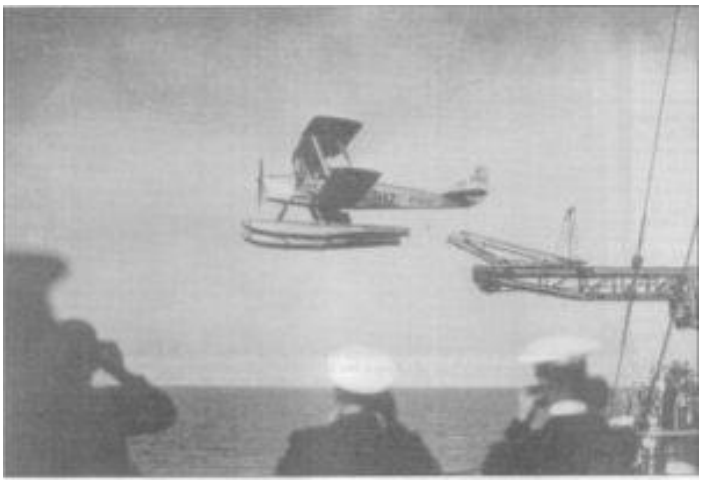
Birinci Dünya Savaşı döneminde "radyo güdüm sisteminin babası" olarak bilinen İngiliz bilim insanı Archibald Montgomery Low, radyo dalgaları aracılığıyla kontrol edilebilen bir insansız hava aracı prototipi üzerinde çalışmalarda bulunmuştur. Hareket kabiliyeti kazandırılması hedeflenen bu uçan hedef füzesinin, 1917 yılında gerçekleştirilen test uçuşları sırasında yere çakılması, denemenin başarısızlıkla sonuçlanmasına yol açmıştır (Demirkıran, 2010).

1917 yılında Amerikalı mucitler Peter Cooper Hewitt ve Elmer A. Sperry, dönemin teknolojik sınırlarını zorlayan bir çalışmayla, radyo kontrollü bir insansız hava aracı prototipi geliştirmiştir. "Hewitt-Sperry Otomatik Uçak" adı verilen bu sistem, modern insansız hava araçlarının öncüsü sayılmakta olup, ilk test uçuşları sırasında tam başarı elde edilememiştir (Kanyike, 2012). Ordu envanterine dahil edilen Curtiss N-9 eğitim uçağına, jiroskopik dengeleyicilerle desteklenen 130

kilogramlık bir bomba entegre edilerek 80 kilometrelik bir menzile sahip uçuş gerçekleştirilmiştir. Ancak, kumanda kontrol sistemleri ve üretim süreçlerinde yaşanan teknik zorluklar, bu projeye olan ilgiyi sınırlamıştır (Akyürek ve ark., 2012).

1918 yılında Charles Kettering tarafından tasarlanan ve savunma amacıyla geliştirilen "Kettering Bug", ilk insansız hava araçlarından biri olarak kabul edilmektedir. Bu sistem, önceden ayarlanmış pnömatik ve elektrik kontrol mekanizmalarına sahip dahili bir yapıyla donatılmış olup, görevini tamamladıktan sonra kendini imha edecek şekilde tasarlanmıştır. Gövde kısmı kağıt hamurundan, kanatları ise mukavvadan üretilen Kettering Bug, çift kanatlı bir hava torpidosu olarak, 40 beygirlik motor gücüyle yaklaşık 136 kg patlayıcı yük taşıyabilmekte ve saatte 50 mil hızla yol alabilmektedir. Tek kullanımlık yapısı ve ucuz üretim malzemeleri, bu aracı ekonomik bir savunma aracı haline getirmiştir (McKinnon, 2014).

1935 yılında İngilizler tarafından geliştirilen radyo kontrollü "Queen Bee" adlı insansız hava aracı (Şekil 2.5), İHA teknolojisinde önemli bir dönüm noktası olmuştur. Bu araç, hasar görmediği sürece görevden geri dönebilme özelliğiyle öne çıkmaktaydı. 17.000 feet irtifaya çıkabilen ve 300 mil mesafeyi kat edebilen Queen Bee, "drone" teriminin insansız hava araçları için kullanılmaya başlanmasına da öncülük etmiştir (Ershov, 2020). 1930'lu senelerde teknolojik gelişimini devam ettirmek isteyen ABD donanması, pilotsuz ve radyo güdümlü hava aracıyla denemeler yapmıştır. Bu denemeler 1937'de "Curtiss N2C-2"'nin geliştirilmesi ile neticelendirilmiştir.



Şekil 2.5 Queen Bee (Haynes, 2002)

1942 senesinde II. Dünya Savaşı devam ederken Almanya'da "uçan bomba" olarak nitelendirilen Fieseler Fi 103 tanıtıldı. Savaşta kullanılan ve günümüz füzelerinin öncüsü kabul edilen ilk seyir füzesidir (Estefanell, 2016).

1944 senesinde Amerika'da ordu envanterine eklenen Special Air Unit One (SAU/1) Almanların imal ettiği V1 kalkış rampalarını imha etmek maksadıyla faaliyet göstermiştir. Çözünürlük özelliği düşük olan kamera donanımına sahip SAU/1 İHA'sı hedef alan öncü sistem olarak kabul görmektedir (Yelbey, 2023).

1950'li yıllarda, ABD'de Ryan Havacılık tarafından üretilen Firebee (uçan arı) adlı insansız hava aracı (Şekil 2.6) tanıtılmıştır. Dünya çapında ilk jet motorlu hedef uçak olarak tasarlanan bu araç, sonraki süreçte geliştirilerek kamera sistemleriyle donatılmış ve keşif ile gözetleme görevlerinde kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca, hem yerden hem de diğer insanlı hava araçlarından kontrol edilebilen bir yapıya dönüştürülmüştür (Nonami ve ark., 2010). Firebee, Vietnam Savaşı ve diğer çeşitli muharebe sahalarında uzun süre görev yapmış olup, insansız hava araçlarının etkin kullanımına yönelik önemli bir örnek teşkil etmektedir.



Şekil 2.6 Firebee (San Diego Hava ve Uzay Müzesi)

1960'lı senelere gelindiğinde Soğuk Savaş etkisiyle İHA geliştirme faaliyetlerine önemli ölçüde odaklanılmıştır. ABD'nin tanıtmış olduğu "Q-2C Firebee" yarı görünmez hava aracı paraşütle inebilen bir yapıda dizayn edilmiş ve istihbarat toplamak amacıyla yaygın olarak faaliyet göstermiştir. Özellikle karadan havaya fırlatılan füzelerinVietnam, Tayland ve Japonya'da yer tespitinde yer almıştır (Uyar, 2010).

1970 senesinde teknolojik gelişimlerin hız kazanması ile istihbarat ve casusluk kritik vazifelerinde başarılı "Lockheed Aquilla" olarak isimlendirilen İHA'nın

tanıtımı yapılmıştır. Lockheed Aquilla taradığı görüntüyü komuta merkezine anında aktarım yapması, otomatik pilot, hedeflerin yer tespiti gibi teknik özelliklere sahiptir (Suscan, 2022).

1980'li yıllara gelindiğinde "Scout" adı verilen ve İsrail'in imal ettiği İHA, teknolojik devrim niteliğine haiz özelliklere sahipti. Gövde bölümü fiber glastan üretilen aracın 4 metre kanat açıklığı vardır. İlave olarak döndürülebilen ve anlık görüntü toplayabilen hava aracı radara yakalanmadan uçuş icra edebiliyordu (Gülbahar, 2015)

1991'de İHA'ların fiilen kullanıldığı bir diğer saha I. Körfez Savaşı olmuştur. ABD ordusunun istihbarat toplamak maksadı ile kullandığı Pointer ve Pioneer İHA'ları sayıca fazla olmamasına rağmen yüksek düzeyde destek sağlamıştır. İHA'lar 1995'de NATO'nun düzenlediği Kararlı Güç Harekâtı ile Bosna Savaşı esnasında havadan saldırı düzenlenmesinde kullanılmıştır. Ancak muharebe sahasında hava saldırılarını desteklemek için önemli rol üstlenilmesi 1998'de başlayan ve bir yılı aşkın süren Kosova Savaşı ile olmuştur. İlk defa İHA'ların belirlediği hedefler, lazer işaretleyici donanım yardımıyla işaretlenerek harp uçakları ile yok edilmiştir. Bu gelişme ile beraber hafif füzelerle desteklenen İHA'ların silahlı insansız hava araçlarına (SİHA) dönüştürülmesi yönündeki araştırma faaliyetlerini hızlandırmıştır (Terkan, 2015).

2001'de ABD'de NASA ve Aerovironment işbirliği ile Çevresel Araştırma Uçağı ve Sensör Teknolojisi kapsamında "Helios" insansız hava aracı geliştirilmiştir. Geliştirilen İHA'nın temel amacı 100.000 feet irtifaya yaklaşmak ve 24 saat boyunca kesintisiz uçmayı başarmaktı. Bir test uçuşu esnasında Hawaii açıklarında 96.863 feetlik gayrıresmi bir dünya rekoru irtifasına ulaşmış ve 40 dakikadan fazla bir süre 96.000 feetin üzerinde uçuş gerçekleştirerek temel hedeflerden birine ulaşmayı başarmıştır (NASA Dryden Flight Research Center, 2002). ABD'de üretilen ve Merkezi İstihbarat Teşkilatı (CIA) ile Hava Kuvvetleri tarafından da kullanılan "Predator B" (Şekil 2.7) ve "Reapor" modeli İHA'ların gece - gündüz kameraları, algılayıcılar, lazer işaretleyici ve radarla istihbarat kabiliyeti bulunmaktadır. Hem uzaktan kumanda hem de otomatik pilotlarla uçabilen bu araçlara silah ve füze monte edilebilmektedir.



Şekil 2.7 Predator B (Parsch, 2004–2024)

Özetle İHAS çalışmalarının sivil havacılık ile neredeyse aynı tarihlerde başlayarak kullanıldığı ifade edilebilir. Süreç içerisinde evrim geçirerek teknolojik gelişimlerle birlikte yol katetmiş ve kullanım alanı da çok çeşitlenmiştir. İHAS'nin çeşitli kullanım sahaları olması sonucunda sivil amaçla kullanılan İHA'lar için hükümetler yasal düzenlemeler getirmişlerdir.

2.8 Türkiye'nin İnsansız Hava Aracı Yolculuğu

Türkiye, stratejik jeopolitik konumu nedeniyle uzun yıllar boyunca terör tehdidiyle karşı karşıya kalmıştır. Bu durum, güvenlik alanında ileri teknolojilere yönelme ihtiyacını da beraberinde getirmiştir. İHA'lar, özellikle terörle mücadelede etkin sonuçlar doğuracağı öngörüldüğünden, Türkiye'de öncelikle askeri amaçlarla geliştirilmeye başlanmıştır. Öte yandan, teknolojideki hızlı ve çarpıcı gelişmeler, savunma sistemlerine de doğrudan yansımış ve bu alandaki dönüşüm sürecini hızlandırmıştır.

Türkiye'nin İHA geliştirme süreci ve bu sistemlerin Türk Silahlı Kuvvetleri (TSK) envanterine kazandırılmasına yönelik faaliyetleri, 1980'li yılların sonlarında başlamıştır. TSK'nın operasyonel anlamda ilk kez istifade ettiği İHA sistemi, İngiltere merkezli Meggitt firmasının ürettiği "Banshee" adlı hedef uçağı olmuştur. "Banshee", esasen bir hedef uçak olarak tasarlanmış olup 3.3 metre uzunluğa, 2.5 metre kanat açıklığına ve 60 kg kalkış ağırlığına sahiptir. 180 km/saat azami hız ve 30 dakika kadar havada kalış süresi ile kısa süreli görevlerde kullanıma uygundur. Uçuş kontrolü radyo frekansı ile sağlanmakta olup, eğitim ve test faaliyetlerinde hedef simülasyonu amacıyla tercih edilmiştir.

Bu dönemde yerli üretim çalışmalarına da yönelen Türkiye, 1990 yılında "İHA-X1-Şahit" projesini hayata geçirmiştir. Proje kapsamında iki adet prototip üretilmiş ve başarılı uçuş denemeleri gerçekleştirilmiştir. Ancak yeterli finansal kaynak ayrılamadığı için proje seri üretim aşamasına geçememiş ve uygulama süreci akamete uğramıştır. Bu erken dönem girişimler, Türkiye'nin İHA teknolojilerine yönelik stratejik hedeflerinin şekillenmesinde önemli bir dönüm noktası olarak kabul edilmektedir (Çetinkaya ve Koç, 2023).

Türkiye'nin İHA tecrübesi, 1990'lı yılların ortasında kısa menzilli ithal sistemlerle başlamış ve zamanla daha gelişmiş, yerli üretim platformlara evrilmiştir. 1994'te Almanya'nın hibe ettiği beş adet "Canadair CL-89" taktik keşif İHA'sı (3,1 metre gövde uzunluğu, 3,4 metre kanat açıklığı, azami 740 km/saat hız, yaklaşık 70 km görev menzili), lojistik sorunlar ve yüksek kaza-kırım oranı nedeniyle sınırlı sayıda sortinin ardından aynı yıl hizmet dışına çıkarılmıştır. Takiben, 1995'te Kara Kuvvetleri Komutanlığı, General Atomics üretimi GNAT-750 İHA'yı envantere dahil etmiştir. Bu sistem, 25.000 ft servis tavanı, 48 saat havada kalış süresi ve 150 kg faydalı yük kapasitesiyle 2005 yılına kadar keşif, gözetleme ve sınır ötesi destek görevlerinde başarıyla kullanılmıştır (Pike ve Aftergood, 1999).

Aynı dönemde artan operasyonel gereksinimler doğrultusunda İsrail'den "IAI Searcher Mk I" (8,55 m kanat açıklığı, 18 saat dayanım, 100 kg faydalı yük) sistemleri kiralanmış, daha sonra "IAI Heron" tedarik süreci başlatılmıştır. Ancak bu sistemlerde yaşanan veri bağlantı kopmaları ve bakım sorunları, hedeflenen performansa ulaşılmasını engellemiştir. Teknik karşılaştırmalarda GNAT-750'nin uçuş süresi ve irtifa değerleri açısından İsrail yapımı muadillerine göre daha üstün olduğu görülürken, elektro-optik yeteneklerde yetersiz kaldığı tespit edilmiştir. Bu eksikliği gidermek amacıyla, ASELSAN tarafından geliştirilen "ASELFLIR-300T" elektro-optik sistemleri 2000'lerin başında platformlara entegre edilmiştir (Aselsan, 2020).

Yerli üretim girişimleri ise 1992 yılında TUSAŞ tarafından başlatılan İHA-X1 projesiyle başlamış, sonrasında sırasıyla "Turna-Keklik" (1996), "Pelikan-Martı" (2003), "Gözcü" (2007), "Öncü" (2008) ve "Şimşek" (2012) projeleri hayata geçirilmiştir. 2001'de üretilen "Turna" hedef uçağı, TSK envanterine giren ilk yerli üretim sistem olmuştur (TUSAŞ, 2012). Öte yandan, Baykar tarafından geliştirilen "Bayraktar Mini İHA" (2005; 2,5 m kanat açıklığı, 60 dakika uçuş süresi) ve dikey

kalkış-kabiliyetli “Malazgirt” prototipi (2006; VTOL, 90 dakika dayanım) gibi sistemler, birlik seviyesi ihtiyaçlara çözüm sunmuştur. Vestel Savunma tarafından geliştirilen “Karayel” (2005) ise 2010’da ilk uçuşunu gerçekleştirmiş ve 20.000 ft irtifa, 20 saat uçuş süresi ve 70 kg faydalı yük kapasitesi ile MALE sınıfında yerli bir alternatif olarak öne çıkmıştır.

Türkiye’nin 2004 sonrası “endüstriyel ölçeklenme” evresi, TUSAŞ tarafından yürütülen “ANKA” projesiyle somutlaşmıştır. ANKA, Aralık 2010’daki ilk uçuşunun ardından 24 saatlik havada kalış süresi, 17,3 m kanat açıklığı ve 200 kg faydalı yük kapasitesi ile Şubat 2013’te operasyonel olgunluğa ulaşmıştır. Projenin ikinci aşamasında geliştirilen “ANKA-S” (Şekil 2.8) varyantı, Ku-Band SATCOM anteni ve Türk Silahlı Kuvvetleri Muhabere Sistemi (TAFICS) entegrasyonu sayesinde menzil sınırlamasını ortadan kaldırmış; 2015’te ilk uçuşunu gerçekleştirerek silahlandırılmış ve Türk Hava Kuvvetleri envanterine SİHA olarak dahil edilmiştir (STRASAM, 2022). Böylece Türkiye, İHA teknolojilerinde dışa bağımlılığı azaltmış ve güçlü bir yerli ekosistem geliştirmiştir.



Şekil 2.8 Anka-S (Tusaş, 2025)

Baykar Teknoloji, Türkiye’nin yerli ve millî İHA ekosistemindeki sıçramayı başlatan ikinci büyük üretici olarak 2000’li yılların başında Ar-Ge yatırımlarını yoğunlaştırmıştır. İlk somut çıktı, “Bayraktar Mini İHA” projesidir. Kalekalıp - Baykar iş birliğiyle 2005’te geliştirilen bu platform (2,5 m kanat açıklığı, ≈60 dk havada kalış) 2007’de TSK envanterine girmiş, 2012’de Katar’a ihraç edilerek Türkiye’nin ilk İHA ihracat başarısını temsil etmiştir (Taş ve ark., 2021). Döner-kanat alanındaki denemeler “Malazgirt” prototipiyle (2006; VTOL, 90 dk dayanım) sürdürülmüş; ancak şirketin asıl kırılma noktası, 2007’de başlatılan “Bayraktar TB2” projesi olmuştur. TB2, 2014’ten beri aktif görevde olup 27.000 ft servis tavanı, 24 saati aşan havada kalış süresi ve 55 kg akıllı mühimmat

kapasitesiyle bir milyon uçuş saatini aşan ilk Türk hava aracı olarak öne çıkmıştır; sistem Azerbaycan, Ukrayna ve Katar dâhil pek çok ülkede hizmete girmiştir (Demiryol ve Soyaltın, 2024). Baykar, hava kuvvetlerinin daha ağır yük ve yüksek irtifa gereksinimlerini karşılamak amacıyla "Akıncı TİHA" projesini geliştirmiştir. Akıncı (20 m kanat, 12,3 m uzunluk, 1.500 kg yük) 6 Aralık 2019'da ilk uçuşunu yapmış, yapay zekâ destekli görev bilgisayarı ve AESA radarıyla 29 Ağustos 2021'de TSK envanterine girmiştir (Kolukısa, 2021). Deniz kuvvetleri ihtiyaçları doğrultusunda tasarlanan katlanabilir kanatlı "Bayraktar TB3" projesi (Şekil 2.9) 2020'de duyurularak (14 m kanat, 280 kg yük) kısa pistli gemilerden kalkış-iniş yapabilen ilk Türk İHA'sı olarak 2023'te test sürecine dâhil edilmiştir (Baykar, 2023). Geleceğin hava muharebe konseptine yönelik olarak şirket, tamamen jet motorlu "Bayraktar Kızılelma" (MİUS) (Şekil 2.10) platformunu 14 Aralık 2022'de uçurmuştur. Kızılelma, 1.500 kg faydalı yük taşıma kapasitesi, 3 saatten fazla havada kalış ve düşük radar görünürlüğü ile hem havadan havaya angajman hem de kısa pistli gemi operasyonu yeteneği sunmaktadır (Baykar, 2023).



Şekil 2.9 Bayraktar TB3 (Baykar, 2025)



Şekil 2.10 Bayraktar Kızılelma (Baykar, 2024)

Böylece Baykar Teknoloji, Mini İHA'dan insansız savaş uçağına uzanan ölçeklenebilir ürün ailesiyle Türkiye'nin savunma sanayii ihracatını artırmış; Batılı tedarik zincirlerine bağımlılığı azaltan yerlileşme stratejisinin motor gücü hâline gelmiştir.

Türkiye, İHAS alanında artık oldukça geniş bir sanayi ekosistemine sahiptir. Sektörde Baykar Teknoloji ve TUSAŞ öncü rol üstlenirken, STM geliştirdiği mini sınıf vurucu İHA'lar "Alpagu ve Kargu" ile önemli bir kapasite boşluğunu doldurmuştur. Öte yandan, hem özel sektör kuruluşlarının hem de üniversitelerin dâhil olduğu Ar-Ge faaliyetlerinin sayısı her geçen yıl artmaktadır. İHA platformlarını oluşturan alt sistemlerin ve bileşenlerin yerli-milli imkânlarla üretilmesi, sürdürülebilir teknolojik bağımsızlık açısından kritik görülmektedir. Bu çerçevede Baykar Teknoloji, TUSAŞ, TEI, Vestel Savunma, Roketsan, Aselsan, Havelsan, Meteksan, CTech ve Savronik gibi firmalar; elektro-optik podlardan turbo-dizel motorlara, sentetik açıklıklı radarlardan güvenli veri linklerine kadar geniş bir yelpazede özgün çözümler geliştirmektedir. Türkiye, bugün hem taktik hem de operatif sınıfta İHA üreten az sayıda ülke arasında yer almakta; orta vadede küresel liderlik konumunu daha da güçlendirmeyi hedeflemektedir.

2.9 İHA Sistemlerinde Sınıflandırma

İHA sistemleri, teknik kapasiteleri, operasyonel kabiliyetleri ve kullanım alanlarına göre uluslararası düzeyde belirli sınıflandırma sistemleri çerçevesinde kategorize edilmektedir. Bu bağlamda, literatürde en yaygın kabul gören iki temel sınıflandırma, Kuzey Atlantik Antlaşması Örgütü (NATO) ile Avrupa İnsansız Araç Sistemleri Birliği (EUROUVS) tarafından geliştirilmiştir. NATO'nun İHA sınıflandırması, genellikle irtifa ve uçuş süresi gibi operasyonel parametreler temelinde şekillenmekteyken; EUROUVS sınıflandırması, daha çok platform türü ve görev profillerine odaklanmaktadır. Söz konusu sınıflandırma sistemlerinin yapısal özellikleri ve kriterleri sırasıyla Tablo 2.4 ve Tablo 2.5'te ayrıntılı biçimde sunulmuştur. Bu sınıflandırmalar, İHA'ların askeri, sivil ve güvenlik amaçlı kullanımını standardize etmenin yanı sıra, farklı ülkeler ve kurumlar arasında operasyonel uyumluluğun sağlanmasına da önemli katkı sunmaktadır.

Tablo 2.4 NATO'nun insansız hava aracı sınıflandırması (Ministry of Defence, 2010)

Sınıf	Kategori	Normal Görev	Normal Görev İrtifası	Normal Görev çapı	Örnek Platform
Sınıf III (>600 kg)	Vurucu/ Savaşçı	Stratejik/ Ulusal	65.000 ft e kadar	Sınırlandırılmamış (BLOS)	Reaper
	HALE	Stratejik/ Ulusal	65.000 ft e kadar	Sınırlandırılmamış (BLOS)	Global Hawk
	MALE	Operasyonel/ Saha	45.000 ft e kadar (MSL)	Sınırlandırılmamış (BLOS)	Heron
Sınıf II (150–600 kg)	Taktik	Taktiksel Düzenleme	18.000 ft e kadar (AGL)	200 km (LOS)	Hermes 450
Sınıf I (<150 kg)	Küçük (> 15 kg)	Taktiksel Birim/ Birlik	5.000 ft e kadar (AGL)	50 km (LOS)	Scan Eagle
	Mini (< 15 kg)	Taktiksel Alt-Birim (Manuel veya elle fırlatma)	3.000 ft e kadar (AGL)	25 km ye kadar (LOS)	Skylark
	Mikro (< 2 kg)	Taktiksel Alt-Birim (Manuel veya elle fırlatma)	200 ft e kadar (AGL)	5 km ye kadar (LOS)	Black Widow

Tablo 2.5 EUROUVS'un insansız hava aracı sınıflandırması (D'Alessandro ve ark., 2015)

İHA Sınıfı	Kategori	Maksimum Kalkış Ağırlığı (kg)	Maksimum Uçuş Yüksekliği (m)	Dayanıklılık (saat)	Data Link Aralığı (km)
Mikro/ Mini İHA	Mikro/Mini	0.1	250	1	<10
	Mini	<30	150-300	<2	<10
Taktiksel İHA	Close Range (CR)	150	3.000	2-4	10-30
	Short Range (SR)	200	3.000	3-6	30-70
	Medium Range (MR)	150-500	3.000-5.000	6-10	70-200
	Long Range (LR)	-	5.000	6-13	200-500
	Endurance (EN)	500-1.500	5.000-8.000	12-24	>500
	Medium Altitude, Long Endurance (MALE)	1.000-1.500	5.000-8.000	24-48	>500
Stratejik İHA	High Altitude, Long Endurance (HALE)	2.500-12.500	15.000-20.000	24-48	>2000
Özel Görev için Kullanılan İHA	Lethal (LET)	250	3000-4000	3-4	300
	Decoys (DEC)	250	50-5000	<4	0-500
	Stratospheric (STRATO)	-	20000-30000	>48	>2000
	Exo-stratospheric (EXO)	-	>30000	-	-

İHA sınıflandırmaları değerlendirilirken standart bir yaklaşım söz konusu olmamaktadır. Ancak sınıflandırmalarda temel tanım ve parametrelerde büyük farklılıklar bulunmamaktadır. İnsan olmaması, uzaktan kumanda sistemi veya otonom hareket kabiliyeti, faydalı yük sisteminin cinsi sınıflandırmalarda yer alan temel üç kriterdir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde İHA'ların teknik özelliklerine ve kullanım türüne göre farklı sınıflandırılmaların yapıldığı görülmektedir. İHA'nın kullanım türü, hava aracının büyüklüğü, kanat boyutu, kontrol metodu, kalkış-iniş türü, faydalı yük cinsi ve kapasitesi, çıkabileceği irtifa ve menzili**,** motor ve yakıt sistemi bu sınıflandırmaların bir kısmını oluşturmaktadır. Yapılan çalışmalarda referans gösterilen parametreler, genelleştirilmiş sınıflandırmaların geliştirilmesi amacıyla 16 başlık altında toplanmıştır (Korchenko ve Illyash, 2013).

1- İHA'nın kullanım alanına göre

2- İHA'nın kontrol sistemi türüne göre

3- İHA'ların uçuş kaidelerine göre

4- Hava sahası sınıflandırmasına göre

5- İHA'nın tipine göre

6- İHA'nın kanat tipine göre

7- İHA'nın kalkış-inişteki kaldırma kuvvetinin yönüne göre

8- İHA'ların kalkış-iniş türlerine göre

9- İHA'ların motor tiplerine göre

10- İHA'ların yakıt sistemine göre

11- İHA'ların yakıt tankı tiplerine göre

12- İHA'ların yakıt sistemlerini kullanımına göre

13- Genel kategori (Havada kalış süresi, menzil, çıkılabilecek maksimum irtifa değeri, maksimum kalkış ağırlıkları vb. alt kategoriler)

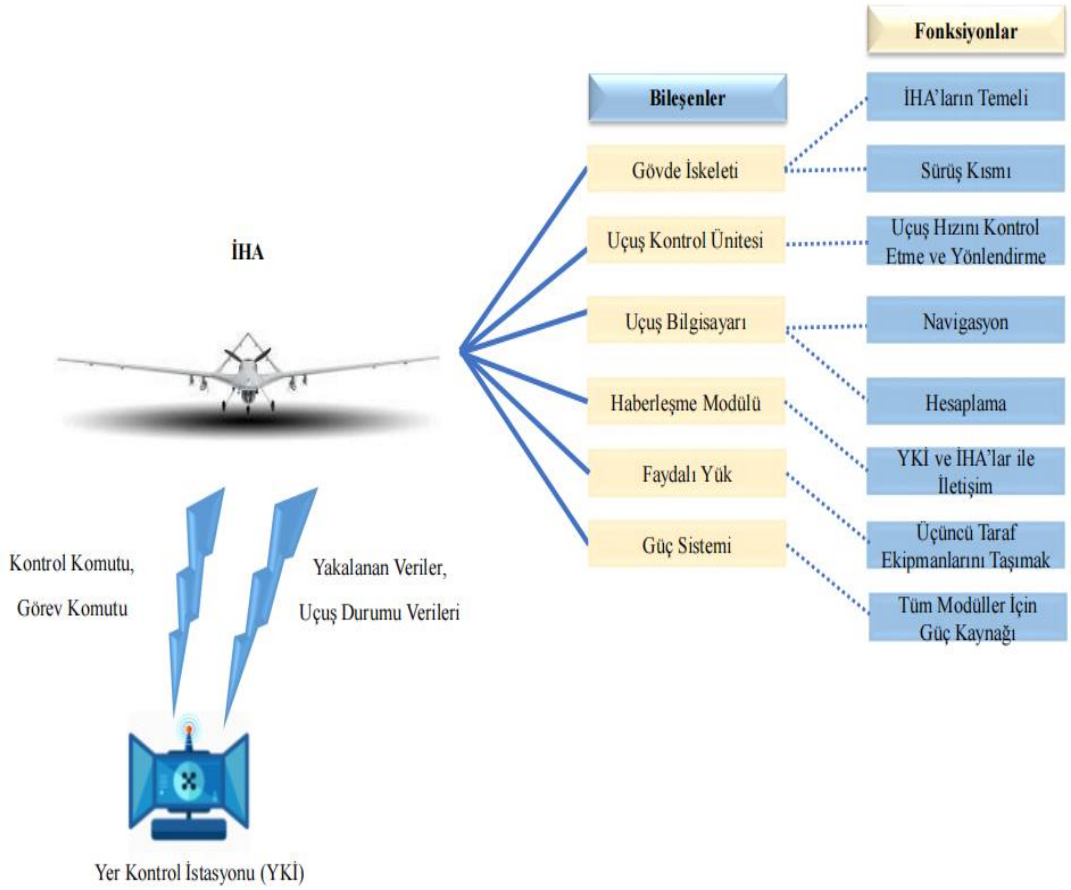
14- İHA'ların uçuş yarıçaplarına göre (yakın, kısa, orta, uzun yarıçap ve uzun dayanıklı uçuşlar)

15- İHA'ların uçuş irtifalarına göre (alçak irtifa, orta irtifa ve yüksek irtifa)

16- İHA'ların fonksiyonlarına göre (güvenlik, gözetleme, keşif-izleme, saldırı (vuruş), bilgi edinme, istihbarat, elektronik güvenlik, elektronik muharebe, iletişim, lojistik destek, bombardıman uçağı, yardımcı ve çok amaçlı)

2.10 İnsansız Hava Aracının Sistemsel Bileşenleri

İHA alt bileşenlerinin sınıflandırılmasına birçok çalışmada yer verilmiş olsa da bu çalışmalar içerisinde büyük değişiklikler yoktur. Genel tabiri ile İHAS faaliyetlerinde alt sistem bileşenleri 6 ana başlıkta (Şekil 2.11) toplanabilir (Zhang ve ark., 2020).



Şekil 2.11 İnsansız hava aracının unsurları

2.10.1 Gövde İskeleti

İnsansız hava araçlarının biçimini meydana getiren merkezi gövde, standart pervane, itici pervane, motor, motor yuvası, iniş takımları, kullanılacak yakıt ve tüm aviyonik ünitelerden oluşmaktadır. Uçuş için gerekli ana unsurları taşıyan gövde iskeleti, ağırlık – optimizasyon ve maruz kalınan tüm dış kuvvetleri havada karşılayan ve tahrik kabiliyetine sahip bölümdür.

2.10.2 Uçuş Kontrol Ünitesi

İnsansız hava aracının, uçuşu esnasında hassas kontrol dengeleri ile sabitlemeleri için birçok donanım ve algoritmalardan oluşan tasarımdır. Ünitede gelen girdiler işlenerek kontrollü bir uçuş için kanatçık, dümen ve asansör gibi kontrol yüzeylerinde eş zamanlı düzenlemeler yapar.

2.10.3 Uçuş Bilgisayarı

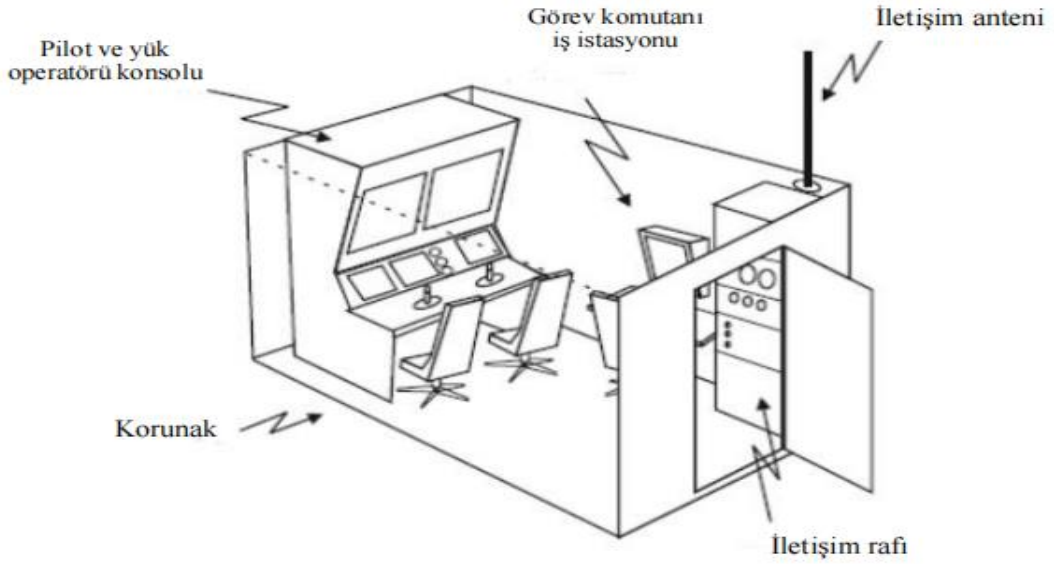
Uçuş bilgisayarı (FCC), dış döngü kontrolleri ile karar alma süreçlerine odaklanan bileşendir. Lidar, kamera ve GPS bilgisi gibi sensör verilerini işlerken İHA'nın konumunu tahmin etmektedir. Görev hedefleriyle birlikte sentezlenen bilgiler İHA'nın hareketini yönlendirmek amacıyla anlamlı komutlar oluşturur. Robotik işlem merkezi sayesinde otonom kararlar alma yeteneğine sahip uçuş bilgisayarı hava aracını uçuş dinamiklerine göre optimize etmektedir.

2.10.4 Haberleşme Modülü

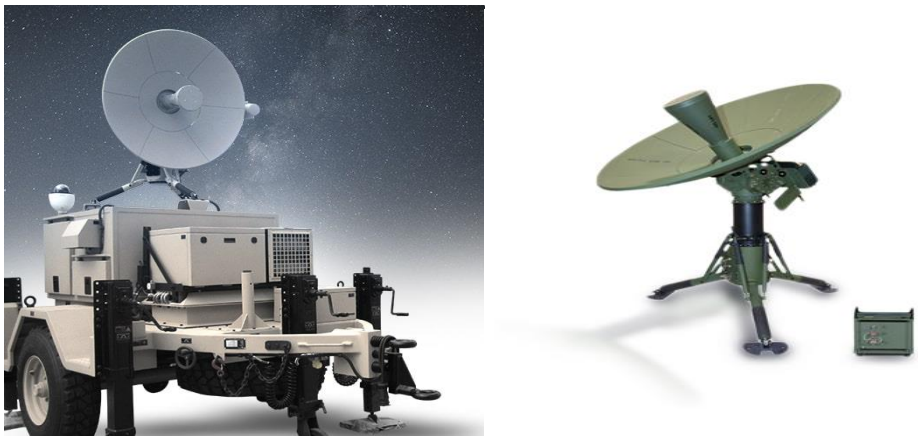
İHA'larda haberleşme çerçevesi genellikle İHA üzerinde yer alan verilerin kara platformları, deniz platformları ve hava sistemlerinde takip edilebilmesini veya hava aracının ve alt bileşenlerinin kara, deniz ve hava sisteminde komuta-kontrol edilebilmesi maksadıyla verileri operatörlere eş zamanlı aktarılmasını sağlayan sistem veya sistemler bütünü olarak tanımlanabilmektedir. Yer Kontrol İstasyonu'ndan (YKİ) alınan kumanda verileri, İHA uzerindeki Hava Veri Terminali'ne (HVT) iletilirken bir arayuz sayesinde hava aracı kontrol üssüne iletir. Aynı zamanda İHA üzerindeki faydalı yük ve durum bilgilerini YKİ'ye aktarır. Aktarılan veriler Yer Veri Terminali (YVT) tarafından alınarak YKİ'ye iletilmektedir.

Yer Kontrol İstasyonu (YKİ), hava araçlarından iletilen komuta, sensör ve telemetri verilerinin görüntülenerek işlendiği operasyonel kontrol üssüdür. YKİ korunakları (Şekil 2.12), görüntüleme ve kontrol konsolu, sinyal işleme ünitesi, haberleşme sistemi, görev tasarımı, yer veri terminali, video ve telemetri, bilgisayar ve çevresel denetleme ekipmanlarını kapsamaktadır. Kullanıcının, kesintisiz haberleşme ile her türlü vazife esnasında hem hava aracını hem de faydalı yük sistemini etkin şekilde kontrol etmesine olanak tanır. YKİ, operasyonun gereksinimleri doğrultusunda sabit veya mobil konseptlerle farklı şekillerde çözümler sunabilmektedir.

Yer Veri Terminali (YVT), hava aracından gelen verileri kara platformları, deniz platformları ve hava sistemlerinde görüntüleyen ve işleyen bir unsurdur. YKİ'nin bir uzantısı olarak görev icra eden YVT, hava aracı ile YKİ arasında farklı frekans bantları ile kablosuz veri iletimini gerçekleştiren mobil veya sabit entegre anten ve elektronik sistem (Şekil 2.13) bileşenidir.



Şekil 2.12 Yer kontrol istasyonu (YKİ)



Şekil 2.13 Yer veri terminali (YVT)

2.10.5 Faydalı Yük

Yük unsuru, İHA operasyonel görevlerini yerine getirebilmeleri amacıyla entegre edilen ekipman ve alt sistemleri ifade etmektedir. Hava aracının tasarım amacı doğrultusunda, faydalı yük türleri ve sayıları değişiklik göstermektedir. İHA'ların günümüzde geniş kullanım alanlarına sahip olması sebebiyle, görev

gereksinimlerine bağlı olarak faydalı yüklerin önemi artmaktadır. Faydalı yüklerin görev bazında sınıflandırılması Tablo 2.6'da sunulmuştur.

Tablo 2.6 Vazifelerine göre faydalı yük tipleri yaklaşımı. (Villi ve Yakar, 2022)

Faydalı Yük Tipi	**Örnek**
Bilgi Toplayıcı Faydalı Yük	Metan gazı sensörü, video kamera vb.
İletişim Faydalı Yükü	433Mhz telemetri haberleşme modemi, 3/4/4.5/5G modül vb.
Navigasyon Faydalı Yükü	GPS modülü, inersiyal ölçme ünitesi vb.
Görev Yardımcı Faydalı Yükü	Sıvı püskürtme sistemi, yük bırakma sistemi vb.
Uçuş Yardımcı Faydalı Yükü	Engel algılama sensörleri, uçuş yedek sistemleri vb.

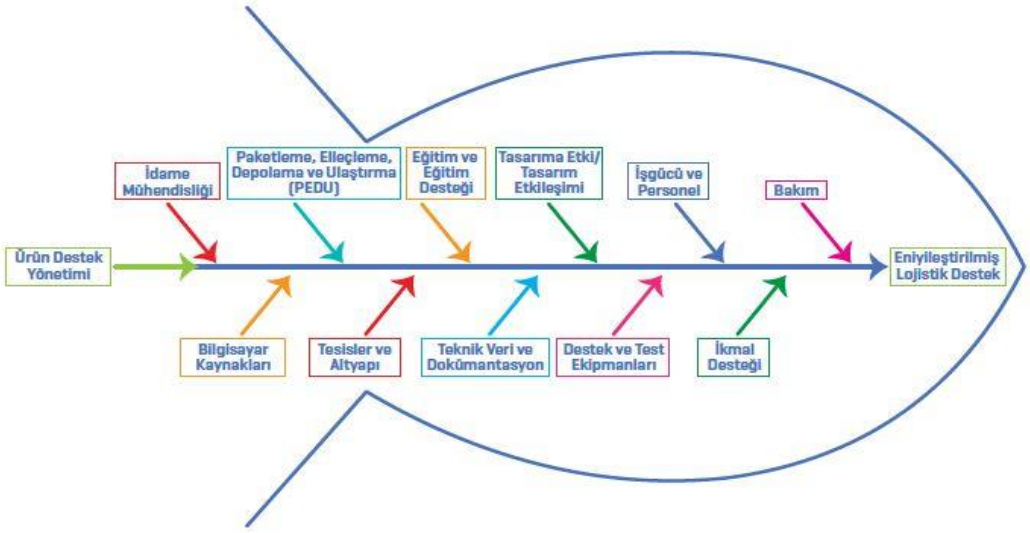
2.10.6 Güç Sistemi

Operasyon sürelerinin artırılması ve enerjinin verimli kullanılması maksadıyla İHAS'da birçok enerji kaynağı entegre olarak dizayn edilmektedir. Elektrikli motorlar, dizel motorlar, bataryalar, güneş panelleri, yakıt hücreleri ve süperkapasitörler bu sistemlerde yaygın biçimde tercih edilen güç üniteleridir. Araştırmacılar, İHA'ların performans ve kabiliyetlerini önemli düzeyde artırma gayesiyle içten yanmalı motorlarla karşılaştırıldığında enerji verimliliği sunan elektrikli ve hibrit tahrik sistemleri ile güneş enerjisi gibi alternatiflerin entegrasyonunu araştırmaktadır.

2.11 İnsansız Hava Aracı Lojistik Süreçleri

Modern muharebe alanları dijitalleşmeye doğru evrilirken İHA sistem ve bileşenleri yakın merceğe alınmaya başlamıştır. Güçlü avantajlara sahip ve operasyonel uyarlanabilir İHA sistemlerinin akıllı muharebe ortamlarında kullanım sıklığı yüksektir. Bununla birlikte İHA sistemlerinin karmaşık ve karakteristik özelliklerinden ötürü mekansal değişiklikler, bileşenler ve alt bileşenlerin bozulma derecelerinin farklılığı ve sınırlı bakım kaynakları vb. kullanım ve muharebe etkinliği için destek çalışmalarına önemli bir yön vermektedir. Karmaşık bir yapıda faaliyet gösteren İHA sistemlerinde destek personel ve ekipmanları, yedek parçalar ve diğer destek kaynakları vb. destek kabiliyeti ile lojistik süreçleri desteklenir. İHA sisteminin yaşam döngüsünde önceden belirlenen bakım-onarım konseptleri doğrultusunda bakım-onarımların yapılabilmesi için yedek parça ve dokümantasyon gibi ihtiyaçların belirlenmesi de lojistik destek faaliyetleri

arasındadır (Karaağaç, 2013). Entegre Lojistik Destek (ELD), İHAS'da ömür devri sarfiyatlarını optimize edecek destek çözümler geliştirmek amacıyla ihtiyaç doğrultusunda lojistik süreç fonksiyonlarının tam olarak anlaşılarak optimum lojistik destek gayesine erişmek için bütünleşik biçimde yönetilmesi temeline dayanmaktadır. Bu fonksiyonlar Şekil 2.14'de gösterilmektedir.



Şekil 2.14 Entegre lojistik destek elemanları ile optimum lojistik destek ilişkisi (Savunma Sanayii Başkanlığı, 2021)

Yoğun teknolojik sistemleri bünyesinde bulunduran insansız hava araçlarının zorlu operasyonlarda istenilen performans ile verimli sonuçlara ulaşması beklendiğinden amaca yönelik lojistik metotlar geliştirilmelidir. Bir İHAS'da alt sistemler (otomatik iniş-kalkış sistemi, yer kontrol istasyonu, motor, veri linki, faydalı yük vb.) vaziyefe hazır olma durumunu etkileyeceğinden ötürü kritik düzeyde önemli olmakla birlikte bu alt sistemlerin her birinin lojistik süreçlerinin takibi gerekmektedir. İHAS'da maddi değeri düşük olsa bile bir ünitede meydana gelebilecek bir arıza, tüm sistemin hizmet dışı kalmasına yol açabilmektedir. Bu sebeple, İHAS'ın idame edilebilirlik, desteklenebilirlik ve güvenilirlik optimizasyonu yapılarak lojistik gereksinimler doğrultusunda tasarımı yapılmalıdır. Tasarlanan sistem içinde yedek parça, bakım prosedürleri, dökümantasyon, destek ekipmanları, görev planlaması, pilot-operatör eğitimlerinin takibi sürdürülebilir olmalı ve teknolojik yeniliklerle desteklenmelidir.

İHAS lojistik ömür döngüsünde bakım, arıza, parça bekleme gibi lojistik problemlerin meydana gelmeden elimine edilmesi için proaktif yaklaşımın

benimsenmesi, maliyetlerin düşürülmesi ve yüksek faaliyet oranlarının desteklenmesini sağlamaktadır. Modern olarak geliştirilen diğer savunma sistemlerine ait projelerde olduğu gibi İHAS lojistik ömür döngüsü destek sistemlerinin alt yapısı da performans odaklı geçişe olanak sağlayan lojistik konseptte hazırlanmalıdır (Savunma Sanayii Müsteşarlığı, 2012).

2.12 İHA Lojistik Süreçlerinde Teknolojik Yenilikler

Savunma taktik ve stratejilerinin hızlı değişimi yoğun teknoloji gerektiren insansız hava araçlarının çağın beklentilerine uygun şekilde imal edilmesini gerektirir. Aynı zamanda bu sistemlerin beklenilen faaliyet düzeylerine karşılık hazır olmaları için lojistik destek süreçlerinin (bakım, arıza, parça bekleme vb.) yeni teknolojilere doğrudan adaptasyonu ile mümkündür. Teknoloji ile bütünleşik lojistik destek süreçleri sayesinde dağıtım kanallarının modernizasyonu ve tedarik gelişimi ile kaliteli ve güvenilir neticeler elde edilmesi öngörülmektedir.

İHA sektöründe faaliyet gösteren firmaların, stoklara alınan malzeme, platform ve sistemlerin lojistik yönünden desteklenmesi, geliştirilmesi, tehdit ve öngörülen talepleri karşılayacak düzeyde çağın teknolojik yeniliklerine uygun kazanımların teçhizi gibi gereksinimler için zamanında ve doğru karşılık verebilmesi potansiyel faaliyet kollarından biridir. Son yıllarda İHA lojistik süreçlerinde birçok teknolojik yenilik yaşanmaktadır. Öne çıkan bazı yenilikler:

- **Yapay Zeka ve Makine Öğrenimi**

- Rota Optimizasyonu: YZ algoritmaları, gerçek zamanlı trafik, hava durumu ve diğer faktörleri analiz ederek en uygnu uçuş rotasını belirler.
- Öngörülü Bakım: Makine öğrenimi, İHA'ların sensör verilerini analiz ederek potansiyel arızaları önceden tahmin eder ve bakım ihtiyacını belirler.
- Nesne Tanıma: YZ, İHA'ların teslimat noktalarını ve engelleri otomatik olarak tanımasını sağlamaktadır.

- **5G ve Ötesi İletişim Teknolojileri**

- Düşük Gecikme Süresi: 5G, İHA'ların gerçek zamanlı olarak kontrol edilmesini ve veri iletimini sağlar.
- Yüksek Bant Genişliği: Daha fazla veri (video, sensör verileri vb.) daha hızlı iletilebilir.
- Gelişmiş Güvenlik: 5G, daha güvenli iletişim kanalları sunar.

- **Blokzincir Teknolojisi**

- Şeffaflık ve Güvenlik: Teslimat süreçlerinin güvenli ve şeffaf olarak takip edilmesini sağlar.
- Köken Takibi: Yükün kaynağına kadar olan tüm aşamaları izlemeyi mümkün kılar.

- **Nesnelerin İnterneti (IOT)**

- Bağlantılı Cihazlar: İHA'lar, sensörler ve diğer cihazlar arasında veri alışverişi sağlar
- Gerçek Zamanlı İzleme: Yükün sıcaklığı, nem oranı gibi parametreleri gerçek zamanlı olarak izlenebilir.

- **Gelişmiş Sensör Teknolojileri**

- Lidar: Yüksek çözünürlüklü 3D haritalar oluşturarak İHA'ların güvenli bir şekilde uçmasını sağlar.
- Termal Kameralar: Isı imzalarını tespit ederek gece görüşü ve arama kurtarma operasyonlarında kullanılır.
- Hiper Spektral Görüntüleme: Yükün kalitesini ve durumunu analiz etmek için kullanılır.

- **Otonom Uçuş Sistemleri**

- Tam Otonomi: İHA'ların insan müdahalesi olmadan uçmasını ve teslimat yapmasını sağlar.
- Sürü Uçuşu: Birden fazla İHA'nın senkronize bir şekilde uçmasını ve görev yapmasını sağlar.

- **Dijital İkizler**

- Sanal Ortamda Simülasyon: İHA'ların ve lojistik operasyonlarının sanal ortamda simüle edilmesini sağlar.
- Performans Optimizasyonu: Gerçek dünya verilerine dayanarak İHA'ların performansını optimize etmeye yardımcı olmaktadır.

- **Enerji Verimliliği ve Batarya Teknolojileri**

- Gelişmiş Batarya Kimyaları: Daha uzun uçuş süreleri ve daha hızlı şarj imkanı sunar.
- Kablosuz Şarj: İHA'ların otomatik olarak şarj edilmesini sağlar.

Günümüzün hızlı ve gelişen dünyasında İHAS'da sürdürülebilir lojistik destek faaliyetleri yeni teknolojiler ile mümkün olacaktır. Satın alınan veya geliştirilen

malzeme, ürün ve bileşenlerin saklanması amacıyla kullanılan yazılımlar, stok yönetim uygulamaları, ürün ya da araçların taşınmasında kullanılan sistemler, taşıma/nakliye güvenliği, araçların takibi için faydalanılan teknolojiler, proje yönetim takımlarının belirlenmesi ve etkin kullanımı için yapay zeka, nesnelerin interneti, büyük veri, veri iletişimi vb. yeni teknolojilerin entegrasyonu önem kazanmıştır. Gelecekte bu teknolojilerin daha da gelişmesi ve entegre edilmesi ile İHA lojistik süreçlerinde önemli dönüşümler beklenmektedir.

2.13 İHA Lojistik Süreçlerinde Blokzincir Teknolojisi

İnsansız hava aracı lojistik süreçlerinde blokzincir teknolojisinin kullanımı, şeffaflık, güvenilirlik ve verimlilik yönünden önemli avantajlar sunar. Başlıca avantajlar;

Köken Takibi: Yükün kaynağına kadar olan tüm aşamaları (üretici, tedarikçi, İHA operatörü, teslimat noktası) blokzincir üzerinde güvenli bir şekilde kaydedilir. Bu durum, sahte ürünlerin önüne geçilmesine yardımcı olur.

Sıcaklık Kontrolü: Sıcaklık hassasiyeti olan ürünlerin taşınmasında, sıcaklık verileri blokzincire kaydedilerek ürünün güvenliği sağlanır.

Teslimat Kanıtı: Teslimatın gerçekleştiği an, blokzincire kaydedilir ve taraflar arasında anlaşmazlıklar giderilir. Dijital imza ile teslimatın doğruluğu teyit edilebilir.

Ödeme Otomasyonu: Akıllı Sözleşmeler kullanılarak teslimatın tamamlanmasıyla beraber ödemeler otomatik olarak yapılabilir.

Bakım ve Onarım Kayıtları: İHA'ların bakım ve onarım geçmişi blokzincirine kaydedilerek, güvenilir bir kayıt oluşturulur ve arızaların önlenmesine yardımcı olunur.

İHA Kimlik Yönetimi: İHA'ların kimlik bilgilerinin ve uçuş izinlerinin BZT aracılığıyla güvenli bir biçimde saklanması, hem veri bütünlüğünü garanti altına almakta hem de yetkilendirme süreçlerini şeffaf ve izlenebilir hâle getirmektedir. Bu sayede, lojistik süreçlere ilişkin raporlama ve analiz faaliyetlerinde doğruluk, güvenlik ve zaman verimliliği açısından önemli kazanımlar elde edilmektedir.

Savunma alanındaki uygulamalar genellikle gizlilik ve güvenlik odaklı olduğundan, kamuya açık bilgiler sınırlı olsa da bilenen bazı uygulamalar:

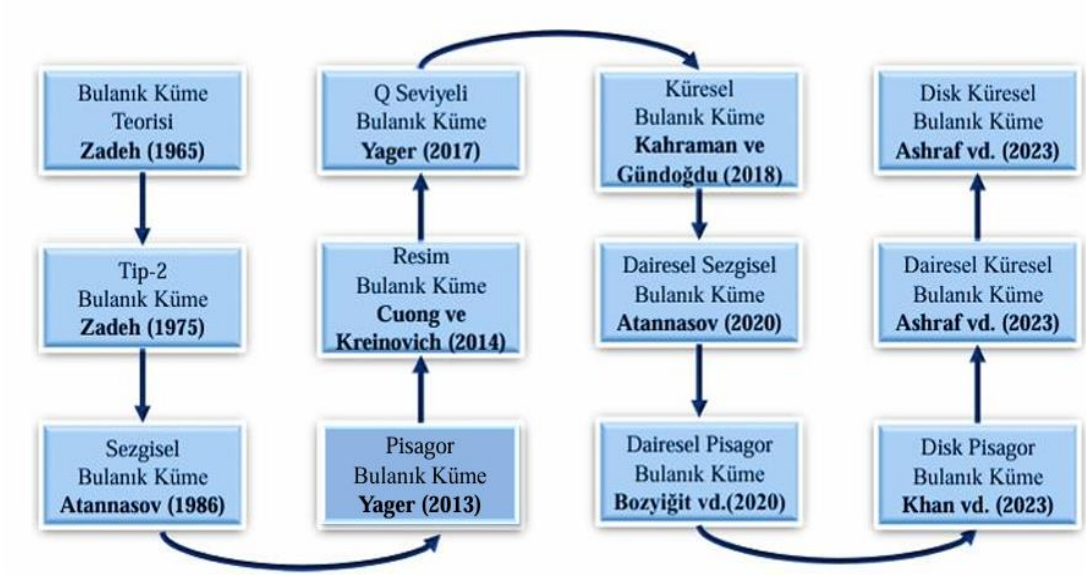
- ABD Hava Kuvvetleri (USAF): USAF, İHA'ların tedarik zinciri yönetimini iyileştirmek ve sahte parçaların kullanımını engellemek için BZT'yi araştırmaktadır. Özellikle kritik parçaların kökenini ve geçmişini doğrulamak amacıyla kullanılmaktadır.
- ABD Savunma Bakanlığı (DOD): DOD, BZT'yi kullanarak İHA'ların bakım ve onarım kayıtlarını güvenli bir şekilde saklamayı ve takip etmeyi hedeflemektedir. Bu sayede, İHA'ların güvenilirliği ve operasyonel etkinliklerinin artırılması hedeflenmektedir.
- Lockheed Martin: Lockheed Martin, BZT'yi kullanarak İHA'ların yazılım güncellemelerini güvenli bir şekilde dağıtmayı ve yetkisiz erişimi engellemek için çalışmalar yapmaktadır.
- BAE Systems: BZT'yi kullanarak İHA'ların kullanımıyla ilgili verileri ve bilgileri güvenli bir şekilde yönetmek için çalışmalar yapmaktadır.

Blokzincir teknolojisi, İHA tabanlı lojistik süreçlerinde önemli avantajlar sunmaktadır. Sevkiyat bilgileri, teslimat zamanları gibi kritik unsurların değiştirilemez şekilde kaydedilmesi, süreçlerin daha şeffaf ve denetlenebilir hale gelmesini sağlamaktadır. Ancak söz konusu teknolojinin İHA tabanlı lojistik uygulamalarda yaygın biçimde kullanılabilmesi, belirli teknik ve yönetsel zorlukların aşılmasını zorunlu kılmaktadır. Blokzincir yapıları, özellikle işlem hacminin yüksek olduğu senaryolarda veri doğrulama sürecinde gecikmelere neden olabilmekte, bu da gerçek zamanlı müdahale gerektiren operasyonlarda sistem performansını sınırlayabilmektedir. Blokzincir ağlarının yüksek işlem gücü gereksinimi ve buna bağlı maliyetler, özellikle sürekli ve geniş ölçekli lojistik faaliyetlerde ekonomik sürdürülebilirliği zorlaştırmaktadır.

3
METODOLOJİ

3.1 Bulanık Küme Teorisi

Bulanık mantık ve bulanık küme setleri, 1965'de Azerbaycan kökenli Lotfi Askerzade Zadeh (Lütfü Askerzade) tarafından bulunmuş ve "Fuzzy Sets (Bulanık Kümeler)" başlıklı makale yazmıştır.). Zadeh, gerçek dünyada nesnelerin bir kümeye ait olmasının teoride 0 ile 1 gibi kesin bir ölçüye tabii tutulamayacağını savunmuştur. Teorikte bir kümeye aidiyet çerçevesi kesin olarak tanımlanmış olsa da gerçek dünyada tanımı kesin yapılamayacak (yaklaşık) kümelerin olduğunu vurgulamıştır. Bu nedenle bulanık mantık, belirli ve kesin değerlerin yerine yaklaşık ve kesin olmayan olguları tanımlamada "yavaş" veya "hızlı" şeklinde dilsel ifadeleri kullanmaktadır. Bulanık mantıkta değerler, algoritmaların temelinde var olan "0" ve "1" döngüsünde [0,1] aralığında kümelenme yapabilir ve insan mantığına uygun ayrıcalıklı bir mantıkta çalışır. Şekil 3.1'de, bulanık küme teorisinin tarihsel gelişim sürecine sistematik bir biçimde yer verilmiştir.



Şekil 3.1 Bulanık küme teorisinin tarihsel gelişimi (Bozyiğit ve Ünver, 2024)

Günümüzde bu anlayışın matematiksel çalışma ilkeleri karmaşık endüstrilerin süreç yönetiminde ve değişik işlevlerin kontrol, denetim ve idaresinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

3.2 Sezgisel Bulanık Kümeler

Belirsizliği çeşitli ölçütlerde ele alan literatürdeki çalışmalarda farklı teoriler geliştirilmiştir. Öncül teori kabul edilen Zadeh'in geliştirdiği "Bulanık Küme Teorisi" içeriğinde insan yargılarına ve düşüncelerine yer verirken karma sistemlerde muğlak durumların üstesinden gelmede etkin bir araç olarak rol almaktadır. Zadeh'e ait klasik kapsamlı bulanık kümelerin temelinde üyelik derecesi vardır. Klasik bulanık mantık yönteminde, üyelik fonksiyonları dereceli ifade edilirken; [0,1] aralığında tüm değerleri alabilecek şekilde hesaplanmaktadır. Araştırmacıların farklı bakış açıları sayesinde belirsizliğe yönelik yapılan çalışmalarda klasik bulanık küme teorisi genişletilmiş ve farklı tavsiyelerde bulunulmuştur. Atanassov'un 1986'da geliştirdiği sezgisel bulanık küme teorisi literatürde geniş yer bularak birçok uygulamada kullanılmıştır. Zadeh'in klasik bulanık küme teorisindeki modellemesinde [0,1] aralığında tanımlı üyelik derecesini gösteren ifade Atanassov'un sezgisel bulanık küme modellemesinde klasik yaklaşımdan farklı olarak üye olmama (non-membership) derecesini de açıklamaktadır. Muğlak durumlar ile başa çıkabilmek için sezgisel bulanık kümeler, klasik bulanık kümelere kıyasla daha etkili olduğu farklı çalışma sonuçları ile ortaya koyulmuştur (Xu, 2007).

Sezgisel bulanık küme (SBK) teorisine göre üyelik - üye olmama dereceleri [0,1] aralığında yer alır ve klasik yöntemde üyelik - üye olmama derece toplamları "1" sonucunu verirken sezgisel bulanık küme teorisi bakış açısına göre üyelik - üye olmama parametrelerinin toplamı "1" sonucunu vermek zorunda değildir. Atanassov'a göre bu parametrelerin toplam sonucu 1'e tamamlamak üzere tereddüt derecesi (hesitancy degree) olarak üçüncü bir parametre bulunmaktadır.

Boş olmayan bir X evrensel kümesinde yer alan A sezgisel bulanık kümesi;

$A = \{\langle x, \mu A(x), \nu A(x)\rangle \mid x \in X\}$ eşitliği ile ifade edilmektedir. x elemanın kümeye ait olma derecesi $\mu A\ (x)$: $X \rightarrow [0,1]$ ve ait olmama derecesi $\nu A(x)$: $X \rightarrow [0,1]$

fonksiyonları ile tanımlanır. Bu fonksiyonlar, μA(x) ve νA(x) sırasıyla $x \in X$ ' in üyelik ve üye olmama derecesidir.

3.3 Pisagor Bulanık Kümeler

Pisagor teoreminden alınan bir kavram olan Pisagor bulanık kümeler adını Antik Yunan'da yaşamış ünlü matematikçi Pisagor'dan alır. Pisagor bulanık sayılar (PBS), bulanık kümelerin bir bileşeni olup bulanık kümelerin tanımlanmasında ve belirsizlikle baş etmede kullanılır. Yager'in 2013 yılında geliştirdiği Pisagor Bulanık Kümeler (PBK), SBK'ya katkıda bulunarak karar vericilerin ifade imkanlarını artırabilmeleri hususunda daha kapsamlı bir fikir ile önerilmiştir. Belirsizlik durumunun ele alındığı problemleri modellemede yetersiz kalan SBK yerine daha esnek ve güçlü PBK, daha geniş kullanım alanı sağlamaktadır (Supçiller ve Öktem, 2023). Pisagor bulanık kümesi aşağıdaki gibi gösterilmektedir (Yager, 2016).

PBK ≅ {< x, [μ(x), $\nu(x)$] >, $x \in$ PBK}

SBK'nın uzantısı olan bu teoreme göre μPBK(x)^2+ νPBK(x)^2 ≤ 1 eşitliğinin sağlanması koşulu aranmaktadır (Tezcan ve Eren, 2024).

3.4 Q Seviyeli Bulanık Kümeler

QSBK, standart olmayan bulanık kümelerin en genel versiyonudur. Ronald R. Yager tarafından 2017'de geliştirilen QSBK, geçmiş bulanık küme teorilerinin daha genel bir halidir. Bu yapı, aşağıda belirtilen üç forma uygun ise Q seviyeli bulanık küme olarak tanımlabilir.

- Q 1'e eşit veya büyüktür,
- μA(x) ∈ [0,1] ve νA(x) ∈ [0,1],
- 0 ≤ μA(x)^q + νA(x)^q ≤ 1

QSBK'da bağlılık gücü S0 = μA(x)^q + υA(x)^q tereddüt katsayısı ise H0 = (1- S0^q)$^{1/q}$ = (1- (μA(x)^q + υA(x)^q) $^{1/q}$ olarak hesaplanmaktadır. q seviyesi artarken bağlayıcı kısıt düşer ve q sayısı sonsuza giderken karar vericiye serbestlik tanımaktadır. Bağlılık gücünün aynı olduğu durumda q seviyesi artar ise tereddüt katsayısı yükselir. Bu durum modelde daha fazla belirsizliğin olmasını ifade eder. Q seviyesi,

uygulamanın gereksinimlerine ve verinin özelliklerine göre belirlenmektedir. Başlıca şu faktörler dikkate alınarak belirlenir:

- Belirsizlik Derecesi: Veri setinde belirsizlik ne kadar yüksek ise daha yüksek bir q seviyesi oluşabilir. Q seviyesinin yüksek olması belirsizliği daha hassas bir şekilde modellemeyi sağlar (Khan ve ark., 2020).
- Hesaplama Karmaşıklığı: Q seviyesi arttıkça hesaplama karmaşıklığı da artar. Bu nedenle, hesaplama kaynakları ve zaman kısıtları göz önünde bulundurulmalıdır.
- Uygulama Hassasiyeti: Uygulamanın doğruluğu ne kadar kritikse daha yüksek bir q seviyesi tercih edilmelidir. Örneğin, tıbbi teşhis gibi hassas uygulamalarda yüksek q seviyesi önemlidir.
- Veri Miktarı: Büyük veri kümelerinde, yüksek q seviyesi hesaplama maliyetini önemli ölçüde artırabilir. Bu durumda daha düşük bir q seviyesi daha pratik olabilir.

Q seviyesinin belirlenmesinde kullanılan başlıca yaklaşımlar:

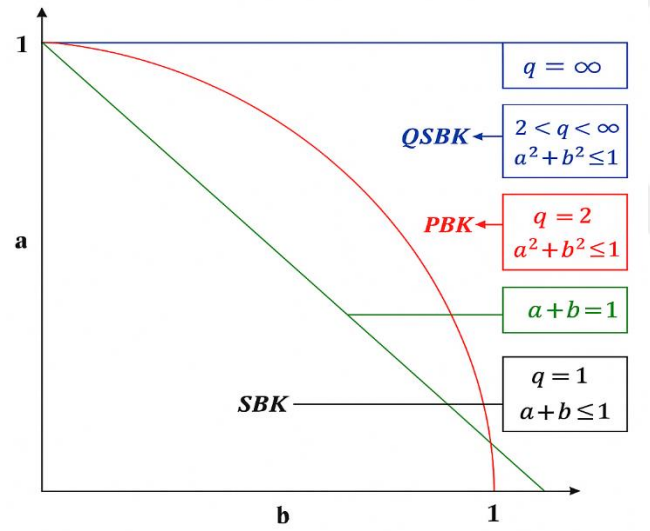
- Deneme Yanılma: Farklı q seviyeleriyle denemeler yaparak, uygulamanın performansı ve doğruluğu değerlendirilir (Liu ve ark., 2019).
- Uzman Görüşü: Alanında uzman kişilerin görüşleri alınarak uygun q seviyesi belirlenir.
- Veri Analizi: Verinin istatistiksel özellikleri analiz edilerek, belirsizlik derecesi tahmin edilir ve buna göre Q seviyesi belirlenir.

QSBK aritmetiği, belirsizliğin ve kesin olmamaların önemli olduğu birçok alanda kullanılır:

- Kontrol Sistemleri: Bulanık mantık kontrolörleri, karmaşık sistemleri kontrol etmek için kullanılır. Q seviyesi, kontrol sisteminin hassasiyetini ve tepki süresini etkiler.
- Karar Destek Sistemleri: Belirsiz verilerle karar verme süreççlerini iyileştirmek için kullanılır.
- Desen Tanıma: Görüntü işleme, ses tanıma gibi alanlarda belirsiz desenleri tanımak için kullanılır.
- Veri Madenciliği: Büyük veri kümelerinden anlamlı bilgiler çıkarmak için kullanılır.

- Tıp: Hastalık teşhisi, tedavi planlaması gibi alanlarda (Örn: Bulanık mantık tabanlı teşhis sistemleri)
- Finans: Hisse senedi tahmini, portföy yönetimi gibi alanlarda
- Mühendislik: Bulanık mantık, mühendislik problemlerini çözmek için kullanılır. (Örn: Bulanık mantık tabanlı filtreler, optimizasyon algoritmaları)
- Yapay Zeka: Bulanık mantık, yapay zeka sistemlerinin karar verme yeteneklerini geliştirmek için kullanılırlar.

Özetle Q seviyesi, uygulamanın özel gereksinimlerine göre dikkatle belirlenmesi gereken bir parametredir. Doğru Q seviyesi seçimi, sistemin performansı ve doğruluğu üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Şekil 3.2'de bulanık küme modellemelerinin karşılaştırılmasına yer verilmiştir.



Şekil 3.2 Bulanık küme türlerinin karşılaştırılması (Pınar ve Boran, 2020)

3.4.1 Q Seviyeli Bulanık Kümelerde Aritmetik İşlemler

Yager'in önerdiği modelde X'in q seviyeli bulanık alt kümesi A aşağıda verilmiştir:

Tanım (1): $A = \{< x, \mu_A(x), \nu_A(x) > \mid x \in X\}$

$\mu_A(x) : X \rightarrow [0,1]$ üyelik derecesini ve $\nu_A(x) : X \rightarrow [0,1]$ $x \in X$ olmak üzere aşağıdaki koşul ile birlikte üye olmama derecesini göstermektedir.

$$(\mu_A(x))^q + (\nu_A(x))^q \leq 1$$

Tereddüt derecesi: $\pi_A(x) = \left((1 - (\mu_A(x))^q - (\nu_A(x))^q\right)^{1/q}$ (3.1)

Yager, Şekil 3.2'de gösterildiği gibi, Atanassov'un önerdiği sezgisel bulanık kümelerin q = 1 olan QSBK ve pisagor bulanık kümelerin q = 2 olan QSBK olduğunu öne sürmüştür.

Tanım (2): A= $\mu_A(x), \nu_A(x)$ q seviyeli bir bulanık küme olmak üzere A kümesinin puan foksiyonu ve doğruluk fonksiyonu sırasıyla aşağıdaki eşitliklerde gösterilmektedir.

$$S(A) = (1 + \mu_A(x)^q - \nu_A(x)^q) / 2 \tag{3.2}$$

$$H(A) = \mu_A(x)^q + \nu_A(x)^q \tag{3.3}$$

Tanım (3): $a_k = < \mu_k(x), \nu_k(x) >, (k = 1,2,3,\dots n)$ bir QSBK koleksiyonudur, o halde q seviyeli bulanık ağırlıklı ortalama operatörü Eşitlik (3.4)'de gösterilmektedir.

$$= \left\langle \left(1 - \prod_{k=1}^{l}\left(1 - \mu_k(x)^q\right)^{\lambda_k}\right)^{1/q}, \prod_{k=1}^{l} \nu_k(x)^{\lambda_k} \right\rangle \tag{3.4}$$

Tanım (4): $a_k = < \mu_k(x), \nu_k(x) >, (k = 1,2,3,\dots n)$ bir QSBK koleksiyonudur, o halde q seviyeli bulanık ağırlıklı geometrik operatörü Eşitlik (3.5)'de gösterilmektedir.

$$= \left\langle \prod_{k=1}^{l}\left(\mu_k(x)\right)^{\lambda_k}, \left(\left(1 - \prod_{k=1}^{l}(1 - \nu_k(x)^q)^{\lambda_k}\right)^{1/q}\right) \right\rangle \tag{3.5}$$

Tanım (5): A= $\mu_A(x), \nu_A(x)$ ve B= $\mu_B(x), \nu_B(x)$ q seviyeli iki bulanık küme olmak üzere;

$$A \oplus B = \langle \left(\mu_A(x)^q + \mu_B(x)^q - \mu_A(x)^q * \mu_B(x)^q, \nu_A(x)\nu_B(x)\right)^{1/q} \rangle_q \tag{3.6}$$

$$A \otimes B = \langle \mu_A(x)\mu_B(x), (\nu_A(x)^q + \nu_B(x)^q - \nu_A(x)^q\nu_B(x)^q) \rangle_q \tag{3.7}$$

$$\rho A = \langle (1 - \left(1 - \mu_A(x)^q\right)^{\rho})^{1/q}, \nu_A(x)^{\rho} \rangle_q \tag{3.8}$$

$$A^{\rho} = \langle \left(\mu_A(x)^k, (1 - (1 - \nu_A(x)^q)^{\rho}\right)^{1/q} \rangle_q \tag{3.9}$$

3.5 Q Seviyeli Bulanık Küme Temelli Critic

Literatüre 1995 yılında kazandırılan CRITIC (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation) metodu Diakoulaki, Mavrotas ve Papayannakis tarafından geliştirilmiştir. Bu metodun en önemli özelliği, kriter çiftlerinin birbirleri ile olan

korelasyonu değerlendirmesidir (Ghorabaee ve ark., 2018). Metot, ÇKKV süreçlerinde karar alıcıların kriterleri önem ağırlıklarına göre değerlendirmesine yardımcı bir model olmakla birlikte çok boyutlu karar alma problemlerinde etkilidir.

ÇKKV süreçlerine, birleştirilmiş ve genişletilmiş bir yapı oluşturan bu metot bulanık verilerin işlenmesi için kullanılarak karmaşık karar verme problemlerine iyileştirme yapmak için uygulanmaktadır. QSBK tabanlı CRITIC yönteminin hesaplama adımları aşağıda tanımlanmıştır.

Adım (1): Başlangıç matrisinin oluşturulması:

QSBK temelli ⟨a × k⟩ mertebesinde ⟨u⟩ matrisi oluşturulur. Uzman ⟨u⟩, alternatif ⟨a⟩ ve kriter ⟨k⟩ olmak üzere derecelendirme yapılarak ⟨u⟩ uzmanlarının tipik olarak her biri ⟨1 × k⟩ mertebesinde ⟨a⟩ vektör sağlar.

$$\begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & u_{1k} \\ u_{21} & u_{22} & u_{2k} \\ u_{a1} & u_{a2} & u_{ak} \end{bmatrix}$$

Adım (2): Performans vektörlerinin dönüştürülmesi:

Matrislerdeki girdiler, ⟨1 × M⟩ mertebesinde bir vektör olarak temsil edilir. ⟨M⟩, bir uzmanın matristeki toplam elemanlarını temsil eder. Bu nedenle, ⟨1 × M⟩ boyutunda ⟨u⟩ vektör oluşturulur. Burada, ⟨M⟩ satır ve sütun sayılarının çarpım değeri olarak elde edilmektedir. Vektörler, bulanık sayılara çevrilerek sayısal verilere dönüştürülür ve bu veriler doğrultusunda karar matrisleri dönüştürülür.

Adım (3): Korelasyon katsayısının hesaplanması:

Karşılıklı olarak uzman çiftlerinin birbirleriyle olan ilişkisini belirlemek amacıyla Adım 2'deki vektörler kullanılır. Eşitlik (3.10)'da yer alan denklem benimsenerek ⟨M⟩ vektör arasındaki karşılıklı ilişki belirlenmelidir. Hesaplama sonucunda ⟨u × u⟩ kare matrisi elde edilir.

$$p_{\{mn\}} = \frac{\sum_{j=1}^{M}((A(QF_{lj}(m)) - A(\overline{QF_l(m)}) \cdot (A(QF_{lj}(n)) - A(\overline{QF_l(n)})}{\sqrt{(\sum_{j=1}^{M}(A(QF_{lj}(m) - A(\overline{QF_l(m)})^2 \cdot \sum_{j=1}^{M}(A(QF_{lj}(n) - A(\overline{QF_l(n)})^2)}} \quad (3.10)$$

Eşitlik (3.10)'da m ve n herhangi iki uzman olmak üzere l uzmanların endeksi, j M'nin endeksi ve $A(\overline{QF_l(m)})$ doğruluk değerlerinin ortalamasını temsil etmektedir.

Adım (4): Uzmanların önem düzeyinin belirlenmesi:

Her bir uzman ile ilişkili önem düzeyi Eşitlik (3.11)'de yer alan denklem uygulanarak belirlenir.

$$S_l = \sigma_l^2 \sum_n \rho_{mn} \tag{3.11}$$

σ_l^2 , uzman l'ye göre hesaplanan varyansı ifade etmektedir. Varyans değeri her satırdaki M değerleri dikkate alınarak $\langle 1 \times u \rangle$ vektörünü oluşturan her bir uzman için belirlenir.

Adım (5): Nihai uzman ağırlıklarının normalizasyonu:

Adım (3)'deki önem dereceleri, $\langle 1 \times u \rangle$'luk bir vektör oluşturan uzmanların ağırlıklarını/önemini elde etmek için Eşitlik (3.12)'deki denklem ile normalleştirilir.

$$\lambda_l = \frac{S_l}{\sum_l S_l} \tag{3.12}$$

3.6 Q Seviyeli Bulanık Küme Temelli Cronbach Katsayısı

Cronbach (1951) tarafından geliştirilen Cronbach alfa katsayısı (α), bir iç tutarlılık tahmin metodudur ve bir dizi anket öğesinin iç tutarlılığını veya güvenilirliğini ölçmede aracı bir modeldir. Söz konusu katsayının sık kullanılmasının nedenlerini inceleyen bir çalışmada, bu katsayının en sık tercih edilen güvenirlik belirleme yöntemi olduğu belirtilmiş ve bu durumun olası dört nedeni şu şekilde açıklanmıştır (Yang ve Green, 2011):

1. Cronbach katsayısı 1'e yaklaştıkça ölçekte yer alan yanıt değerlerinin iç tutarlılığının yüksek olduğu sonucuna varılır.
2. Cronbach katsayısı objektiftir ve diğer güvenilirlik analiz metotlarına kıyasla öznel yargıları daha az içerir.
3. Cronbach katsayısı ölçeklerin yeniden düzenlenmesi bakımından diğer güvenilirlik analiz metotlarına göre daha kolaydır. Cronbach alfa katsayısı bir

maddenin ölçek dışına çıkarıldığı durum için hesaplanabilir olmakla beraber maddelerin güvenilirliğe katkıları tek tek gözlemlenebilir.

4. Cronbach katsayısının sık tercih edilme sebeplerinden biri de, araştırma yapanların önceden bu katsayıyı kullanan kişilerin yanılma olasılığını düşük görmesidir. Bu katsayının sık tercih edilmesi ile birlikte elde edilen sonucu göreli değerlendirmek için bazı ölçütler önerilmiştir.

Bulanık küme temelli Cronbach katsayısının hesaplama aşamaları aşağıda gösterilmiştir.

Adım (1): Kriter değerlendirme matrisinin oluşturulması:

$\langle u \rangle$ uzmanları tarafından $\langle k \rangle$ kriterlerinin derecelendirmesini dikkate alan QSBK ile bir $\langle u \times k \rangle$ matrisi oluşturulur. Spesifik olarak, QSBK ile $\langle 1 \times k \rangle$ mertebesinde u vektörleri elde edilir.

$$\begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & u_{1k} \\ u_{21} & u_{22} & u_{2k} \\ u_{u1} & u_{u2} & u_{uk} \end{bmatrix}$$

Adım (2): Korelasyon katsayısının hesaplanması:

Uzmanların önemi göz önünde bulundurularak ağırlıklı QSBK oluşturmak için Eşitlik (3.13) aracılığıyla kriterler arasındaki etkileşimler hesaplanır. Bu sayede, kriter çiftlerinin etkileşimini gösteren bir $\langle k \times k \rangle$ matrisi oluşur.

$$r_{\{zv\}} = \frac{\sum_{J=1}^{t}((WA\left(QF_{lj}(z)\right) - WA(\overline{QF_J(z)}) \cdot (WA\left(QF_{lj}(v)\right) - WA(\overline{QF_J(v)})}{\sqrt{(\sum_{j=1}^{t}(WA(QF_{lj}(m) - A(\overline{QF_l(m)})^2 \cdot \sum_{j=1}^{M}(A(QF_{lj}(n) - A(\overline{QF_J(n)})^2)}} \quad (3.13)$$

Eşitlik (3.13)'de $r_{\{zv\}}$ herhangi iki kriter arasındaki etkileşimdir ve $WA\left(QF_{lj}(z)\right)$ ağırlıklı doğruluktur. $WA(\overline{QF_J(z)})$ ise j kriterinin ağırlıklı doğruluk değerinin ortalamasını ifade eder.

Adım (3): Cronbach katsayısının belirlenmesi:

Eşitlik (3.14)'de yer alan denklem ile Cronbach katsayısı benimsenerek her bir kriterle ilişkili tutarlılık değerleri hesaplanmaktadır.

$$CC_j = \frac{\overline{Mr_{ab}}}{\sigma_l^2 \, (1+(M-1)\overline{r_{ab}})} \quad (3.14)$$

Eşitlik (3.14)'de ifade edilen CCj, Cronbach'ın j kriter katsayısıdır. M, satır sayısı ile sütun sayısının çarpımı ile elde edilen toplam eleman sayısıdır. Eşitlik (3.15) ve (3.16)'da ifade edilen $\overline{r_{ab}}$ kriter etkileşimleri ve σ_l^2 kriter j ile ilişkili varyansı temsil etmektedir.

$$\Sigma_l^2 = \frac{\Sigma_{l=1}^{t}\left(A\left(QF_{lj}(z)\right) - A\left(\overline{QF_j(z)}\right)\right)^2}{t-1} \tag{3.15}$$

$$\overline{r_{ab}} = \frac{\Sigma_b\, r_{ab}}{t} \tag{3.16}$$

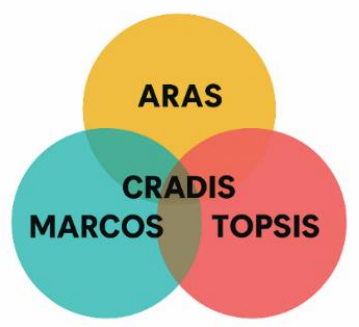
Adım (4): Nihai kriter ağırlıklarının normalizasyonu:

Eşitlik (3.14)'de elde edilen vektör, birim aralıkta $\langle 1 \text{ x } u \rangle$ mertebesinde bir vektör olan kriterlerin ağırlıklarını elde etmek için Eşitlik (3.17) ile normalleştirilir.

$$\omega_j = \frac{CC_j}{\sum_j CC_j} \tag{3.17}$$

3.7 Q Seviyeli Bulanık Küme Temelli Cradis

CRADIS (Compromise Ranking of Alternatives from Distance to Ideal Solution) metodu, Puska vd. (2022) tarafından geliştirilmiş olup seçeneklerin ideal ve anti-ideal çözümlerden sapmasını değerlendirme amacıyla tasarlanmıştır. CRADIS, yeni bir yöntem olmaktan ziyade Şekil 3.3'de gösterilen TOPSIS, ARAS ve MARCOS metotlarının aşamalarının entegrasyonu ile geliştirilmiş bir süreçtir. CRADIS metodunun esnekliğinden, şeffaflığından ve sağlamlığından yararlanarak, karar alıcılar belirsiz süreçleri etkin bir şekilde yönetebilir ve öznel yargıları entegre ederek dilsel belirsizlik ile karakterize edilmiş karmaşık karar süreçlerinde bilinçli kararlar alabilirler.



Şekil 3.3 Cradis yaklaşımı

Bulanık küme temelli Cradis metodunun hesaplama aşamaları aşağıda gösterilmiştir.

Adım (1): Değerlendirme matrisinin oluşturulması:

⟨a × k⟩ düzeninde matrisler oluşturmak için ⟨u⟩ uzmanlarından tercihleri alınır. Matrisler nitel özellikte olup öznel yargıları azaltmak için q seviyeli bulanık kümeye dönüştürülür.

$$\begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & u_{1k} \\ u_{21} & u_{22} & u_{2k} \\ u_{a1} & u_{a2} & u_{ak} \end{bmatrix}$$

Adım (2): Ağırlıklandırılmış değerlendirme matrisinin oluşturulması:

Eşitlik (3.18) kullanılarak basit ağırlıklı geometri denklemi ile tercihler modellenir.

$$AQF_{ij} = \prod_{l=1}^{t} \mu_{ij}^{\lambda_l}, \prod_{l=1}^{t} \upsilon_{ij}^{\lambda_l} \quad (3.18)$$

λ_l, uzman l ile ilişkilendirilen önem değerini ifade eder. Fonksiyon, Bölüm 3.5'den elde edilen uzmanların ağırlık katsayıları ile ⟨a × k⟩ mertebesinde tek bir matrise dönüştürülür.

Adım (3): Adım (2)'deki veriler ile Bölüm 3.6'da hesaplanan kriter ağırlık vektörünü göz önünde bulundurarak ağırlıklı QSBK matrisi oluşturulur.

Adım (4): İdeal ve anti ideal çözümlerin hesaplanması:

Her faktör için Eşitlik (3.19) ve (3.20) denklemleri uygulanarak ideal ve anti-ideal çözümü belirlenir.

$$AWQ_j^+ = \left(\max_{j\varepsilon B}(\mu_{ij}), \min_{j\varepsilon B}(\upsilon_{ij})\right) \text{ veya}$$

$$\left(\min_{j\varepsilon C}(\mu_{ij}), \max_{j\varepsilon C}(\upsilon_{ij})\right) \quad (3.19)$$

$$AWQ_j^- = \left(\min_{j\varepsilon B}(\mu_{ij}), \max_{j\varepsilon B}(\upsilon_{ij})\right) \text{ veya}$$

$$\left(\max_{j\varepsilon C}(\mu_{ij}), \min_{j\varepsilon C}(\upsilon_{ij})\right) \quad (3.20)$$

Fonksiyonda B fayda, C maliyet kriterini belirten ifadedir. AWQ_j^+, ideal nokta, AWQ_j^- anti-ideal noktadır.

Adım (5): İdeal ve anti ideal değerlerden sapma uzaklığının belirlenmesi:

Tercih değerlerinin ideal ve anti-ideal noktalardan sapma uzaklığı Eşitlik (3.21) ve (3.22) denklemleri ile belirlenir.

$$VD_i^+ = \left|\sum_{j=1}^{k} AW_{ij} - AW_j^+\right| \quad (3.21)$$

$$VD_i^- = \left|\sum_{j=1}^{k} AW_{ij} - AW_j^-\right| \quad (3.22)$$

AW_{ij}, QSBK ağırlığını ifade eder ve Eşitlik (3.21) ve (3.22) ile $\langle 1 \times a \rangle$ mertebesinde tek değerli formdur. İki bulanık bilgi arasındaki mesafe VD_i^+ ve VD_i^- değerlerini belirlemek için Öklid mesafe formu kullanılarak belirlenir.

Adım (6): Fayda fonksiyonunun belirlenmesi:

Fayda önlemlerinin tahmini için Eşitlik (3.23) ve (3.24) denklemleri kullanılır. Alternatiflerin sıralama değerlerinin gösterimi için her bir alternatifle ilişkili normalleştirilmiş değerler hesaplanır.

$$U_i^+ = \frac{\min(VD_i^+)}{VD_i^+} \quad (3.23)$$

$$U_i^- = \frac{VD_i^-}{\max(VD_i^-)} \quad (3.24)$$

Fonksiyonda, min (VD_i^+) farklıVD_i^+ değerleri arasındaki en küçük değeri ve max (VD_i^-) farklıVD_i^- değerleri arasındaki en büyük değeri temsil etmektedir. Eşitlik (3.23) ve (3.24) ile belirlenen fayda değerleri temel normalleştirilmiş sapma değerleri olup her biri $\langle 1 \times a \rangle$ mertebesindedir.

Adım (7): Alternatiflerin sıralama değerlerinin hesaplanması:

Eşitlik (3.25) ile Adım (6)'da hesaplanan değerlere göre alternatiflerin sıra değerleri belirlenir.

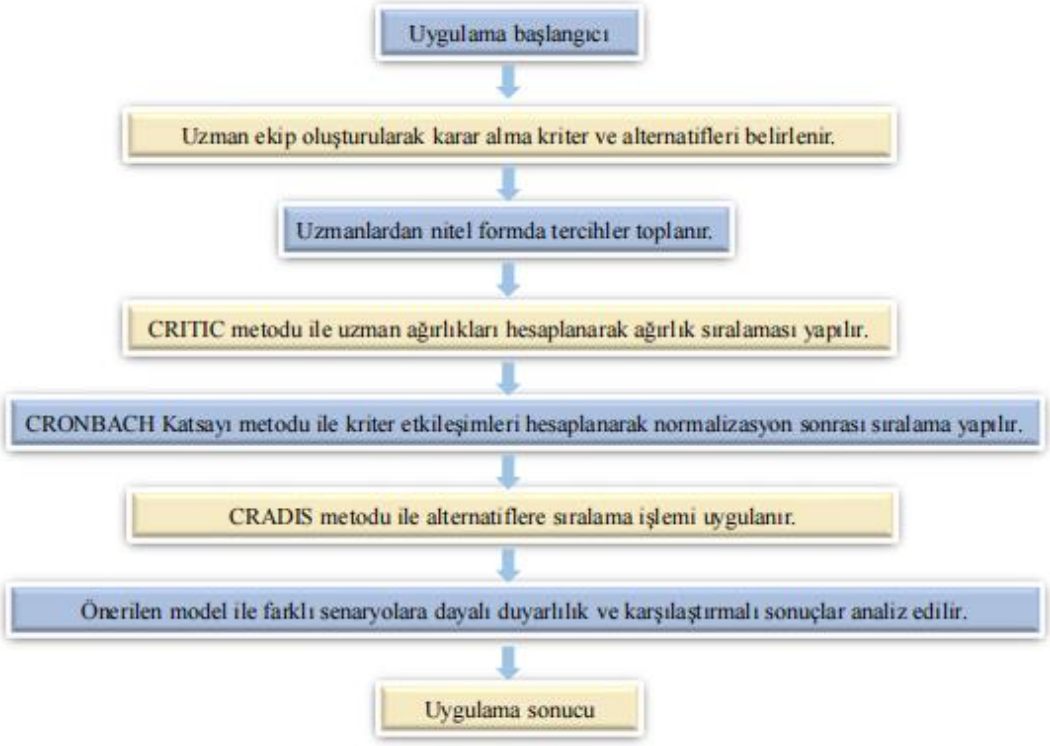
$$RA_i = \frac{U_i^+ + U_i^-}{2} \quad (3.25)$$

Alternatif i ile ilişkili sıralama değeri RA_i ile temsil edilir. Eşitlik (3.25) denklemi kullanılarak alternatiflerin sıralaması yapılarak yüksek RA_i ile temsil edilen alternatif diğer alternatiflere göre daha fazla tercih edilebilir.

4
UYGULAMA

İnsansız hava aracı faaliyetlerinin etkin ve sürekli çalışmasını sağlamak maksadıyla gereken tüm destek unsurlarının bir araya getirilmesi entegre lojistik destek sistemleri ile sağlanmaktadır. Bu bağlamda teknolojiyi yakından takip eden ve uygun teknolojileri lojistik destek unsurlarla bütünleştiren üretici konumundaki İHA firmaları çağın beklentilerine ayak uydurabilecektir.

Bu bölümde, savunma sanayiinde İHA üretimi gerçekleştiren bir firmanın lojistik destek sistemlerinde görev alan karar verici uzmanların BZT'ye yönelik yaklaşımları analiz edilmektedir. Bu kapsamda, sistemde önerilen alternatif faaliyet alanlarının söz konusu teknolojiye göre öncelik düzeyleri belirlenmiş ve ilgili kriterler sıralanmıştır. Analiz sürecinde, üçüncü bölümde açıklanan Q-seviyeli bulanık küme temelli CRITIC – CRONBACH -CRADIS metodolojileri bir arada kullanılarak çok katmanlı bir değerlendirme yaklaşımı benimsenmiştir. Uygulamanın aşamalarına ilişkin süreç akışı Şekil 4.1'de sunulmaktadır.



Şekil 4.1 Q seviyeli bulanık küme tabanlı uygulama aşaması

4.1 Veri Toplama

Tezin uygulama bölümünde, İHA'lara yönelik lojistik destek sistemlerinde BZT'nin analiz edilmesi amacıyla "Metodoloji" başlığı altında yer alan üç farklı yöntem birlikte kullanılmıştır. Bu kapsamda, BZT'nin İHA lojistik süreçlerindeki rolünü değerlendirmek amacıyla kapsamlı bir literatür taraması gerçekleştirilmiş ve elde edilen bulgular doğrultusunda probleme uygun bir karar modeli yapılandırılmıştır. Söz konusu model; uzman görüşleri, değerlendirme kriterleri ve alternatif faaliyetlerden oluşmaktadır. Karar verici uzmanlar, belirlenen kriter ve alternatifleri dilsel ifadelerle değerlendirerek sürece katkı sağlamıştır. Ayrıca, kullanılan yöntemlerin entegre bir analiz yapısına kavuşması adına 7 dereceli likert tipi ölçek tercih edilmiştir. Uygulama süreci toplamda beş temel aşamada yürütülmüştür.

1. Aşama- Blokzincir kullanım kriterlerinin tayin edilmesi,

2. Aşama- İHA lojistik destek sistemlerinde alternatiflerin tayin edilmesi,

3. Aşama- Karar modelinde yer alan karar verici uzmanların belirlenmesi

4. Aşama- Teknoloji değerlendirmesine yönelik verilerin derlenmesi,

5. Aşama- Derlenen verilerin üç farklı metodoloji kullanılarak analizinin yapılması

Uygulama süreci, her bir aşama ayrı ayrı ele alınarak sistematik şekilde ilerletilmiştir. İlk aşamada, literatürde lojistik faaliyetlerde BZT'nin kullanımına ilişkin çalışmalar detaylı şekilde incelenmiştir. Ayrıca, İHA sistemleri bağlamında BZT'yi konu alan araştırmalar da değerlendirilmiştir. Bu çalışmalar doğrultusunda, hangi kriterlerin öne çıktığı belirlenmiş ve uzman görüşleri alınarak probleme en uygun dokuz kriter seçilmiştir. İkinci aşamada ise, İHA'ların lojistik destek sistemlerindeki operasyonel faaliyetler ana başlıklar altında gruplandırılmıştır. Yapılan literatür taramasıyla birlikte alternatif kümesi oluşturulmuş ve bu kümede yer alan altı alternatif, değerlendirme sürecinde kullanılmak üzere belirlenmiştir. Üçüncü aşamada ise karar vericilerin seçimi gerçekleştirilmiş; İHA lojistik operasyonlarında farklı deneyim düzeylerine sahip toplam 11 uzmandan oluşan bir ekip oluşturularak değerlendirme sürecine dâhil edilmiştir. Dördüncü aşamada, karar verici uzmanlar belirlenen karar modelini dilsel ifadeler aracılığıyla değerlendirerek görüşlerini iletmiş, bu görüşler toplanarak anlamlı ve sistematik bir

yapıya dönüştürülmüştür. Verilerin toplanması sürecinde, uzman ekip ile birebir görüşmeler gerçekleştirilmiş ve bu doğrultuda oluşturulan anket soruları yöneltilmiştir. Söz konusu anket formu EK-A'da sunulmuştur. Anket uygulamasına geçilmeden önce, Yıldız Teknik Üniversitesi Sosyal ve Beşerî Bilimler Araştırmaları Etik Kurulu'na başvurularak çalışmanın etik ilkelere uygunluğu teyit edilmiş ve herhangi bir sakınca bulunmadığına dair onay alınmıştır. İlgili etik kurul onayı EK-B'de yer almaktadır. Etik onayın alınmasının ardından veri toplama süreci başlatılmış ve elde edilen veriler sistematik biçimde düzenlenmiştir. Veri toplama işlemi 01.05.2025 – 31.05.2025 tarihleri arasında gerçekleştirilmiş olup, toplanan bilgiler analiz ve değerlendirmeye elverişli veri setlerine dönüştürülmüştür. Beşinci ve son aşamada ise, karar modeli kapsamında belirlenen üç yöntemin bu veri setlerine uygulanmasıyla İHA lojistik süreçlerinde BZT'nin değerlendirmesi yapılmıştır. Uygulanan her bir yöntemin aşamaları ayrıntılı biçimde açıklanmış, elde edilen bulgular ise sistemli bir şekilde sunulmuştur.

4.2 Karar Modeli Unsurları

Blokzincir teknolojisinin İHA lojistik süreçlerinde değerlendirilmesi bir karar sürecini içerir. Bu amaçla karar sürecine ÇKKV bakış açısıyla çözüm geliştirme hedefi ile model tasarlanmıştır. Uzman, kriter ve alternatif unsurlarını içeren bu modelde unsurlar belirlenirken detaylı literatür incelemesi ve uzman yorumları doğrultusunda ideal kriterler ve ideal alternatiflerin tespiti yapılmıştır. Karar verici uzman ekip ise İHA lojistik destek operasyonlarında aktif vazife icra eden, tecrübeli ve değerlendirme modeli için yetkin kişiler seçilerek oluşturulmuştur. Karar modelini oluşturan unsurlar alt bölümlerde detaylı olarak açıklanmıştır.

4.2.1 Blokzincir Seçim Kriterleri

Karar modeline dâhil edilen değerlendirme kriterleri, hem mevcut literatürdeki bilimsel çalışmaların sistematik ve kapsamlı bir analizi hem de ehil uzmanlardan elde edilen nitelikli görüşler doğrultusunda belirlenmiştir. Belirlenen kriterler yalnızca teknik ve lojistik süreçlerin ihtiyaçlarına yanıt vermekle kalmayıp, aynı zamanda savunma alanında İHA'ların yer aldığı lojistik yönetim süreçlerinde blokzincir temelli dijital dönüşümün stratejik planlamasına yön verecek bir temel oluşturmayı hedeflemektedir. Bu kapsamda, her bir kriterin adı, yönü (fayda/maliyet) ve kısaltmaları Tablo 4.1'de ayrıntılı olarak sunulmaktadır.

Tablo 4.1 Kriterlerin yönü ve kısaltmaları

Kriter	Kriter Yönü	Kısaltma
Gizlilik ve Güvenilirlik	Fayda	K1
Teknoloji Entegrasyonu	Fayda	K2
Akıllı Sözleşmeler	Fayda	K3
Bakım Maliyetleri	Maliyet	K4
Tedarikçilerle İşbirliği	Fayda	K5
Yatırım Maliyeti	Maliyet	K6
Ürün Takibi	Fayda	K7
Modüler Mimari	Fayda	K8
Üst Yönetim Desteği	Fayda	K9

Gizlilik ve Güvenilirlik (K_1): Blokzincirde gizlilik ve güvenilirlik, kriptografik temellere dayanmaktadır. İşlemlerin geçerliliği, ağ katılımcıları zincire dahil olmadan önce mutabakat mekanizmaları ile doğrulanır. Bu yapı ile üçüncü tarafların varlığı ortadan kaldırılır ve manipülasyon veya dolandırıcılık olasıkları azaltılarak güven çerçevesinde işlemler gerçekleştirilir. Genel olarak gizlilik odaklı veriler ile kritik mutabakatlı askeri operasyonlar, blokzincirin bilginin bütünlüğünü sağlayan ve yetkisiz erişime karşı korunaklı doğal güvenlik özelliklerinden faydalanabilirler (Narayanan ve Padhy, 2023).

Teknoloji Entegrasyonu (K_2): Bilgiden katma değer yaratabilen etkili iş modellerinin geliştirilmesi için kurumların dijital dönüşümde belli bir olgunluk seviyesine ulaşmaları gerekmektedir. Teknoloji entegrasyonu, işletmelerin yenilikçi yaklaşımlarını planlama, uygulama ve tüm süreçlerine bütünleştirme yeteneklerini ifade eder. Savunma alanında, blokzincir tabanlı İHA lojistik süreçleri, karmaşık lojistik süreçlerin dijitalleşmesini sağlarken, altyapılar arasında güçlü bir bağ kurarak veri güvenliği ve süreç şeffaflığını artırır. Bu sayede BZT, savunma lojistiğinde entegre, güvenilir ve sürdürülebilir dijital dönüşümün anahtar bileşeni olmaktadır (Konacaklı ve Eyüpoğlu, 2023).

Akıllı Sözleşmeler (K_3): Akıllı sözleşmeler, iş sözleşmelerinin kurallarını ve şartlarını içeren bilgisayar programlarıdır ve daha önceden belirlenen koşullar gerçekleştiğinde otomatik olarak yürütülerek katılımcı tarafından doğrulanırlar (Iranmanesh ve ark., 2023). İHA lojistik süreçlerinde BZT dönüşümü ile birlikte otonom akıllı sözleşmelerin kullanılması, sistem zekasının geliştirilmesinde önemli bir işleve sahip olabilir.

Bakım Maliyetleri ($\mathbf{K_4}$): Literatür çalışmalarında BZT için tanımlanan dezavantajlardan bir tanesi de bakım maliyetleridir. BZT'de bakım maliyeti, dağıtık defter altyapısının işlerliğini sürdürmek, düğümler arasında eşgüdümü sağlamak, yeni protokol güncellemelerine uyum sağlamak ve ağın güvenliğini sürdürülebilir biçimde garanti altına almak için gerekli olan süreklilik arz eden teknik ve ekonomik çabadır (Dasaklis ve ark., 2019).

Tedarikçilerle İşbirliği ($\mathbf{K_5}$): Merkezi olmayan ve değiştirilemez bir kayıt sistemi sayesinde tedarik zincirinde yer alan tüm aktörlerin, aracıya ihtiyaç duymaksızın güvenli, şeffaf ve senkronize veri paylaşımı yaparak süreçleri ortaklaşa yürütmesini sağlayan dijital dayanışma mekanizmasıdır (Kouhizadeh ve ark., 2021). Bu işbirliği neticesinde tedarikçi performansının takibi, ürünlerin gerçek zamanlı hareketi, akıllı sözleşmeler ile otomatik ödeme takvimi ve sipariş süreleri şeffaf olarak izlenebilir. Tüm bu operasyonel süreçlere getirilecek blokzincir teknolojik yetkinliği, İHA lojistik süreçlerinde verimli bir yapı inşa edebilir.

Yatırım Maliyeti ($\mathbf{K_6}$): Blokzincir teknolojisinin maliyetleri düşürme avantajları çok fazla olmasına karşılık teknoloji kabulünde yatırım maliyetleri yüksektir. Özellikle açık kaynaklı platformlarda çalışmak üzere eğitim almış insan kaynağının eksikliği, BZT'deki maliyetlerin yüksek olmasının başlıca nedenlerindendir. Bu durum, kurulum aşamasında deneme-yanılma yöntemi ile zaman kayıpları ve maliyet artışlarına neden olmaktadır (Almutairi ve ark., 2022).

Ürün Takibi ($\mathbf{K_7}$): Blokzincir tabanlı ürün takibi, fiziksel dünyada bir ürünün yaşam döngüsünü dijitalleştirerek, her adımda oluşan bilgiyi tarafsız, silinemez ve tüm paydaşlara açık bir deftere kaydeden; böylece sahteciliği azaltan, güveni artıran ve tedarik zincirinin şeffaflığını sağlayan bir izleme mekanizmasıdır (Bodkhe ve ark., 2020). Blokzincir destekli bir teknolojik alt yapı sayesinde İHA lojistik süreçlerinde son kullanıcıya kadar her aşamada ürünün menşei ve üretim süreci görülebilir, ürünün yanlış kullanımı veya kaybına karşı veri tutulabilir, denetleyici kurumlar ürün hareketini belgeleyebilir.

Modüler Mimari ($\mathbf{K_8}$): Geleneksel mimaride tüm işlemler tek bir katman üzerinde gerçekleştirilmektedir. Bu durum, ölçeklenebilirlik sorunlarına ve sınırlı özelleştirme imkanlarına yol açabilir. Blokzincirin modüler mimari özelliği ile katmanlar özelleştirilebilir. Modüler mimaride, blokzinciri oluşturan katmanlar

başlıca uyum, veri kullanılabilirliği ve yürütme katmanlarından meydana gelir. Blokzincir tabanlı İHA lojistik süreçlerinde gizlilik odaklı mutabakat ve eylemlerin gerçekleştirilmesinde, karmaşık operasyonların sadeleştirilmesinde fayda sağlayabilir.

Üst Yönetim Desteği (K_9): BZT'nin organizasyon bünyesinde benimsenebilmesi için öncelikle bu teknolojinin potansiyel faydalarının farkında olan bir yönetim yaklaşımı gereklidir. Üst yönetim, adaptasyon sürecine yönelik uygun kaynakları tahsis ederek teknoloji kabulünü kolaylaştırmalı; çalışanların ihtiyaç duyduğu yetkinlikleri geliştirmeye yönelik destek sağlamalı ve onları yeni sistemin kullanımına motive etmelidir (Gökalp ve ark., 2019). Bu nedenle, üst yönetimin desteği, blokzincir temelli İHA lojistik süreçlerinin kurumsal düzeyde benimsenmesinde kritik bir faktör olarak önerilen modele entegre edilmiştir.

4.2.2 Uygulamada Kullanılan Alternatifler

Depolama (A_1): İHA sistemlerini oluşturan veya taşınacak malzemelerin belirli standartlara uygun olarak sınıflandırıldığı ve sevkiyat zamanına kadar korunarak muhafaza edildiği süreçtir. Gelişmiş depolama sistemleri, otomasyon ve sensör destekli altyapılarla birlikte, insan müdahalesine gerek kalmadan envanterin yönetilmesini mümkün kılar. Bu çerçevede, İHA tabanlı lojistik süreçlerde depolama yalnızca bir bekletme değil, aynı zamanda izleme, yönetme ve planlama işlevlerini kapsayan entegre bir süreçtir.

Malzeme Yönetimi (A_2): İHA sistemlerindeki her bir ürünün envanterde takibini yaparak eksik ya da fazla stok riskini ortadan kaldırmayı hedefler. İHA lojistik ağlarında malzeme yönetimi, rotaların planlanmasında ve taşıma kapasitesinin en verimli şekilde kullanılmasında kilit rol oynar. Akıllı sensörler ve veri analiz teknolojileri sayesinde malzemelerin durumları (örneğin sıcaklık, nem, darbe) sürekli izlenebilir ve olası riskler önceden tespit edilebilir. Etkin bir malzeme yönetimi sistemi, sadece taşınan ürünleri değil, İHA'ların bakım parçaları ve yakıt gibi operasyonel ihtiyaçlarını da kapsayarak sistemin sürekliliğini garanti altına alır.

Finansal Analiz (A_3): İHA lojistiğinde kullanılan kaynakların mali boyutunu inceleyerek hangi alanlarda tasarruf edilebileceğini belirlemeye yardımcı olur. Bu süreçte, İHA'ların yakıt/enerji tüketimi, bakım masrafları, personel giderleri ve

yazılım altyapı harcamaları gibi kalemler detaylı şekilde analiz edilir. Lojistik süreçlerinden elde edilen gerçek zamanlı veriler sayesinde gelir-gider dengesi anlık olarak izlenebilir ve olası finansal riskler önceden öngörülebilir. Finansal analiz aynı zamanda İHA kullanımının geleneksel taşımacılığa kıyasla ne ölçüde kârlı veya sürdürülebilir olduğunu göstermek açısından da önemli bir ölçüttür. Etkin bir finansal analiz süreci, bütçe planlamasında doğruluk sağlar, yatırım getirisi hesaplamaları ile karar vericilere yön gösterir.

Veri Yönetimi (A_4): İHA'ların uçuş rotalarından envanterdeki malzeme bilgilerine kadar tüm operasyonel verilerin merkezi bir sistemde düzenli ve erişilebilir biçimde tutulmasını sağlar. Bu sistemde, uçuş süresi, hava koşulları, yakıt tüketimi, malzeme ganati takip süreleri gibi çok sayıda veri eş zamanlı olarak kaydedilir ve analiz edilir. Etkin bir veri yönetimi, operasyon sırasında yaşanan gecikmelerin, arızaların veya sapmaların nedenlerini tespit ederek iyileştirme fırsatları sunar. Verilerin doğru şekilde sınıflandırılması ve analiz edilmesi, İHA lojistik ağının daha hızlı, güvenli ve ekonomik çalışmasını mümkün kılar. Aynı zamanda, veri yönetimi sayesinde geçmişe dönük performans değerlendirmeleri yapılabilir ve gelecekteki lojistik planlamaları daha isabetli hale gelir.

Bakım-Onarım Yönetimi (A_5): İHA'ların görev öncesi ve sonrası kontrollerinin sistematik bir şekilde yapılmasını sağlayarak, arıza risklerini en aza indirir. Bu yönetim süreci, sadece ortaya çıkan sorunların giderilmesini değil, aynı zamanda olası teknik aksaklıkların önceden tahmin edilmesini de içerir. Lojistik süreçleri aracılığıyla, her İHA'nın bakım geçmişi, parça değişim kayıtları ve performans verileri dijital ortamda arşivlenir ve analiz edilir. Etkili bir bakım-onarım yönetimi, operasyon sırasında yaşanabilecek gecikmelerin ve mali kayıpların önüne geçerek hizmet kalitesini artırır. Aynı zamanda, uçuş güvenliğini sağlamak adına kritik öneme sahip olan bu süreç, hem insan kaynaklı hem de sistemsel hataların önlenmesinde kilit rol oynar.

Ürün Destek Yönetimi (A_6): İHA sistemlerine ait yedek parça, yazılım güncellemesi, eğitim, teknik destek ve bakım malzemelerinin zamanında ve doğru şekilde temin edilmesini kapsar. Bu süreç, yalnızca teknik donanımı değil, aynı zamanda operatörlerin eğitimi, sistem güncellemeleri ve kullanım kılavuzlarının erişilebilirliğini de içine alır. İHA'ların uzun vadeli performansını garanti altına almak için ürün destek yönetimi, tedarik zinciriyle entegre çalışarak her destek

ihtiyacına anında yanıt verilmesini sağlar. Akıllı takip sistemleri sayesinde hangi ürünün, ne zaman ve nerede hangi desteğe ihtiyaç duyduğu önceden tahmin edilerek kesintisiz operasyon sağlanır. Bu yönetim modeli, sadece arıza anında değil; önleyici bakım ve planlı lojistik destek açısından da sistemin sürekli hazır ve etkin olmasını sağlar.

4.2.3 Karar Verici Uzman Ekip Hakkında Bilgiler

Uygulamanın geliştirilmesi ve verilerin değerlendirilmesi için İHA lojistik süreçlerinde teknik özelliklere hâkim, aktif vazife icra eden mesleki yetkinliğe sahip on bir uzman belirlenmiştir. Bu uzman grubu teknik personel, mühendis ve yönetici düzeyinde kişilerden oluşmaktadır. Ayrıca uygulama savunma sanayi alanında faaliyet gösteren bir kurum olduğundan gizlilik odaklı çalışılmış olup uzmanlara ait kişisel verilere yer verilmemiştir. Uzmanlara ait çalışan deneyimi verileri Tablo 4.2'de gösterilmiştir.

Tablo 4.2 Uzmanlara ait bilgiler

Uzman	Çalışan Deneyimi
U1	5-10 Yıl Çalışan
U2	1-5 Yıl Çalışan
U3	1-5 Yıl Çalışan
U4	0-1 Yıl Çalışan
U5	1-5 Yıl Çalışan
U6	1-5 Yıl Çalışan
U7	1-5 Yıl Çalışan
U8	5-10 Yıl Çalışan
U9	1-5 Yıl Çalışan
U10	5-10 Yıl Çalışan
U11	1-5 Yıl Çalışan

4.3 QSBK Temelli Critic Metodunun Sonuçları

Adım (1): İHA'lara bağlı yürütülen tüm lojistik operasyonlarda mesleki yeterliliğe sahip on bir uzman personelin, BZT kabulüne yönelik belirlenen kriterlere ve lojistik operasyonların bünyesinde acil ihtiyaç dönüşümü için sıralaması yapılacak alternatif faaliyetlere ilişkin değerlendirmeleri, çok kriterli grup karar verme yaklaşımı kapsamında analiz edilmiştir. Bu kapsamda, uzmanların değerlendirmeleri dilsel değişkenler aracılığıyla alınmış olup, söz konusu dilsel terimler Tablo 4.3'de tanımlanan karşılıklarına göre q-seviyeli bulanık sayıları

biçiminde nicel verilere dönüştürülmüştür. Bu dönüşüm, q-seviyeli CRITIC yöntemiyle uzman ağırlıklarının objektif biçimde hesaplanmasına olanak sağlamıştır.

Tablo 4.3 Kriterlere ilişkin dilsel derecelendirme (Krishankumar ve Ecer, 2023)

Nitel Terim	**Q-seviyeli Bulanık Sayı**
Kesinlikle Tercih Edilir (KTE)	(0.9, 0.6)
Çok Fazla Tercih Edilir (ÇFTE)	(0.8, 0.6)
Oldukça Tercih Edilir (OTE)	(0.75, 0.6)
Nötr (N)	(0.5, 0.5)
Daha Az Tercih Edilir (DATE)	(0.6, 0.7)
Çok Az Tercih Edilir (ÇATE)	(0.7, 0.8)
Son Derece Az Tercih Edilir (SDATE)	(0.6, 0.9)

Adım (2): Bu aşamada, kriterlere ilişkin değerlendirme vektörleri dikkate alınarak Eşitlik (3.3) yardımıyla her bir ifadenin doğruluk (üyelik) dereceleri hesaplanmıştır. Ardından, her bir uzmanın gerçekleştirdiği değerlendirmelerin ortalama doğruluk değeri ile bireysel doğruluk değerleri arasındaki farklar belirlenmiş ve bu farklar analiz sürecine dâhil edilmiştir.

Adım (3): Uzman çiftlerinin birbirleriyle olan ilişki derecesi Eşitlik (3.10) aracılığı ile belirlenmiştir. Hesaplama sonucunda elde edilen korelasyon matrisine Tablo 4.4'de yer verilmiştir.

Tablo 4.4 Uzman çiftlerine ait korelasyon

	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9	U10	U11
U1	1.00	0.97	0.90	0.80	0.85	0.98	0.86	0.72	0.91	0.98	0.57
U2	0.97	1.00	0.87	0.73	0.83	0.96	0.88	0.76	0.96	1.00	0.65
U3	0.90	0.95	1.00	0.90	0.95	0.87	0.95	0.90	0.92	0.96	0.80
U4	0.80	0.89	0.90	1.00	0.91	0.78	0.91	0.79	0.93	0.89	0.84
U5	0.85	0.88	0.95	0.91	1.00	0.82	0.98	0.87	0.85	0.90	0.91
U6	0.98	0.96	0.87	0.78	0.82	1.00	0.83	0.62	0.89	0.96	0.55
U7	0.86	0.88	0.95	0.91	0.98	0.83	1.00	0.87	0.90	0.91	0.86
U8	0.72	0.76	0.90	0.79	0.87	0.62	0.87	1.00	0.80	0.80	0.75
U9	0.91	0.96	0.92	0.93	0.85	0.89	0.90	0.80	1.00	0.96	0.64
U10	0.98	1.00	0.96	0.89	0.90	0.96	0.91	0.80	0.96	1.00	0.67
U11	0.57	0.65	0.80	0.84	0.91	0.55	0.86	0.75	0.64	0.67	1.00

Adım (4): Uzmanlara ilişkin önem düzeyleri, Eşitlik (3.11) kullanılarak S_l sembolüyle ifade edilen formülasyon aracılığıyla hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda elde edilen önem düzeyi değerlerini içeren matrise Tablo 4.5'de yer verilmiştir.

Tablo 4.5 Uzmanların önem düzeyi değerleri

Uzman	Varyans	Sl										
		U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9	U10	U11
U1	0.017	0.017	0.016	0.015	0.014	0.014	0.016	0.015	0.012	0.015	0.016	0.010
U2	0.014	0.013	0.014	0.012	0.010	0.011	0.013	0.012	0.011	0.013	0.014	0.009
U3	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002
U4	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
U5	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
U6	0.021	0.021	0.020	0.018	0.017	0.017	0.021	0.018	0.013	0.019	0.020	0.012
U7	0.003	0.002	0.002	0.003	0.003	0.003	0.002	0.003	0.002	0.003	0.003	0.002
U8	0.010	0.008	0.008	0.009	0.008	0.009	0.006	0.009	0.010	0.008	0.008	0.008
U9	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.008	0.008	0.008	0.008	0.009	0.009	0.006
U10	0.010	0.010	0.010	0.010	0.009	0.009	0.010	0.009	0.008	0.010	0.010	0.007
U11	0.021	0.012	0.014	0.016	0.017	0.019	0.011	0.018	0.015	0.013	0.014	0.021

Adım (5): Eşitlik (3.12)'deki denklem kullanılarak normalizasyon işlemi yapılmış ve elde edilen uzmanların ağırlık verilerini içeren sonuçlar Tablo 4.6'da sunulmuştur.

Tablo 4.6 Normalize edilmiş uzman ağırlıkları

Uzman	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9	U10	U11
λl	0,149	0,123	0,028	0,040	0,031	0,182	0,026	0,086	0,085	0,094	0,158
Sıralama	3	4	10	8	9	1	11	6	7	5	2

4.4 QSBK Temelli Cronbach Metodunun Sonuçları

Adım (1): Uzmanların kriterlere ilişkin derecelendirmeleri dilsel ifadelerle alınmış olup EK-C'de yer verilmiş ve Tablo 4.7'de bulanık sayı matrisine dönüştürülmüştür.

Tablo 4.7 Kriterlere ilişkin uzman değerlendirmeleri

	K_1		K_2		K_3		K_4		K_5		K_6		K_7		K_8		K_9	
U1	0,9	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,5	0,5	0,8	0,6	0,9	0,6	0,9	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6
U2	0,9	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,6	0,7	0,8	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6
U3	0,8	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,9	0,6	0,9	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6
U4	0,8	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,9	0,6	0,9	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6
U5	0,9	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,9	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6
U6	0,9	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,9	0,6	0,9	0,6	0,9	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,9	0,6
U7	0,9	0,6	0,8	0,6	0,9	0,6	0,9	0,6	0,8	0,6	0,9	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6
U8	0,8	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6
U9	0,8	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,9	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6
U10	0,8	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6
U11	0,8	0,6	0,8	0,6	0,5	0,5	0,8	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6

Adım (2): Uzmanların önemi göz önünde bulundurularak ağırlıklı QSBK oluşturmak için Eşitlik (3.3) ve (3.13) aracılığıyla kriterler arasındaki korelasyon

katsayısı hesaplanır. Kriter çiflerinin etkileşimini gösteren ağırlıklı korelasyon matrisi Tablo 4.8'de sunulmuştur.

Tablo 4.8 Kriterlere ilişkin ağırlıklı korelasyon matrisi

	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8	K_9
K_1	1,00	0,53	0,62	0,37	0,61	0,73	0,61	0,47	0,71
K_2	0,53	1,00	0,82	0,65	0,71	0,64	0,81	0,98	0,72
K_3	0,62	0,82	1,00	0,63	0,78	0,79	0,71	0,79	0,74
K_4	0,37	0,65	0,63	1,00	0,87	0,42	0,22	0,74	0,84
K_5	0,61	0,71	0,78	0,87	1,00	0,75	0,48	0,75	0,97
K_6	0,73	0,64	0,79	0,42	0,75	1,00	0,71	0,55	0,80
K_7	0,61	0,81	0,71	0,22	0,48	0,71	1,00	0,74	0,55
K_8	0,47	0,98	0,79	0,74	0,75	0,55	0,74	1,00	0,74
K_9	0,72	0,72	0,74	0,84	0,97	0,80	0,55	0,74	1,00

Adım (3): Cronbach katsayısının belirlenmesi için Eşitlik (3.14)'de yer alan denklem yardımıyla her bir kriterle ilişkili tutarlılık değerleri hesaplanmıştır. Kriterlere ilişkin tutarlılık değerleri Tablo 4.9'da gösterilmektedir.

Tablo 4.9 Kriterlere ilişkin cronbach katsayısı

Kriter	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8	K_9
CC_j	0,994	0,997	0,997	0,994	0,997	0,996	0,995	0,997	0,997

Adım (4): Eşitlik (3.14) ile elde edilen kriter ağırlıkları Eşitlik (3.17) aracılığıyla normalleştirilir. Normalleştirme işlemi sonrası kriterlerin hesaplama değerleri sıralama sonuçları $K_9 > K_5 > K_3 > K_2 > K_8 > K_6 > K_7 > K_4 > K_1$ şeklindedir. Kriterlere ait verilerin normalleştirilmesi sonucunda elde edilen değerler, Tablo 4.10'da sistematik biçimde sunulmuştur.

Tablo 4.10 Kriterlerin normalizasyon değerleri

Kriter	**ω_j**	**Sıralama**
K_1	0,110906	9
K_2	0,111216	4
K_3	0,111219	3
K_4	0,110928	8
K_5	0,111225	2
K_6	0,111105	6
K_7	0,110951	7
K_8	0,111192	5
K_9	0,111258	1

4.5 QSBK Temelli Cradis ile Alternatiflerin Sıralanması

Adım (1): Uygulamada temsil edilen kriterler ve alternatiflere ilişkin uzman ekibin değerlendirmeleri, q-seviyeli bulanık küme temelli oluşturulan karar matrisi aracılığıyla gerçekleştirilmiş olup, ilgili matris EK-D'de sunulmuştur. Karar vericilerin dilsel değerlendirmelerini nicel forma dönüştürmek amacıyla kullanılan bulanık sayı karşılıkları ise Tablo 4.11'de verilmiştir.

Tablo 4.11 Alternatiflerin dilsel derecelendirmesi (Krishankumar ve Ecer, 2023)

Nitel Terim	Q-seviyeli Bulanık Sayı
Kesinlikle Yüksek (KY)	(0.9, 0.6)
Orta Derecede Yüksek (ODY)	(0.8, 0.65)
Yüksek (Y)	(0.75, 0.6)
Ilımlı (I)	(0.5, 0.5)
Düşük (D)	(0.6, 0.7)
Orta Derecede Düşük (ODD)	(0.7, 0.8)
Kesinlikle Düşük (KD)	(0.6, 0.9)

Adım (2): Eşitlik (3.18)'de yer alan basit ağırlıklı geometri denklemi ile ağırlıklandırılmış değerlendirme matrisi oluşturulmuştur.

Adım (3): Adım (2)'deki veriler ile Bölüm 4.5'de hesaplanan kriter ağırlık vektörü göz önünde bulundurularak ağırlıklı QSBK matrisi oluşturulur. Ağırlıklı değerlendirme matrisi Tablo 4.12'de gösterilmektedir.

Tablo 4.12 Ağırlıklandırılmış değerlendirme matrisi

	K_1		K_2		K_3		K_4		K_5		K_6		K_7		K_8		K_9	
A_1	0,38	0,95	0,37	0,94	0,36	0,95	0,39	0,95	0,37	0,95	0,39	0,95	0,44	0,95	0,38	0,95	0,39	0,95
A_2	0,42	0,95	0,36	0,94	0,35	0,94	0,43	0,95	0,40	0,95	0,39	0,95	0,43	0,96	0,42	0,96	0,41	0,95
A_3	0,46	0,95	0,44	0,95	0,43	0,94	0,41	0,95	0,43	0,95	0,41	0,95	0,40	0,96	0,41	0,95	0,45	0,95
A_4	0,46	0,95	0,44	0,95	0,39	0,95	0,41	0,95	0,38	0,95	0,41	0,95	0,40	0,95	0,39	0,95	0,39	0,95
A_5	0,42	0,95	0,44	0,95	0,42	0,95	0,45	0,95	0,41	0,95	0,41	0,95	0,39	0,95	0,36	0,94	0,38	0,95
A_6	0,39	0,95	0,43	0,95	0,43	0,95	0,43	0,95	0,40	0,95	0,42	0,95	0,45	0,95	0,40	0,95	0,42	0,95

Adım (4): Bu aşamada, ideal ve anti ideal çözümlerin elde edilmesi amacıyla her bir vektör için Eşitlik (3.19) ve (3.20) denklemleri uygulanmıştır. Fonksiyonda kriterlere yönelik fayda ve maliyet faktörleri göz önünde bulundurularak değerlendirmeler yapılmış olup ideal ve anti ideal çözüm değerleri Tablo 4.13'de gösterilmektedir.

Tablo 4.13 İdeal ve anti ideal çözüm değerleri

	AWQ_j^+				AWQ_j^-			
	Fayda kriterleri		**Maliyet kriterleri**		**Fayda kriterleri**		**Maliyet kriterleri**	
	μ	υ	μ	υ	μ	υ	μ	υ
A_1	0,444	0,943	0,386	0,950	0,364	0,950	0,387	0,947
A_2	0,430	0,941	0,386	0,949	0,351	0,961	0,435	0,949
A_3	0,459	0,941	0,410	0,950	0,404	0,956	0,414	0,950
A_4	0,459	0,946	0,407	0,954	0,383	0,953	0,413	0,949
A_5	0,437	0,943	0,408	0,951	0,357	0,951	0,447	0,948
A_6	0,450	0,945	0,422	0,951	0,391	0,951	0,430	0,951

Adım (5): İdeal ve anti ideal değerleri hesaplanan alternatif sonuçlarına göre Eşitlik (3.21) ve (3.22) denklemleri aracılığıyla sapma uzaklıkları belirlenmiştir. Alternatiflerin ideal ve anti ideal sapma uzakları Tablo 4.14'de sunulmaktadır.

Tablo 4.14 Alternatiflerin ideal ve anti ideal sapma uzaklık değerleri

Alternatif	VD_i^+	VD_i^-
A_1	0,15	0,08
A_2	0,23	0,21
A_3	0,09	0,07
A_4	0,14	0,10
A_5	0,10	0,15
A_6	0,10	0,08

Adım (6): Alternatiflerin sıralama değerlerinin gösterimi için Eşitlik (3.23) ve (3.24) aracılığı ile her bir alternatifle ilişkili normalleştirilmiş değerler hesaplanmıştır. Alternatifler için hesaplanan normalleştirilmiş değerler Tablo 4.15'de yer almaktadır.

Tablo 4.15 Alternatiflerin normalizasyon değerleri

Alternatif	U_i^+	U_i^-
A_1	0,56	0,37
A_2	0,37	1,00
A_3	1,00	0,31
A_4	0,60	0,46
A_5	0,86	0,69
A_6	0,84	0,39

Adım (7): Bir önceki adımda hesaplanan normalleştirilmiş değerler ile alternatiflerin sıralama tayinlerinin yapılabilmesi için Eşitlik (3.25) ile sıra değerleri bulunmuştur. İHA lojistik operasyonlarının bünyesinde BZT kabulüne yönelik acil

ihtiyaç dönüşümü için sıralaması yapılacak alternatif ile ilişkili sıralama değeri RA_i ile temsil edilmekte olup hesaplanan sıralama sonuçları Tablo 4.16'da yer almaktadır.

Tablo 4.16 Alternatiflere ait sıralama sonuçları

Alternatif	RA_i	Sıralama
A_1	0,47	6
A_2	0,68	2
A_3	0,66	3
A_4	0,53	5
A_5	0,78	1
A_6	0,61	4

4.6 Duyarlılık Analizi ve Farklı Senaryoların Değerlendirilmesi

Bu çalışma, İHA tabanlı lojistik süreçlerde BZT'nin değerlendirilmesine yönelik en stratejik kriterlerin belirlenmesini ve bu kriterler doğrultusunda BZT'nin kabulü açısından acil dönüşüm gerektiren lojistik faaliyet kolları içerisinde hangilerinin öncelikli konumda olduğunu belirlemeyi hedeflemektedir. Bu kapsamda, önerilen yaklaşımın sağlamlığını test etmek ve elde edilen sonuçların güvenilirliğini değerlendirmek amacıyla duyarlılık analizine dayalı senaryo temelli bir çözümleme gerçekleştirilmiştir. Bu senaryolar kapsamında gerçekleştirilen analizler, karar verme sürecinde modelin farklı koşullar altındaki tutarlılığını ortaya koymakta ve teknolojik adaptasyonun hangi İHA tabanlı lojistik faaliyet alanlarında öncelikli olarak ele alınması gerektiğine ilişkin önemli çıktılar sunmaktadır. Tasarlanan senaryolar doğrultusunda yürütülen analizler sonucunda ulaşılan bulgular aşağıda sunulmaktadır.

Senaryo (1): Modelde, tüm uzmanların katkılarının eşit düzeyde etkili olduğu varsayılmıştır. İlgili senaryo kapsamında gerçekleştirilen uygulama sonucunda, kriter ve alternatiflerin öncelik sıralaması aşağıda gösterilmektedir.

Kriterlerin Senaryo (1)'e göre sıralaması:

$$K_9 > K_5 > K_1 > K_6 > K_4 > K_3 > K_2 > K_8 > K_7$$

Alternatiflerin Senaryo (1)'e göre sıralaması:

$$A_3 > A_2 > A_6 > A_1 > A_4 > A_5$$

Senaryo (2): Modelde, İHA lojistik sistemlerindeki liyakat düzeyini yansıttığı kabul edilen mesleki deneyim yılları esas alınarak uzman görüşlerine bağıl ağırlıklar atanmıştır. Bu senaryo doğrultusunda yürütülen analiz sonucunda elde edilen kriter ve alternatiflerin öncelik sıralaması aşağıda gösterilmektedir.

Kriterlerin Senaryo (2)'ye göre sıralaması:

$K_9 > K_2 > K_8 > K_5 > K_3 > K_1 > K_6 > K_4 > K_7$

Alternatiflerin Senaryo (1)'e göre sıralaması:

$A_5 > A_3 > A_2 > A_4 > A_6 > A_1$

Model kapsamında elde edilen bulgular ile Senaryo 1 ve Senaryo 2'ye ilişkin analiz sonuçları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiş, bu kapsamda kriterler ve alternatiflerin öncelik sıralamaları Tablo 4.17 ve Tablo 4.18'de sistematik biçimde sunulmuştur.

Tablo 4.17 Senaryo temelli kriter sıralamalarının karşılaştırılması

Kriter	**Uygulama**	**Senaryo (1)**	**Senaryo (2)**
Üst Yönetim Desteği	1	1	1
Modüler Mimari	5	8	3
Tedarikçilerle İşbirliği	2	2	4
Akıllı Sözleşmeler	3	6	5
Teknoloji Entegrasyonu	4	7	2
Yatırım Maliyeti	6	4	7
Ürün Takibi	7	9	9
Bakım Maliyetleri	8	5	8
Gizlilik ve Güvenilirlik	9	3	6

Tablo 4.18 Senaryo temelli alternatif sıralamalarının karşılaştırılması

Alternatif	**Uygulama**	**Senaryo (1)**	**Senaryo (2)**
Bakım-Onarım Yönetimi	1	6	1
Malzeme Yönetimi	2	2	3
Finansal Analiz	3	1	2
Ürün Destek Yönetimi	4	3	5
Veri Yönetimi	5	5	4
Depolama	6	4	6

Farklı senaryolara bağlı olarak uzman ağırlıklarının çeşitli derecelendirme yaklaşımlarıyla yeniden tanımlanması sonucunda elde edilen bulgular incelendiğinde, karar modelinde yer alan stratejik düzeydeki "Üst Yönetim Desteği" kriterinin tüm senaryolarda birinci sıradaki yerini koruduğu tespit

edilmiştir. Bu durum, söz konusu kriterin karar verme sürecindeki baskın etkisini ve modelin genel kararlılığına olan katkısını ortaya koymaktadır. “Tedarikçilerle İşbirliği” kriteri, uygulamada ve Senaryo 1’de ikinci sırada yer almakta, Senaryo 2’de ise dördüncü sıraya gerilemektedir. Bu düşüş, uzman ağırlıklarının değişmesiyle bu kriterin göreli öneminde küçük bir azalma olduğunu göstermektedir. “Modüler Mimari”, uygulama aşamasında beşinci sıradayken Senaryo 1’de sekizinci sıraya düşmüş, ancak Senaryo 2’de üçüncü sıraya yükselmiştir. Bu durum, bu kriterin senaryoya duyarlı olduğunu ve uzman değerlendirmelerine bağlı olarak önem derecesinin ciddi oranda değişebildiğini göstermektedir. “Akıllı Sözleşmeler” ve “Teknoloji Entegrasyonu” kriterlerinin sıralamalarında da senaryolar arasında dalgalanmalar gözlemlenmektedir. Özellikle Teknoloji Entegrasyonu, uygulamada dördüncü sıradayken, Senaryo 1’de yedinci sıraya gerilemiş, Senaryo 2’de ise ikinci sıraya yükselmiştir. Bu durum, teknolojik altyapıya verilen önemin uzman profiline bağlı olarak değişebileceğini ortaya koymaktadır. “Yatırım Maliyeti”, senaryolar arasında göreceli olarak istikrarlı kalmış ve orta sıralarda konumlanmıştır. Bu da yatırım maliyetinin önemli olmakla birlikte, karar vericiler açısından öncelikli kriter olmadığını göstermektedir. “Bakım Maliyetleri”, her üç durumda da alt sıralarda yer almakta olup, bu kriterin BZT’nin kabulü açısından daha düşük öncelikli olarak değerlendirildiği anlaşılmaktadır. “Gizlilik ve Güvenirlik”, uygulamada son sıradayken, Senaryo 1’de üçüncü sıraya yükselmiş, Senaryo 2’de ise altıncı sırada yer almıştır. Bu fark, uzman bakış açılarına göre siber güvenlik konusunun göreli öneminin değişebileceğini göstermektedir.

Farklı uzman ağırlıklandırmalarına dayalı olarak oluşturulan senaryolar ışığında, karar modelinde yer alan alternatifler incelendiğinde; Uygulama ve Senaryo (2) altında birinci sırada yer alan “Bakım-Onarım Yönetimi”, karar vericiler nezdinde BZT’nin öncelikli uygulanabileceği alan olarak değerlendirilmektedir. Ancak Senaryo (1)’de altıncı sıraya gerilemiş olması, bu faaliyet alanının uzman ağırlıkları farklılaştığında önem derecesinin tartışmalı olabileceğini göstermektedir. Bu durum, bakım-onarım süreçlerinin bazı uzman gruplarınca daha kritik görülürken, diğerlerinde görece geri planda kaldığını ortaya koymaktadır. Tüm senaryolarda ve temel uygulamada ikinci veya üçüncü sırada konumlanan “Malzeme Yönetimi”, blokzincir entegrasyonuna uygunluğu açısından tutarlı ve güçlü bir aday olarak öne

çıkmaktadır. Bu istikrar, malzeme akışının izlenebilirliği ve şeffaflığı gibi özelliklerin blokzincir uygulamalarıyla örtüşmesinden kaynaklandığını göstermektedir. Senaryo (1)'de birinci sıraya yükselen, diğer durumlarda ise ilk üçte yer alan "Finansal Analiz" alternatifi, maliyet takibi ve şeffaflık gibi faktörlerin uzman değerlendirmelerine bağlı olarak önemli ölçüde öncelik kazandığını göstermektedir. Özellikle BZT'nin finansal işlemlerde sağladığı kayıt tutma avantajı bu önceliği desteklemektedir. Senaryolar arasında sıralamada 4 ile 5. sıralar arasında yer alan "Ürün Destek Yönetimi", blokzincir uygulamaları açısından görece orta düzeyde bir önceliğe sahip olarak değerlendirilmektedir. Bu faaliyet alanı, karar vericiler tarafından değerlendirildiğinde, operasyonel destek süreçlerinin yapısal karmaşıklığı ve dijital dönüşüme uyum kapasitesi bakımından diğer alternatiflere kıyasla görece daha sınırlı katkı sunma potansiyeline sahip olarak öne çıkmaktadır. Her üç senaryoda da 5. sırada yer alan "Veri Yönetimi" alternatifi, sıralama üzerindeki istikrarlı konumuyla öne çıkan bir tutarlılık sergilemektedir. BZT'nin verilerin güvenli paylaşımı ve bütünlüğünü sağlama potansiyeline rağmen, uzmanlar bu alanın görece düşük önceliğe sahip olduğunu düşünmüş olabilir. Bu da veri altyapısının hâlihazırda belirli bir olgunluk seviyesinde olduğunu ve acil dönüşüm ihtiyacı duymadığını ima edebilir. Tüm değerlendirme durumlarında son sırada yer alan "Depolama" alternatifi, blokzincir uygulamaları açısından en düşük önceliğe sahip alan olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sonuç, fiziksel süreçlerin ağırlıklı olduğu depo yönetiminde BZT'nin doğrudan katkısının sınırlı kalabileceği yönünde bir algıyı yansıtmaktadır.

Bu tez kapsamında oluşturulan karar modeli içerisinde farklı uzman ağırlıklandırma senaryolarına dayalı olarak gerçekleştirilen analizler, özellikle stratejik öncelikler içeren karar ortamlarında bağıl uzman ağırlıklandırmasının ve CRITIC temelli ÇKKV yönteminin, eşit oranlı uzman ağırlıklandırmasına kıyasla daha gerçekçi ve karar destekleyici çıktılar sunduğunu ortaya koymaktadır. İHA lojistik destek sistemlerinde blokzincir teknolojisinin uygulanabilirliğini değerlendirmeyi amaçlayan karar modelinde, bağıl uzman ağırlıklandırması ve CRITIC tabanlı ağırlıklandırma yaklaşımı birlikte kullanıldığında; stratejik, teknik ve operasyonel önceliklerin daha isabetli biçimde belirlenmesi sağlanabilmektedir. Bu yapı sayesinde karar vericilere, yatırım planlaması, platform seçimi ve dijital dönüşüm

süreçlerine ilişkin daha güvenilir ve sahaya yönelik veri odaklı çözümler sunulmaktadır.

5
SONUÇ

Günümüzde savunma alanındaki en büyük teknolojik dönüşümlerden biri, İHA'ların askeri harekâtlarda yaygın biçimde kullanılmaya başlamasıdır. İHA'lar, sadece gözetleme ve keşif görevlerinde değil; aynı zamanda silahlı müdahale, elektronik harp, hedef tespiti, istihbarat toplama ve muharip görevlerde de etkin bir araç olarak kullanılmaktadır. İHA'lar; hava aracı, yer kontrol istasyonu, haberleşme altyapısı ve yazılımsal modüller gibi birçok bileşenden oluşan kompleks sistemler olduğundan bu sistemlerin savaş ortamında sürdürülebilir ve etkin biçimde kullanılabilmesi, onları destekleyen lojistik sistemlerin başarısına, özellikle bakım ve onarım altyapısının sürekliliğine bağlıdır.

Savunma lojistiği, askeri sistemlerin operasyonel kabiliyetini sürdürebilmek amacıyla yürütülen ikmal, bakım, ulaştırma ve altyapı desteğini kapsar. Bu çerçevede İHA'ların savunma sistemlerine entegrasyonu, klasik hava araçlarına göre farklı bir lojistik anlayışı gerektirir. Bunun başlıca nedenleri:

- İHA'ların sensör, yazılım ve haberleşme sistemlerinin yüksek teknoloji içermesi
- Görev yoğunluklarının fazla ve döngü sürelerinin kısa olması
- Uzak bölgelerde, harekât alanlarında konuşlandırılmaları
- İnsanlı sistemlere kıyasla daha karmaşık elektronik ve otonom bileşenler içermeleri
- Bu nedenlerle İHA'ların lojistik sürdürülebilirliği, önleyici ve düzeltici bakım süreçlerinin sistematik biçimde işlemesine bağlıdır.

İHA'ların dijital tabanlı yapısı, bakım ve görev planlaması süreçlerinde daha hassas ve gerçek zamanlı veri yönetimini zorunlu kılmaktadır. Bu ihtiyaç doğrultusunda, BZT'nin savunma lojistik süreçlerine entegrasyonu, sistem güvenilirliği, veri bütünlüğü ve izlenebilirlik açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Blokzincir

altyapısı sayesinde, İHA'ların bakım geçmişi, parça değişim kayıtları, görev döngüleri ve tedarik zinciri verileri merkezi olmayan, şeffaf ve değiştirilemez bir sistem üzerinden kayıt altına alınabilmektedir. Bu durum hem karar destek sistemlerini güçlendirmekte hem de bakım ve ikmal süreçlerinin doğruluğunu artırarak operasyonel verimliliği optimize etmektedir. Böylelikle, İHA odaklı savunma lojistik sistemleri daha sürdürülebilir, güvenli ve izlenebilir bir yapıya kavuşmaktadır.

Bu araştırmanın temelini oluşturan problem, pratikte karşılaşılan ve alana özgü gerçek bir ihtiyaçtan doğmuştur. Problemin çözümüne ilişkin kriterler ise, İHA lojistik destek süreçlerinde görev yapan uzman ekip ile gerçekleştirilen nitel görüşmelerin bulguları ile ilgili literatürde yer alan bilimsel verilerin birlikte analiz edilmesiyle belirlenmiştir.

Çalışmada ele alınan problem için q-seviyeli bulanık küme temelli ÇKKV yaklaşımlarından CRITIC ve CRADIS yöntemleri bütünleştirilmiştir. Sürecin ilk adımında, uzman değerlendirmeleri arasındaki çelişki düzeyi ile bilgi içeriğini dikkate alan CRITIC yöntemi kullanılmıştır. Uzman görüşleri doğrultusunda kriterlerin güvenilirliği Cronbach Alfa katsayısı ile doğrulanarak normalizasyon işlemi ile hesaplanan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonrasında, BZT'nin uygulanabilirliği açısından İHA tabanlı lojistik süreçlerin içerisinde acil ihtiyaç dönüşümünün belirlenmesi hedeflenen faaliyetler, uzman ağırlıkları gözetilerek CRADIS yöntemi ile sıralanmıştır. Modelin dayanıklılığını incelemek amacıyla uzman ağırlıkları iki senaryoda yeniden tanımlanmış ve sonuçlara yönelik duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Tüm hesaplama ve analizler, Microsoft Excel ortamında geliştirilen uygulamalarla yürütülmüştür.

QSBK tabanlı CRITIC–CRONBACH–CRADIS hibrit yaklaşımı ile modelin karar verme pratiğine sağladığı başlıca katkılar:

- Bu yöntem, blokzincir teknolojisinin kabulüne yönelik analizlerin sistematik ve tutarlı biçimde yürütülmesine olanak tanıyarak, karar vericilere ve üst yönetim kademelerine daha güvenilir bir karar destek ortamı sunmaktadır.
- Uzman ve kriter ağırlıklarının q-seviyeli bulanık küme mantığı çerçevesinde modellendiği yaklaşım, belirsiz verilerdeki öznelliği en aza indirerek güçlü bir matematiksel temele dayalı esnek bir karar yapısı oluşturmaktadır.

- Savunma sanayii, askeri planlama ve lojistik hizmetler gibi yüksek belirsizlik barındıran alanlarda, insan etkisini ve bilişsel önyargıları minimize ederek rasyonel ve şeffaf bir karar verme sürecine zemin hazırlamaktadır.

Gelecekteki çalışmalara yönelik öneriler şu şekilde sıralanabilir:

- Kriterler arasında hiyerarşik bir yapı oluşturulması ve ÇKKV yöntemlerinin farklı varyantlarının uygulanması, aynı problemin çeşitli metodolojilerle çözülmesini sağlayarak sonuçların karşılaştırmalı değerlendirilmesine olanak tanır.
- Q-seviyeli bulanık küme yaklaşımında, q seviyesinin farklı ölçeklerde tanımlanarak modele entegre edilmesi, karar verme sürecinde esneklik ve duyarlılığın artırılmasını mümkün kılabilir.
- İnsansız hava araçları ve lojistik süreçlere ilişkin yeni kriterlerin modele dahil edilmesiyle, karar verme kapsamı genişletilerek daha kapsamlı ve bütüncül analizler gerçekleştirilebilir.
- Karar modellerinde yalnızca dilsel terimlere değil, aynı zamanda nicel verilere dayalı bulanık mantık modellerinin kullanılması, belirsizlik ortamlarında daha esnek ve güvenilir çözümler sağlayabilir.
- Blokzincir teknolojisinin savunma ve lojistik alanlarında benimsenme sürecinde, insansız hava araçları ve lojistik operasyonlar için yatırım yapılacak platformların etkinlik düzeylerinin sistematik ve kapsamlı bir biçimde analiz edilmesi gerekmektedir. Bu analizler, mevcut karar destek modellerinin ilgili veriler doğrultusunda genişletilmesine ve geliştirilmesine imkan sunabilir.

KAYNAKÇA

Akyürek, S., Yılmaz, M. A., & Taşkıran, M. (2012). *İnsansız hava araçları: Muharebe alanında ve terörle mücadelede devrimsel dönüşüm* (Bilge Adamlar Stratejik Araştırmalar Merkezi Rapor No. 53). Bilge Adamlar Stratejik Araştırmalar Merkezi. https://www.academia.edu/9199556/İnsansız_Hava_Araçları_Muharebe_Alanında_ve_Terörle_Mücadelede_Devrimsel_Dönüşüm

Almeshal, T. A., & Alhogail, A. A. (2021). *Blockchain for businesses: A scoping review of suitability evaluations frameworks*. IEEE Access, 9, 155425–155442. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3128608

Almutairi, K., Hosseini Dehshiri, S. J., Hosseini Dehshiri, S. S., Hoa, A. X., Dhanraj, J. A., Mostafaeipour, A., Issakhov, A., & Techato, K. (2022). Blockchain technology application challenges in renewable energy supply chain management. *Environmental Science and Pollution Research, 29*(28), 42041–42058. https://doi.org/10.1007/s11356-021-18311-7

Alsaqer, M. S., Alsulami, M. H., Alkhawaji, R. N., & Alaboudi, A. A. (2023). Analyzing the impact of blockchain models for securing intelligent logistics through unified computational techniques. *Computers, Materials & Continua, 77*(3), 3943–3968. https://doi.org/10.32604/cmc.2023.042379

Al-Naseri, N. (2022). Blockchain and ESG compliance: Ensuring transparency in sustainable finance. *Journal of Artificial Intelligence Research and Applications*, 2(1), 529–530. https://doi.org/10.51594/jaira.v2i1.529

ASELSAN. (2020). *ASELSAN Dergisi 107. Sayı*. https://wwwcdn.aselsan.com/api/file/AselsanDergi107_7726.pdf

Badri, N., Nasraoui, L., & Azouz Saidane, L. (2024). A comprehensive review of blockchain integration in remote patient monitoring for E-health. *International Journal of Network Management, 34*(2), e2254. https://doi.org/10.1002/nem.2254

Balouei Jamkhaneh, H., Şahin, R., Tortorella, G. L. (2022). Analysis of Logistics 4.0 service quality and its sustainability enabler scenarios in emerging economy. *Cleaner Logistics and Supply Chain, 100053*, 1–28. https://doi.org/10.1016/j.clscn.2022.100053

Baykar Teknoloji. (2023). *Bayraktar TB3 SİHA 32 saat havada kaldığı uzun uçuş testini başarıyla tamamladı*. https://baykartech.com/tr/haberler/bayraktar-tb3-siha-32-saat-havada-kaldigi-uzun-ucus-testini-basariyla-tamamladi/

Baykar Teknoloji. (2023). *Bayraktar KIZILELMA: Muharip İnsansız Uçak Sistemi*. https://www.baykartech.com/tr/uav/bayraktar-kizilelma/

Baykar Teknoloji. (2024, Eylül 26). *Bayraktar KIZILELMA'nın üretim prototipi ilk uçuş testini başarıyla tamamladı*. Baykar Teknoloji. https://baykartech.com/tr/press/bayraktar-kizilelmanin-uretim-prototipi-ilk-ucus-testini-basariyla-tamamladi/

Baykar Teknoloji. (2025). *Bayraktar TB3 silahlandı*. Baykar Teknoloji. https://baykartech.com/tr/press/bayraktar-tb3-silahlandi/

Bozyiğit, M. C., Ünver, M. (2024). Parametric circular intuitionistic fuzzy information measures and multi-criteria decision making with extended TOPSIS. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*. Advance online publication. https://doi.org/10.1007/s41066-024-00469-3

Casino, F., Dasaklis, T. K., & Patsakis, C. (2019). A systematic literature review of blockchain-based applications: Current status, classification and open issues. *Telematics and Informatics, 36,* 55–81. https://doi.org/10.1016/j.tele.2018.11.006

Ceylan, O., & Işık, A. H. (2023). Blokzincir teknolojisi ve uygulama alanları. *Uluborlu Mesleki Bilimler Dergisi*, *6*(1), 129–154. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2994750

Chbaik, N., Khiat, A., Bahnasse, A., & Ouajji, H. (2024). A blockchain-enabled IoT wireless framework for equipment monitoring in smart supply chains: Focus on temperature and humidity sensing. IEEE Access, 12, 117504–117522. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3449253

Choi, T. M., & Siqin, T. (2022). From Blockchain 1.0 to Blockchain 5.0 in logistics and production: An intra- and inter-organizational framework. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 160, Article 102653. https://doi.org/10.1016/j.tre.2022.102653

Bodkhe, U., Tanwar, S., Parekh, K., Khanpara, P., Tyagi, S., Kumar, N., & Alazab, M. (2020). Blockchain for Industry 4.0: A comprehensive review. *IEEE Access*, *8*, 79764–79800. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2988579

Çetinkaya, S., Koç, M. (2023). Türkiye'nin insansız hava araçları serüveni. *Anadolu Strateji Dergisi*, 5(1), 1–27. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/3237670

D'Alessandro, A., Bucalo, F., Coltelli, M., & Martorana, R. (2015). Drones — New technologies for geophysics? *Near Surface Geoscience 2015 – 21st European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics*, 2015(1), 1–5. https://doi.org/10.3997/2214-4609.201413681

Demirkıran, Z. K. (2010). Uçan torpidodan günümüze insansız hava araçlarının gelişimi. *Bilim ve Teknik*, 44(719), 28–30. https://e-dergi.tubitak.gov.tr/edergi/yazi.pdf?dergiKodu=4&cilt=44&sayi=719&sayfa=28&yaziid=31054

Demiryol, T., & Soyaltın-Colella, D. (2024). *The geopolitics of Turkey's rise as a drone power*. Georgetown Journal of International Affairs, 25(1), 12–20. https://muse.jhu.edu/article/934880

Emma, L. (2024). Blockchain and smart contracts for secure and transparent transactions. *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/publication/386

337137_Blockchain_and_smart_contracts_for_secure_and_transparent_transactions

Ershov, V., Nedilko, S., Izvalov, O., & Nedilko, V. (2020). Safety of drones flows in conditions of their mass use in the city. *Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences*, 3(34), 369–376. https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).369-376

Ganne, E. (2018). *Can blockchain revolutionize international trade?* World Trade Organization. https://www.wto.org/english/res_e/publications_e/blockchainrev18_e.htm

Ghorabaee, M. K., Amiri, M., Zavadskas, E. K., & Antuchevičienė, J. (2018). Assessment of third-party logistics providers using a CRITIC–WASPAS approach with interval type-2 fuzzy sets. *Transport, 33*(1), 66–78. https://doi.org/10.3846/16484142.2017.1410196

Golosova, J., & Romanovs, A. (2018). The advantages and disadvantages of the blockchain technology. In *2018 IEEE 6th Workshop on Advances in Information, Electronic and Electrical Engineering (AIEEE)* (pp. 117–122). IEEE. https://doi.org/10.1109/AIEEE.2018.8552978

Gökalp, E., Çoban, S., & Gökalp, M. O. (2019, Kasım). *Acceptance of blockchain based supply chain management system: A research model proposal*. 2019 1st International Informatics and Software Engineering Conference (UBMYK). https://doi.org/10.1109/UBMYK48245.2019.8965502

Görçün, Ö. F., Pamucar, D., & Biswas, S. (2023). The blockchain technology selection in the logistics industry using a novel MCDM framework based on Fermatean fuzzy sets and Dombi aggregation. *Information Sciences, 635*, 345–374. https://doi.org/10.1016/j.ins.2023.03.113

Gülbahar, Ö. (2015). *Karayel insansız hava aracının statik ve dinamik analizleri* [Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. İstanbul Teknik Üniversitesi Akademik Arşiv. https://polen.itu.edu.tr/items/31d93cdb-fba2-46b6-9fa8-17e2632bee72

Hannavy, J. (Ed.). (2008). *Encyclopedia of Nineteenth-Century Photography* (Vol. 1). Routledge. https://doi.org/10.4324/9780203941782

Haynes, F. (2002). *Queen Bee – Radio-Controlled Target Aircraft of the 1930s*. Naval Historical Society of Australia. https://navyhistory.au/queen-bee-radio-controlled-target-aircraft-of-the-1930s/

Hosseini Dehshiri, S. J., & Amiri, M. (2024). Evaluation of blockchain implementation solutions in the sustainable supply chain: A novel hybrid decision approach based on Z-numbers. *Expert Systems with Applications, 235*, 121123. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121123

International Civil Aviation Organization. (2011). *Unmanned aircraft systems (UAS) (Circular 328 AN/190)*. https://www.icao.int/meetings/uas/documents/circular%20328_en.pdf

Iranmanesh, M., Maroufkhani, P., Asadi, S., Ghobakhloo, M., Dwivedi, Y. K., & Tseng, M.-L. (2023). Effects of supply chain transparency, alignment, adaptability, and agility on blockchain adoption in supply chain among

SMEs. *Computers & Industrial Engineering, 176*, 108931. https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108931

Kahveci, M., & Can, N. (2017). İnsansız hava araçları: Tarihçesi, tanımı, dünyada ve Türkiye'deki yasal durumu. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(4), 511–535. https://doi.org/10.15317/Scitech.2017.109

Kama, A., & Doğan, N. Ö. (2023). *E-Ticaret yöntemi ile faaliyet gösteren firmalarda tedarik zinciri için blokzincir teknolojisi uygulaması ve seçimi: Bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri ile bir uygulama* (Yüksek lisans tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü). https://acikerisim.nevsehir.edu.tr/handle/20.500.11787/8524

Kanyike, R. (2012, May 21). *History of U.S. Drones*. Understanding Empire. https://understandingempire.wordpress.com/2-0-a-brief-history-of-u-s-drones/

Karaağaç, C. (2013). İnsansız hava aracı sistemlerinde lojistik destek. *Savunma Sanayii Dergisi*, 2013(1), 20. https://www.academia.edu/3541121/İnsansız_Hava_Aracı_Sistemlerinde_Lojistik_Destek

Khan, M. J., & Kumam, P. (2020). Knowledge measure for the q-rung orthopair fuzzy sets. *International Journal of Intelligent Systems, 36*(8), 628–655. https://doi.org/10.1002/int.22313

Kolukısa, H. (2021, Temmuz 14). *Bulut altı insansız hava aracı-BİHA*. DefenceTurk. https://www.defenceturk.net/bulut-alti-insansiz-hava-araci-biha

Konacaklı, E., & Eyüpoğlu, C. (2023). Blockchain-based intelligent air ammunition logistics tracking system. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 22(43), 1–14. https://doi.org/10.55071/ticaretfbd.1085938

Korchenko, A. G., & Illyash, O. S. (2013). *The generalized classification of unmanned air vehicles*. 2013 IEEE 2nd International Conference on Actual Problems of Unmanned Air Vehicles Developments (APUAVD), Kiev, Ukrayna, 28–34. https://doi.org/10.1109/APUAVD.2013.6705275

Kouhizadeh, M., Saberi, S., & Sarkis, J. (2021). Blockchain technology and the sustainable supply chain: Theoretically exploring adoption barriers. *International Journal of Production Economics, 231*, 107831. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107831

Krstić, M., Agnusdei, G. P., Miglietta, P. P., Tadić, S. (2022). Evaluation of the smart reverse logistics development scenarios using a novel MCDM model. *Cleaner Environmental Systems, 7*, 100099. https://doi.org/10.1016/j.cesys.2022.100099

Kshetri, Nir. "Can Blockchain Strengthen the Internet of Things?" *IT Professional* 19, no. 4 (2017): 68–72. https://doi.org/10.1109/MITP.2017.3051335.

Kuznetsov, O., Rusnak, A., Yezhov, A., & Kuznetsova, K. (2024). Merkle trees in blockchain: A study of collision probability and security implications. *Internet of Things, 26*, 101193. https://doi.org/10.1016/j.iot.2024.101193

Liu, D., & arkadaşları. (2019). The distance measures between q-rung orthopair hesitant fuzzy sets and their application in multiple criteria decision making.

International Journal of Intelligent Systems, 34(9), 2104–2121. https://doi.org/10.1002/int.22133

McKinnon, G. D. (2014). *The birth of a drone nation: American unmanned aerial vehicles since 1917* (Master's thesis, Louisiana State University). LSU Scholarly Repository. https://repository.lsu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1402&context=gradschool_theses

Ministry of Defence. (2010, Mayıs). *JDN 3/10 Unmanned Aircraft Systems: Terminology, Definitions and Classification* (Crown copyright). Development, Concepts and Doctrine Centre. https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5a7f39efed915d74e33f51cb/20150427-DCDC_JDN_3_10_Archived.pdf

Monash University. (n.d.). *Remote piloted aerial vehicles: An anthology*. https://www.ctie.monash.edu/hargrave/rpav_home.html

Moosavi, N., Taherdoost, H., Mohamed, N., Madanchian, M., & Gharbi, H. (2024). Blockchain technology, structure, and applications: A survey. Procedia Computer Science, 237, 645–658. https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.05.150

Namasudra, S., Deka, G. C., Johri, P., Hosseinpour, M., & Gandomi, A. H. (2020). The revolution of blockchain: State-of-the-art and research challenges. *Archives of Computational Methods in Engineering, 28*(2), 1497–1516. https://doi.org/10.1007/s11831-020-09426-0

Narayanan, T. S. A., & Padhy, S. C. (2023). Askeri uygulama için blockchain teknolojisi. *Avrupa Ekonomi Mektupları (EEL), 13*(5), 463–469. https://doi.org/10.52783/eel.v13i5.776

NASA Dryden Flight Research Center. (2002). *Helios Prototype: The forerunner of 21st century solar-powered "atmospheric satellites"* (FS-2002-08-068-DFRC). NASA. https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2021/09/120318main_fs-068-dfrc.pdf

Orji, I. J., Kusi-Sarpong, S., Huang, S., Vazquez-Brust, D. (2020). Evaluating the factors that influence blockchain adoption in the freight logistics industry. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 141*, 102025. https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.102025

Öztürk, C., Yıldızbaşı, A. (2020). Barriers to implementation of blockchain into supply chain management using an integrated multi-criteria decision-making method: A numerical example. *Soft Computing, 24*(19), 14771–14789. https://doi.org/10.1007/s00500-020-04831-w

Pathak, R., Soni, B., Muppalaneni, N. B., & Deveci, M. (2024). Interval-valued q-rung orthopair fuzzy complex proportional assessment-based approach and its application for evaluating the factors of blockchain technology in various domains. *Journal of Industrial Information Integration, 42*, 100718. https://doi.org/10.1016/j.jii.2024.100718

Parsch, A. (2004–2024). *General Atomics MQ-9 Reaper (Predator B)*. Designation-Systems.Net. https://www.designation-systems.net/dusrm/app2/q-9.html

Pınar, A., & Boran, F. E. (2020). A q-rung orthopair fuzzy multi-criteria group decision making method for supplier selection based on a novel distance measure. *International Journal of Machine Learning and Cybernetics, 11*(8), 1749–1780. https://doi.org/10.1007/s13042-020-01070-1

Pınar, A. (2020). *Q seviyeli bulanık küme temelli tedarikçi performans değerlendirmesi* (Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=dMCrZzeQsQ-bNtuxO91PlA&no=RaiOjdigLnX94sUTpo_xQg

Pike, J., Aftergood, S. (1999). *GNAT-750 UAV*. Federation of American Scientists. Retrieved May 25, 2025, from http://www.fas.org/irp/program/collect/gnat-750.htm

Rust, J., Knobbe, S., Paul, S. (2019, October). *On blockchain-based dynamic resource allocation for concurrent industrial wireless premises networks*. Paper presented at the 6th International Workshop on Cooperative Wireless Networks, Barcelona, Spain. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). https://doi.org/10.1109/WiMOB.2019.8923582

San Diego Hava ve Uzay Müzesi. *Teledyne Ryan Firebee photograph collection*. San Diego Hava ve Uzay Müzesi. Erişim adresi: https://sandiegoairandspace.org/collection/item/teledyne-ryan-firebee-photograph-collection

Savunma Sanayii Başkanlığı. (2021, 7 Eylül). *Şekil 7: ELED elemanları ile optimum lojistik destek ilişkisi* [Görsel]. TSSÖDYP Wiki. https://tssodypwiki.ssb.gov.tr/index.php/Dosya:%C5%9Eekil7_ELED_Elemanlar%C4%B1_%C4%B0le_Optimum_Lojistik_Destek_%C4%B0li%C5%9Fkisi.jpg

Savunma Sanayii Müsteşarlığı. (2012). *İHA sistemleri yol haritası*. https://ercancinar.com/wp-content/uploads/2017/10/SSM_%C4%B0HA_Sistemleri_Yol_Haritas%C4%B1_2012.pdf

Sever, H. (2021). İnsansız hava aracı sistemlerinde stratejik yönetim ve SWOT analizi. *İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi*, 10(2), 1179–1207. https://doi.org/10.15869/itobiad.869189

Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü. (2020). *İnsansız hava aracı sistemleri talimatı (SHT-İHA Rev.04)*. https://web.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/mevzuat/sektorel/talimatlar/SHT-IHA.pdf

STRASAM. (2022). *İnsansız Hava Araçlarının Gelişim Süreci ve Türkiye'de İHA Geliştirme Faaliyetleri*. https://strasam.org/Savunma/Havacilik-ve-Uzay-Sanayii/Insansiz-Hava-Araclarinin-Gelisim-Sureci-ve-Turkiyede-Iha-Gelistirme-Faaliyetleri-3220

Supçiller, A. A., & Öktem, T. (2023). Bir kablo firması için bulanık CRITIC ve bulanık MAIRCA ile ekstrüder hattı seçimi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 29(8), 833–841. https://doi.org/10.5505/pajes.2023.47190

Suscan, A. (2022). *İnsansız hava araçlarının sivil havacılıktaki yeri ve önemi* [Yüksek lisans tezi, Kapadokya Üniversitesi]. Kapadokya Üniversitesi

Akademik Arşiv. https://acikerisim.kapadokya.edu.tr/items/360c7534-2257-421b-82e9-81623b632288

Taş, E. N., Paralı, Z., & Çetin, H. N. (2021). *Dünya basınında Türkiye'nin S/İHA gücü ve küresel siyasete yansımaları*. Küresel Siyaset: Türkiye'den Bakış, Özel Sayı, 202–203. https://www.researchgate.net/publication/352148878

Terkan, A. (2015). *Terörizmle mücadele kapsamında insansız hava araçlarının rolü: Federal Yönetimli Aşiret Bölgesi örneği* [Yüksek lisans tezi, Kara Harp Okulu Komutanlığı]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=j82DaK7_NcU2-0MRgSzVbQ&no=L63AipgRcL7qwcO4GIwlBg

Tezcan, B., & Eren, T. (2024). Bulanık ortamda proje yöneticisi seçimi: Savunma sanayi firmasında bir uygulama. *Savunma ve Savaş Araştırmaları Dergisi*, 34(1), 1–20. https://doi.org/10.54078/savsad.1193540

Truby, J. (2018). Decarbonizing Bitcoin: Law and policy choices for reducing the energy consumption of blockchain technologies and digital currencies. *Energy Research & Social Science, 44,* 399–410. https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.06.009

Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş. (TUSAŞ). (2025, Ocak 30). *ANKA-S Projesi*. https://www.tusas.com/medya-merkezi/haberler/anka-s-projesi

Mohamed, M., Ayman, S., Yong, R., Ye, J. (2024). Ranking cloud service providers using SWARA-MARCOS in type-2 neutrosophic number set environment. *Neutrosophic Systems with Applications, 18*(1), 46–59. https://doi.org/10.61356/j.nswa.2024.18284

Nguyen, V. T. (2022). Blockchain development services provider assessment model for logistics organizations. *Processes, 10*(6), 1209. https://doi.org/10.3390/pr10061209

Nonami, K., Kendoul, F., Suzuki, S., Wang, W., Nakazawa, D. (2010). *Autonomous flying robots: Unmanned aerial vehicles and micro aerial vehicles*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-4-431-53856-1

Thévenin, P. (1996). NATO's UAV experience in Bosnia: The CL-89 in perspective. *Jane's Defence Weekly*, 26(7), 41–43.

Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş. (TUSAŞ). (2012, Ekim 28). *Turna Hedef Uçak Sistemi*. https://web.archive.org/web/20121028192907 http://www.tai.com.tr/tr/proje/turna

Türk Hava Kurumu. *İnsansız Hava Araçları (İHA)*. https://www.thk.org.tr/iha

Uyar, S. (2010). İnsansız hava araçları: Geçmişten günümüze. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi, 3*(1), 17–22. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/4184460

Valls Estefanell, M. (2016). *Drons: Oportunitat o amenaça?* (Working Paper No. 346). Institut de Ciències Polítiques i Socials. https://www.icps.cat/archivos/Workingpapers/wp346.pdf?noga=1

Villi, O., Yakar, M. (2022). İnsansız hava araçlarının kullanım alanları ve sensör tipleri. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 4(2), 73–100. https://doi.org/10.51534/tiha.1189263

Xu, Z. (2007). Some similarity measures of intuitionistic fuzzy sets and their applications to multiple attribute decision making. *Fuzzy Optimization and Decision Making, 6*(2), 109–121. https://doi.org/10.1007/s10700-007-9004-z

Wang, S.-T., Li, M.-H., & Lien, C.-C. (2021). Analysis of the optimal application of blockchain-based smart lockers in the logistics industry based on FFD-SAGA and grey decision-making. *Symmetry, 13*(2), 329. https://doi.org/10.3390/sym13020329

Wang, Y., Singgih, M., Wang, J., & Rit, M. (2019). Making sense of blockchain technology: How will it transform supply chains? *International Journal of Production Economics, 211*, 221–236. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.02.002

Wu, F., Zhou, B., Song, J., & Xie, L. (2025). Quantum-resistant blockchain and performance analysis. *The Journal of Supercomputing, 81*(498). https://doi.org/10.1007/s11227-025-07018-y

Yager, R. R. (2016). Properties and applications of Pythagorean fuzzy sets. In R. R. Yager (Ed.), *Studies in Fuzziness and Soft Computing* (Vol. 332, pp. 119–136). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-26302-1_9

Yang, Y., & Green, S. B. (2011). Coefficient alpha: A reliability coefficient for the 21st century? *Journal of Psychoeducational Assessment, 29*(4), 377–392. https://doi.org/10.1177/0734282911406668

Yelbey, B. (2023). *Aralık değerli Q seviyeli bulanık küme temelli MAIRCA yöntemini kullanarak insansız hava aracı seçimi* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı. https://hdl.handle.net/20.500.12452/10084

Yoon, J.-H., Kim, J.-S., Park, H.-G. (2020). A study on the priorities of blockchain adoption for port logistics in Korea using AHP: Focused on Busan and Incheon ports. *Journal of International Trade & Commerce, 16*(1), 1–24. https://doi.org/10.16980/jitc.16.1.202002.1

Zhang, J., Zhang, X., Liu, W., Ji, M., Mishra, A. R. (2022). Critical success factors of blockchain technology to implement the sustainable supply chain using an extended decision-making approach. *Technological Forecasting and Social Change, 182*, 121881. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121881

Zhang, W., Li, L., Zhang, N., Han, T., & Wang, S. (2020). Air-ground integrated mobile edge networks: A survey. *IEEE Access, 8*, 125998–126018. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3008168

A
ANKET SORULARI

Çalışan deneyimi:	
0-1 Yıl Çalışan	o
1-5 Yıl Çalışan	o
5-10 Yıl Çalışan	o
10-15 Yıl Çalışan	o
15 Yıl ve üzeri Çalışan	o

Blokzincir teknolojisi iş ağlarında işlemlerin kayıt altına alınması ve dijital varlıkların takip edilmesinin uygulanmasını sağlar. Blokzincir teknolojisinin iş süreçlerinize entegrasyonu söz konusu olduğunda aşağıdaki kriterleri önem düzeyine göre değerlendiriniz.

	Kesinlikle tercih edilir	Çok fazla tercih edilir	Oldukça tercih edilir	Nötr	Daha az tercih edilir	Çok az tercih edilir	Son derece az tercih edilir
Gizlilik ve Güvenilirlik	o	o	o	o	o	o	o
Teknoloji Entegrasyonu	o	o	o	o	o	o	o
Akıllı Sözleşmeler	o	o	o	o	o	o	o
Bakım Maliyetleri	o	o	o	o	o	o	o
Tedarikçilerle İşbirliği	o	o	o	o	o	o	o
Yatırım Maliyeti	o	o	o	o	o	o	o
Ürün Takibi	o	o	o	o	o	o	o
Modüler Mimari	o	o	o	o	o	o	o
Üst Yönetim Desteği	o	o	o	o	o	o	o

Blokzincir teknolojisinin "Gizlilik ve Güvenilirlik" ilkesini aşağıdaki operasyonel süreçler için değerlendiriniz.

	Kesinlikle Yüksek	Orta derecede yüksek	Yüksek	Ilımlı	Düşük	Orta derecede düşük	Kesinlikle düşük
Depolama	o	o	o	o	o	o	o
Malzeme Yönetimi	o	o	o	o	o	o	o
Finansal Analiz	o	o	o	o	o	o	o
Veri Yönetimi	o	o	o	o	o	o	o
Bakım - Onarım Yönetimi	o	o	o	o	o	o	o
Ürün Destek Yönetimi	o	o	o	o	o	o	o

Blokzincir teknolojisinin "Gizlilik ve Güvenilirlik" ilkesini aşağıdaki operasyonel süreçler için değerlendiriniz.

	Kesinlikle Yüksek	Orta derecede yüksek	Yüksek	Ilımlı	Düşük	Orta derecede düşük	Kesinlikle düşük
Depolama	o	o	o	o	o	o	o
Malzeme Yönetimi	o	o	o	o	o	o	o
Finansal Analiz	o	o	o	o	o	o	o
Veri Yönetimi	o	o	o	o	o	o	o
Bakım - Onarım Yönetimi	o	o	o	o	o	o	o
Ürün Destek Yönetimi	o	o	o	o	o	o	o

Blokzincir teknolojisinin kabulü için "Teknoloji Entegrasyonu" özelliğini aşağıdaki operasyonel süreçler için değerlendiriniz.

	Kesinlikle Yüksek	Orta derecede yüksek	Yüksek	Ilımlı	Düşük	Orta derecede düşük	Kesinlikle düşük
Depolama	o	o	o	o	o	o	o
Malzeme Yönetimi	o	o	o	o	o	o	o
Finansal Analiz	o	o	o	o	o	o	o
Veri Yönetimi	o	o	o	o	o	o	o
Bakım - Onarım Yönetimi	o	o	o	o	o	o	o
Ürün Destek Yönetimi	o	o	o	o	o	o	o

"Akıllı Sözleşmeler Aracılığıyla İyileştirilmiş Otomasyon ve Programlanabilirlik" özelliğini aşağıdaki operasyonel süreçler için değerlendiriniz.

	Kesinlikle Yüksek	Orta derecede yüksek	Yüksek	Ilımlı	Düşük	Orta derecede düşük	Kesinlikle düşük
Depolama	o	o	o	o	o	o	o
Malzeme Yönetimi	o	o	o	o	o	o	o
Finansal Analiz	o	o	o	o	o	o	o
Veri Yönetimi	o	o	o	o	o	o	o
Bakım - Onarım Yönetimi	o	o	o	o	o	o	o
Ürün Destek Yönetimi	o	o	o	o	o	o	o

Bakım Maliyetleri, blokzincir teknoloji kabulünde donanımın (denetim, kontrol, onarım, vb.) ve yazılımın (yükseltme, güncelleme, hata düzeltme, vb.) kapsar. "Bakım Maliyetleri"ni göz önünde bulundurarak aşağıdaki operasyonel süreçler için değerlendiriniz.

	Kesinlikle Yüksek	Orta derecede yüksek	Yüksek	Ilımlı	Düşük	Orta derecede düşük	Kesinlikle düşük
Depolama	o	o	o	o	o	o	o
Malzeme Yönetimi	o	o	o	o	o	o	o
Finansal Analiz	o	o	o	o	o	o	o
Veri Yönetimi	o	o	o	o	o	o	o
Bakım - Onarım Yönetimi	o	o	o	o	o	o	o
Ürün Destek Yönetimi	o	o	o	o	o	o	o

Blokzincir teknolojisinin kurumlar arası düzeyde karşılıklı güven çerçevesinde stratejik kararlar alınmasına imkan sunan "Tedarikçilerle İşbirliği" özelliğini aşağıdaki operasyonel süreçlerde önemlilik düzeyine göre değerlendiriniz.

	Kesinlikle Yüksek	Orta derecede yüksek	Yüksek	Ilımlı	Düşük	Orta derecede düşük	Kesinlikle düşük
Depolama	o	o	o	o	o	o	o
Malzeme Yönetimi	o	o	o	o	o	o	o
Finansal Analiz	o	o	o	o	o	o	o
Veri Yönetimi	o	o	o	o	o	o	o
Bakım - Onarım Yönetimi	o	o	o	o	o	o	o
Ürün Destek Yönetimi	o	o	o	o	o	o	o

Blokzincir teknolojisi, iç verimliliği ve etkinliği artırmak için maliyet yoğun bir teknolojidir. Uygulamanın maliyeti caydırıcı olabilmektedir. Bu doğrultuda aşağıdaki iş süreçlerini "Yatırım Maliyeti" kriterini göz önünde bulundurarak size uygun gelen önem derecesine göre değerlendiriniz:

	Kesinlikle Yüksek	Orta derecede yüksek	Yüksek	Ilımlı	Düşük	Orta derecede düşük	Kesinlikle düşük
Depolama	o	o	o	o	o	o	o
Malzeme Yönetimi	o	o	o	o	o	o	o
Finansal Analiz	o	o	o	o	o	o	o
Veri Yönetimi	o	o	o	o	o	o	o
Bakım - Onarım Yönetimi	o	o	o	o	o	o	o
Ürün Destek Yönetimi	o	o	o	o	o	o	o

Blokzincir teknolojisinin izlenebilirlik yapısı sayesinde azaltılmış işçilik maliyetleri ile pek çok sektörde ürün takibi yapılabilir. İHA lojistik destek süreçleri için düşündüğünüzde blokzincir teknolojisinde "Ürün Takibi" özelliğini aşağıdaki operasyonel süreçler için değerlendiriniz.

	Kesinlikle Yüksek	Orta derecede yüksek	Yüksek	Ilımlı	Düşük	Orta derecede düşük	Kesinlikle düşük
Depolama	o	o	o	o	o	o	o
Malzeme Yönetimi	o	o	o	o	o	o	o
Finansal Analiz	o	o	o	o	o	o	o
Veri Yönetimi	o	o	o	o	o	o	o
Bakım - Onarım Yönetimi	o	o	o	o	o	o	o
Ürün Destek Yönetimi	o	o	o	o	o	o	o

Aşağıdaki İHA lojistik destek sistemlerini düşündüğünüzde "Modüler Mimari" özelliğini önem düzeyine göre değerlendiriniz.

	Kesinlikle Yüksek	Orta derecede yüksek	Yüksek	Ilımlı	Düşük	Orta derecede düşük	Kesinlikle düşük
Depolama	o	o	o	o	o	o	o
Malzeme Yönetimi	o	o	o	o	o	o	o
Finansal Analiz	o	o	o	o	o	o	o
Veri Yönetimi	o	o	o	o	o	o	o
Bakım - Onarım Yönetimi	o	o	o	o	o	o	o
Ürün Destek Yönetimi	o	o	o	o	o	o	o

B
ETİK KURUL BEYANI

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
Sosyal ve Beşeri Bilimler Araştırmaları Etik Kurulu

Toplantı Tarihi: 02.05.2025 **Toplantı No: 2025.05**

SOSYAL VE BEŞERİ BİLİMLER ARAŞTIRMALARI ETİK KURULU TOPLANTI KARARI

Yürütücülüğünü Üniversitemiz Fen Bilimleri Enstitüsü öğretim üyelerinden DR. Öğretim Üyesi Özge Nalan BİLİŞİK danışmanlığında lisansüstü öğrencisi GÜZİDE UYGUN tarafından yapılacak olan "İnsansız Hava Aracı Lojistik Takip Sistemlerinde Blok Zincir Teknolojisinin Değerlendirilmesi" adlı çalışma ve bu çalışmada kullanılacak veri toplama araçları ve yöntemlerine ilişkin bilgilerde etiğe aykırı herhangi bir bulguya rastlanmamıştır.

Etik Kurul Üyeleri

DocuSigned by: Murat Donduran
Prof. Dr. Murat DONDURAN
Başkan

DocuSigned by:
Prof. Dr. Fatih GÜLGEN
Üye

DocuSigned by: Yiğit Evren
Prof. Dr. Yiğit EVREN
Üye

DocuSigned by: Begüm Satıcı
Doç. Dr. Begüm SATICI
Üye

DocuSigned by:
Doç. Dr. Nur CEMELELİOĞLU
Üye

DocuSigned by: Gülbin Özkan
Doç. Dr. Gülbin ÖZKAN
Üye

DocuSigned by: Hasan Ağan Karaduman
Dr. Öğr. Üyesi H. Ağan KARADUMAN
Üye

Taş Bina A-2013 Oda Davutpaşa Kampüsü Esenler/İstanbul Tel: (0212) 383 31 18
E-posta: sbemdr@yildiz.edu.tr - Web: sbe.yildiz.edu.tr
Rapor Doğrulama Adresi: "etik.yildiz.edu.tr/dogrula" Rapor No: 20250505356 Doğrulama Kodu: 29156

C
KRİTERLERE İLİŞKİN UZMAN DEĞERLENDİRMELERİ

	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8	K_9
U_1	KTE	ÇFTE	OTE	N	OTE	KTE	KTE	OTE	ÇFTE
U_2	KTE	ÇFTE	OTE	ÇFTE	OTE	DATE	ÇFTE	ÇFTE	ÇFTE
U_3	OTE	OTE	ÇFTE	ÇFTE	OTE	KTE	KTE	ÇFTE	ÇFTE
U_4	OTE	OTE	ÇFTE	ÇFTE	OTE	KTE	KTE	ÇFTE	ÇFTE
U_5	KTE	ÇFTE	ÇFTE	KTE	ÇFTE	ÇFTE	ÇFTE	ÇFTE	ÇFTE
U_6	KTE	ÇFTE	ÇFTE	KTE	KTE	KTE	ÇFTE	ÇFTE	KTE
U_7	KTE	ÇFTE	KTE	KTE	OTE	KTE	ÇFTE	OTE	ÇFTE
U_8	OTE	OTE	OTE	OTE	OTE	OTE	ÇFTE	OTE	OTE
U_9	ÇFTE	ÇFTE	ÇFTE	ÇFTE	OTE	KTE	OTE	OTE	ÇFTE
U_{10}	OTE	ÇFTE	OTE	OTE	ÇFTE	ÇFTE	OTE	ÇFTE	OTE
U_{11}	ÇFTE	ÇFTE	N	OTE	OTE	OTE	ÇFTE	ÇFTE	ÇFTE

	K_1		K_2		K_3		K_4		K_5		K_6		K_7		K_8		K_9	
U_1	0,9	0,6	0,8	0,6	0,75	0,6	0,5	0,5	0,75	0,6	0,9	0,6	0,9	0,6	0,75	0,6	0,8	0,6
U_2	0,9	0,6	0,8	0,6	0,75	0,6	0,8	0,6	0,75	0,6	0,6	0,7	0,8	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6
U_3	0,75	0,6	0,75	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,75	0,6	0,9	0,6	0,9	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6
U_4	0,75	0,6	0,75	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,75	0,6	0,9	0,6	0,9	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6
U_5	0,9	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,9	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6
U_6	0,9	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,9	0,6	0,9	0,6	0,9	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,9	0,6
U_7	0,9	0,6	0,8	0,6	0,9	0,6	0,9	0,6	0,75	0,6	0,9	0,6	0,8	0,6	0,75	0,6	0,8	0,6
U_8	0,75	0,6	0,75	0,6	0,75	0,6	0,75	0,6	0,75	0,6	0,75	0,6	0,8	0,6	0,75	0,6	0,75	0,6
U_9	0,8	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,75	0,6	0,9	0,6	0,75	0,6	0,75	0,6	0,8	0,6
U_{10}	0,75	0,6	0,8	0,6	0,75	0,6	0,75	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,75	0,6	0,8	0,6	0,75	0,6
U_{11}	0,8	0,6	0,8	0,6	0,5	0,5	0,75	0,6	0,75	0,6	0,75	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6

D
UZMANLARIN KRİTER TEMELLİ ALTERNATİF DEĞERLENDİRMELERİ

		K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8	K_9
Y1	U_1	Y	Y	D.	I	O. D.	K. Y	K. Y	Y	Y
	U_2	Y	K. Y	Y	O. D.	O. D.	D.	K. Y	Y	Y
	U_3	Y	K. Y	Y	O. D.	K. Y	O. D.	K. Y	O. D.	Y
	U_4	Y	K. Y	O. D.	Y	O. D.	O. D.	O. D.	Y	Y
	U_5	O. D.	O. D.	K. Y	O. D.	Y	O. D.	K. Y	Y	O. D.
	U_6	O. D.	O. D.	O. D.	O. D.	Y	O. D.	Y	Y	O. D.
	U_7	I	K. Y	I	Y	I	O. D.	O. D.	O. D.	O. D.
	U_8	O. D.	O. D.	O. D.	K. Y	I	O. D.	K. Y	O. D.	Y
	U_9	I	I	I	Y	D.	I	O. D.	D.	D.
	U_{10}	O. D.	Y	Y	O. D.	O. D.	O. D.	Y	Y	O. D.
	U_{11}	O. D.	I	Y	O. D.	Y	Y	O. D.	Y	Y
Y2	U_1	O. D.	I	I	Y	Y	K. Y	O. D.	O. D.	O. D.
	U_2	O. D.	K. Y	O. D.	O. D.	K. Y	D.	K. Y	Y	O. D.
	U_3	Y	K. Y	O. D.	O. D.	K. Y	O. D.	K. Y	O. D.	O. D.
	U_4	O. D.	K. Y	K. Y	Y	Y	Y	Y	Y	O. D.
	U_5	O. D.	O. D.	K. Y	O. D.	Y	K. Y	K. Y	Y	O. D.
	U_6	O. D.	O. D.	O. D.	K. Y	O. D.	O. D.	Y	Y	O. D.
	U_7	Y	K. Y	I	K. Y	I	O. D.	K. Y	K. Y	D.
	U_8	O. D.	K. Y	K. Y	K. Y	Y	O. D.	K. Y	O. D.	Y
	U_9	Y	Y	Y	Y	D.	I	Y	I	O. D.
	U_{10}	O. D.	Y	Y	O. D.	O. D.	O. D.	Y	Y	Y
	U_{11}	O. D.	I	I	O. D.	Y	Y	O. D.	Y	Y
Y3	U_1	K. Y	K. Y	K. Y	D.	O. D.	Y	K. D.	Y	K. Y
	U_2	K. Y	K. Y	O. D.	Y	K. Y	D.	O. D.	O. D.	K. Y
	U_3	K. Y	K. Y	O. D.	O. D.	O. D.	O. D.	O. D.	O. D.	K. Y
	U_4	Y	O. D.	O. D.	O. D.	O. D.	O. D.	O. D.	O. D.	Y
	U_5	K. Y	K. Y	K. Y	K. Y	K. Y	K. Y	K. Y	K. Y	O. D.
	U_6	O. D.	O. D.	O. D.	K. Y	O. D.	K. Y	O. D.	O. D.	K. Y
	U_7	K. Y	K. Y	O. D.	O. D.	Y	O. D.	Y	Y	Y
	U_8	K. Y	K. Y	K. Y	K. Y	K. Y	K. Y	K. Y	O. D.	K. Y
	U_9	K. Y	Y	Y	O. D.	O. D.	Y	O. D.	Y	D.
	U_{10}	Y	Y	Y	O. D.	O. D.	O. D.	Y	Y	O. D.
	U_{11}	O. D.	Y	Y	Y	Y	O. D.	O. D.	Y	O. D.

		K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8	K_9
Y4	U_1	K. Y	O. D.	Y	K. D.	D.	Y	D.	O. D.	Y
	U_2	K. Y	K. Y	O. D.	Y	O. D.	D.	O. D.	O. D.	K. Y
	U_3	O. D.	K. Y	O. D.	O. D.	O. D.	O. D.	O. D.	O. D.	K. Y
	U_4	O. D.	K. Y	O. D.	Y	Y	Y	Y	Y	O. D.
	U_5	K. Y	K. Y	K. Y	K. Y	K. Y	K. Y	K. Y	K. Y	O. D.
	U_6	O. D.	O. D.	O. D.	K. Y	O. D.	K. Y	O. D.	O. D.	O. D.
	U_7	K. Y	K. Y	Y	K. Y	Y	O. D.	O. D.	Y	I
	U_8	K. Y	K. Y	K. Y	K. Y	O. D.	K. Y	K. Y	O. D.	O. D.
	U_9	K. Y	Y	I	Y	D.	Y	O. D.	I	I
	U_{10}	Y	Y	Y	O. D.	O. D.	O. D.	Y	Y	O. D.
	U_{11}	O. D.	Y	Y	O. D.	Y	Y	O. D.	Y	Y
Y5	U_1	Y	K. Y	O. D.	K. Y	K. Y	O. D.	I	I	I
	U_2	O. D.	K. Y	O. D.	Y	O. D.	D.	O. D.	O. D.	K. Y
	U_3	O. D.	O. D.	O. D.	O. D.	O. D.	O. D.	K. Y	O. D.	K. Y
	U_4	Y	O. D.	O. D.	O. D.	O. D.	O. D.	O. D.	O. D.	Y
	U_5	O. D.	O. D.	O. D.	O. D.	O. D.	K. Y	K. Y	O. D.	O. D.
	U_6	O. D.	O. D.	O. D.	K. Y	O. D.	K. Y	O. D.	Y	O. D.
	U_7	O. D.	O. D.	Y	O. D.	I	O. D.	O. D.	K. Y	I
	U_8	K. Y	K. Y	K. Y	K. Y	O. D.	O. D.	K. Y	O. D.	Y
	U_9	O. D.	Y	Y	Y	D.	Y	O. D.	I	Y
	U_{10}	O. D.	Y	Y	O. D.	O. D.	O. D.	Y	Y	O. D.
	U_{11}	O. D.	Y	Y	O. D.	Y	Y	O. D.	Y	O. D.
Y6	U_1	I	O. D.	K. Y	O. D.	D.	K. Y	K. Y	K. Y	K. Y
	U_2	O. D.	K. Y	O. D.	O. D.	K. Y	D.	K. Y	O. D.	K. Y
	U_3	O. D.	O. D.	O. D.	O. D.	O. D.	O. D.	K. Y	O. D.	K. Y
	U_4	Y	K. Y	O. D.	Y	Y	Y	Y	Y	O. D.
	U_5	K. Y	K. Y	K. Y	K. Y	K. Y	K. Y	K. Y	K. Y	O. D.
	U_6	O. D.	O. D.	O. D.	O. D.	O. D.	K. Y	O. D.	Y	O. D.
	U_7	K. Y	O. D.	O. D.	K. Y	Y	O. D.	O. D.	K. Y	Y
	U_8	K. Y	K. Y	K. Y	K. Y	K. Y	O. D.	K. Y	O. D.	Y
	U_9	O. D.	Y	Y	Y	D.	Y	O. D.	I	I
	U_{10}	Y	Y	Y	O. D.	O. D.	O. D.	Y	Y	O. D.
	U_{11}	O. D.	Y	Y	O. D.	Y	O. D.	O. D.	Y	O. D.

		K_1		K_2		K_3		K_4		K_5		K_6		K_7		K_8		K_9	
Y1	U_1	0.75	0.6	0.75	0.6	0.6	0.7	0.5	0.5	0.8	0.65	0.9	0.6	0.9	0.6	0.75	0.6	0.75	0.6
	U_2	0.75	0.6	0.9	0.6	0.75	0.6	0.8	0.65	0.8	0.65	0.6	0.7	0.9	0.6	0.75	0.6	0.75	0.6
	U_3	0.75	0.6	0.9	0.6	0.75	0.6	0.8	0.65	0.9	0.6	0.8	0.65	0.9	0.6	0.8	0.65	0.75	0.6
	U_4	0.75	0.6	0.9	0.6	0.8	0.65	0.75	0.6	0.8	0.65	0.8	0.65	0.8	0.65	0.75	0.6	0.75	0.6
	U_5	0.8	0.65	0.8	0.65	0.9	0.6	0.8	0.65	0.75	0.6	0.8	0.65	0.9	0.6	0.75	0.6	0.8	0.65
	U_6	0.8	0.65	0.8	0.65	0.8	0.65	0.8	0.65	0.75	0.6	0.8	0.65	0.75	0.6	0.75	0.6	0.8	0.65
	U_7	0.5	0.5	0.9	0.6	0.5	0.5	0.75	0.6	0.5	0.5	0.7	0.8	0.8	0.65	0.8	0.65	0.7	0.8
	U_8	0.8	0.65	0.8	0.65	0.8	0.65	0.9	0.6	0.5	0.5	0.8	0.65	0.9	0.6	0.8	0.65	0.75	0.6
	U_9	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.75	0.6	0.6	0.7	0.5	0.5	0.8	0.65	0.6	0.7	0.6	0.7
	U_{10}	0.8	0.65	0.75	0.6	0.75	0.6	0.8	0.65	0.8	0.65	0.8	0.65	0.75	0.6	0.75	0.6	0.8	0.65
	U_{11}	0.8	0.65	0.5	0.5	0.75	0.6	0.8	0.65	0.75	0.6	0.75	0.6	0.8	0.65	0.75	0.6	0.75	0.6
Y2	U_1	0.8	0.65	0.5	0.5	0.5	0.5	0.75	0.6	0.75	0.6	0.9	0.6	0.8	0.65	0.8	0.65	0.8	0.65
	U_2	0.8	0.65	0.9	0.6	0.8	0.65	0.8	0.65	0.9	0.6	0.6	0.7	0.9	0.6	0.75	0.6	0.8	0.65
	U_3	0.75	0.6	0.9	0.6	0.8	0.65	0.8	0.65	0.9	0.6	0.8	0.65	0.9	0.6	0.8	0.65	0.8	0.65
	U_4	0.8	0.65	0.9	0.6	0.9	0.6	0.75	0.6	0.75	0.6	0.75	0.6	0.75	0.6	0.75	0.6	0.8	0.65
	U_5	0.8	0.65	0.8	0.65	0.9	0.6	0.8	0.65	0.75	0.6	0.9	0.6	0.9	0.6	0.75	0.6	0.8	0.65
	U_6	0.8	0.65	0.8	0.65	0.8	0.65	0.9	0.6	0.8	0.65	0.8	0.65	0.75	0.6	0.75	0.6	0.8	0.65
	U_7	0.75	0.6	0.9	0.6	0.5	0.5	0.9	0.6	0.5	0.5	0.7	0.8	0.9	0.6	0.9	0.6	0.6	0.7
	U_8	0.8	0.65	0.9	0.6	0.9	0.6	0.9	0.6	0.75	0.6	0.8	0.65	0.9	0.6	0.8	0.65	0.75	0.6
	U_9	0.75	0.6	0.75	0.6	0.75	0.6	0.75	0.6	0.6	0.7	0.5	0.5	0.75	0.6	0.5	0.5	0.8	0.65
	U_{10}	0.8	0.65	0.75	0.6	0.75	0.6	0.8	0.65	0.8	0.65	0.8	0.65	0.75	0.6	0.75	0.6	0.75	0.6
	U_{11}	0.8	0.65	0.5	0.5	0.5	0.5	0.8	0.65	0.75	0.6	0.75	0.6	0.8	0.65	0.75	0.6	0.75	0.6
Y3	U_1	0.9	0.6	0.9	0.6	0.9	0.6	0.6	0.7	0.8	0.65	0.75	0.6	0.6	0.9	0.75	0.6	0.9	0.6
	U_2	0.9	0.6	0.9	0.6	0.8	0.65	0.75	0.6	0.9	0.6	0.6	0.7	0.8	0.65	0.8	0.65	0.9	0.6
	U_3	0.9	0.6	0.9	0.6	0.8	0.65	0.8	0.65	0.8	0.65	0.8	0.65	0.8	0.65	0.8	0.65	0.9	0.6
	U_4	0.75	0.6	0.8	0.65	0.8	0.65	0.8	0.65	0.8	0.65	0.8	0.65	0.8	0.65	0.8	0.65	0.75	0.6
	U_5	0.9	0.6	0.9	0.6	0.9	0.6	0.9	0.6	0.9	0.6	0.9	0.6	0.9	0.6	0.9	0.6	0.8	0.65
	U_6	0.8	0.65	0.8	0.65	0.8	0.65	0.9	0.6	0.8	0.65	0.9	0.6	0.8	0.65	0.8	0.65	0.9	0.6
	U_7	0.9	0.6	0.9	0.6	0.8	0.65	0.8	0.65	0.75	0.6	0.7	0.8	0.75	0.6	0.75	0.6	0.75	0.6
	U_8	0.9	0.6	0.9	0.6	0.9	0.6	0.9	0.6	0.9	0.6	0.9	0.6	0.9	0.6	0.8	0.65	0.9	0.6
	U_9	0.9	0.6	0.75	0.6	0.75	0.6	0.8	0.65	0.7	0.8	0.75	0.6	0.8	0.65	0.75	0.6	0.6	0.7
	U_{10}	0.75	0.6	0.75	0.6	0.75	0.6	0.8	0.65	0.8	0.65	0.8	0.65	0.75	0.6	0.75	0.6	0.8	0.65
	U_{11}	0.8	0.65	0.75	0.6	0.75	0.6	0.75	0.6	0.75	0.6	0.8	0.65	0.8	0.65	0.75	0.6	0.8	0.65

		K_1		K_2		K_3		K_4		K_5		K_6		K_7		K_8		K_9	
Y4	U_1	0.9	0.6	0.8	0.65	0.75	0.6	0.6	0.9	0.6	0.7	0.75	0.6	0.6	0.7	0.8	0.65	0.75	0.6
	U_2	0.9	0.6	0.9	0.6	0.8	0.65	0.75	0.6	0.8	0.65	0.6	0.7	0.8	0.65	0.8	0.65	0.9	0.6
	U_3	0.8	0.65	0.9	0.6	0.8	0.65	0.8	0.65	0.8	0.65	0.8	0.65	0.8	0.65	0.8	0.65	0.9	0.6
	U_4	0.8	0.65	0.9	0.6	0.8	0.65	0.75	0.6	0.75	0.6	0.75	0.6	0.75	0.6	0.75	0.6	0.8	0.65
	U_5	0.9	0.6	0.9	0.6	0.9	0.6	0.9	0.6	0.9	0.6	0.9	0.6	0.9	0.6	0.9	0.6	0.8	0.65
	U_6	0.8	0.65	0.8	0.65	0.8	0.65	0.9	0.6	0.8	0.65	0.9	0.6	0.8	0.65	0.8	0.65	0.8	0.65
	U_7	0.9	0.6	0.9	0.6	0.75	0.6	0.9	0.6	0.75	0.6	0.7	0.8	0.8	0.65	0.75	0.6	0.5	0.5
	U_8	0.9	0.6	0.9	0.6	0.9	0.6	0.9	0.6	0.8	0.65	0.9	0.6	0.9	0.6	0.8	0.65	0.8	0.65
	U_9	0.9	0.6	0.75	0.6	0.5	0.5	0.75	0.6	0.6	0.7	0.75	0.6	0.8	0.65	0.5	0.5	0.5	0.5
	U_{10}	0.75	0.6	0.75	0.6	0.75	0.6	0.8	0.65	0.8	0.65	0.8	0.65	0.75	0.6	0.75	0.6	0.8	0.65
	U_{11}	0.8	0.65	0.75	0.6	0.75	0.6	0.8	0.65	0.75	0.6	0.75	0.6	0.8	0.65	0.75	0.6	0.75	0.6
Y5	U_1	0.75	0.6	0.9	0.6	0.8	0.65	0.9	0.6	0.9	0.6	0.8	0.65	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	U_2	0.8	0.65	0.9	0.6	0.8	0.65	0.75	0.6	0.8	0.65	0.6	0.7	0.8	0.65	0.8	0.65	0.9	0.6
	U_3	0.8	0.65	0.8	0.65	0.8	0.65	0.8	0.65	0.8	0.65	0.8	0.65	0.9	0.6	0.8	0.65	0.9	0.6
	U_4	0.75	0.6	0.8	0.65	0.8	0.65	0.8	0.65	0.8	0.65	0.8	0.65	0.8	0.65	0.8	0.65	0.75	0.6
	U_5	0.8	0.65	0.8	0.65	0.8	0.65	0.8	0.65	0.8	0.65	0.9	0.6	0.9	0.6	0.8	0.65	0.8	0.65
	U_6	0.8	0.65	0.8	0.65	0.8	0.65	0.9	0.6	0.8	0.65	0.9	0.6	0.8	0.65	0.75	0.6	0.8	0.65
	U_7	0.8	0.65	0.8	0.65	0.75	0.6	0.8	0.65	0.5	0.5	0.7	0.8	0.8	0.65	0.9	0.6	0.5	0.5
	U_8	0.9	0.6	0.9	0.6	0.9	0.6	0.9	0.6	0.8	0.65	0.8	0.65	0.9	0.6	0.8	0.65	0.75	0.6
	U_9	0.8	0.65	0.75	0.6	0.75	0.6	0.75	0.6	0.6	0.7	0.75	0.6	0.8	0.65	0.5	0.5	0.75	0.6
	U_{10}	0.8	0.65	0.75	0.6	0.75	0.6	0.8	0.65	0.8	0.65	0.8	0.65	0.75	0.6	0.75	0.6	0.8	0.65
	U_{11}	0.8	0.65	0.75	0.6	0.75	0.6	0.8	0.65	0.75	0.6	0.75	0.6	0.8	0.65	0.75	0.6	0.8	0.65
Y6	U_1	0.5	0.5	0.8	0.65	0.9	0.6	0.8	0.65	0.6	0.7	0.9	0.6	0.9	0.6	0.9	0.6	0.9	0.6
	U_2	0.8	0.65	0.9	0.6	0.8	0.65	0.8	0.65	0.9	0.6	0.6	0.7	0.9	0.6	0.8	0.65	0.9	0.6
	U_3	0.8	0.65	0.8	0.65	0.8	0.65	0.8	0.65	0.8	0.65	0.8	0.65	0.9	0.6	0.8	0.65	0.9	0.6
	U_4	0.75	0.6	0.9	0.6	0.8	0.65	0.75	0.6	0.75	0.6	0.75	0.6	0.75	0.6	0.75	0.6	0.8	0.65
	U_5	0.9	0.6	0.9	0.6	0.9	0.6	0.9	0.6	0.9	0.6	0.9	0.6	0.9	0.6	0.9	0.6	0.8	0.65
	U_6	0.8	0.65	0.8	0.65	0.8	0.65	0.8	0.65	0.8	0.65	0.9	0.6	0.8	0.65	0.75	0.6	0.8	0.65
	U_7	0.9	0.6	0.8	0.65	0.8	0.65	0.9	0.6	0.75	0.6	0.7	0.8	0.8	0.65	0.9	0.6	0.75	0.6
	U_8	0.9	0.6	0.9	0.6	0.9	0.6	0.9	0.6	0.9	0.6	0.8	0.65	0.9	0.6	0.8	0.65	0.75	0.6
	U_9	0.8	0.65	0.75	0.6	0.75	0.6	0.75	0.6	0.6	0.7	0.75	0.6	0.8	0.65	0.5	0.5	0.5	0.5
	U_{10}	0.75	0.6	0.75	0.6	0.75	0.6	0.8	0.65	0.8	0.65	0.8	0.65	0.75	0.6	0.75	0.6	0.8	0.65
	U_{11}	0.8	0.65	0.75	0.6	0.75	0.6	0.8	0.65	0.75	0.6	0.8	0.65	0.8	0.65	0.75	0.6	0.8	0.65

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. Uygun, G., & Bilişik, Ö. N. (2025). Unmanned aerial vehicle logistics tracking systems: Evaluation of blockchain technologies. Paper presented at the 3rd Bursa International Trade and Logistics Symposium, Bursa Technical University, Bursa, Türkiye. https://www.iksadkongre.com/_files/ugd/614b1f_be855cbb97014b4dadc4f1b28d9ec8b1.pdf