

ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İHA SAVUNMA SİSTEMLERİNDE KARAR DESTEK UYGULAMASI

Aytunç KOYUNCU

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ANKARA
2024

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

İHA SAVUNMA SİSTEMLERİNDE KARAR DESTEK UYGULAMASI

Aytunç KOYUNCU

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik - Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Ahmet AKBULUT

Günümüzde, mini/mikro ve taktik dronların kullanımının yaygınlaşmasıyla beraber dronlar kritik tesisler için ciddi boyutlarda tehlike arz etmektedirler. Gerek istihbarat toplamak amacıyla gerekse doğrudan fiziksel saldırı amaçlı olmak üzere birçok faaliyette kullanılabilen söz konusu dronların savunulmaları veya bertaraf edilmeleri konuları da bu ölçüde kritik önem taşımaktadır.

Dron önleme sistemlerinde hedeflerin kabiliyetlerine ve anlık konumlarına göre uygulanabilecek pek çok işlevsel imha (softkill) ve fiziksel imha (hard-kill) alt sistemleri bulunmaktadır. Bu sistemler icra etmekle yükümlü oldukları kritik görev doğrultusunda bu sistemleri kullanan operatörlere ciddi sorumluluklar yüklemektedirler. Bu noktada dron önleme sistemlerinin maksimum başarı ve verimlilikle kullanılabilmesi ve operatörlere farkındalık kazandırılması adına belli bir tehdit değerlendirme ve silah tahsisi problemi ve çözümü kritik önem taşımaktadır.

Olası bir dron saldırısı anında dron önleme sistemlerinin kullanımında performans, maliyet ve çevresel hasar faktörlerinin stres altında göz önünde bulundurulamaması sorununa çözüm olarak, söz konusu problemin Java altyapısıyla matematiksel modellenmesi ve çözümlenmesi hedeflenmiştir. Bu doğrultuda oluşacak nihai hedef-sistem tablolarının uygun atama algoritmalarıyla söz konusu problemin optimal çözüme ulaştırılması ve bu sayede dron önleme sistem operatörlerine stres altında bir karar destek mekanizması oluşturulmuştur. Geliştirilen uygulama, çeşitli saldırı ve savunma senaryoları benzetilerek denenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre her algoritmanın doğruluk/güvenilirlik, hesaplama süresi, ölçeklenebilirlik vb. alanlarda kendine özgü pozitif ve negatif yanları bulunmaktadır. Çalışma, bir karar destek uygulaması geliştirme anlamında başarıya ulaşmasının yanı sıra, problem çözümlerinin algoritma geliştirme aşamalarında kullanıcı gereksinimlerinin kritik önem taşıdığını çözüm sonuçlarıyla göstermiştir.

Ağustos 2024, 83 sayfa

Anahtar Kelimeler: İHA, Varlık, Fiziksel, İşlevsel, Karar Destek, Önleme, Silah Tahsisi, Tehdit Değerlendirme

ABSTRACT

Master Thesis

DECISION SUPPORT APPLICATION IN ANTI-DRONE SYSTEMS

Aytunç KOYUNCU

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical and Electronics Engineering

Supervisor: Assistant Professor Ahmet AKBULUT

In today's world, the proliferation of mini/micro and tactical drones poses a significant threat to critical infrastructure. These drones can be employed for a variety of purposes, such as gathering intelligence or conducting direct physical attacks. As a result, the need to defend against or neutralize these drones has become increasingly important.

Anti-drone systems, equipped with various neutralization subsystems, both soft kill and hard kill, can be deployed based on the drones' capabilities and real-time locations. Operators of these systems carry substantial responsibilities, emphasizing the need for a systematic approach to threat assessment and weapon allocation to ensure the highest levels of efficiency and success.

One of the challenges faced during drone countermeasures is the potential oversight of cost efficiency and flexibility under stressful conditions. To address this issue, it is proposed to mathematically model and solve the problem within a Java environment. By using appropriate assignment algorithms, the objective is to optimize the pairing of targets and systems. This approach aims to provide a decision support mechanism for anti-drone system operators, enhancing their situational awareness and decision-making capabilities, especially in high-stress scenarios. The developed application was tested by simulating various attack and defense scenarios. According to the results obtained, each algorithm has its own positive and negative aspects in areas such as accuracy/reliability, computation time, scalability, etc. In addition to achieving success in developing a decision support application, the study has shown with the solution results that user requirements are of critical importance in the algorithm development stages of problem solutions.

August 2024, 83 pages

Key Words: Drone, Asset, Hard-kill, Soft-kill, Decision Support, Threat, Evaluation, Weapon Assignment

TEŞEKKÜR

Beraber çalıştığımız süre boyunca gerek yaklaşımıyla gerekse tecrübesi ve bilgi birikimiyle desteğini daima hissettiren danışman hocam Sn. Dr. Öğretim Üyesi Ahmet AKBULUT'a teşekkürlerimi iletirim.

Aytunç KOYUNCU
Ankara, Ağustos 2024



İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI

ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	2
2.1 Sistem Tanımı	2
2.2 Savunma Modeli.....	2
2.3 Dron Savunma Sistemlerinde Kullanılan Sensörler	4
2.3.1 Radar sistemleri.....	4
2.3.2 Elektro Optik/Kızılötesi sistemler.....	5
2.3.3 RF sistemler	6
2.3.4 Akustik sistemler	7
2.4 Dron Savunma Sistemlerinde Kullanılan Etektörler.....	8
2.4.1 Karıştırıcı sistemleri.....	8
2.4.2 Yanıltma/Aldatma sistemleri	9
2.4.3 Lazer silah sistemleri	9
2.4.4 Fiziksel imha sistemleri.....	10
2.5 Hedef Seti Tanımı ve Dron Tipleri	11
2.6 Mini/Mikro Dron Saldırı Modelleri.....	12
3. MATERYAL VE YÖNTEM	14
3.1 TDST Aşamalarında Etkili Olan Faktörler, Parametreler ve Uygulanabilecek Yaklaşımlar	15
3.2 Tehdit Değerlendirme	17
3.3 Silah-Tehdit Ataması	19
3.4 Çalışmanın Olası Çözüm Yaklaşımı.....	20
3.4.1 Kaba kuvvet algoritması (Brute-Force)	23
3.4.2 Müzayede/Açık arttırma algoritması (Auction).....	24

3.4.3 En Yakın komşu algoritması (Naive Nearest Neighbors).....	25
3.4.4 Öncelikli algoritma (Priority Based)	26
3.5 Yerleşke/Nokta Savunma Senaryoları	26
3.5.1 Senaryo-1: 1 sistem 1 hedef	27
3.5.1.1 Senaryo-1'in kaba kuvvet algoritması ile çözümü	30
3.5.1.2 Senaryo-1'in açık arttırma/Müzayede algoritması ile çözümü	30
3.5.1.3 Senaryo-1'in en yakın komşu algoritması ile çözümü	31
3.5.1.4 Senaryo-1'in öncelikli algoritma ile çözümü	32
3.5.2 Senaryo-2: 4 sistem 8 hedef	33
3.5.2.1 Senaryo-2'nin kaba kuvvet algoritması ile çözümü	39
3.5.2.2 Senaryo-2'in açık arttırma algoritması ile çözümü	41
3.5.2.3 Senaryo-2'nin en yakın komşu algoritması ile çözümü	41
3.5.2.4 Senaryo-2'nin öncelikli algoritma ile çözümü	41
3.5.3 Senaryo-3: 2 sistem 5 hedef	45
3.5.3.1 Senaryo-3'ün kaba kuvvet algoritması ile çözümü	49
3.5.3.2 Senaryo-3'ün açık arttırma algoritması ile çözümü	50
3.5.3.3 Senaryo-3'ün en yakın komşu algoritması ile çözümü	50
3.5.3.4 Senaryo-3'ün öncelikli algoritma ile çözümü	51
3.5.4 Senaryo-4: 20 sistem 15 hedef	52
3.5.4.1 Senaryo-4'ün kaba kuvvet algoritması ile çözümü	60
3.5.4.2 Senaryo-4'ün açık arttırma algoritması ile çözümü	63
3.5.4.3 Senaryo-4'ün en yakın komşu algoritması ile çözümü	66
3.5.4.4 Senaryo-4'ün öncelikli algoritma ile çözümü	69
4. BULGULAR	74
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	79
KAYNAKLAR	81
ÖZGEÇMİŞ.....	83

KISALTMALAR DİZİNİ

AHP	Analytical Hierarchy Process
ANP	Analytical Network Process
E/O	Electro Optic
EKT	Elektronik Karşı Tedbir
GNSS	Global Navigation Satellite System
IFF	Identification Friend or Foe
İHA	İnsansız Hava Aracı
IR	Infrared
NP	Nondeterministic polynomial
PT	Polynomial Time
RF	Radio Frequency
RG	Repertory Grid
RKA	Radar Kesit Alanı
TE	Threat Evaluation
TEWA	Threat Evaluation and Weapon Assignment
TI	Threat Index
WA	Weapon Assigment

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Savunma model süreçleri.....	3
Şekil 2.2 İHA radarı	5
Şekil 2.3 E/O Sistem	6
Şekil 2.4 Çoklu RF sensör ile konum kestirimi	7
Şekil 2.5 Karıştırıcı sistem	8
Şekil 2.6 Fiziksel imha sistemi	11
Şekil 2.7 NATO İHA sınıfları.....	12
Şekil 3.1 Senaryo-1 saldırı ve yerleşim kurgusu.....	28
Şekil 3.2 Senaryo-2 saldırı ve yerleşim kurgusu.....	34
Şekil 3.3 Senaryo-3 saldırı ve yerleşim kurgusu.....	47
Şekil 3.4 Senaryo-4 saldırı ve yerleşim kurgusu.....	54

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Örnek tehdit skor tablosu	21
Çizelge 3.2 Örnek tehdit-skor tablosu.....	22
Çizelge 3.3 Örnek atama skor tablosu.....	22
Çizelge 3.4 Senaryo-1 hedef bilgileri.....	27
Çizelge 3.5 Senaryo-1 hedef puan tablosu	28
Çizelge 3.6 Senaryo-1 silah skor tablosu	29
Çizelge 3.7 Senaryo-1 kaba kuvvet algoritması atama tablosu.....	30
Çizelge 3.8 Senaryo-1 açık arttırma algoritması atama tablosu.....	30
Çizelge 3.9 Senaryo-1 en yakın komşu algoritması atama tablosu.....	31
Çizelge 3.10 Senaryo-1 öncelikli algoritma atama tablosu.....	32
Çizelge 3.11 Senaryo-2 hedef bilgileri.....	33
Çizelge 3.12 Senaryo-2 hedef puan tablosu	35
Çizelge 3.13 Senaryo-2 silah skor tablosu	37
Çizelge 3.14 Senaryo-2 kaba kuvvet algoritması atama tablosu.....	39
Çizelge 3.15 Senaryo-2 açık arttırma algoritması atama tablosu.....	41
Çizelge 3.16 Senaryo-2 en yakın komşu algoritması atama tablosu.....	42
Çizelge 3.17 Senaryo-2 öncelikli algoritma atama tablosu.....	44
Çizelge 3.18 Senaryo-3 hedef bilgileri.....	45
Çizelge 3.19 Senaryo-3 hedef puan tablosu	46
Çizelge 3.20 Senaryo-3 silah skor tablosu	48
Çizelge 3.21 Senaryo-3 kaba kuvvet algoritması atama tablosu.....	49
Çizelge 3.22 Senaryo-3 en yakın komşu algoritması atama tablosu.....	50
Çizelge 3.23 Senaryo-3 öncelikli algoritma atama tablosu.....	51
Çizelge 3.24 Senaryo-4 hedef bilgileri.....	52
Çizelge 3.25 Senaryo-4 hedef puan tablosu	55
Çizelge 3.26 Senaryo-4 silah skor tablosu	56
Çizelge 3.27 Senaryo-4 kaba kuvvet algoritması atama tablosu.....	60
Çizelge 3.28 Senaryo-4 kaba kuvvet algoritması atama tablosu.....	61
Çizelge 3.29 Senaryo-4 açık arttırma algoritması atama tablosu.....	63
Çizelge 3.30 Senaryo-4 açık arttırma algoritması atama tablosu.....	64

Çizelge 3.31 Senaryo-4 en yakın komşu algoritması atama tablosu.....	66
Çizelge 3.32 Senaryo-4 en yakın komşu algoritması atama tablosu.....	68
Çizelge 3.33 Senaryo-4 öncelikli algoritma atama tablosu.....	70
Çizelge 3.34 Senaryo-4 öncelikli algoritma atama tablosu.....	72
Çizelge 4.1 [3x5] algoritma güvenilirlik kıyaslama tablosu	74
Çizelge 4.2 [3x5] algoritma hesaplama süresi kıyaslama tablosu.....	74
Çizelge 4.3 [5x5] algoritma güvenilirlik kıyaslama tablosu	74
Çizelge 4.4 [5x5] algoritma hesaplama süresi kıyaslama tablosu.....	75
Çizelge 4.5 [8x8] algoritma güvenilirlik kıyaslama tablosu	75
Çizelge 4.6 [8x8] algoritma hesaplama süresi kıyaslama tablosu.....	75
Çizelge 4.7 Atama sonuçları	75

1. GİRİŞ

Bu tez çalışması, çeşitli silah sistemlerinin yeteneklerini, sınırlamalarını ve bunların farklı senaryolarda potansiyel kullanımını inceleyerek bir tehdit değerlendirme ve silah ataması sağlamaktadır. Bu süreç boyunca; silahların etkinlikleri, menzilleri ve maliyetleri gibi faktörlerin yanı sıra hedeflerin hızları, irtifaları, niyetleri vb. parametrelerle kural tabanlı bir skorlama tabanı oluşturularak, optimize edilmiş tehdit-silah atamaları hedeflenmiştir.

Değerlendirmemiz, mini/mikro dron hedef setine karşılık işlevsel imha çözümü olan karıştırıcı sistemi ve fiziksel imha çözümü olan parçacıklı mühimmat atar silah sistemleri üzerinde duracaktır. Her silah sistemi için; yetenekleri, sınırlamaları ve potansiyel uygulamalarının yanı sıra kullanılabileceği senaryolara ilişkin genel bir bakış açısı sunması amaçlanmaktadır. Ayrıca bu silahların meskûn mahal (*close quarter*) ortamlarda kullanımlarının zorlukları ve sınırlamaları belirtilmek istenmiştir.

Çalışma; Tehdit Değerlendirme, Tahsis Skoru Hesaplanması ve dört farklı atama algoritması ile tehdit-silah atamalarının optimize edilmesi aşamalarından oluşmaktadır.

Çalışma sonucunda; skor hesaplamaları süreci için oluşturulan kuralların tutarlılıkları, atama algoritmalarının doğruluk yüzdeleri ile çalışma süreleri değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1 Sistem Tanımı

Olası hedefleri değerlendirmek, önceliklendirmek ve hedefleri bertaraf etmek için Tehdit Değerlendirme ve Silah Tahsis (TDST) algoritmaları, kullanılacak en optimal silah sistemini seçmek için kullanılır. TDST algoritmaları genellikle ilgili savunma sistemini kullanan operatörlerin veya otonom sistemlerin tehditlere zamanında ve etkili bir şekilde nasıl yanıt verecekleri konusunda bilinçli kararlar almasına yardımcı olan savunma uygulamalarında kullanılır. Bu algoritmalar, gelen verileri hızlı bir şekilde gerçek zamanlı olarak işlemeli, kaynak harcamalarını ve ikincil etkiyi en aza indirirken savunma başarısını en üst düzeye çıkaran öneriler sağlamalıdır.

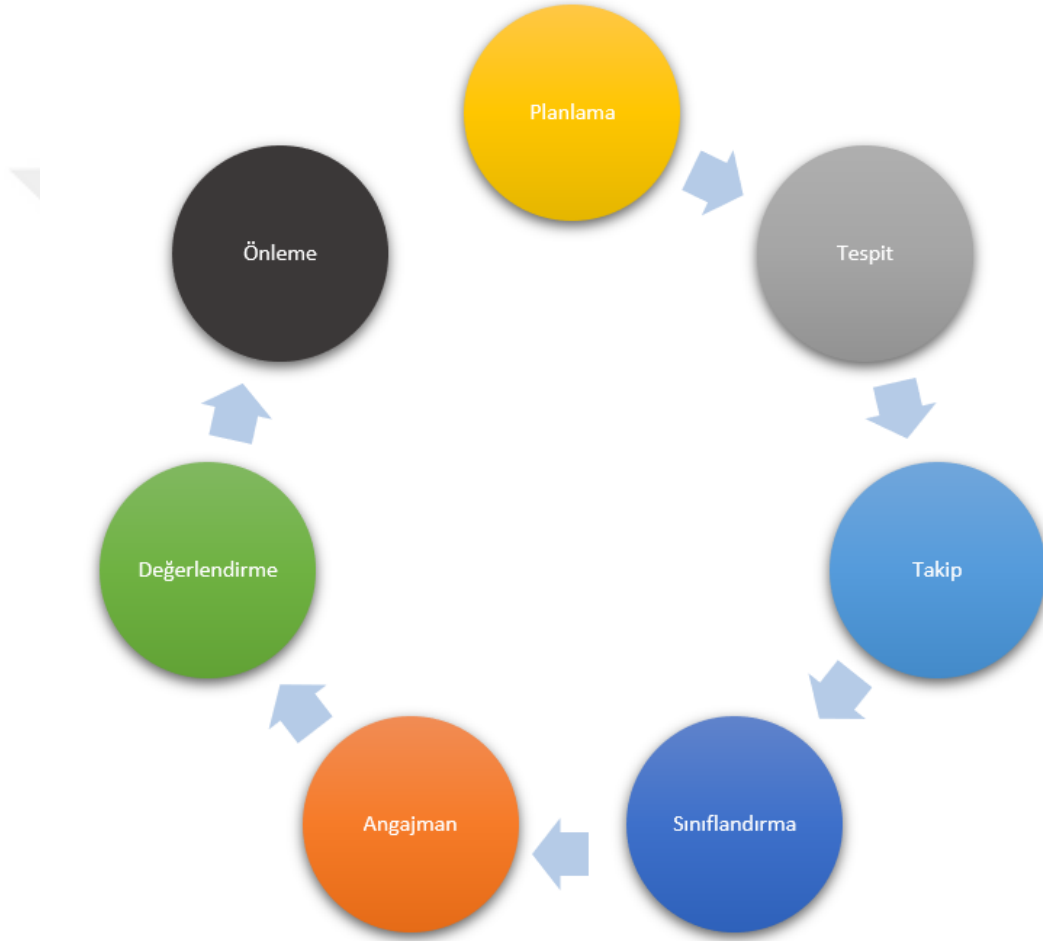
2.2 Savunma Modeli

Karşı dron sistemleri; belirli bir yerleşkenin, konumun veya alanın yetkisiz/düşman dronlara karşı tespiti, teşhisi ve imhası olarak ele alınabilir. Bu savunma modeli her bir aşamasında, bir dizi alt sistem ve barındırdıkları yeteneklerden yararlanır.

Tespit aşaması savunma modelinin ilk basamağı olup, oldukça kritik bir sürecin de başlangıcı anlamına gelmektedir. Anti dron sistemleri tespit aşamasında radar alt sistemleri, elektro optik/kızılötesi sensörler, RF (Radyo Frekans) sensörler ve akustik sensörler gibi alt sistemler ve barındırdıkları teknolojileriyle dron tespiti yapmaya çalışırlar.

Bir dron tespit edildikten sonraki aşama onu tanımlamaktır. Tanımlama aşaması, tespit edilen dronun gerçekten bir dron olup olmadığı veya dost mu yoksa düşman mı olduğunu belirlediği için kritik önem taşımaktadır. Tanımlama aşaması, dronun şekli, boyutu ve renginin analiz edilmesi gibi çeşitli teknikler kullanılarak veya dronun hareket halindeki özelliklerine göre sınıflandırılması; sinyal işleme, görüntü işleme, makine öğrenmesi, yapay zekâ vb. teknikler kullanılarak gerçekleştirilir.

Dron savunma konseptinin son aşaması, düşman dronun etkisiz hale getirilmesini veya devre dışı bırakılmasını içeren imha aşamasıdır. Bu aşama kritiktir çünkü dronun artık kamu güvenliği ve mahremiyetine yönelik bir tehdit içermemesini sağlar. İmha aşaması; karıştırma, yanıltma/aldatma, yönlendirilmiş enerji silahı, lazer silahı veya fiziksel imha silahları gibi çeşitli alt sistemler kullanılarak gerçekleştirilebilir. Savunma Model Süreçleri Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1 Savunma model süreçleri

2.3 Dron Savunma Sistemlerinde Kullanılan Sensörler

2.3.1 Radar sistemleri

Dron önleme sistemlerinde tespit, teşhis ve sınıflandırma yapabilmek üzere radar kullanımı, dron saldırılarının gittikçe yaygınlaşması sebebiyle hızla gelişen bir teknoloji alanıdır.

Radar sistemleri, radyo dalgaları yayar ve nesnelerden yansıyan sinyalleri analiz ederek dronları tespit eder. Radyo dalgalarının geri dönmesi için geçen süre, mesafenin tahmin edilmesine yardımcı olurken Doppler etkisi, dronun hızını ve yönünü ölçmek için kullanılır.

Mikro/mikro dronların Radar Kesit Alanları (RKA) uçak vb. hava araçlarına kıyasla çok daha küçük olduğu için tespit edilmeleri daha zordur. Bu sebeple modern dron radarları, dronları diğer nesnelerden ayırt etmek için gelişmiş sinyal işleme algoritmaları kullanır. Bunlar arasında, hareketli dronların neden olduğu frekanstaki Doppler kaymasını tanımlayabilen darbe Doppler radarı ve tespit edilen nesnelerin yüksek çözünürlüklü görüntülerini sağlayan sentetik açıklıklı radar (SAR) ve barındıkları yetenekler yer almaktadır.

Dron özelindeki radar sistemlerinde hedef sınıflandırması çözümü zor bir problemdir. Kuşlar gibi, dron RKA değerini ve hareket şekillerini taklit edebilen canlılar bu problemin çözümünü zorlaştırmaktadır. Bu sebeple gelişmiş radar sistemleri, dron pervanelerinin drona özgü açısal hız değerinin, diğer hareketli nesnelerden ayırmak için mikro Doppler imzalarını kullanır. Bu, dron tipinin belirlenmesine ve davranışının anlaşılmasına yardımcı olur. Dron sınıflandırması için kullanılan bir başka teknikte radar verilerini analiz etmek amacıyla makine öğrenmesi teknikleri ve özellikle de derin öğrenmedir. Bu algoritmalar gerçek zamanlı olarak yüksek doğruluk elde etmek için

dron imzalarının geniş spesifik veri kümeleri üzerinde eğitilir. Örnek bir radar görseli Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2 İHA radarı

2.3.2 Elektro Optik/Kızılötesi sistemler

E/O (Elektro-Optik) sensörlerin dron savunma sistemlerinde kullanım örnekleri termal kamera ve Day-TV (Gündüz) kamera olarak görülür. Termal kameralar 7/24 tespit, teşhis ve sınıflandırma imkânı tanırken Day-TV kameralar gün ışığı olan ortamlarda daha etkili performans sağlamaktadır. E/O sensörler dronların şeklini arka planda vurgulayarak tespit edebilir; özellikle görüntü işleme teknikleri kullanılarak arka plan gürültüsünün fazla olduğu ortamlarda tespit edilen nesnenin gerçekten bir dron olup olmadığını doğrulamaya yardımcı olur ve operatörlerin farklı dron türleri veya nesneler arasında ayırım yapabilmesi açısından farkındalığı artırır.

Kızılötesi sistemler görünür ışık yerine nesnelerin yaydığı ısıyı tespit eder; bu da onları gece operasyonları, kamuflej veya diğer görsel engellerle maskelenen dronları tespit etmek için kullanışlı kılar. Dronlar ve ilgili bileşenleri IR (*Infrared*) sensörleri tarafından tespit edilebilecek ısı dalgaları yayarlar. Bu özellikleri sayesinde düşük

görsel imzaya sahip dronlar IR sensörler tarafından daha rahat tespit/teşhis edilebilmektedir. IR sensörler; sis, duman vb. gibi görüş mesafesinin düşük olduğu durumlarda E/O sensörlerin aksine kötü hava koşullarından etkilenmeden performans vermelerine rağmen ayrıntılı bir tespit/teşhis sonucu için E/O sensörler mevcut algoritmalar sayesinde genellikle daha kullanışlıdır.

Entegre bir dron karşıtı sistemde, E/O ve IR sensörler daha güvenilir bir tespit ve karşı önlem konsepti oluşturmak için radar vb. algılama sensörleriyle birlikte çalışır. Karşı hedefin diğer algılama sensörleri tarafından tespit edilmesi üzerine, E/O ve IR sistemleri yüksek çözünürlüklü tespit/teşhis görevini üstlenir. Örnek bir E/O sistem görseli Şekil 2.3'de verilmiştir.



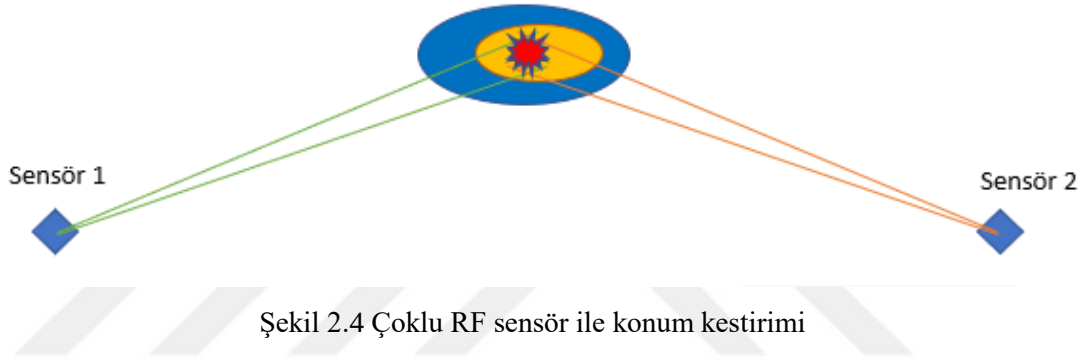
Şekil 2.3 E/O sistem

2.3.3 RF sistemler

RF sensörler dron ile kontrol cihazı arasındaki iletişim sinyallerini tespit etmek için kullanılır. Bu sensörler telemetri esnasında ortama yayılan RF sinyalleri algılayıp analiz ederek bir dronun varlığını tespit etmektedir.

Gelişmiş RF sensörler yalnızca sinyalleri tespit etmekle kalmaz, aynı zamanda çeşitli sinyal türleri arasında ayırım yaparak belirli dronları tanımlamak, hatta dost unsur ile düşman unsuru ayırt etmek için de kullanılmaktadır.

RF sensörler sinyal işleme teknikleriyle sinyalin iletiildiği yönü tayin edebilir ve bu yetenek sayesinde hem dronun hem de kumandasının konumunun belirlenmesine olanak tanır. Çoklu RF sensör kullanımlarında ise 2 boyutlu dron konum verisine yaklaşık bir değer elde edilebilir. RF sensörler ile hedef konum kestirimi Şekil 2.4’de verilmiştir.



2.3.4 Akustik sistemler

Akustik sensörler, dronların pervaneleri ve motorları tarafından üretilen kendilerine özgü ses imzalarını yakalayıarak dronların tespit edilmesinde, düşman unsurların tanımlanmasına ve izlenmesine imkân tanır.

Farklı marka/model dron ses türlerini sınıflandırmak ve ayırt etmek için gelişmiş sinyal işleme teknikleri kullanılarak dron modellerinin doğru şekilde tanımlanması sağlanır.

Çoklu akustik sensör kullanımında, ses kaynakları üçgenlenerek dron hareketlerinin gerçek zamanlı olarak izlenmesi sağlanır ve dron konum verisi yaklaşık olarak belirlenebilir.

2.4 Dron Savunma Sistemlerinde Kullanılan Efektörler

2.4.1 Karıştırıcı sistemleri

Karıştırıcı sistemleri, dron ile operatörü arasındaki iletişimi veya GNSS (*Global Navigation Satellite System*) kontrol sinyallerini bozmak için tasarlanmış dron önleme sistemlerinin en yaygın efektör grubudur.

Karıştırıcı sistemleri, dronun kontrol sinyallerini bozmak amacıyla aynı frekans bantlarında gürültü sinyalleri yayarak, dron operatöründen talimat alma, dron üzerinden veri iletme veya GNSS üzerinden konum verisi alma yeteneklerini engeller.

Entegre bir dron önleme sisteminde, karıştırıcılar RF sensörden aldıkları frekans bilgisi ile frekans ve güç ayarlarını gerçek zamanlı sinyal analizine dayalı olarak dinamik olarak ayarlar. Böylece özelleştirilmiş haberleşme frekanslarına karşı önlem alınabilir. Örnek bir karıştırıcı sistemi Şekil 2.5’de verilmiştir.



Şekil 2.5 Karıştırıcı sistem

2.4.2 Yanıltma/Aldatma sistemleri

Yanıltma/aldatacma sistemleri, dron alıcısını yanıltmak amacıyla dronun beklediği bir sinyalin manipüle edilmiş bir klonunun üretilmesi ve iletilmesini sağlar. Dron önleme sistemlerinde, yanıltma işlemleri dronların navigasyon sistemlerini, kontrolünü veya iletişim sistemlerini yanıltarak tehdidi bertaraf etmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu uygulamanın birçok farklı yöntemi vardır.

GNSS yanıltma işlemi, uydudan alınan gerçek sinyallerden daha güçlü olan sahte GNSS sinyallerinin iletilmesi ile gerçekleştirilir. Bu, dronun gerçekte olduğundan farklı bir konumda veya yükseklikte olduğuna inanmasına neden olarak navigasyon ve kontrol kaybına yol açar. GNSS yanıltma aynı zamanda dronun hızını, yüksekliğini ve yönünü değiştirmek için de kullanılabilir, bu da dronun konumunu korumasını veya daha önceden belirlenen hareket senaryosunu takip etmesini zorlaştırır.

RF yanıltma, dronun uzaktan kumandası veya iletişim sistemi tarafından kullanılan sinyalleri taklit eden sahte RF sinyallerinin iletilmesi ile meydana gelir. Bu, dronun operatörüyle bağlantısını kaybetmesine veya yanlış komutlar almasına sebebiyet vererek kontrol kaybına veya dronun önceden tanımlanmış görevinin aksamasına yol açabilir. RF yanıltma, dron yazılımını uzaktan manipüle etmek için de kullanılabilir, böylece bir hedef dronun kontrolünü ele geçirilmesi sağlanabilir.

Yanlış veri manipölasyonu, sahte video yayınları veya sahte sensör okumaları gibi sahte verilerin dron sensörlerine iletilmesi ile gerçekleştirilir. Bu işlem, dronun yanlış kararlar almasına veya yanlış eylemlerde bulunmasına neden olarak kontrol kaybına veya dronun görevinin aksamasına neden olabilir.

2.4.3 Lazer silah sistemleri

Katı hal (*solid state*) lazer silah sistemleri, hedeflere zarar vermek veya etkisiz hale getirmek için yüksek konsantrasyonlu yönlendirilmiş enerjiden yararlanır. Bu sistemler

tipik olarak kızılötesi veya görünür spektrumda çalışır ve amaçlanan uygulamaya bağlı olarak çeşitli güç çıkışı seviyeleri için tasarlanmaktadır.

Lazer silah sistemlerinin, dron önleme sistemlerinin bir parçası olarak kullanımı, geleneksel imha yöntemlerine göre maliyet, hız ve çevresel hasar bakımından daha avantajlı ve güvenli olduğu için, kullanımı daha yaygın hale gelmeye başlamaktadır.

2.4.4 Fiziksel imha sistemleri

Günümüzde, dronların; EKT (Elektronik Karşı Tedbir) karşı etkin önlemler alınması, otonom hareket kabiliyeti, görüntü işleme teknikleri ile hedefe ulaşılması, EKT sistemlerinin kullanım kısıtları ve uzun menzilde önleme yetenek ihtiyacı gibi sebepler nedeniyle fiziksel imha ihtiyacı ortaya çıkmaktadır.

En klasik fiziksel imha yöntemi hedef dronu mermi veya füze ile vurmaktır. Ancak ikincil hasar olasılığı nedeniyle bu yöntem yerleşim alanlarında çok fazla kullanılmamaktadır. Bu sistemler daha çok meskûn mahallerden uzakta konuşlu askeri birlik ve kritik tesisleri korumak amacıyla kullanılmaktadır. Füzeler ise; yüksek maliyetleri nedeniyle tercih edilmemektedir. Klasik yüksek infilaklı mermi atan bir silah ile küçük ebatlı ve çevik hareket edebilen bir dronu önlemek oldukça zordur. Bu maksatla; elektronik tapalı, parçacık tesirli 35 ve 40 mm.lik parçacıklı mühimmatlar mevcuttur. Özellikle 40 mm.lik parçacıklı mühimmat bu konseptte ön plana çıkmaktadır. Örnek bir Fiziksel İmha kurgusu Şekil 2.6'da verilmiştir.

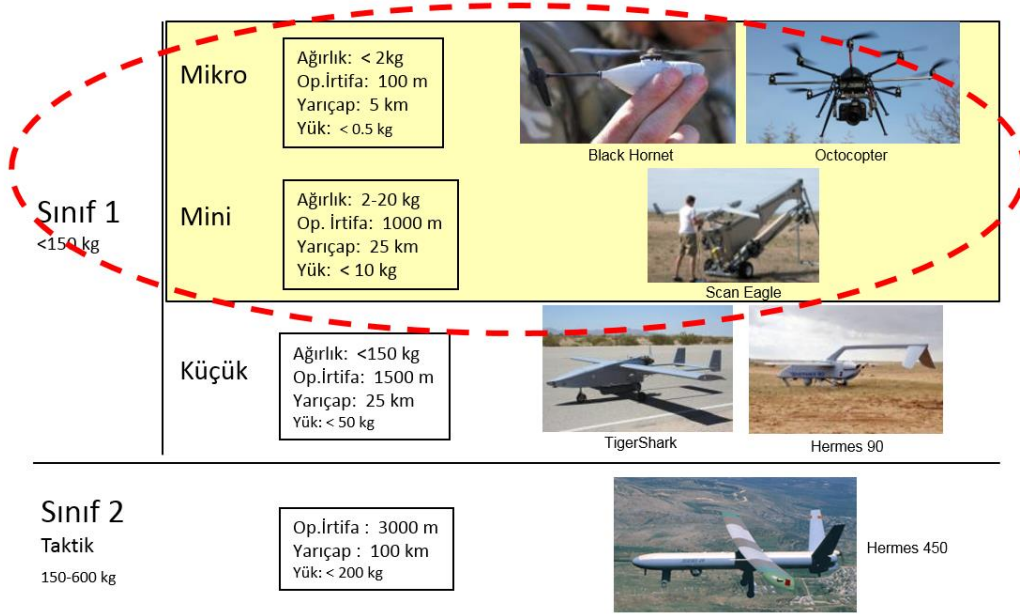


Şekil 2.6 Fiziksel imha sistemi

2.5 Hedef Seti Tanımı ve Dron Tipleri

Günümüzde, düşük maliyetleri ve kolayca temin edilebilme gibi özellikleri nedeniyle; dronlar, yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu avantajları terör örgütleri tarafından fark edilmiş ve son dönemde asimetrik tehdit vasıtası olarak, çok fazla kullanılmaktadır. Dronlar; keşif / gözetleme, küçük çaplı bombalama faaliyetlerinde, intihar bombacıların hedefe yönlendirilmesinde vb. faaliyetlerde kullanılmaktadır.

NATO'ya göre dronlar ağırlıklarına ve yeteneklerine göre üç ana kategoriye ayrılmaktadır. (Şekil-1) Sınıf 1 Küçük İHA'lar ile Sınıf 2 ve 3 kapsamındaki İHA'lar klasik Hava Savunma tehdit seti içerisine dahildir. Sınıf 1 ve Sınıf 2 İHA özellikleri ve örnekleri Şekil 2.7'de verilmiştir.



Şekil 2.7 NATO İHA sınıfları

Sınıf 1 (Mini/Mikro dronlar) dronlar, mikro grubu için 2 kg'ın altında ve kısa menzilli görevler için uygundurlar. Öte yandan mini grubu 2 ile 20 kg arasında olup, bu dron grubu da göreve kısa menzilli görevler için uygundur.

Sınıf 2 (Taktik dron) dronların ağırlığı 20 ile 150 kg arasında olup orta menzilli taktik görevlerde kullanılır. Sınıf 1 dronlara kıyasla daha uzun uçuş süreleri ve daha fazla sensör taşıma kapasitesi gibi daha gelişmiş yetenekler sunarlar.

Sınıf 3 orta/yüksek irtifa ve uzun menzilli görevler için kullanılmaktadır. Barındırdığı yeteneklerle en gelişmiş dron sınıfıdır.

2.6 Mini/Mikro Dron Saldırı Modelleri

Mini/Mikro dronlar, gözetleme ve/veya saldırı amacıyla kullanılmaktadırlar. Bu dronlar; yüksek manevra kabiliyetleri ile hedeflere yakın uçuş, mevcut sensörleri ile istihbarat toplama veya faydalı yük kapasiteleri ile saldırı gerçekleştirmelerine olanak

tanıyan yetenekler barındırırlar ve aynı zamanda düşük RKA değerleri ve küçük boyutları sebebiyle büyük dronlara kıyasla tespit edilmeleri ve engellenmeleri zordur.

Sürü dron saldırıları, bir hedefe koordineli saldırılar gerçekleştirmek için birlikte çalışan bir grup drondan oluşur. Bu dronlar birbirleriyle iletişim kurabilir ve ister keşif/gözetleme, ister faydalı yük taşıma olsun, ortak hedeflerine ulaşmak için belirli bir mantık içinde iş birliği yapar. Sürü dron saldırılarını savunması zordur ve aynı anda birden fazla yönden saldırarak kafa karışıklığı yaratabilirler.

Bireysel dron saldırıları ise keşif/gözetleme veya saldırı gibi görevleri yerine getirmek üzere bağımsız olarak çalışan tek bir dronu içerir. Bu dronlar, dronun teknolojisine ve yeteneklerine bağlı olarak bir operatör tarafından kontrol edilebildiği gibi otonom olarak da faaliyet gösterebilirler. Bu yetenek, hassas hedeflemeye ve savaş alanındaki değişen koşullara hızlı yanıt verilmesine olanak tanır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

TDST , literatürdeki birçok çalışmada:

- 1) Tehdit Değerlendirme (*Threat Evaluation - TE*) ve
- 2) Silah Tahsisi (*Weapon Assignment - WA*)

olarak iki temel adımda modellenmektedir.

TE aşamasında, her bir tehdide ilişkin olarak ilgili tehdidin önem derecesi veya önceliğini ifade eden Tehdit Endeksi'nin (*Threat Index - TI*) hesaplanması en kritik işlemdir. TI hesaplanması esnasında:

- kural tabanlı bilgi karar verme (rule-based decision making),
- çok kriterli karar verme yaklaşımlarından:
 - o Dağarcık Örgüsü (Repertory Grid - RG) (Kelly, 1955)
 - o Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) (Saaty, 1982),
 - o Analitik Ağ Süreci (ANP) (Saaty, 1986),
 - o İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Sıralama Yöntemi (TOPSIS) (Hwang ve Yoon, 1981; Yoon, 1987),
 - o Çok Kriterli ve Ödünleşimli Karar Verme Yöntemi (VIKOR) (Opricovic, 1990),
 - o Oransal Analize Dayalı Çok Amaçlı Optimizasyon Yaklaşımı (MOORA) (Brauwers ve Zavadskas, 2006),
 - o vb.

gibi yaklaşımlar ile ağırlıklandırılmış kriter puanı sıralaması/ortalaması üzerinden karar verme,

- uzman sistemler (*expert systems*),
- bulanık mantık ve/veya bulanık bilgi çıkarımı (*fuzzy logic, fuzzy inference*) ve
- oyun kuramsal yaklaşımlar (game theoretical approaches),

en sık kullanılan yaklaşımlar olarak göze çarpmaktadır. Son yıllarda, yapay zekâ (*artificial intelligence*) ya da makine öğrenmesi (*machine learning*) yaklaşımlarının da uygulanmakta olduğu görülmektedir.

WA aşamasında ise eldeki problem, tek veya çok amaçlı bir kısıtlı optimizasyon problemi olarak modellenerek gerçek zamanlı çözüm (sub-optimal bile olsa) elde edilmeye çalışılır. Eldeki problemin modellenerek formüle edilmesinde iki temel yaklaşım bulunmaktadır:

- Öncelikli/Tercihli Savunma Stratejisi (*Preferential Defence Strategy*)
- Eksiltici Savunma Stratejisi (*Subtractive Defence Strategy*)

Öncelikli/Tercihli Savunma Stratejisi tehdit bazlı bir yaklaşım olup; tehditlerin yüksek olasılıklı olarak ortadan kaldırılması (ya da tamamen etkisiz hale getirilmesi) amacını güder. Bir başka deyişle, bu strateji ile problem modellenirken amaç fonksiyonu bu doğrultuda tanımlanır. Bu yaklaşım, birçok senaryoda eldeki toplam silah sayısının üzerinde çözüm oluşturulmasına yol açar.

Eksiltici Savunma Stratejisi ise, savunması yapılacak unsur/bölge/noktaları baz alır. Bir başka deyişle, bu strateji ile problem modellenirken de savunulacak unsur/bölge/noktaları koruma etkinliği maksimize edilmeye çalışılır. Doğası gereği, bu yaklaşımın başarımı da savunması yapılacak unsur/bölge/noktaların sayısı ile ters orantılıdır. Dolayısıyla yukarıda anılan iki stratejinin melezleştirilmesi, en etkin yaklaşım olarak kabul edilmektedir.

3.1 TDST Aşamalarında Etkili Olan Faktörler, Parametreler ve Uygulanabilecek Yaklaşımlar

TDST aşamalarında göz önünde bulundurulabilecek parametreler ve faktörler sırasıyla:

1- Tehdit algıma aşaması

Tehdide İlişkin Olarak:

- Yükseklik
- Hız
- Doppler İmzası
- Radar Kesit Alanı
- Dalış Açısı
- Manevra Kabiliyeti

- Saldırı Yaklaşımı ve Bu Saldırının Muhtemel veya En Tehlikeli Düşman Hareket Tarzları ile Uyumluluğu

- Termal Görüntü

- Isı İmzası

- vb.

2- Tehdit Önem Derecesi Çıkarımı

Tehdide İlişkin Olarak:

- Savunulan Unsur/Bölge/Noktalara Uzaklık

- Hız

- Yükseklik (Yerden Yükseliğe Göre)

- Rakım (Deniz Seviyesine Göre Yükseklik)

- İstikamet

- Formasyon Oluşturup Oluşturmadığı Bilgisi

- Manevra Yapıp Yapmadığı Bilgisi

- Tip

- Silah Taşıma Kabiliyeti Olup Olmadığı Bilgisi

- Öldürücü Olup Olmadığı Bilgisi; Öldürücülük Derecesi

- IFF ve sair sorgulama yöntemlerine alınan cevaplara ve diğer göstergelere ilişkin olarak hesaplanmış Teşhis değeri (veya varsa Teşhise ilişkin bir skor değeri)

- vb.

3- Silah Seçimi

Silah Sistemine İlişkin Olarak:

- Tehdit Türüyle Eşleşip Eşleşmediği Bilgisi

- Kabiliyet

- Tehdit Türünü Etkisiz Hale Getirme Olasılığı

- Tehdit Türünü Etkisiz Kılmak İçin Minimum Menzil, Etkili Menzil, Maksimum Menzil

- Envanterdeki Miktar

- Atılan Mühimmatın Maliyeti

- vb.

4- Silah Tahsisi

Tehdide İlişkin Olarak:

- En yüksek tehdit skoruna sahip tehditten başlayarak silah atama
- En yakın tehditten başlayarak silah atama
- En önce ulaşacak tehditten başlayarak silah atama
- vb.

Silah Sistemine İlişkin Olarak:

- En yüksek öldürme olasılığı olan silahtan başlayarak silah atama
- En uzun menzilli olan silahtan başlayarak silah atama
- En düşük maliyetli mühimmatı atan silahtan başlayarak silah atama
- Uzun menzilli silahların kullanımının gerektiği durumlarda; önleyici mühimmatın gideceği güzergâh üzerinde maksimum radar kapsamı ve veri bağı bağlantısı sağlanacak şekilde (bu sayede önleyici mühimmatın seyir esnasında maksimum performansla gözlemlenerek güdülebilmesini sağlayacak şekilde) lançer/silah atama
- vb.

Genel Savunma Stratejisine İlişkin Olarak:

- Maruz kalınan saldırının Beklenen Muhtemel Düşman Hareket Tarzlarına uyması durumunda gelecek olası tehditleri de gözeterik silah atama
- vb.

Zamansallığa İlişkin Olarak:

- Tehdidin, belirli bir süre sonra silahın Angajman Zarfı'na göre daha yüksek olasılıkla tahrip edilebileceğinin kestirilmesi/tahmin edilmesi durumunda atama yapılmasına rağmen atışı en uygun zamana planlama (çizelgeleme)

adımlarıyla tanımlanabilirler.

3.2 Tehdit Değerlendirme

Tehdit Değerlendirme işlemi, temelde her bir tehdide ilişkin olarak ilgili tehdidin önem derecesi veya önceliğini ifade eden Tehdit Endeksi'nin hesaplanmasına yönelik bir süreçtir. Tehdit Endeksi'nin hesaplanmasında, tehdidin savunulan unsurlara yakınlığı, tehdidin yetenekleri ve niyetine ilişkin çıkarımlar yapılması; dolayısıyla bu çıkarımların

yapılmasına yönelik ölçütlerin tanımlanarak hesaplanması büyük önem arz eder. Söz konusu parametreler üç alt başlıkta toplanabilir:

- Yakınlık (*Closeness*)
- Yetenek (*Capability*)
- Eğilim ya da Niyet (*Intent*)

Tehdit değerini veya tehdit indeksini hesaplamaya yönelik olarak tanımlanacak parametrelerin sayısını artırmak her zaman mümkün olsa da bu değerlerin ölçülmesi zaman zaman çok zor olabilir. TE, yüksek vasıflı ve tecrübeli personelden oluşan bir ekip tarafından yürütülmesi gereken karmaşık bir işlemdir. Çok iyi bir alan/uzmanlık bilgisinin yanı sıra birçok kaynaktan gelen verilerin bilişsel olarak birleştirilmesini gerektirir.

Bir insanın zihninde yer alan karmaşık bilişsel süreçler ve kümülatif deneyimlerden ötürü; insan gibi düşünen, hatta daha insandan iyi bir performans gösteren bir TE sisteminin geliştirilmesi şu ana değin mümkün olmamıştır. Dolayısıyla, TE sistemi geliştirme çalışmalarının odak noktası, genelde insan tarafından yapılamayacak çok işlemi gerçek zamanlı olarak yerine getirerek operatöre nicel bilgi sunan Karar Destek Sistemleri'nin geliştirilmesi şeklinde gerçekleşmektedir.

Tehdit değerlendirmesine yönelik olarak bugüne değin yaygın olarak çok kriterli karar verme yöntemlerine dayalı ağırlıklandırılmış puan hesaplama, bulanık karar çıkarımı, Bayesçi ağlara dayalı karar çıkarımı, uzman yöntemlere veya oyun kuramına dayalı yöntem ve yaklaşımlar kullanılmıştır. Başta yapay sinir ağları (neural networks) olmak üzere yapay zeka (artificial intelligence) veya makine öğrenmesi (machine learning) yaklaşımları ile karar verme de son yıllarda başvurulmuş yöntemlerdendir.

Tehdit değerlendirme kapsamında yakın tarihli çalışmalar incelendiğinde; Hoccoğlu (2019)'da kural tabanlı bir yaklaşımın uygulanmış olduğu görülmektedir. Liu vd. (2018)'de ise tehdit skorunun hesaplanmasında Yakınlık/Yetenek/Eğilim'e yönelik çok sayıda kriter, Çekirdek Temel Bileşen Analizi ile desteklenmiş olan TOPSIS yöntemiyle ağırlıklandırılmıştır.

3.3 Silah-Tehdit Ataması

Silah-Tehdit Atama problemlerinde gerçek zamanlı çözüm bulunabilmesi, en temel amaçlardandır. Öte yandan bu tarz problemler, “NP-complete (*Non-Deterministic Polynomial Time-Complete*)” kesikli optimizasyon problemler sınıfına girmektedir. Bir başka deyişle, olası tüm seçenekler üzerinde “kapsamlı arama (*exhaustive search*)” işlemi gerçekleştirilmeden optimum çözümün kesin olarak tespit edilmesine yönelik başka bir yöntem bulunmamaktadır. Daha formal olarak ifade etmek gerekirse, polinom zamanlı (*polynomial time - PT*) algoritmaların boyutu, basit ve deterministik bir polinom ifadesi ile belirlenir. Bu da hızlı bir şekilde optimuma yakın bir çözüm elde edilmesi anlamına gelir. Böyle bir algoritmanın çalışma süresi, girdi boyutunun n olması durumunda $T(n) = O(nx)$ ile ifade edilir. Tüm olası seçenekler üzerinde kapsamlı bir şekilde arama gerçekleştiren Silah-Tehdit Atama (Tahsis) Algoritmaları’nda, Nw adet silah ve Nt adet tehdit için $T(Nw, Nt) = O(NweNt)$ olarak ifade edilir.

Söz konusu problemi kesin veya yaklaşık olarak çözmeye yönelik bir takım yaklaşımlar bulunmakta olup; kesin yaklaşımlar çok yüksek işlemi yükü gerektirmelerine karşın optimal çözümü bulmaları; yaklaşık çözüme dayalı sezgisel/meta-sezgiseller ise sub-optimal çözüme razı olmalarına karşın makul işlem yükü ile makûs sürelerde çözüm bulmaları ile ön plana çıkmaktadır.

Bunların yanı sıra, özellikle bölge savunmasına yönelik ve silahlardan uzun menzilli güdümlü mühimmatların atıldığı/atılacağı uygulamalarda, kısa menzil uygulamalarında bulunmayan ekstra kısıtlar da bulunmaktadır. Bunlardan başlıcaları:

- Atanacak ve atılacak mühimmatın tehlide giderken takip edeceği güzergâh boyunca maksimum radar kapsamı altında kalması; bir başka deyişle, tehditle buluşma güzergâhı en fazla radar kapsamı altında kalacak şekilde mühimmat atabilecek silah(lar)ın atama işlemi esnasında tercih edilmesi (Zhang vd., 2019);
- Kol uçuşu yapan tehditlere aynı anda atanacak olan mühimmatların, arayıcı başlıkları birbirleriyle elektromanyetik girişim yapmayacak şekilde seçilmesi (Shin, 2019).

TDST'ye ilişkin çalışmalarda bir diğ er ayrım da Statik ve Dinamik Silah Tahsisi olarak öne çıkmaktadır. Statik Silah Tahsisi'nde yapılan her bir tahsis işlemi, bir önceki veya sonraki tahsis işleminde tamamen bağımsız olarak ele alınmaktadır. Bu varsayım eldeki problemi görece basit kılmakla birlikte; zamansal bağımlılıkları doğırudan göz ardı etmektedir. Dinamik Tahsis yaklaşımları ise global anlamda optimum çözümün elde edilmesini sağılamasına karşın; problemin matematiksel formülasyonunu oldukça karmaşık bir hale getirmektedir. Kline vd. (2019)'un yakın tarihli bir tarama çalışmasında, 2018 yılı sonu itibarı ile Silah-Tehdit Ataması problemine ilişkin geniş bir literatür taraması yapılmış olup; literatürdeki çalışmaların hangilerinde statik, hangilerine dinamik modelleme yapılmış olduğı detaylandırılmıştır. Bu tarama çalışmasının bulgularına göre dinamik atamaya ilişkin modelleme çalışmalarının daha nadir olduğı, bu tür çalışmalarda daha ziyade sezgisel yaklaşımlarının uygulanmış olduğı gözlemlenmektedir.

Silah tahsisine ilişkin yakın tarihli çalışmalar incelendiğinde eldeki problemin tek veya çok amaçlı optimizasyon problemi olarak modellenerek sezgisel veya meta-sezgisel algoritmalarla   z ld ğı çalışmaların (Fu vd., 2019; Lai ve Wu, 2019; Hasan, 2019; Pan vd., 2019; Zhang vd., 2019); yapay sinir ağılarının kullanıldığı çalışmaların ön plana çıkmaya devam ettiğı görülmektedir (Ximeng vd., 2019)

3.4 Çalışmanın Olası   z m Yaklaşımı

Bu bölümde, çalışma kapsamında oluşturulacak kural tabanında kullanılan yapı taşları verilmektedir.

Statik ve Dinamik Tahsis ayrımının aşağıda belirtilen şekilde gerçekleştirilmiştir:

- Ardışık anlardaki Statik TDST çözümlerinin değıerlendirilmesine yönelik olarak Dinamik TDST   z m  yapılması.

Statik TDST çözümünün temel adımlarının da  u şekilde ger ekle tirilebileceğı   ng r lmektedir:

- Tehdit Değıerlendirme ve Skorlama Aşaması (Tehditlerin aşağıda listelenen birtakım özelliklerine göre kural tabanlı skorlama)

- o Tehdidin Tipi
 - o Tehdidin Silah/Mühimmat Taşıma Kabiliyeti; Taşınan Silahın Tipi
 - o Tehdidin Akın Büyüklüğü
 - o Tehdidin Seyir Yönü
 - o Tehdidin Sürati
 - o Tehdidin Genel Eğilimi/Yönelimi
 - o Tehdidin Varlıklara/Unsurlara Mesafesi
 - o Tehdidin İrtifası
- Tehdit-Silah Uygunluğu Değerlendirme ve Skorlama Aşaması (Tehdit-Silah ikililerinin aşağıda listelenen birtakım özelliklerine göre kural tabanlı skorlama)
- o Silah-Tehdit Vurma Etkinliği
 - o Mühimmat Maliyeti
 - o Silah-Tehdit Arası Mesafe
 - o Tehdidin İrtifası
 - o Tehdidin Sürati
 - o Tehdidin Akın Büyüklüğü
 - o Tehdidin Konumu (Meskûn mahal içerisinde olup olmadığı)
 - o Tehdidin Silah/Mühimmat Taşıma Kabiliyeti; Taşınan Silahın Tipi

TD aşamasında her bir tehdit için hesaplanmış tehdit skorları, Çizelge 3.1’de görüldüğü gibi olacaktır.

Çizelge 3.1 Örnek tehdit skor tablosu

Tehdit Skorları	Tehdit 1	Tehdit 2	...	Tehdit N
	TS1	TS2		TSN

ST’nin ilk aşamasında her bir tehdit-silah için hesaplanmış tahsis etme eğilim skorları aşağıda görüldüğü gibi olacaktır. Uygunsuz eşleşmelerde matrisin ilgili elemanlarının değerleri 0 olacaktır. Örnek bir Tehdit-Skor tablosu Çizelge 3.2’de verilmiştir

Çizelge 3.2 Örnek tehdit-skor tablosu

Tehdit-Silah Skorları	Silah 1	Silah 2	...	Silah N
Tehdit 1	Skor11	Skor12	...	Skor1N
Tehdit 2	Skor21	...	...	.
.	.	...	...	.
.	.	...	...	.
.	.	...	...	.
Tehdit Y	SkorY1	...	...	SkorYN

ST'nin ikinci aşamasında her bir tehdit-silah için tahsis uygunluk (*fitness*) skorları ise aşağıda görüldüğü gibi hesaplanacaktır. Bu aşamada yapılacak işlem, eldeki problemi endüstri mühendisliğinin klasik problemlerinden olan Genel Atama Problemi'ne (*Generalized Assignment Problem - GAP*) benzetilerek; genel ve nihai uygunluğu (*overall fitness*) maksimize edecek şekilde tehdit-silah ikililerinin belirlenmesidir. Uygunsuz eşleşmelerde matrisin ilgili elemanlarının değerleri yine 0 olacağından eldeki kısıtlı optimizasyon probleminin çözümünde de katı kısıtların sağlanması garanti altına alınmış olacaktır. Dolayısıyla eldeki problem gerek tehdit skorunu, gerekse silah-tahdit uyumluluğunu gözeten kısıtlı bir optimizasyon problemi olarak modellenmiş olacaktır. Bu modellemenin ardından problem Kaba Kuvvet (*Brute-Force*), Açık Artırma/Müzayede (*Auction*), En Yakın Komşu (*Naive Nearest Neighbors*) ve Öncelikli (*Priority Based*) algoritmaları ile çözülecektir. Örnek bir Atama Skor tablosu Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3 Örnek atama skor tablosu

Atama Skorları	Tehdit 1	Tehdit 2	...	Tehdit N
Tehdit 1	$(TS1*k) + (Skor11*n)$	$(TS2*k) + (Skor12*n)$	...	$(TSN*k) + (Skor1N*n)$
Tehdit 2	$(TS1*k) + (Skor21*n)$	...	...	.
.	.	...	...	.
.	.	...	...	.
.	.	...	...	.
Tehdit Y	$(TS1*k) + (SkorY1*n)$	...	...	$(TSN*k) + (SkorYN*n)$

3.4.1 Kaba kuvvet algoritması (Brute-Force)

Kaba kuvvet algoritması, istenen kriter bulunana kadar olası tüm çözümleri sistematik olarak deneyerek çözen kapsamlı bir arama yaklaşımıdır. Algoritma, tüm olası çözümleri yineleyerek, her birini değerlendirerek ve istenen kriterleri karşılayan ilk çözümü seçecek şekilde çalışır.

Sistemler ve hedefler arasındaki bütün olasılıkları tek tek hesaplayarak en doğru sonuca ulaşılması hedeflenmektedir. Pratik açıdan bakıldığında algoritma, çok fazla zaman ve kaynak tüketir ancak en doğru çözüm bu şekilde elde edilir. Bu algoritma çıktısı daha sonraki algoritmalar ile kıyaslanmak üzere kullanılmıştır.

Kaba kuvvet algoritmasının tüm (n) adayları kontrol etmesi gerekir. Her kontrol tipik olarak sabit bir zaman alır ($O(1)$). Bu nedenle, kaba kuvvet algoritmasının büyük O (bigO) notasyonundaki karşılığı (n) adaylar için ($O(n)$)'dir. Ancak sorunun doğasına bağlı olarak zaman karmaşıklığı daha yüksek olabilir. Örneğin, adaylar belirli öğelerin kombinasyonları veya permutasyonlarıysa, karmaşıklık faktöriyel olarak ($O(n!)$), üstel olarak ($O(2^n)$) veya ikinci dereceden ($O(n^2)$) artabilir. Giriş boyutu ne kadar büyük olursa, algoritmanın yürütülmesini tamamlaması o kadar uzun sürer; bu da kaba kuvvet algoritmalarını büyük problemler için uygulanamaz hale getirir.

Kaba kuvvet algoritmaları kavramsal olarak basit olmasına ve en uygun çözümü garanti etmesine rağmen, verimsizlikleri ve ölçeklenebilirlik eksikliği onları büyük boyutlu problemler için kullanışsız kılmaktadır. Genellikle bir öğretim aracı olarak veya olası her çözümü keşfetmek için gerekli hesaplama kaynaklarının mümkün olduğu küçük ölçekli problemler için kullanılırlar. Uygulamada, daha büyük ve daha karmaşık problemlerin verimli bir şekilde ele alınması için daha karmaşık algoritmalar ve buluşsal yöntemler gereklidir.

3.4.2 Müzayede/Açık arttırma algoritması (Auction)

Açık artırma algoritması klasik atama problemini çözmek için sezgisel bir yöntemdir ve tamamlayıcı esneklik (*complementary slackness*) adı verilen yaklaşık optimallik kavramını kullanarak atama problemini çözmek için geleneksel yöntemlerden ayrılır. Hem teoride hem de pratikte önemli problem türlerinde ana rakiplerinden önemli ölçüde daha iyi performans gösterir ve aynı zamanda paralel hesaplamalar için de uygundur.

Klasik atama probleminde bire bir eşleşmek üzere gereken mevcut n kişi (*bidder*) ve n nesne (*item*) vardır . Toplam faydayı maksimize edecek atamaları (t_{ij}) yapabilmek için kişi ve nesne çiftleri (eşitlik 1) arasında uygun eşleşmeleri bulmak amaçlanmaktadır (eşitlik 2).

$$(1, j_1), \dots, (n, j_n) \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n t_{ij_i} \quad (2)$$

Açık artırma sürecinde, her nesne (j_n) için beklenen bir hedef değer (p_j) vardır ve açık arttırma bu değer ile ilk basamağını başlatır (eşitlik 3).

$$t_{ij_i} - p_{j_i} = \max_{j=1, \dots, n} (t_{ij} - p_j) \quad (3)$$

Açık artırma algoritması, turlar halinde ilerler. Her turun başında nesneler ve kişiler arasında teklifleme yapılır ve eğer her nesne beklediği teklifi buluyorsa süreç sona erer. Aksi takdirde açıkta kalan nesne kaldığı için süreç devam eder. İlgili nesne için en yüksek teklif veren yeni kişinin değeri (φ_i) daha önceki turdaki yüksek teklifin (ω_i) sahibi ile değişir ve ilgili nesne beklediği fiyatı (p_j) aldığı teklif doğrultusunda yükseltir (eşitlik 4).

$$p_{j_i} + \theta_i \quad (4)$$

$$\theta_i = \varphi_i - \omega_i \quad (5)$$

θ_i burada (eşitlik 5) teklif arttırım değerini ifade etmektedir.

$$\varphi_i = \max_j (t_{ij} - p_j) \quad (6)$$

φ_i burada (eşitlik 6) güncel en yüksek değeri ifade etmektedir.

$$\omega_i = \max_{j \neq j_i} (t_{ij} - p_j) \quad (7)$$

ω_i burada (eşitlik 7) önceki turun en yüksek değerini ifade etmektedir.

Teklif arttırma (θ_i) işlemi birden fazla kişi tarafından yapılmaya çalışıldığında bu döngü çıkmaza girecektir. Bu sebeple beklediği değeri alan nesnelere hemen atama yapmak yerine bir ε positif marjını da göz önünde bulundurarak atama yapılması gerekir. Bu süreç bütün nesneler uygun atama alana kadar devam eder.

$$t_{ij_i} - p_{j_i} = \max_{j=1, \dots, n} (t_{ij_i} - p_j) - \varepsilon \quad (8)$$

ε burada (eşitlik 8) teklif arttırım marjını ifade etmektedir.

3.4.3 En yakın komşu algoritması (Naive Nearest Neighbors)

En yakın komşu algoritması, genellikle sınıflandırma ve regresyon görevlerinde kullanılan, örnek tabanlı öğrenmenin veya tembel öğrenmenin bir türüdür. Belirli bir değeri/değerleri kategorize etmek veya tahmin etmek için, veri setindeki en benzer noktalar üzerinden gruplama yapılarak çözüm aranır.

Problemdeki n adet veri çiftinin $(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$ tamamı çok boyutlu uzayda bir vektör olarak temsil edilir ve noktalar aralarında bir ilişki bulunarak gruplandırılır. Bu

gruplandırma için mesafe parametresi (d) en yaygın kullanımlardandır. Noktalar arası yakınlığı bulmak için Öklid (eşitlik 9), Manhattan (eşitlik 10), Minkowski (eşitlik 11) vb. mesafe ölçümleri kullanılır.

$$d(x, y) = \sqrt{\sum_{t=1}^n (x_t - y_t)^2} \quad (9)$$

$$d(x, y) = \sum_{t=1}^n |x_t - y_t| \quad (10)$$

Minkowski mesafe ölçümü, diğer mesafe ölçümlerinin temelidir. “a” değeri 1 ile Manhattan mesafe ölçümü ifade edilir.

$$d(x, y) = \sum_{t=1}^n |x_t - y_t|^{1/a} \quad (11)$$

Bu ölçümler sonrası veri çiftleri kategorize edilir ve bu işlem sonrası veriler gruplarıyla anılır. Bu süreç geniş bir veri seti içerisinde atama süresini kolaylaştıracağı için büyük ölçekli problemlerde kullanımı yaygındır.

3.4.4 Öncelikli algoritma (Priority Based)

Öncelikli Algoritma, En Yakın Komşu Algoritması’nın özelleştirilmiş bir versiyonudur. En Yakın Komşu Algoritması’nın kontrolsüz atama mantığı sebebiyle, atama işlemlerini uygun sıraya sokmak amacıyla tehdit skorlarından yararlanılır.

3.5 Yerleşke/Nokta Savunma Senaryoları

Bu başlık altında tez çalışmasında kullanılan sistem, sistem yerleşim, teknik özellikler ve olası saldırı senaryolarına ait bilgiler verilmektedir.

İlgili senaryolarda belirli bir alanın entegre dron önleme sistemleri ile korunduğu varsayılmıştır. Bu entegre sistemlerin bünyelerinde:

Sensör Grubu:

- Radar Alt Sistem
- E/O Alt Sistem
- RF Pasif Sensör

Efektör Grubu:

- Karıştırıcı Alt Sistem
- Fiziksel Önleyici Alt Sistem (Topatar)

alt sistemleri barındırdığı ve bu alt sistemlerin teknik özellikleri varsayımlara dayandırılmıştır. 3.4 başlığında bahsedilen Tehdit ve Silah uygunluğu değerlendirme ve skorelama kuralları bu varsayımlar üzerinden oluşturulmuştur.

3.5.1 Senaryo-1: 1 sistem 1 hedef

Bu senaryoda belirli bir noktayı koruyan 1 adet entegre savunma sistemi ve t_0 'dan t_{10} anına kadar hareket halinde olan bir dron saldırısının benzetimi yapılmıştır.

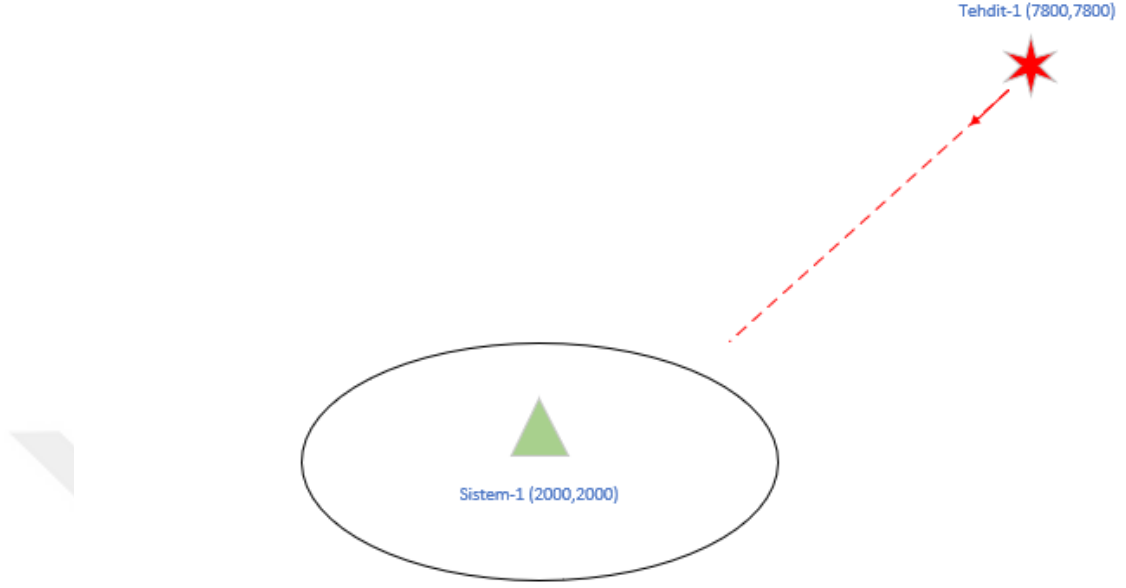
$t_0 \rightarrow t_1$ arası 17 saniyedir. Hedef dron hareketi süresince hızı rastgele bir şekilde artış ve azalış göstermektedir, değişen hız verisine bağlı olarak konum verisi de bu ölçüde değişmektedir.

Dronun harekete başlangıç anındaki özellikleri Çizelge 3.4'de verilmiştir:

Çizelge 3.4 Senaryo-1 hedef bilgileri

Hedef Bilgileri	
ID	1
Yatay Eksen (m)	7800
Dikey Eksen (m)	7800
Hız (km/s)	100
Hız Adımları (km/s)	[10,10,10,10,10,20,20,0,0,0,-10]
Yükseklik (m)	250
İstikamet Açısı (°)	225
Mühimmat Tipi	JAMMER
Swarm Bilgisi	OLUMSUZ

Entegre sistem konumu ve saldırı şeması Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1 Senaryo-1 saldırı ve yerleşim kurgusu

Tehdit Değerlendirme Safhası: Senaryo-1’e ilişkin tehdit değerlendirme puan tablosu Çizelge 3.5’de verilmiştir.

Çizelge 3.5 Senaryo-1 hedef puan tablosu

ID	Zaman Bilgisi	Hedef Puanı
1	t_0	0
	t_1	0
	t_2	0
	t_3	0
	t_4	48
	t_5	54
	t_6	61
	t_7	67
	t_8	69
	t_9	69
	t_{10}	68

Hedef radar menziline girene kadar (t_4) puanlamaya dahil olmamıştır. Daha sonrasında hızının artarak yerleşkeye yaklaştığı anlarda puanı artarak devam etmiştir. Hedef silah menzillerine girdiği andan (t_8) itibaren mesafe kriterinden artık tam puan almaktadır ve aynı zamanda bu aralıkta hızını arttırmamaktadır, bu sebeple t_8 ve t_9 anlarında puanı sabit kalmaktadır. Hedef t_{10} anında hızını düşürdüğü için puanı son anda düşüş göstermiştir.

Silah Skoru Hesaplama Safhası: Senaryo-1'e ilişkin silah skor hesaplama tablosu Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6 Senaryo-1 silah skor tablosu

Efektör Tanımı	Zaman Bilgisi	Hedef Puanı
Karıştırıcı	t_0	0
	t_1	0
	t_2	0
	t_3	0
	t_4	0
	t_5	0
	t_6	0
	t_7	0
	t_8	47
	t_9	42
	t_{10}	35
Topatar	t_0	0
	t_1	0
	t_2	0
	t_3	0
	t_4	0
	t_5	0
	t_6	0
	t_7	0
	t_8	45
	t_9	52
	t_{10}	60

3.5.1.1 Senaryo-1'in kaba kuvvet algoritması ile çözümü

Senaryo-1'in Kaba Kuvvet Algoritması ile çözüme ilişkin ortaya çıkan tablo, Çizelge 3.7'de verilmiştir.

Çizelge 3.7 Senaryo-1 kaba kuvvet algoritması atama tablosu

Atama Skorları	Zaman Bilgisi	Karıştırıcı	Topatar
Hedef 1	t_0	0	0
	t_1	0	0
	t_2	0	0
	t_3	0	0
	t_4	0	0
	t_5	0	0
	t_6	0	0
	t_7	0	0
	t_8	116	114
	t_9	111	121
	t_{10}	104	129

Kaba kuvvet algoritması mutlak sonuç vermesi beklenen algoritma olduğu için beklenen atamaları yapmaktadır. Silah seçimi beklendiği gibi; performans, maliyet ve konsept kriterleri göz önünde bulundurularak, t_8 anında karıştırıcı önermesi yapılmakta olup, hedef sisteme/yerleşkeye yaklaştıkça önerme topatar tarafına kaymaktadır.

3.5.1.2 Senaryo-1'in açık arttırma/Müzayede algoritması ile çözümü

Senaryo-1'in Açık Arttırma Algoritması ile çözüme ilişkin ortaya çıkan tablo, Çizelge 3.8'de verilmiştir.

Çizelge 3.8 Senaryo-1 açık arttırma algoritması atama tablosu

Atama Skorları	Zaman Bilgisi	Karıştırıcı	Topatar
Hedef 1	t_0	0	0
	t_1	0	0
	t_2	0	0
	t_3	0	0

Çizelge 3.8 Senaryo-1 açık arttırma algoritması atama tablosu (devamı)

t_4	0	0
t_5	0	0
t_6	0	0
t_7	0	0
t_8	116	114
t_9	111	121
t_{10}	104	129

Bu senaryoda basit bir cost matris çözümü [1x2] yapıldığı için açık arttırma algoritmasında da diğer algoritmalarda beklendiği gibi kava kuvvet algoritması ile aynı sonucu vermesi beklenmektedir ve aynı atama sonuçlarına ulaşılmıştır.

3.5.1.3 Senaryo-1'in en yakın komşu algoritması ile çözümü

Senaryo-1'in En Yakın Komşu Algoritması ile çözüme ilişkin ortaya çıkan tablo, Çizelge 3.9'da verilmiştir.

Çizelge 3.9 Senaryo-1 en yakın komşu algoritması atama tablosu

Atama Skorları	Zaman Bilgisi	Karıştırıcı	Topatar
Hedef 1	t_0	0	0
	t_1	0	0
	t_2	0	0
	t_3	0	0
	t_4	0	0
	t_5	0	0
	t_6	0	0
	t_7	0	0
	t_8	116	114
	t_9	111	121
	t_{10}	104	129

3.5.1.4 Senaryo-1'in öncelikli algoritma ile çözümü

Senaryo-1'in Öncelikli Algoritma ile çözüme ilişkin ortaya çıkan tablo, Çizelge 3.10'de verilmiştir.

Çizelge 3.10 Senaryo-1 öncelikli algoritma atama tablosu

Atama Skorları	Zaman Bilgisi	Karıştırıcı	Topatar
Hedef 1	t_0	0	0
	t_1	0	0
	t_2	0	0
	t_3	0	0
	t_4	0	0
	t_5	0	0
	t_6	0	0
	t_7	0	0
	t_8	116	114
	t_9	111	121
	t_{10}	104	129

3.5.1.2'de bahsedildiği gibi [1x2]'lik cost matris çözümleri bütün algoritmalar için aynı sonuçlanmıştır.

3.5.2 Senaryo-2: 4 sistem 8 hedef

Bu senaryoda belirli bir yerleşkeyi koruyan 4 adet entegre savunma sistemi ve t_0 'dan t_4 anına kadar hareket halinde olan bir dron saldırısının benzetimi yapılmıştır.

$t_0 \rightarrow t_1$ arası 5 saniyedir. Hedef dron hareketi süresince hızı rastgele bir şekilde artış ve azalış göstermektedir, değişen hız verisine bağlı olarak konum versisi de bu ölçüde değişmektedir.

Dronların harekete başlangıç anındaki özellikleri Çizelge 3.11'de verilmiştir:

Çizelge 3.11 Senaryo-2 hedef bilgileri

ID	Threat Spec.							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Yatay Eksen (m)	2000	3000	800	4000	7000	8000	6000	8000
Dikey Eksen (m)	9000	5000	4000	2500	2000	4250	9000	9000
Hız (km/s)	125	125	200	90	125	125	125	125
Hız Adımları (km/s)	[0,0,0,0,0]	[0,0,0,0,0]	[10,15,0,20,0]	[5,9,0,0,6]	[10,15,0,20,0]	[10,15,0,20,0]	[0,0,0,0,0]	[0,0,0,0,0]
Yükseklik (m)	250	250	400	180	250	250	250	250
İstikamet Açısı (°)	90	45	90	5	30	45	120	210
Mühimmat Tipi	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK	Patlayıcı	JAMMER
Swarm Bilgisi	OLUMSUZ	OLUMSUZ	OLUMSUZ	OLUMSUZ	OLUMLU	OLUMLU	OLUMSUZ	OLUMSUZ

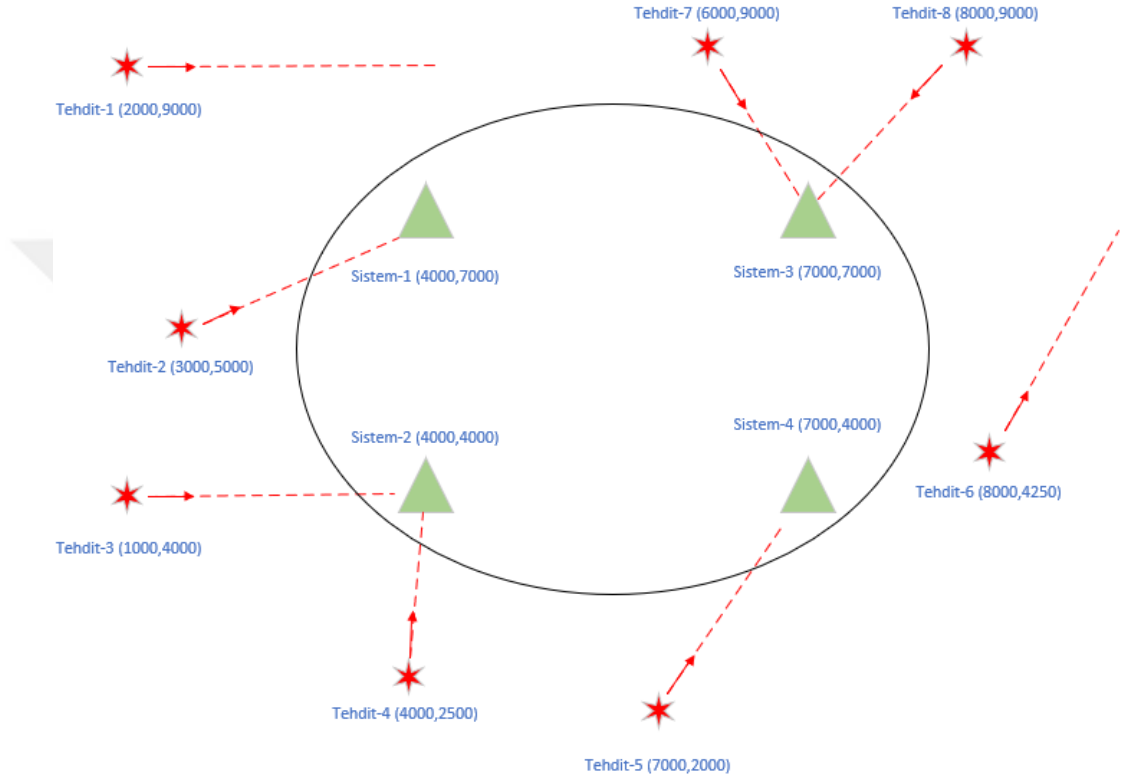
Entegre sistemler ve saldırı şeması Şekil 3.2’de verilmiştir.

Sistem-1 (4000,7000) noktasındadır. (Karıştırıcı-1,Topatar-1)

Sistem-2 (4000,4000) noktasındadır. (Karıştırıcı-2,Topatar-2)

Sistem-3 (7000,4000) noktasındadır. (Karıştırıcı-3,Topatar-3)

Sistem-4 (7000,7000) noktasındadır. (Karıştırıcı-4,Topatar-4)



Şekil 3.2 Senaryo-2 saldırı ve yerleşim kurgusu

Tehdit Değerlendirme Safhası: Senaryo-2’ye ilişkin tehdit değerlendirme puan tablosu Çizelge 3.12’de verilmiştir:

Çizelge 3.12 Senaryo-2 hedef puan tablosu

ID	Zaman Bilgisi	Hedef Puanı
1	t_0	42
	t_1	42
	t_2	38
	t_3	38
	t_4	37
2	t_0	57
	t_1	57
	t_2	57
	t_3	57
	t_4	57
3	t_0	70
	t_1	72
	t_2	72
	t_3	74
	t_4	75
4	t_0	53
	t_1	54
	t_2	54
	t_3	54
	t_4	55
5	t_0	75
	t_1	76
	t_2	78
	t_3	79
	t_4	81
6	t_0	70
	t_1	68
	t_2	66
	t_3	64
	t_4	62
7	t_0	69
	t_1	69
	t_2	69
	t_3	69
	t_4	69
8	t_0	60
	t_1	60

Çizelge 3.12 Senaryo-2 hedef puan tablosu (devamı)

t_2	60
t_3	60
t_4	61

Tehdit- 1 sabit bir hız, irtifa ve güzergahla yerleşkeden uzaklaşmaktadır ve aynı zamanda faydalı yük taşımamaktadır. Bu sebeple ilk t anında ortalamanın altında bir puan almış ve puanı zamanla azalmıştır.

Tehdit-2 , Sistem-1'e sabit bir görevle yaklaşmaktadır ve yaklaşımı direkt sistemin üzerinde doğru olduğu için buradan ekstra puan kazanmaktadır, mesafe skoru olarak ise silah menziline girdiği andan itibaren tam puan aldığı için burada bir değişiklik olmamaktadır.

Tehdit-3, diğer hedeflere göre daha hızlı bir hedeftir ve hızını arttırarak Sistem-2'nin üzerine saldırmaktadır, bu sebeple puanı artarak devam etmektedir.

Tehdit-4 de hızını arttırarak Sistem-2'nin üzerine saldırmaktadır fakat başlangıç hızı ve hız değişiklikleri Tehdit-3 kadar olmadığı için puanı daha az artmaktadır.

Tehdit-5 sürü (swarm) hedef grubudur, bu sebeple kritik önem taşımaktadır ve puanı yüksektir. Öte yandan Sistem-3'e doğru hızını arttırarak saldırı yaptığı için puanı artmaktadır.

Tehdit-6 da bir sürü hedef olmasına karşın yerleşkeden uzaklaştığı için puanı gittikçe düşüş göstermektedir.

Tehdit-7 faydalı yük olarak patlayıcı mühimmat bulundurmaktadır. Bu sebeple buradan ekstra puan almaktadır, fakat hızında ve istikametinde herhangi bir değişiklik olmadığı için puanı sabit kalmaktadır.

Tehdit-8 faydalı yük olarak patlayıcı karıştırıcı bulundurmaktadır. Bu sebeple buradan Tehdit-7'ye göre daha az olsa da ekstra puan almaktadır, fakat hızında ve istikametinde herhangi bir değişiklik olmadığı için puanı sabit kalmaktadır.

Silah Skoru Hesaplama Safhası: Senaryo-2'ye ilişkin silah skor hesaplama tablosu, Çizelge 3.13'de verilmiştir.

Çizelge 3.13 Senaryo-2 silah skor tablosu

Efektör Tanımı	Zaman Bilgisi	Skor (Tehdit -1)	Skor (Tehdit -2)	Skor (Tehdit -3)	Skor (Tehdit -4)	Skor (Tehdit -5)	Skor (Tehdit -6)	Skor (Tehdit -7)	Skor (Tehdit -8)
Karıştırıcı-1	t_0	61	54	0	0	0	0	54	0
	t_1	62	50	0	0	0	0	53	0
	t_2	63	46	0	0	0	0	51	0
	t_3	64	43	0	0	0	0	49	0
	t_4	66	41	0	0	0	0	48	0
Topatar-1	t_0	28	36	0	0	0	0	40	0
	t_1	27	40	0	0	0	0	41	0
	t_2	26	44	0	0	0	0	42	0
	t_3	25	47	0	0	0	0	44	0
	t_4	23	49	0	0	0	0	45	0
Karıştırıcı-2	t_0	0	49	0	48	0	0	0	0
	t_1	0	48	75	47	0	0	0	0
	t_2	0	46	73	46	0	0	0	0
	t_3	0	45	72	45	0	0	0	0
	t_4	0	44	70	44	0	0	0	0
Topatar-2	t_0	0	35	0	45	0	0	0	0
	t_1	0	34	12	46	0	0	0	0
	t_2	0	33	14	46	0	0	0	0
	t_3	0	32	15	48	0	0	0	0
	t_4	0	31	18	49	0	0	0	0
Karıştırıcı-3	t_0	0	0	0	0	75	69	0	0
	t_1	0	0	0	0	74	71	0	0
	t_2	0	0	0	0	73	74	0	0
	t_3	0	0	0	0	70	75	0	0
	t_4	0	0	0	0	68	77	0	0
Topatar-3	t_0	0	0	0	0	40	47	0	0
	t_1	0	0	0	0	42	45	0	0

Çizelge 3.13 Senaryo-2 silah skor tablosu (devamı)

	t_2	0	0	0	0	43	41	0	0
	t_3	0	0	0	0	44	39	0	0
	t_4	0	0	0	0	46	38	0	0
Karıştırıcı-4	t_0	0	0	0	0	0	81	59	41
	t_1	0	0	0	0	0	82	60	40
	t_2	0	0	0	0	0	83	62	39
	t_3	0	0	0	0	0	84	63	38
	t_4	0	0	0	0	0	85	64	37
Topatar-4	t_0	0	0	0	0	0	32	36	53
	t_1	0	0	0	0	0	31	35	54
	t_2	0	0	0	0	0	29	34	55
	t_3	0	0	0	0	0	28	32	56
	t_4	0	0	0	0	0	27	61	57

Tehdit-1, t_0 ve t_1 anlarında sadece Sistem-1'in menzilindedir ve bu aralıkta yerleşkeden uzaklaşan bir istikamet izlediği ve mesafe ile maliyet parametreleri sonucunda Karıştırıcı-1 sistemi skoru Topatar-1'e göre yüksektir.

Tehdit-2 hareketi boyunca Sistem-1 ve Sistem-2'nin silah menzilindedir. Tehdit t_0 anında Sistem-1 ve Sistem-2'nin tam ortasından Sistem-1 istikametinde harekete başladığı için ilk anlarda Karıştırıcılar, özellikle Karıştırıcı-1, mesafeden ve maliyetten yüksek skor almaktadır. Fakat hedef Sistem-1'e yaklaştıkça Topatar-1 skoru diğer silahların üstüne çıkmaktadır.

Tehdit-3, t_0 anında hiçbir silah sisteminin menziline değildir ancak t_1 anında Sistem-2'nin menziline girmektedir. Sistem'e olan uzak mesafesi, yüksek hızı, yüksek irtifası ve maliyet parametrelerinden dolayı Karıştırıcı-2 Topatar-2'ye göre çok yüksek puan almaktadır.

Tehdit-4 başlangıç anında mesafe ve yönelim kriterlerinden her iki silah için de eşit puan alırken, Karıştırıcı-2 hız ve irtifadan düşük puan almasına rağmen maliyetten kazanmaktadır. Bu sebeple başlangıç anında iki silah skoru da birbirine yakındır. Hedef

yerleşkeye yaklaştıkça Topatar-2 mesafeden kazanmaya başlayıp yüksek skor almaktadır.

Tehdit-5 Sistem-3'e doğru hareket eden bir sürü hedeftir, bu sebeple mesafe ve maliyet kriterleri de göz önünde bulundurularak Karıştırıcı-3 puanı Topatar-3'e göre çok daha yüksek çıkmaktadır.

Tehdit-6; Sistem-3 ve Sistem-4 menziline, yerleşkeden uzaklaşmakta olan bir sürü hedeftir. Tehdit-5'e benzer sebeplerle Karıştırıcı puanları yüksek çıkmaktadır ve hedef, sistem-hedef arası mesafeyi açtıkça Karıştırıcı puanları artmakta, Topatar puanları azalmaktadır.

Tehdit-7, faydalı yük olarak üzerinde patlayıcı mühimmat bulunduran bir hedeftir. Bu sebeple menzilineki Karıştırıcı birimleri diğer parametrelerden kaybettiği skorları buradan kazanmaktadır ve menzilineki Topatar'lara göre yüksek skor kazanmaktadır.

Tehdit-8 için de Tehdit-7'ye benzer bir durum söz konusudur, hedefin taşıdığı faydalı yük tipi silah skor aşamasında kat sayı olarak birbirine yakın olduğu ve hareket özellikleri de benzer olduğu için menzilineki Karıştırıcı ve Topatar skorları Tehdit-7'ye benzer çıkmaktadır.

3.5.2.1 Senaryo-2'nin Kaba Kuvvet Algoritması ile Çözümü

Senaryo-2'nin Kaba Kuvvet Algoritması ile çözüme ilişkin ortaya çıkan tablo, Çizelge 3.14'de verilmiştir.

Çizelge 3.14 Senaryo-2 kaba kuvvet algoritması atama tablosu

Zaman Bilgisi	Atama Skorları	Karıştırıcı-1	Topatar-1	Karıştırıcı-2	Topatar-2	Karıştırıcı-3	Topatar-3	Karıştırıcı-4	Topatar-4
t_0	Tehdit-1	102.0	78.0	0	0	0	0	0	0
	Tehdit-2	111.0	93.0	111.0	93.0	0	0	0	0
	Tehdit-3	0	0	145.0	83.0	0	0	0	0

Çizelge 3.14 Senaryo-2 kaba kuvvet algoritması atama tablosu (devam)

	Tehdit-4	0	0	101.0	98.0	0	0	0	0
	Tehdit-5	0	0	0	0	129.0	94.0	0	0
	Tehdit-6	0	0	0	0	126.0	104.0	138.0	89.0
	Tehdit-7	0	0	0	0	101	59	101.0	126.0
	Tehdit-8	0	0	0	0	0	0	101.0	113.0
t_1	Tehdit-1	103.0	77.0	0	0	0	0	0	0
	Tehdit-2	109.0	96.0	112.0	92.0	0	0	0	0
	Tehdit-3	0	0	143.0	88.0	0	0	0	0
	Tehdit-4	0	0	100.0	100.0	0	0	0	0
	Tehdit-5	0	0	0	0	131.0	96.0	0	0
	Tehdit-6	0	0	0	0	131.0	102.0	141.0	90.0
	Tehdit-7	0	0	0	0	103	58	100.0	128.0
	Tehdit-8	0	0	0	0	0	0	99.0	115.0
t_2	Tehdit-1	104.0	76.0	0	0	0	0	0	0
	Tehdit-2	107.0	99.0	113.0	91.0	0	0	0	0
	Tehdit-3	0	0	139.0	93.0	0	0	0	0
	Tehdit-4	0	0	99.0	102.0	0	0	0	0
	Tehdit-5	0	0	0	0	133.0	96.0	0	0
	Tehdit-6	0	0	0	0	133.0	95.0	140.0	86.0
	Tehdit-7	0	0	0	0	104	57	99.0	129.0
	Tehdit-8	0	0	0	0	0	0	98.0	118.0
t_3	Tehdit-1	102.0	71.0	0	0	0	0	0	0
	Tehdit-2	105.0	101.0	114.0	90.0	0	0	0	0
	Tehdit-3	0	0	139.0	98.0	0	0	0	0
	Tehdit-4	0	0	97.0	105.0	0	0	0	0
	Tehdit-5	0	0	0	0	133.0	96.0	0	0
	Tehdit-6	0	0	0	0	133.0	88.0	138.0	83.0
	Tehdit-7	0	0	0	0	105	56	98.0	130.0
	Tehdit-8	0	0	0	0	0	0	100.0	123.0
t_4	Tehdit-1	104.0	69.0	0	0	0	0	0	0
	Tehdit-2	103.0	104.0	116.0	88.0	0	0	0	0
	Tehdit-3	0	0	134.0	103.0	0	0	0	0
	Tehdit-4	0	0	96.0	108.0	0	0	0	0
	Tehdit-5	0	0	0	0	134.0	95.0	0	0
	Tehdit-6	0	0	0	0	133.0	82.0	137	83
	Tehdit-7	0	0	0	0	107	54	97.0	131.0
	Tehdit-8	0	0	0	0	0	0	101.0	126.0

Kaba kuvvet algoritması bütün eşleşmeleri tek tek deneyerek mutlak doğru sonucu vermektedir ve atama sonucu [1 2 3 4 5 6 8 7] şeklindedir.

3.5.2.2 Senaryo-2'in Açık Arttırma Algoritması ile çözümü

Senaryo-2'nin Açık Arttırma Algoritması ile çözüme ilişkin ortaya çıkan tablo, Çizelge 3.15'de verilmiştir. Açık Arttırma algoritması, Kaba Kuvvet algoritması ile aynı sonucu [1 2 3 4 5 6 8 7] bularak başarılı bir atama gerçekleştirmiştir.

3.5.2.3 Senaryo-2'nin En Yakın Komşu Algoritması ile çözümü

Senaryo-2'nin En Yakın Komşu Algoritması ile çözüme ilişkin ortaya çıkan tablo, Çizelge 3.16'da verilmiştir. En Yakın Komşu yaklaşımı [1 2 3 4 5 7 6 8] atamaları ile toplam skor bazında diğer algoritmaların altında kalmıştır. Bu sebeple Öncelikli yaklaşım ile doğruluk payının ve kullanım senaryosunun iyileştirilmesi hedeflenmektedir.

3.5.2.4 Senaryo-2'nin Öncelikli Algoritma ile çözümü

Senaryo-2'nin Öncelikli Algoritma ile çözüme ilişkin ortaya çıkan tablo, Çizelge 3.17'de verilmiştir.

Çizelge 3.15 Senaryo-2 açık arttırma algoritması atama tablosu

Zaman Bilgisi	Atama Skorları	Karıştı rıcı-1	Topat ar-1	Karıştı rıcı-2	Topat ar-2	Karıştı rıcı-3	Topat ar-3	Karıştı rıcı-4	Topat ar-4
t_0	Tehdit-1	102.0	78.0	0	0	0	0	0	0
	Tehdit-2	111.0	93.0	111.0	93.0	0	0	0	0
	Tehdit-3	0	0	145.0	83.0	0	0	0	0
	Tehdit-4	0	0	101.0	98.0	0	0	0	0
	Tehdit-5	0	0	0	0	129.0	94.0	0	0
	Tehdit-6	0	0	0	0	126.0	104.0	138.0	89.0
	Tehdit-7	0	0	0	0	101	59	101.0	126.0
	Tehdit-8	0	0	0	0	0	0	101.0	113.0
t_1	Tehdit-1	103.0	77.0	0	0	0	0	0	0

Çizelge 3.15 Senaryo-2 açık arttırma algoritması atama tablosu (devam)

	Tehdit-2	109.0	96.0	112.0	92.0	0	0	0	0
	Tehdit-3	0	0	143.0	88.0	0	0	0	0
	Tehdit-4	0	0	100.0	100.0	0	0	0	0
	Tehdit-5	0	0	0	0	131.0	96.0	0	0
	Tehdit-6	0	0	0	0	131.0	102.0	141.0	90.0
	Tehdit-7	0	0	0	0	103	58	100.0	128.0
	Tehdit-8	0	0	0	0	0	0	99.0	115.0
t_2	Tehdit-1	104.0	76.0	0	0	0	0	0	0
	Tehdit-2	107.0	99.0	113.0	91.0	0	0	0	0
	Tehdit-3	0	0	139.0	93.0	0	0	0	0
	Tehdit-4	0	0	99.0	102.0	0	0	0	0
	Tehdit-5	0	0	0	0	133.0	96.0	0	0
	Tehdit-6	0	0	0	0	133.0	95.0	140.0	86.0
	Tehdit-7	0	0	0	0	104	57	99.0	129.0
	Tehdit-8	0	0	0	0	0	0	98.0	118.0
t_3	Tehdit-1	102.0	71.0	0	0	0	0	0	0
	Tehdit-2	105.0	101.0	114.0	90.0	0	0	0	0
	Tehdit-3	0	0	139.0	98.0	0	0	0	0
	Tehdit-4	0	0	97.0	105.0	0	0	0	0
	Tehdit-5	0	0	0	0	133.0	96.0	0	0
	Tehdit-6	0	0	0	0	133.0	88.0	138.0	83.0
	Tehdit-7	0	0	0	0	105	56	98.0	130.0
	Tehdit-8	0	0	0	0	0	0	100.0	123.0
t_4	Tehdit-1	104.0	69.0	0	0	0	0	0	0
	Tehdit-2	103.0	104.0	116.0	88.0	0	0	0	0
	Tehdit-3	0	0	134.0	103.0	0	0	0	0
	Tehdit-4	0	0	96.0	108.0	0	0	0	0
	Tehdit-5	0	0	0	0	134.0	95.0	0	0
	Tehdit-6	0	0	0	0	133.0	82.0	137	83
	Tehdit-7	0	0	0	0	107	54	97.0	131.0
	Tehdit-8	0	0	0	0	0	0	101.0	126.0

Çizelge 3.16 Senaryo-2 en yakın komşu algoritması atama tablosu

Zaman Bilgisi	Atama Skorları	Karıştı rıcı-1	Topat ar-1	Karıştı rıcı-2	Topat ar-2	Karıştı rıcı-3	Topat ar-3	Karıştı rıcı-4	Topat ar-4
t_0	Tehdit-1	102.0	78.0	0	0	0	0	0	0
	Tehdit-2	111.0	93.0	111.0	93.0	0	0	0	0
	Tehdit-3	0	71.0	145.0	83.0	0	0	0	0

Çizelge 3.16 Senaryo-2 en yakın komşu algoritması atama tablosu (devam)

	Tehdit-4	0	0	101.0	98.0	0	0	0	0
	Tehdit-5	0	0	0	0	129.0	94.0	0	0
	Tehdit-6	0	0	0	0	126.0	104.0	138.0	89.0
	Tehdit-7	0	0	0	0	101	59	101.0	126.0
	Tehdit-8	0	0	0	0	0	0	101.0	113.0
t_1	Tehdit-1	103.0	77.0	0	0	0	0	0	0
	Tehdit-2	109.0	96.0	112.0	92.0	0	0	0	0
	Tehdit-3	0	0	143.0	88.0	0	0	0	0
	Tehdit-4	0	0	100.0	100.0	0	0	0	0
	Tehdit-5	0	0	0	0	131.0	96.0	0	0
	Tehdit-6	0	0	0	0	131.0	102.0	141.0	90.0
	Tehdit-7	0	0	0	0	103	58	100.0	128.0
	Tehdit-8	0	0	0	0	0	0	99.0	115.0
t_2	Tehdit-1	104.0	76.0	0	0	0	0	0	0
	Tehdit-2	107.0	99.0	113.0	91.0	0	0	0	0
	Tehdit-3	0	0	139.0	93.0	0	0	0	0
	Tehdit-4	0	0	99.0	102.0	0	0	0	0
	Tehdit-5	0	0	0	0	133.0	96.0	0	0
	Tehdit-6	0	0	0	0	133.0	95.0	140.0	86.0
	Tehdit-7	0	0	0	0	104	57	99.0	129.0
	Tehdit-8	0	0	0	0	0	0	98.0	118.0
t_3	Tehdit-1	102.0	71.0	0	0	0	0	0	0
	Tehdit-2	105.0	101.0	114.0	90.0	0	0	0	0
	Tehdit-3	0	0	139.0	98.0	0	0	0	0
	Tehdit-4	0	0	97.0	105.0	0	0	0	0
	Tehdit-5	0	0	0	0	133.0	96.0	0	0
	Tehdit-6	0	0	0	0	133.0	88.0	138.0	83.0
	Tehdit-7	0	0	0	0	105	56	98.0	130.0
	Tehdit-8	0	0	0	0	0	0	100.0	123.0
t_4	Tehdit-1	104.0	69.0	0	0	0	0	0	0
	Tehdit-2	103.0	104.0	116.0	88.0	0	0	0	0
	Tehdit-3	0	0	134.0	103.0	0	0	0	0
	Tehdit-4	0	0	96.0	108.0	0	0	0	0
	Tehdit-5	0	0	0	0	134.0	95.0	0	0
	Tehdit-6	0	0	0	0	133.0	82.0	137	83
	Tehdit-7	0	0	0	0	107	54	97.0	131.0
	Tehdit-8	0	0	0	0	0	0	101.0	126.0

Çizelge 3.17 Senaryo-2 öncelikli algoritma atama tablosu

Zaman Bilgisi	Atama Skorları	Karıştı rıcı-1	Topat ar-1	Karıştı rıcı-2	Topat ar-2	Karıştı rıcı-3	Topat ar-3	Karıştı rıcı-4	Topat ar-4
t_0	Tehdit-1	102.0	78.0	0	0	0	0	0	0
	Tehdit-2	111.0	93.0	111.0	93.0	0	0	0	0
	Tehdit-3	0	0	145.0	83.0	0	0	0	0
	Tehdit-4	0	0	101.0	98.0	0	0	0	0
	Tehdit-5	0	0	0	0	129.0	94.0	0	0
	Tehdit-6	0	0	0	0	126.0	104.0	138.0	89.0
	Tehdit-7	0	0	0	0	101	79	101.0	126.0
	Tehdit-8	0	0	0	0	0	0	101.0	113.0
t_1	Tehdit-1	103.0	77.0	0	0	0	0	0	0
	Tehdit-2	109.0	96.0	112.0	92.0	0	0	0	0
	Tehdit-3	0	0	143.0	88.0	0	0	0	0
	Tehdit-4	0	0	100.0	100.0	0	0	0	0
	Tehdit-5	0	0	0	0	131.0	96.0	0	0
	Tehdit-6	0	0	0	0	131.0	102.0	141.0	90.0
	Tehdit-7	0	0	0	0	103	78	100.0	128.0
	Tehdit-8	0	0	0	0	0	0	99.0	115.0
t_2	Tehdit-1	104.0	76.0	0	0	0	0	0	0
	Tehdit-2	107.0	99.0	113.0	91.0	0	0	0	0
	Tehdit-3	0	0	139.0	93.0	0	0	0	0
	Tehdit-4	0	0	99.0	102.0	0	0	0	0
	Tehdit-5	0	0	0	0	133.0	96.0	0	0
	Tehdit-6	0	0	0	0	133.0	95.0	140.0	86.0
	Tehdit-7	0	0	0	0	104	77	99.0	129.0
	Tehdit-8	0	0	0	0	0	0	98.0	118.0
t_3	Tehdit-1	102.0	71.0	0	0	0	0	0	0
	Tehdit-2	105.0	101.0	114.0	90.0	0	0	0	0
	Tehdit-3	0	0	139.0	98.0	0	0	0	0
	Tehdit-4	0	0	97.0	105.0	0	0	0	0
	Tehdit-5	0	0	0	0	133.0	96.0	0	0
	Tehdit-6	0	0	0	0	133.0	88.0	138.0	83.0
	Tehdit-7	0	0	0	0	105	76	98.0	130.0
	Tehdit-8	0	0	0	0	0	0	100.0	123.0
t_4	Tehdit-1	104.0	69.0	0	0	0	0	0	0
	Tehdit-2	103.0	104.0	116.0	88.0	0	0	0	0
	Tehdit-3	0	0	134.0	103.0	0	0	0	0
	Tehdit-4	0	0	96.0	108.0	0	0	0	0
	Tehdit-5	0	0	0	0	134.0	95.0	0	0
	Tehdit-6	0	0	0	0	133.0	82.0	137	83
	Tehdit-7	0	0	0	0	107	74	97.0	131.0
	Tehdit-8	0	0	0	0	0	0	101.0	126.0

Öncelikli algoritma da Açık Arttırma algoritması gibi, Kaba Kuvvet algoritması atamalarını [1 2 3 4 5 6 8 7] yakalayabilmiştir. Bu sebeple atamalar bu senaryo için başarılı sonuçlanmıştır.

3.5.3 Senaryo-3: 2 sistem 5 hedef

Bu senaryoda belirli bir yerleşkeyi koruyan 2 adet entegre savunma sistemi ve t_0 'dan t_4 anına kadar hareket halinde olan bir dron saldırısı benzetilmiştir. $t_0 \rightarrow t_1$ arası 5 saniyedir. Hedef dron hareketi süresince hızı rastgele bir şekilde artış ve azalış göstermektedir, değişen hız verisine bağlı olarak konum versi de bu ölçüde değişmektedir. Dronların harekete başlangıç anindeki özellikleri Çizelge 3.18'de verilmiştir.

Çizelge 3.18 Senaryo-3 hedef bilgileri

Hedef Bilgileri					
ID	1	2	3	4	5
Yatay Eksen (m)	3000	8000	12000	6000	2000
Dikey Eksen (m)	11000	2000	2000	12000	12000
Hız (km/s)	75	125	125	125	125
Hız Adımları (km/s)	[-10,0,-10,0,-5]	[0,0,10,15,20]	[5,0,10,0,12]	[8,6,9,10,12]	[10,8,12,15,6]
Yükseklik (m)	150	250	250	250	300
İstikamet Açısı (°)	120	45	330	210	120
Mühimmat Tipi	YOK	PATLAYICI	PATLAYICI	PATLAYICI	JAMMER
Swarm Bilgisi	OLUMSUZ	OLUMSUZ	OLUMSUZ	OLUMLU	OLUMLU

Entegre sistemler ve saldırı şeması Şekil 3.3'de verilmiştir.

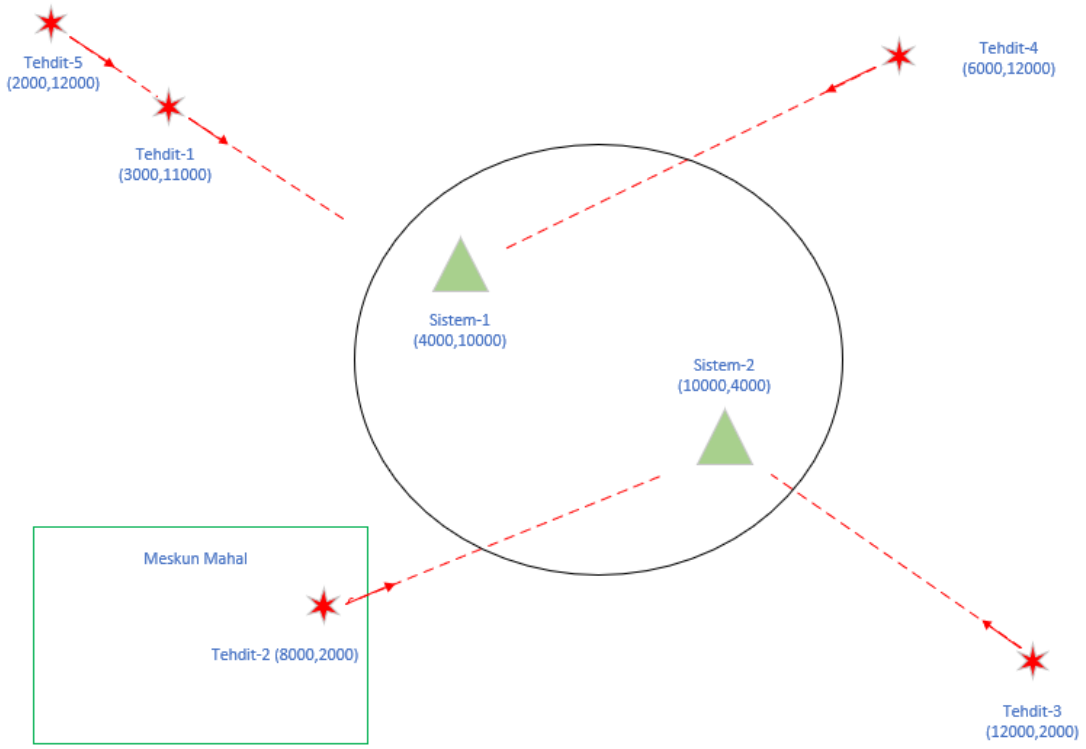
Sistem-1 (4000,10000) noktasındadır. (Karıştırıcı-1,Topatar-1)

Sistem-2 (4000,4000) noktasındadır. (Karıştırıcı-2,Topatar-2)

Tehdit Değerlendirme Safhası: Senaryo-3'e ilişkin tehdit değerlendirme puan tablosu Çizelge 3.19'da verilmiştir.

Çizelge 3.19 Senaryo-3 hedef puan tablosu

ID	Zaman Bilgisi	Hedef Puanı
1	t_0	44
	t_1	43
	t_2	43
	t_3	42
	t_4	41
2	t_0	71
	t_1	71
	t_2	72
	t_3	73
	t_4	75
3	t_0	66
	t_1	66
	t_2	67
	t_3	68
	t_4	70
4	t_0	81
	t_1	81
	t_2	82
	t_3	83
	t_4	84
5	t_0	72
	t_1	73
	t_2	74
	t_3	75
	t_4	75



Şekil 3.3 Senaryo-3 saldırı ve yerleşim kurgusu

Tehdit- 1 düşük hız, alçak irtifa ve yavaşlayan bir hız ivmesiyle yerleşkeye yaklaşmaktadır ve aynı zamanda faydalı yük taşımamaktadır. Bu sebeple ilk t anında ortalamanın altında bir puan almış ve tehdit puanı zamanla azalmıştır.

Tehdit-2 , Meskûn mahalde bulunan ve patlayıcı mühimmat taşıyan bir hedeftir. Hızı gittikçe artan bu hedef ortalamanın üstünde bir puan almış ve puanını zamanla arttırmıştır.

Tehdit-3, hareket ve faydalı yük özellikleri bakımından Tehdit-2'ye benzemektedir fakat meskûn mahalde değildir ve yerleşkeye yaklaşım açısına göre Tehdit-2'ye kıyasla yerleşke merkezine daha uzak bir noktadan geçmesi öngörüldüğü için puanı Tehdit-2'den düşüktür fakat ortalamanın üzerinde bir puan almıştır.

Tehdit-4 de hızını arttırarak yerleşkeye saldıran, patlayıcı mühimmat taşıyan bir sürü hedef grubudur. Bu sebeple bu senaryodaki hedef setinin en yüksek puanını almaktadır.

Tehdit-5, yüksek irtifadan gelen üzerinde karıştırıcı faydalı yük bulunduran sürü bir hedef grubudur. Tehdit-4'den farklı olarak faydalı yük tipi ve yerleşkeye yaklaşım açısı gibi parametrelerden daha düşük puan aldığı için Tehdit-4'e göre puanı biraz daha düşüktür. Fakat Tehdit-1'e göre yerleşkeye daha uzak bir hedef olmasına rağmen, hedef skoru Tehdit-1'den çok daha yüksektir.

Silah Skoru Hesaplama Safhası: Senaryo-3'e ilişkin silah skor hesaplama tablosu, Çizelge 3.20'da verilmiştir.

Çizelge 3.20 Senaryo-3 silah skor tablosu

Efektör Tanımı	Zaman Bilgisi	Skor (Tehdit-1)	Skor (Tehdit-2)	Skor (Tehdit-3)	Skor (Tehdit-4)	Skor (Tehdit-5)
Karıştırıcı-1	t_0	44	0	0	59	66
	t_1	43	0	0	59	66
	t_2	42	0	0	58	65
	t_3	41	0	0	57	65
	t_4	40	0	0	56	64
Topatar-1	t_0	49	0	0	59	50
	t_1	51	0	0	60	51
	t_2	52	0	0	61	52
	t_3	53	0	0	61	52
	t_4	54	0	0	62	53
Karıştırıcı-2	t_0	0	51	41	0	0
	t_1	0	51	40	0	0
	t_2	0	40	39	0	0
	t_3	0	39	38	0	0
	t_4	0	38	38	0	0
Topatar-2	t_0	0	40	53	0	0
	t_1	0	41	54	0	0
	t_2	0	55	55	0	0
	t_3	0	55	56	0	0
	t_4	0	54	57	0	0

3.5.3.1 Senaryo-3'ün kaba kuvvet algoritması ile çözümü

Senaryo-3'ün Kaba Kuvvet Algoritması ile çözüme ilişkin ortaya çıkan tablo, Çizelge 3.21'de verilmiştir.

Çizelge 3.21 Senaryo-3 kaba kuvvet algoritması atama tablosu

Zaman Bilgisi	Atama Skorları	Karıştırıcı-1	Topatar-1	Karıştırıcı-2	Topatar-2
t_0	Tehdit-1	88.0	93.0	0	0
	Tehdit-2	0	0	122.0	111.0
	Tehdit-3	0	0	107.0	119.0
	Tehdit-4	140.0	140.0	0	0
	Tehdit-5	138.0	122.0	0	0
t_1	Tehdit-1	87.0	95.0	0	0
	Tehdit-2	0	0	122.0	112.0
	Tehdit-3	0	0	106.0	120.0
	Tehdit-4	140.0	141.0	0	0
	Tehdit-5	139.0	124.0	0	0
t_2	Tehdit-1	85.0	95.0	0	0
	Tehdit-2	0	0	112.0	127.0
	Tehdit-3	0	0	106.0	122.0
	Tehdit-4	140.0	143.0	0	0
	Tehdit-5	139.0	126.0	0	0
t_3	Tehdit-1	84.0	96.0	0	0
	Tehdit-2	0	0	112.0	128.0
	Tehdit-3	0	0	105.0	123.0
	Tehdit-4	140.0	144.0	0	0
	Tehdit-5	140.0	127.0	0	0
t_4	Tehdit-1	82.0	96.0	0	0
	Tehdit-2	0	0	114.0	130.0
	Tehdit-3	0	0	106.0	125.0
	Tehdit-4	141.0	146.0	0	0
	Tehdit-5	139.0	128.0	0	0

Bu senaryoda cost matris [5x4]'lük bir matris olduğu için hedeflerden bir tanesinin açıkta kalması gerekmektedir. Açıkta kalan Tehdit atama sonucunda [0] ile gösterilecektir.

Kaba kuvvet algoritması bütün eşleşmeleri tek tek deneyerek mutlak doğru sonucu vermektedir ve atama sonucu her t anında [0 3 4 1 2] şeklindedir.

3.5.3.2 Senaryo-3'ün Açık Arttırma Algoritması ile çözümü

Açık Arttırma algoritmasının kısıtlarından bir tanesi, hedef sayısının sistem sayısından fazla olduğu senaryolarda ($N > M \rightarrow [N \times M]$) algoritmanın sonuç üretememesidir. Bu sebeple bu senaryoda Açık Arttırma algoritması kullanılamamıştır.

3.5.3.3 Senaryo-3'ün En Yakın Komşu Algoritması ile çözümü

Senaryo-3'ün En Yakın Komşu Algoritması ile çözüme ilişkin ortaya çıkan tablo, Çizelge 3.22'de verilmiştir.

Çizelge 3.22 Senaryo-3 en yakın komşu algoritması atama tablosu

Zaman Bilgisi	Atama Skorları	Karıştırıcı-1	Topatar-1	Karıştırıcı-2	Topatar-2
t_0	Tehdit-1	88.0	93.0	0	0
	Tehdit-2	0	0	122.0	111.0
	Tehdit-3	0	0	107.0	119.0
	Tehdit-4	140.0	140.0	0	0
	Tehdit-5	138.0	122.0	0	0
t_1	Tehdit-1	87.0	95.0	0	0
	Tehdit-2	0	0	122.0	112.0
	Tehdit-3	0	0	106.0	120.0
	Tehdit-4	140.0	141.0	0	0
	Tehdit-5	139.0	124.0	0	0
t_2	Tehdit-1	85.0	95.0	0	0
	Tehdit-2	0	0	112.0	127.0
	Tehdit-3	0	0	106.0	122.0
	Tehdit-4	140.0	143.0	0	0
	Tehdit-5	139.0	126.0	0	0
t_3	Tehdit-1	84.0	96.0	0	0
	Tehdit-2	0	0	112.0	128.0
	Tehdit-3	0	0	105.0	123.0
	Tehdit-4	140.0	144.0	0	0
	Tehdit-5	140.0	127.0	0	0
t_4	Tehdit-1	82.0	96.0	0	0
	Tehdit-2	0	0	114.0	130.0
	Tehdit-3	0	0	106.0	125.0
	Tehdit-4	141.0	146.0	0	0
	Tehdit-5	139.0	128.0	0	0

En Yakın Komşu yaklaşımı t_8 ve t_1 anında [2 3 4 1 0] atamaları ile toplam skor bazında diğer algoritmaların altında kalmıştır. Bu senaryoda açıkta kalan bir hedef olduğu için bu yaklaşımın doğruluk payı daha da düşmüştür ve aynı zamanda Açık Arttırma algoritması böylesi senaryolarda kullanılamadığı için bu yaklaşıma karşılık Öncelikli Algoritma gibi özelleştirilmiş bir algoritma ihtiyacının önemi daha iyi anlaşılmıştır.

3.5.3.4 Senaryo-3'ün öncelikli algoritma ile çözümü

Senaryo-3'ün Öncelikli Algoritma ile çözüme ilişkin ortaya çıkan tablo, Çizelge 3.23'de verilmiştir.

Çizelge 3.23 Senaryo-3 öncelikli algoritma atama tablosu

Zaman Bilgisi	Atama Skorları	Karıştırıcı-1	Topatar-1	Karıştırıcı-2	Topatar-2
t_0	Tehdit-1	88.0	93.0	0	0
	Tehdit-2	0	0	122.0	111.0
	Tehdit-3	0	0	107.0	119.0
	Tehdit-4	140.0	140.0	0	0
	Tehdit-5	138.0	122.0	0	0
t_1	Tehdit-1	87.0	95.0	0	0
	Tehdit-2	0	0	122.0	112.0
	Tehdit-3	0	0	106.0	120.0
	Tehdit-4	140.0	141.0	0	0
	Tehdit-5	139.0	124.0	0	0
t_2	Tehdit-1	85.0	95.0	0	0
	Tehdit-2	0	0	112.0	127.0
	Tehdit-3	0	0	106.0	122.0
	Tehdit-4	140.0	143.0	0	0
	Tehdit-5	139.0	126.0	0	0
t_3	Tehdit-1	84.0	96.0	0	0
	Tehdit-2	0	0	112.0	128.0
	Tehdit-3	0	0	105.0	123.0
	Tehdit-4	140.0	144.0	0	0
	Tehdit-5	140.0	127.0	0	0
t_4	Tehdit-1	82.0	96.0	0	0
	Tehdit-2	0	0	114.0	130.0
	Tehdit-3	0	0	106.0	125.0
	Tehdit-4	141.0	146.0	0	0
	Tehdit-5	139.0	128.0	0	0

Öncelikli algoritma t_0 anında [0 3 4 1 2] ataması, t_1 anında [0 3 4 2 1] ataması ve geri kalan t anlarında [0 4 3 2 1] atamaları yapmıştır. Bu atamalar sonucunda algoritmanın doğruluk payının En Yakın Komşu yaklaşımına göre ciddi seviyede arttığı gözlemlenmiştir.

3.5.4 Senaryo-4: 20 sistem 15 hedef

Bu senaryoda belirli bir yerleşkeyi koruyan 20 adet entegre savunma sistemi ve t_0 'dan t_1 anına kadar hareket halinde olan 15 adet dron saldırısının benzetimi yapılmıştır.

$t_0 \rightarrow t_1$ arası 5 saniyedir. Hedef dron hareketi süresince hızı rastgele bir şekilde artış ve azalış göstermektedir, değişen hız verisine bağlı olarak konum versisi de bu ölçüde değişmektedir. Dronların harekete başlangıç anındaki özellikleri Çizelge 3.24'de verilmiştir.

Çizelge 3.24 Senaryo-4 hedef bilgileri

Hedef Bilgileri															
ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Yatay Eksen (m)	2000	2200	1800	3000	4000	13500	19300	20000	22500	22000	21800	20000	15000	8000	3900
Dikey Eksen (m)	13500	11800	6000	2000	1500	1800	1600	2200	5500	8500	10200	13000	14000	12500	13800
Hız (km/s)	125	60	140	250	180	50	125	100	200	125	175	75	100	20	250
Hız Adımları (km/s)	[0,0]	[25,15]	[-20,0]	[-10,-30]	[15,25]	[-20,-5]	[-10,0]	[0,0]	[0,0]	[25,35]	[25,25]	[30,40]	[25,35]	[10,15]	[-10,0]
Yükseklik (m)	250	300	220	300	250	150	250	200	250	250	290	450	220	100	400
İstikamet Açısı (°)	120	100	90	30	25	5	345	315	330	250	225	230	185	195	120
Mühimmat Tipi	YOK	PATL AYICI	JAMMER	YOK	PATL AYICI	PATL AYICI	YOK	PATL AYICI	JAMMER	JAMMER	PATL AYICI	YOK	PATL AYICI	YOK	PATL AYICI
Swarm Bilgisi	OLU MSUZ	OLU MSUZ	OLU MSUZ	OLU MLU	OLU MLU	OLU MLU	OLU MLU	OLU MSUZ	OLU MSUZ	OLU MLU	OLU MSUZ	OLU MLU	OLU MLU	OLU MSUZ	OLU MLU

Entegre sistemler ve saldırı şeması Şekil 3.4’de verilmiştir.

Sistem-1 (4000,12000) noktasındadır. (Karıştırıcı-1,Topatar-1)

Sistem-2 (7000,12000) noktasındadır. (Karıştırıcı-2,Topatar-2)

Sistem-3 (10000,12000) noktasındadır. (Karıştırıcı-3,Topatar-3)

Sistem-4 (13000,12000) noktasındadır. (Karıştırıcı-4,Topatar-4)

Sistem-5 (16000,12000) noktasındadır. (Karıştırıcı-5,Topatar-5)

Sistem-6 (19000,12000) noktasındadır. (Karıştırıcı-6,Topatar-6)

Sistem-7 (2500,9500) noktasındadır. (Karıştırıcı-7,Topatar-7)

Sistem-8 (4000,9500) noktasındadır. (Karıştırıcı-8,Topatar-8)

Sistem-9 (19000,9500) noktasındadır. (Karıştırıcı-9,Topatar-9)

Sistem-10 (21000,9500) noktasındadır. (Karıştırıcı-10,Topatar-10)

Sistem-11 (2500,6500) noktasındadır. (Karıştırıcı-11,Topatar-11)

Sistem-12 (4000,6500) noktasındadır. (Karıştırıcı-12,Topatar-12)

Sistem-13 (19000,6500) noktasındadır. (Karıştırıcı-13,Topatar-13)

Sistem-14 (21000,6500) noktasındadır. (Karıştırıcı-14,Topatar-14)

Sistem-15 (4000,4000) noktasındadır. (Karıştırıcı-15,Topatar-15)

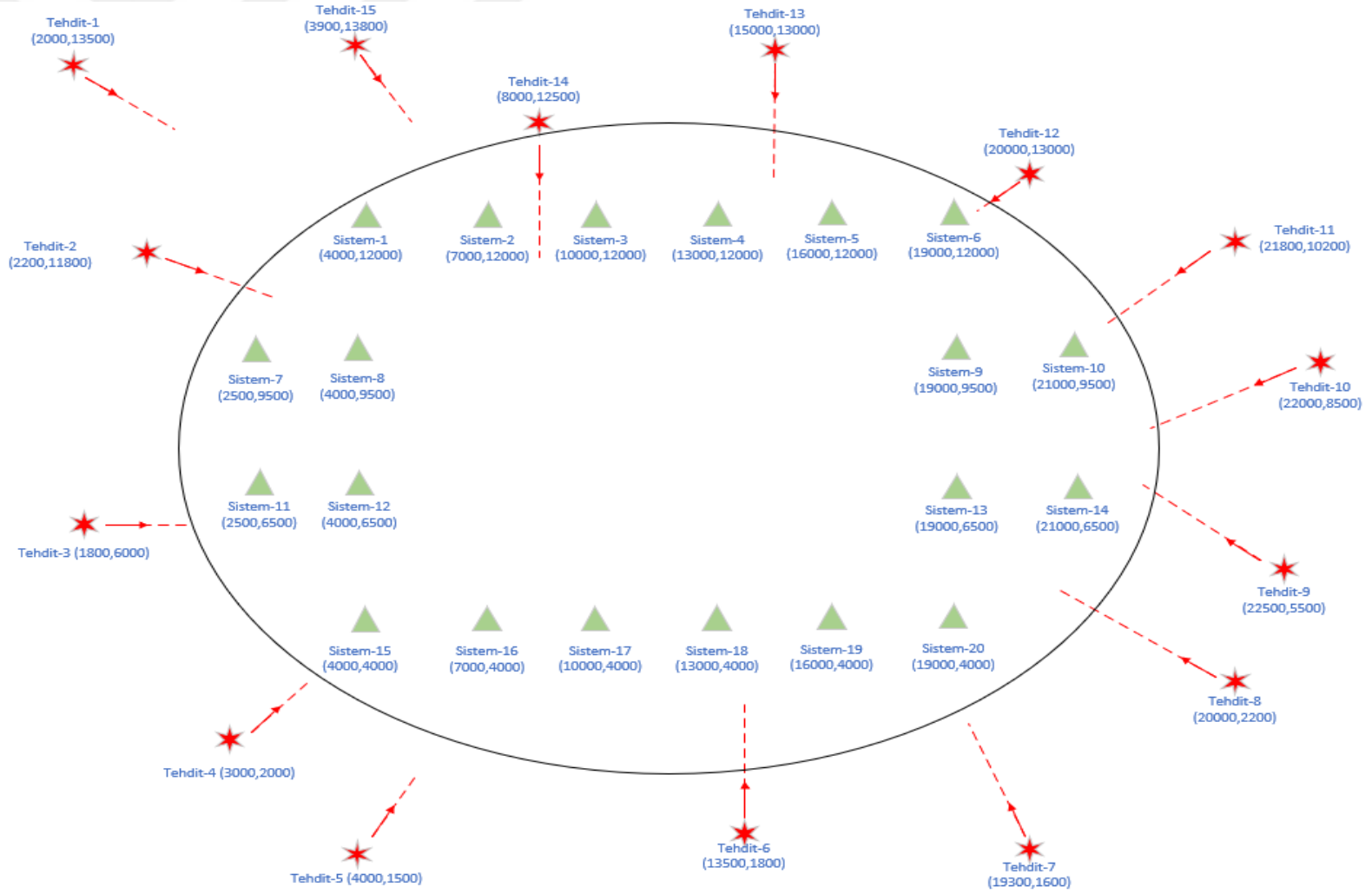
Sistem-16 (7000,4000) noktasındadır. (Karıştırıcı-16,Topatar-16)

Sistem-17 (10000,4000) noktasındadır. (Karıştırıcı-17,Topatar-17)

Sistem-18 (13000,4000) noktasındadır. (Karıştırıcı-18,Topatar-18)

Sistem-19 (16000,4000) noktasındadır. (Karıştırıcı-19,Topatar-19)

Sistem-20 (19000,4000) noktasındadır. (Karıştırıcı-20,Topatar-20)



Şekil 3.4 Senaryo-4 saldırı ve yerleşim kurgusu

Tehdit Değerlendirme Safhası: Senaryo-4'e ilişkin tehdit değerlendirme puan tablosu Çizelge 3.25'de verilmiştir.

Çizelge 3.25 Senaryo-4 hedef puan tablosu

ID	Zaman Bilgisi	Hedef Puanı
1	t_0	53
	t_1	53
2	t_0	64
	t_1	65
3	t_0	58
	t_1	58
4	t_0	67
	t_1	66
5	t_0	86
	t_1	87
6	t_0	75
	t_1	74
7	t_0	60
	t_1	60
8	t_0	62
	t_1	62
9	t_0	59
	t_1	56
10	t_0	74

	t_1	77
11	t_0	76
	t_1	78
12	t_0	69
	t_1	72
13	t_0	68
	t_1	71
14	t_0	39
	t_1	41
15	t_0	85
	t_1	86

Çizelge 3.26 Senaryo-4 silah skor tablosu

[illegible]

Çizelge 3.26 Senaryo-4 silah skor tablosu (devam)

	t_1	33	63	0	60	51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45
Karıştırıcı-2	t_0	0	40	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37	0
	t_1	0	51	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38	0
Topatar-2	t_0	0	51	53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	57	0
	t_1	0	41	54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	57	0
Karıştırıcı-3	t_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44	0
	t_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0
Topatar-3	t_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0
	t_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48	0
Karıştırıcı-4	t_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	58	0	0
	t_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	59	0	0
Topatar-4	t_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	61	0	0
	t_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60	0	0
Karıştırıcı-5	t_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54	0	0
	t_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	57	0	0
Topatar-5	t_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	66	0	0
	t_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	61	0	0
Karıştırıcı-6	t_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	77	0	0	0
	t_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	78	0	0	0
Topatar-6	t_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37	0	0	0
	t_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36	0	0	0
Karıştırıcı-7	t_0	0	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	t_1	0	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Topatar-7	t_0	0	59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	t_1	0	59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Karıştırıcı-8	t_0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Çizelge 3.26 Senaryo-4 silah skor tablosu (devam)

	t_1	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Topatar-8	t_0	0	54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	t_1	0	55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Karıştırıcı-9	t_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47	0	0	0	0
	t_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	68	47	0	0	0	0
Topatar-9	t_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0	0	0	0
	t_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48	46	0	0	0	0
Karıştırıcı-10	t_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	56	35	0	0	0	0
	t_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	56	34	0	0	0	0
Topatar-10	t_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	63	60	0	0	0	0
	t_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	63	62	0	0	0	0
Karıştırıcı-11	t_0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	t_1	0	0	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Topatar-11	t_0	0	0	66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	t_1	0	0	67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Karıştırıcı-12	t_0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	t_1	0	0	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Topatar-12	t_0	0	0	55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	t_1	0	0	55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Karıştırıcı-13	t_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	t_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Topatar-13	t_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	t_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Karıştırıcı-14	t_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	t_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	65	0	0	0	0	0
Topatar-14	t_0	0	0	0	0	0	0	0	0	43	0	0	0	0	0	0

Çizelge 3.26 Senaryo-4 silah skor tablosu (devam)

	t_1	0	0	0	0	0	0	0	0	45	51	0	0	0	0	0
Karıştırıcı-15	t_0	0	0	44	86	62	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0
	t_1	0	0	43	80	60	0	0	0	47	0	0	0	0	0	0
Topatar-15	t_0	0	0	49	26	56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	t_1	0	0	50	33	58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Karıştırıcı-16	t_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	t_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Topatar-16	t_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	t_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Karıştırıcı-17	t_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	t_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Topatar-17	t_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	t_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Karıştırıcı-18	t_0	0	0	0	0	0	52	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	t_1	0	0	0	0	0	52	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Topatar-18	t_0	0	0	0	0	0	67	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	t_1	0	0	0	0	0	68	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Karıştırıcı-19	t_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	t_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Topatar-19	t_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	t_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Karıştırıcı-20	t_0	0	0	0	0	0	0	77	31	0	0	0	0	0	0	0
	t_1	0	0	0	0	0	0	75	30	0	0	0	0	0	0	0
Topatar-20	t_0	0	0	0	0	0	0	37	65	0	0	0	0	0	0	0
	t_1	0	0	0	0	0	0	40	67	0	0	0	0	0	0	0

3.5.4.1 Senaryo-4'ün Kaba Kuvvet Algoritması ile Çözümü

Senaryo-4'ün Kaba Kuvvet Algoritması ile çözüme ilişkin ortaya çıkan tablo, Çizelge 3.37'de verilmiştir.

Çizelge 3.27 Senaryo-4 kaba kuvvet algoritması atama tablosu

ZB	AS	K-1	TA-1	K-2	TA-2	K-3	TA-3	K-4	TA-4	K-5	TA-5	K-6	TA-6	K-7	TA-7	K-8	TA-8	K-9	TA-9	K-10	TA-10
t_0	THDT-1	112.0	84.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	THDT-2	97.0	127.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100.0	123.0	104.0	118.0	0	0	0	0
	THDT-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	THDT-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	THDT-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	THDT-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	THDT-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	THDT-8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	THDT-9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	THDT-10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	130.0	137.0	
	THDT-11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	123.0	121.0	111.0	136.0
	THDT-12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	146.0	106.0	0	0	0	0	0	0	0	0
	THDT-13	0	0	0	0	0	0	126.0	129.0	122.0	134.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	THDT-14	0	0	76.0	96.0	83.0	89.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	THDT-15	152	135.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t_1	THDT-1	110.0	86.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	THDT-2	98.0	128.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	101.0	124.0	105.0	120.0	0	0	0	0

Çizelge 3.27 Senaryo-4 kaba kuvvet algoritması atama tablosu (devam)

THDT-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
THDT-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
THDT-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
THDT-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
THDT-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
THDT-8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
THDT-9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
THDT-10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	145.0	125.0	133.0	140.0
THDT-11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125.0	124.0	112.0	140.0
THDT-12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150.0	108.0	0	0	0	0	0	0	0	0
THDT-13	0	0	0	0	0	0	130.0	131.0	128.0	132.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
THDT-14	0	0	79.0	98.0	86.0	89.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
THDT-15	153.0	127.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Çizelge 3.28 Senaryo-4 kaba kuvvet algoritması atama tablosu

Z	B	AS	K-11	TA-11	K-12	TA-12	K-13	TA-13	K-14	TA-14	K-15	TA-15	K-16	TA-16	K-17	TA-17	K-18	TA-18	K-19	TA-19	K-20	TA-20
		THDT-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		THDT-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t_0		THDT-3	88.0	124.0	98.0	113.0	0	0	0	0	102.0	107.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		THDT-4	0	0	0	0	0	0	0	0	153.0	93.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		THDT-5	0	0	0	0	0	0	0	0	148.0	142.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Çizelge 3.28 Senaryo-4 kaba kuvvet algoritması atama tablosu (devam)

	THDT-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	127.0	142.0	0	0	0	0
	THDT-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	137.0	97.0
	THDT-8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	93.0	127.0
	THDT-9	0	0	0	0	0	0	102.0	109.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	THDT-10	0	0	0	0	0	0	135.0	130.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	THDT-11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	THDT-12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	THDT-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	THDT-14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	THDT-15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
62	THDT-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	THDT-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	THDT-3	87.0	125.0	97.0	113.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	THDT-4	0	0	0	0	0	0	0	0	146.0	99.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	THDT-5	0	0	0	0	0	0	0	0	147.0	145.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	THDT-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	126.0	142.0	0	0	0	0
	THDT-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	135.0	100.0
	THDT-8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	92.0	129.0
	THDT-9	0	0	0	0	0	0	101.0	103.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	THDT-10	0	0	0	0	0	0	142.0	128.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	THDT-11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	THDT-12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	THDT-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	THDT-14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	THDT-15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

t_1

[illegible][illegible]

t_1 [illegible]

Çizelge 3.30 Senaryo-4 açık arttırma algoritması atama tablosu (devam)

[illegible]

Açık arttırma algoritması da t_0 anında [1 14 22 29 30 36 39 40 28 27 20 11 10 4 2], t_1 anında [2 14 22 29 30 36 39 40 28 17 20 11 10 4 1] atamalarını yaparak Kaba Kuvvet Algoritmasının sonuçlarını yakalayarak [15x40]'lık bir matriste başarısını kanıtlamıştır.

3.5.4.3 Senaryo-4'ün En Yakın Komşu Algoritması ile çözümü

Senaryo-4'ün En Yakın Komşu Algoritması ile çözüme ilişkin ortaya çıkan tablo, Çizelge 3.31 ve Çizelge 3.32 'de verilmiştir.

Çizelge 3.31 Senaryo-4 en yakın komşu algoritması atama tablosu

[illegible]

Çizelge 3.31 Senaryo-4 en yakın komşu algoritması atama tablosu (devam)

THDT-9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
THDT-10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	130.0	137.0
THDT-11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	123.0	121.0	111.0	136.0	
THDT-12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	146.0	106.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
THDT-13	0	0	0	0	0	0	126.0	129.0	122.0	134.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
THDT-14	0	0	76.0	96.0	83.0	89.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
THDT-15	152	135.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
THDT-1	110.0	86.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
THDT-2	98.0	128.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	101.0	124.0	105.0	120.0	0	0	0	0
THDT-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
THDT-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
THDT-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
THDT-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
THDT-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
THDT-8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
THDT-9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
THDT-10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	145.0	125.0	133.0	140.0
THDT-11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125.0	124.0	112.0	140.0
THDT-12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150.0	108.0	0	0	0	0	0	0	0	0
THDT-13	0	0	0	0	0	0	130.0	131.0	128.0	132.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
THDT-14	0	0	79.0	98.0	86.0	89.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
THDT-15	153.0	127.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Z		K-	TA-	K-	TA-	K-	TA-	K-	TA-		K-	TA-	K-	TA-	K-	TA-	K-	TA-	K-	TA-	
B	AS	11	11	12	12	13	13	14	14	K-15	TA-15	K-16	TA-16	K-17	TA-17	K-18	TA-18	K-19	TA-19	K-20	TA-20
t ₀	THDT-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	THDT-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	THDT-3	88.0	124.0	98.0	113.0	0	0	0	0	102.0	107.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	THDT-4	0	0	0	0	0	0	0	0	153.0	93.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	THDT-5	0	0	0	0	0	0	0	0	148.0	142.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	THDT-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	127.0	142.0	0	0	0	
	THDT-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	137.0	97.0	
	THDT-8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	93.0	127.0	
	THDT-9	0	0	0	0	0	0	102.0	109.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	THDT-10	0	0	0	0	0	0	135.0	130.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	THDT-11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	THDT-12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	THDT-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	THDT-14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	THDT-15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
t ₁	THDT-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	THDT-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	THDT-3	87.0	125.0	97.0	113.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	THDT-4	0	0	0	0	0	0	0	0	146.0	99.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

 t_1

Çizelge 3.32 Senaryo-4 en yakın komşu algoritması atama tablosu (devam)

THDT-5	0	0	0	0	0	0	0	0	147.0	145.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
THDT-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	126.0	142.0	0	0	0	0
THDT-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	135.0	100.0
THDT-8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	92.0	129.0
THDT-9	0	0	0	0	0	0	101.0	103.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
THDT-10	0	0	0	0	0	0	142.0	128.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
THDT-11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
THDT-12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
THDT-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
THDT-14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
THDT-15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

En Yakın Komşu yaklaşımı t_0 [1 7 22 29 30 36 39 40 28 20 17 11 10 4 2] ve t_1 anında [1 7 22 29 30 36 39 40 28 17 20 11 10 4 2] atamaları ile toplam skor bazında diğer algoritmaların altında kalmıştır.

3.5.4.4 Senaryo-4'ün öncelikli algoritma ile çözümü

Senaryo-4'ün Öncelikli Algoritma ile çözüme ilişkin ortaya çıkan tablo, Çizelge 3.33, 3.34'de verilmiştir.

Çizelge 3.33 Senaryo-4 öncelikli algoritma atama tablosu

ZB	AS	K-1	TA-1	K-2	TA-2	K-3	TA-3	K-4	TA-4	K-5	TA-5	K-6	TA-6	K-7	TA-7	K-8	TA-8	K-9	TA-9	K-10	TA-10
t_0	THDT-1	112.0	84.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	THDT-2	97.0	127.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100.0	123.0	104.0	118.0	0	0	0	0
	THDT-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	THDT-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	THDT-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	THDT-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	THDT-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	THDT-8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	THDT-9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	THDT-10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	130.0	137.0
	THDT-11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	123.0	121.0	111.0	136.0
	THDT-12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	146.0	106.0	0	0	0	0	0	0	0	0
	THDT-13	0	0	0	0	0	0	126.0	129.0	122.0	134.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Çizelge 3.33 Senaryo-4 öncelikli algoritma atama tablosu (devam)

[illegible]

Çizelge 3.34 Senaryo-4 öncelikli algoritma atama tablosu

Z B	AS	K- 11	TA- 11	K- 12	TA- 12	K- 13	TA- 13	K-14	TA- 14	K-15	TA- 15	K- 16	TA- 16	K- 17	TA- 17	K- 18	TA- 18	K- 19	TA- 19	K- 20	TA-20
t_0	THDT-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	THDT-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	THDT-3	88.0	124.0	98.0	113.0	0	0	0	0	102.0	107.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	THDT-4	0	0	0	0	0	0	0	0	153.0	93.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	THDT-5	0	0	0	0	0	0	0	0	148.0	142.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	THDT-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	127.0	142.0	0	0	0	0
	THDT-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	137.0	97.0
	THDT-8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	93.0	127.0
	THDT-9	0	0	0	0	0	0	102.0	109.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	THDT-10	0	0	0	0	0	0	135.0	130.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	THDT-11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	THDT-12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	THDT-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	THDT-14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	THDT-15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t_1	THDT-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Çizelge 3.34 Senaryo-4 öncelikli algoritma atama tablosu (devam)

THDT-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
THDT-3	87.0	125.0	97.0	113.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
THDT-4	0	0	0	0	0	0	0	0	146.0	99.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
THDT-5	0	0	0	0	0	0	0	0	147.0	145.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
THDT-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	126.0	142.0	0	0	0	0
THDT-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	135.0	100.0
THDT-8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	92.0	129.0
THDT-9	0	0	0	0	0	0	101.0	103.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
THDT-10	0	0	0	0	0	0	142.0	128.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
THDT-11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
THDT-12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
THDT-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
THDT-14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
THDT-15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Öncelikli algoritma her iki t anında da [2 14 22 29 30 36 39 40 28 27 20 11 10 4 1] ataması yapmıştır ve bu senaryo için başarısı öncekilere göre daha düşük kalsa da yine de çoğu t anında atamaların Kaba Kuvvet atamalarıyla örtüştüğü görülmektedir.

4. BULGULAR

Algoritmaların güvenilirlik/doğruluk ve hesaplama süresi analizlerini yukarıda koşulan simülasyonların yanı sıra; [3x5]'lik ve [5x5]'lik rastgele 100000 matris ile [8x8]'lik rastgele 10000 matris üretilerek çözüm sonuçları kıyaslanmıştır ve sonuçları sırasıyla Çizelge 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 ve 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.1 [3x5] algoritma güvenilirlik kıyaslama tablosu

Algoritma Adı	İterasyon Sayısı	Eşleşen Sonuç Sayısı	Başarı (%)
Açık Artırma	100000	97647	97.647
En Yakın Komşu		32265	32.265

Çizelge 4.2 [3x5] algoritma hesaplama süresi kıyaslama tablosu

Algoritma Adı	İterasyon Sayısı	Hesaplama Süresi (ms)
Kaba Kuvvet	100000	346
Açık Artırma		32
En Yakın Komşu		14

Çizelge 4.3 [5x5] algoritma güvenilirlik kıyaslama tablosu

Algoritma Adı	İterasyon Sayısı	Eşleşen Sonuç Sayısı	Başarı (%)
Açık Artırma	100000	96072	96.072
En Yakın Komşu		24407	24.407

Çizelge 4.4 [5x5] algoritma hesaplama süresi kıyaslama tablosu

Algoritma Adı	İterasyon Sayısı	Hesaplama Süresi (ms)
Kaba Kuvvet	100000	503
Açık Artırma		38
En Yakın Komşu		15

Çizelge 4.5 [8x8] algoritma güvenilirlik kıyaslama tablosu

Algoritma Adı	İterasyon Sayısı	Eşleşen Sonuç Sayısı	Başarı (%)
Açık Artırma	10000	9135	91.35
En Yakın Komşu		786	7.86

Çizelge 4.6 [8x8] algoritma hesaplama süresi kıyaslama tablosu

Algoritma Adı	İterasyon Sayısı	Hesaplama Süresi (ms)
Kaba Kuvvet	10000	17651
Açık Artırma		57
En Yakın Komşu		18

3.5 başlığı altında verilen senaryoların algoritma sonuçları Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7 Atama sonuçları

Senaryo	Algoritma	Zaman Bilgisi	Atama	Atama Skoru
1	Kaba Kuvvet	t_0	[0]	0
		t_1	[0]	0
		t_2	[0]	0
		t_3	[0]	0
		t_4	[0]	0
		t_5	[0]	0
		t_6	[0]	0
		t_7	[0]	0

Çizelge 4.7 Atama sonuçları (devam)

		t_8	[1]	116
		t_9	[2]	121
		t_{10}	[2]	129
	Açık Arttırma	t_0	[0]	0
		t_1	[0]	0
		t_2	[0]	0
		t_3	[0]	0
		t_4	[0]	0
		t_5	[0]	0
		t_6	[0]	0
		t_7	[0]	0
		t_8	[1]	116
		t_9	[2]	121
		t_{10}	[2]	129
	En Yakın Komşu	t_0	[0]	0
		t_1	[0]	0
		t_2	[0]	0
		t_3	[0]	0
		t_4	[0]	0
		t_5	[0]	0
		t_6	[0]	0
		t_7	[0]	0
		t_8	[1]	116
		t_9	[2]	121
		t_{10}	[2]	129
	Öncelikli	t_0	[0]	0
		t_1	[0]	0
		t_2	[0]	0
		t_3	[0]	0
		t_4	[0]	0
		t_5	[0]	0
		t_6	[0]	0
		t_7	[0]	0
		t_8	[1]	116
		t_9	[2]	121
		t_{10}	[2]	129
2	Kaba Kuvvet	t_0	[1 2 3 4 5 6 8 7]	898
		t_1	[1 2 3 4 5 6 8 7]	902
		t_2	[1 2 3 4 5 6 8 7]	899
		t_3	[1 2 3 4 5 6 8 7]	898
		t_4	[1 2 3 4 5 6 8 7]	910

1. Çizelge 4.7 Atama sonuçları (devam)

	Açık Arttırma	t_0	[1 2 3 4 5 6 8 7]	898
		t_1	[1 2 3 4 5 6 8 7]	902
		t_2	[1 2 3 4 5 6 8 7]	899
		t_3	[1 2 3 4 5 6 8 7]	898
		t_4	[1 2 3 4 5 6 8 7]	910
	En Yakın Komşu	t_0	[1 2 3 4 5 7 6 8]	887
		t_1	[1 2 3 4 5 7 6 8]	887
		t_2	[1 2 3 4 5 7 6 8]	892
		t_3	[1 2 3 4 5 7 6 8]	897
		t_4	[1 2 3 4 5 7 6 8]	901
	Öncelikli	t_0	[1 2 3 4 5 6 8 7]	898
		t_1	[1 2 3 4 5 6 8 7]	902
		t_2	[1 2 3 4 5 6 8 7]	899
		t_3	[1 2 3 4 5 6 8 7]	898
		t_4	[1 2 3 4 5 6 8 7]	910
3	Kaba Kuvvet	t_0	[0 3 4 1 2]	519
		t_1	[0 3 4 1 2]	522
		t_2	[0 3 4 1 2]	516
		t_3	[0 3 4 1 2]	519
		t_4	[0 3 4 1 2]	524
	En Yakın Komşu	t_0	[2 3 4 1 0]	474
		t_1	[2 3 4 1 0]	477
		t_2	[2 4 3 1 0]	468
		t_3	[2 4 3 1 0]	469
		t_4	[2 4 3 1 0]	473
	Öncelikli	t_0	[0 3 4 1 2]	517
		t_1	[0 3 4 2 1]	522
		t_2	[0 4 3 2 1]	515
		t_3	[0 4 3 2 1]	517
		t_4	[0 4 3 2 1]	521
4	Kaba Kuvvet	t_0	[1 14 22 29 30 36 39 40 28 27 20 11 10 4 2]	2.080
		t_1	[2 14 22 29 30 36 39 40 28 17 20 11 10 4 1]	1.953
	Açık Arttırma	t_0	[1 14 22 29 30 36 39 40 28 27 20 11 10 4 2]	2.080
		t_1	[2 14 22 29 30 36 39 40 28 17 20 11 10 4 1]	1.953
	En Yakın Komşu	t_0	[1 7 22 29 30 36 39 40 20 28 17 11 10 4 2]	1.940
		t_1	[1 7 22 29 30 36 39 40 28 17 20 11 10 4 2]	1.930
	Öncelikli	t_0	[2 14 22 29 30 36 39 40 28 27 20 11 10 4 1]	1.940
		t_1	[2 14 22 29 30 36 39 40 28 27 20 11 10 4 1]	1.948

Açık Arttırma Algoritması hemen hemen bütün senaryolar ve zamanlarda Kaba Kuvvet Algoritmasının sonuçlarını yakalamıştır. Sonuçlar gösteriyor ki, Önceliklik Algoritma Açık Arttırma Algoritması kadar başarılı olmasa da En Yakın Komşu Algoritmasının başarısını ciddi seviyede yükseltmiştir ve aynı zamanda En Yakın Komşu Algoritması ile birlikte en hızlı çözümü sunduğu için kullanım açısından başarılı bir algoritma olarak değerlendirilmiştir.



5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, mini/mikro dron önleme sistemleri için fiziksel imha ve işlevsel imha silahları özelinde bir karar destek algoritması geliştirilmiştir. Bu kapsamda kural tabanlı bir indeks atama sistemi geliştirilerek Tehdit Değerlendirme Silah Atama süreçleri ayrıntılı şekilde işletilmiştir. Silah-Hedef ataması aşamalarında dört farklı atama algoritması: Kaba Kuvvet Algoritması (Brute-Force Algorithm), Müzayedede/Açık Arttırma Algoritması (Auction Algorithm), En Yakın Komşu Algoritması (Naive Nearest Neighbors Algorithm) ve Öncelikli Algoritma (Priority Based Algorithm) kullanılmış ve sonuçları kıyaslanmıştır. Hedeflenen, benzetimi yapılmış askeri bir ortamda tehditleri etkisiz hale getirmek için savunma kaynaklarının atanmasında bu algoritmaların performanslarını değerlendirmek ve karşılaştırmaktır. Karşılaştırma, çeşitli tehdit senaryoları altında hesaplama verimliliği, hesaplama doğruluğu ve kaynak/maliyet optimizasyonu dahil olmak üzere çeşitli temel performans ölçümlerine dayanmaktadır.

Kaba Kuvvet algoritması atama aşamasında olası bütün kombinasyonları tek tek incelediği için sonuç olarak mutlak optimal sonucu elde etmiştir fakat tek tek inceleme süreci sonucunda hesaplama süresi olarak diğer algoritmalara göre daha yavaş kalmaktadır. Bu sonuçlar Kaba Kuvvet Algoritmasını diğer algoritmaların doğruluk açısından kıyaslanmaları aşamaları için iyi bir referans haline getirmektedir.

Açık Arttırma algoritması sonuçları incelendiğinde hesaplama doğruluğu ve hesaplama süresi açısından tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir. Doğruluk performansı konusunda çok yakın sonuçlara ulaşılırken, hesaplama süresi olarak çok daha başarılı gözükmiştir. Bu sonuçlar, bu çalışmada olduğu gibi gerçek zamanlı dinamik hesaplamalara dayanan problemlerin çözümünde Açık Arttırma Algoritmasının kullanılabileceğini göstermiştir. Algoritma çıktıları her ne kadar başarılı gözükse de bu algoritmanın bazı durumlarda kısıtları sebebiyle kullanılamadığını da göz önünde bulundurmak gerekir.

En Yakın Komşu algoritması yapısı gereği ölçeklenebilirlik anlamında iyi sonuçlar üreterek hesaplama kolaylığı ve hesaplama süresi olarak en iyi sonuçları elde etse de doğruluk performansı açısından böyle bir problem için düşük seviyelerde kalmıştır.

Öncelikli algoritma, En Yakın Komşu algoritmasının güvenilirliğini arttırmak için atama sırasında hedef puanaları üzerinden öncelik verilerek atmaların yapılmasını içermektedir. Bu sayede atama sonuçları, güvenilirlik anlamında ciddi bir artış göstererek bu algoritmayı böylesi bir problemde kullanılabilecek makul bir seviyeye getirmiştir. Sonuçlar Kaba Kuvvet algoritmasına yaklaşırken hesaplama süresi olarak En Yakın Komşu algoritması ile en hızlı sonuçları vermektedir.

Çalışmanın, olası tüm gerçek hayat senaryolarını kapsayabilecek kontrollü koşullar altında ve belli başlı varsayımlarla yürütüldüğüne dikkat edilmelidir. Ayrıca, karşılaştırma için algoritmalar olabildiğince farklı senaryolarla denenmelerine rağmen tanımlanan kural tabanının değişmesiyle daha farklı senaryolarda daha çeşitli verilerle performans farklılıkları görülebilir.

Gelecekteki araştırmalar bu algoritmaların performansını daha çeşitli, daha büyük veya daha spesifik kural tabanları üzerinde araştırabilir. Ek olarak, birden fazla algoritmanın güçlü yönlerini birleştiren hibrit yaklaşımlarla veya farklı atama yöntemleriyle belirli kısıtlar çözülebilir veya elde edilen sonuçlar daha iyi seviyelere ulaşabilir.

Sonuç olarak, çalışmamız dört farklı algoritmanın kapsamlı bir karşılaştırmasını sunmuş, bunların güçlü yönlerini ve optimal uygulama bağlamlarını belirlemiştir.

Evrensel olarak en iyi performansı gösteren tek bir algoritma ortaya çıkmasa da ayrıntılı analiz, belirli proje gereksinimlerine dayalı olarak daha bilinçli karar alınmasına olanak tanıyacaktır. Öte yandan bu algoritmaları ve kural tabanlarını gerçek hayat uygulamaları için daha da derinleştirmek ve optimize etmek için geniş bir araştırma ve geliştirme alanı mevcut gözükmektedir.

KAYNAKLAR

- A. B. Morton and I. M. Y. Mareels (2000). An Efficient Brute-Force Solution To The Network Reconfiguration Problem. IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 15, no. 3, pp. 996-1000.
- Bertsekas, D. P. (1991). Linear Network Optimization: Algorithms and Codes, MIT Press, Cambridge, MA.
- Bertsekas, D.P. (1988). The auction algorithm: A distributed relaxation method for the assignment problem. Ann Oper Res 14, 105–123 .
- Brauers WKM, Zavadskas EK (2006). The MOORA method and its application to privatization in a transition economy. Control and Cybernetics, 35: 445-469.
- Brans JP, Vincke P, Mareschal B (1986). How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method. European Journal of Operational Research 24(2): 228-238.
- Fu G, Wang C, Zhang D, Zhao J, Wang H (2019). A Multiobjective Particle Swarm Optimization Algorithm Based on Multipopulation Coevolution for Weapon-Target Assignment. Mathematical Problems in Engineering, Article ID 1424590.
- H. Naeem and A. Masood. “An optimal dynamic threat evaluation and weapon scheduling technique.” Knowledge Based Systems 23 (2009): 337-342.
- Hasan M (2019). Iterated Local Search in Combinatorial Optimization Problem. International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology 6(4): 405-412.
- Huang, P. and Kar, P. (1994). An Autonomous Optimal Weapon Assignment Algorithm For Ship Self Defense. IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 1994, Volume 3; pages 2544-2549.
- Hocaoğlu MF (2019). Weapon target assignment optimization for land based multi-air defense systems: A goal programming approach. Computers & Industrial Engineering, 128: 681-689.
- Hwang CL, Yoon K (1981). Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications, New York: Springer-Verlag.
- Kelly, GA (1955). The Psychology of Personal Constructs (vol. I and vol. II). New York: Norton.
- Kline A, Ahner D, Hill R (2019). The Weapon-Target Assignment Problem. Computers & Operations Research, 105: 226-236.

- Lai C-M, Wu T-H (2019). Simplified swarm optimization with initialization scheme for dynamic weapon–target assignment problem. *Applied Soft Computing*, 82: 105542.
- Liu X, Han Y, Qiu H, Zheng Z (2018). Threat Evaluation in Air Defense Based on Improved KPCA-TOPSIS. *IEEE CSAA Guidance, Navigation and Control Conference(CGNCC)*
- Opricovic S (1990). Programski paket VIKOR za visekriterijumsko kompromisno rangiranje. In 17th International Symposium on Operational Research, SYM-OP-IS.
- Pan Q, Zhou D, Tang Y, Li X (2019). A Novel Antagonistic Weapon-Target Assignment Model Considering Uncertainty and its Solution Using Decomposition Co-Evolution Algorithm. *IEEE Access* 7: 37498-37517.
- S. Sun and R. Huang (2010). An Adaptive K-Nearest Neighbors Algorithm. *Seventh International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*, Yantai, China, pp. 91-94,
- Saaty TL (1982). *Decision Making for Leaders: The Analytical Hierarchy Process for Decisions in a Complex World*, Belmont, California: Wadsworth.
- Saaty TL (1996). *Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process*, Pittsburgh, Pennsylvania: RWS Publications
- Shin M-K, Lee D, Choi H-L (2019). Weapon-Target Assignment Problem with Interference Constraints using Mixed-Integer Linear Programming. *Asia Pacific International Symposium on Aerospace Technology (APISAT)*.
- Ximeng X, Rennong Y, Yang Y (2019). Threat Assessment in Air Combat Based on ELM Neural Network. *IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Computer Applications (ICAICA)*, pp. 114-120.
- Yoon K (1987). A reconciliation among discrete compromise situations. *Journal of the Operational Research Society* 38(3): 277–286.
- Zhang K, Zhou D, Yang Z, Pan Q, Kong W (2019). Constrained Multi-Objective Weapon Target Assignment for Area Targets by Efficient Evolutionary Algorithm. *IEEE Access*, 7:176339-17636