



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



# Hareketli hedefli - heterojen filolu İHA rotalama problemi için yeni bir çözüm yaklaşımı

*A new solution approach for UAV routing problem with moving target - heterogeneous fleet*

*Yazar(lar) (Author(s)): Ukbe Üsame UÇAR<sup>1</sup>, Selçuk Kürşat İŞLEYEN<sup>2</sup>*

*ORCID<sup>1</sup>: 0000-0001-7610-6547*

*ORCID<sup>2</sup>: 0000-0003-2387-7799*

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Uçar U. Ü., İşleyen S. K., "Hareketli hedefli - heterojen filolu İHA rotalama problemi için yeni bir çözüm yaklaşımı", *Politeknik Dergisi*, 22(4): 999-1016, (2019).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.466393

# Hareketli Hedefli - Heterojen Filolu İHA Rotalama Problemi İçin Yeni Bir Çözüm Yaklaşımı

*Araştırma Makalesi / Research Article*

Ukbe Üsame UÇAR<sup>1\*</sup>, Selçuk Kürşat İŞLEYEN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Fırat Üniversitesi, Türkiye

<sup>2</sup>Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 01.10.2018 ; Kabul/Accepted : 27.01.2019)

## ÖZ

Savunma sanayinde yaşanan teknolojik gelişmeler, ülkeleri robotik sistemlere dayalı askersiz ordular oluşturmaya yönlendirmektedir. Hedeflerin anlık olarak gözetlenmesi, takibi, tespiti ve imhasında, insansız hava araçlarının yoğun bir şekilde kullanılmasıyla beraber, operasyon alanında farklı özelliklere sahip hava araçlarından hangilerinin seçileceği ve etkin bir şekilde nasıl rotalanacağı, önemli ve zor bir problem olarak ortaya çıkarmıştır. Bu çalışmada filo halinde hareket eden silahlı ve silahsız insansız hava araçlarının kapasite ve zaman penceresi kısıtları dikkate alınarak hareket halindeki hedefleri etkisiz hale getirmesi için sezgisel algoritmaya dayalı çok kriterli bir çözüm yaklaşımı önerilmiştir. Hedef ve vurucuların önceliklendirilmesinde Analitik Hiyerarşik Proses yönteminden yararlanılmış, İHA' lara ait uçuşların belirli bir maliyete sahip olması, gereksiz kullanılan İHA' ların bakım-onarım maliyetini ve arıza riskini artırması, operasyon alanında fazla sayıda İHA kullanılmasının düşman unsurlarını uyandırması ve İHA' lara karşı savunma tedbirleri almaya yönlendirmesi nedenlerinden dolayı kısa bir çözüm süresi içinde tüm hedeflerin minimum sayıda araç ile imha edilmesi amaçlanmıştır. Algoritmanın etkinliği, vurucu sayısının 10 ile 50, hedef sayısının 40 ile 200 arasında değiştiği 25 farklı senaryo üzerinde test edilmiş, sonuç olarak kabul edilebilir çözüm süresi içerisinde tüm hedeflerin belirtilen öncelik sırasına göre minimum sayıda araçla imha edildiği tespit edilmiştir. Önerilen yöntemin filo halinde hareket eden farklı özelliklere sahip (heterojen) insansız hava araçlarının etkin bir şekilde rotalanmasına katkıda bulunduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Dinamik insansız hava aracı rotalama, analitik hiyerarşik proses, sezgisel algoritma, hareketli hedefli gezgin satıcı problemi, filo rotalama.

## A New Solution Approach for UAV Routing Problem with Moving Target – Heterogeneous Fleet

### ABSTRACT

The technological developments in the defence industry lead countries to create unmanned armies based on robotic systems. Due to the intense use of unmanned aerial vehicles in the instant surveillance, tracking, detection and disposal of targets, it is an important and difficult problem to determine which of the different types of air vehicles in the field of operations should be selected and how they can be effectively routed. In this study, a multi-criteria solution approach based on heuristic algorithm is proposed for destroying moving targets taking into account of the capacity and time window constraints by armed and unarmed unmanned aerial vehicles moving as a fleet. The Analytical Hierarchical Process method was used to prioritize the targets and pursuers; and it was aimed to destroy all targets with a minimum number of vehicles in a short time due to the cost of flights with UAVs, increase in maintenance-repair costs and the risk of fault due to unnecessary UAV use, the use of large numbers of UAVs in the field of operation evoked enemy elements and directed them to take defensive measures against UAVs. The effectiveness of the algorithm has been tested on 25 different scenarios where the number of pursuers is between 10 and 50 and the target number ranges from 40 to 200. As a result, it has been determined that all targets are destroyed with minimum number of vehicles according to the specified order of priority within the acceptable solution period and the proposed method contributed to the efficient routing of (heterogeneous) unmanned aerial vehicles moving in a fleet.

**Keywords:** Dynamic unmanned aerial vehicle routing problem, analytical hierarchical process, heuristic algorithm, moving target traveling salesman problem, fleet routing.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dünya'da İnsansız hava araçları oldukça eski bir tarihsel geçmişe sahip olmaktadır. Avusturyalılar' ın 22 Ağustos 1849 yılında Venedik (İtalya) üzerine yaptıkları hava saldırısında 200 pilotsuz balonu kullanması, literatürde ilk İHA kullanımı olarak kabul görmektedir [1]. Bugünkü bilinen anlamıyla ilk İHA denemeleri 1916 yılında Elmer

Sperry tarafından uçağın, uçuş kontrolü için kullanılan bir elektronik cihaz kullanılarak uçurmasıyla başlamıştır. İlk otonom İHA Charles Kettering tarafından, radyo kontrol mekanizması ile uzaktan yönlendirilebilen ilk İHA 1920 yılında Lawrence Sperry tarafından geliştirilmiştir. İkinci Dünya Savaşı' ndan sonra ise keşif ve gözetleme görevinde kullanılan İHA' lar ile ilgili çalışmalara yoğunlaşmıştır [2]. 1980'li yıllardan itibaren İHA' lar küçülmeye ve çok fonksiyonlu bir hale

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : uuucar@firat.edu.tr

gelmeye başlamış, keşif ve gözetleme operasyonlarında kullanılan bu araçlar silahlandırılarak hedeflerin etkisiz hale getirilmesi görevlerinde etkili bir şekilde kullanılmıştır [3].

Günümüz dünyasında İHA' lar gerek askeri gerekse sivil amaçlı olmak üzere birçok alanda yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Askeri operasyonlar, arama-kurtarma faaliyetleri, tarımsal uygulamalar, meteorolojik faaliyetler, yangın, sel gibi doğal felaketlerin tespiti ve takibi bu alanlardan bazılarıdır. Literatürde insansız hava araçları teknik özelliklerine ve kullanım amaçlarına göre çeşitli şekillerde sınıflandırılabilir. İnsansız hava aracının kullanım amacı, faydalı yük taşıma ve uçuş kapasitesi, büyüklüğü, irtifası ya da menzili, faydalı yük tipi, kalkışta-inişte kullandığı metodoloji ve kontrol biçimi bu sınıflandırma şekillerinden bazılarıdır [4].

Uluslararası literatürde kabul gören iki adet sınıflandırma şekli bulunmaktadır. Bu sınıflandırma şekillerinden birincisi NATO ya (North Atlantic Treaty Organization- Kuzey Atlantik Antlaşması Örgütü) ikincisi ise EUROUVS e (The European Association of Unmanned Vehicles Systems - Avrupa İnsansız Araç Sistemleri Birliği) ait olmaktadır. NATO' ya göre İHA için yapılan sınıflandırma çizelge 1' de, EUROUVS e göre yapılan sınıflandırma çizelge 2' de gösterilmektedir [5], [6], [7]. Bu sınıflandırmalara ek olarak kullanım amaçlarına göre İHA' lar çizelge 3' deki gibi sınıflandırılmaktadır [8].

**Çizelge 1.** NATO ya göre İHA sınıflandırması (NATO UAS Classification)

Sınıf	Kategori	Normal Görevi	Normal Görev İrtifası	Normal Görev Çapı	Örnek Platform
Class III ( > 600 kg)	Vurucu/Savaşçı	Stratejik/Ulusal	65,000 ft e kadar	Sınırlanmamış (BLOS)	Reaper
	HALE	Stratejik/Ulusal	65,000 ft e kadar	Sınırlanmamış (BLOS)	Global Hawk
	MALE	Operasyonel/Saha	45,000 ft e kadar (MSL)	Sınırlanmamış (BLOS)	Heron
Class II (150 kg – 600 kg)	Taktik	Taktiksel Düzenleme	18,000 ft e kadar (AGL)	200 km (LOS)	Hermes 450
	Küçük ( > 15 kg)	Taktiksel Birim/Birlik	5,000 ft e kadar (AGL)	50 km (LOS)	Scan Eagle
Class I (< 150 kg)	Mini (< 15 kg)	Taktiksel Alt-Birim	3,000 ft e kadar (AGL)	25 km e kadar (LOS)	Skylark

**Çizelge 2.** EUROUVS ye göre İHA sınıflandırması (EUROUVS UAS Classification)

İHA Sınıfı	Kategori	Maksimum Kalkış Ağırlığı (kg)	Maksimum Uçuş Yüksekliği (m)	Dayanıklılık (saat)	Data Link Aralığı (km)
Mikro/Mini İHA	Mikro/Mini	0.1	250	1	<10
	Mini	<30	150-300	<2	<10
Taktiksel İHA	Close Range (CR)	150	3000	2-4	10-30
	Short Range (SR)	200	3000	3-6	30-70
	Medium Range (MR)	150-500	3000-5000	6-10	70-200
	Long Range (LR)	-	5000	6-13	200-500
	Endurance (EN)	500-1500	5000-8000	12-24	>500
	Medium Altitude, Long Endurance (MALE)	1000-1500	5000-8000	24-48	>500
Stratejik İHA	High Altitude, Long Endurance (HALE)	2500-12500	15000-20000	24-48	>2000
Özel Görev için Kullanılan İHA	Lethal (LET)	250	3000-4000	3-4	300
	Decoys (DEC)	250	50-5000	<4	0-500
	Stratospheric (STRATO)	-	20000-30000	>48	>2000
	Exo-stratospheric (EXO)	-	>30000	-	-

**Çizelge 3.** Kullanım amaçlarına göre İHA'lar (UAVs according to their usage purposes)

Görev Adı	Kullanım Amacı
Hedef ve yem	Düşman kuvvetlerinin hava araçlarına karşı bir yem ya da tuzak olarak kullanılarak bu kuvvetlere ait lokasyonların belirlenmesine yardımcı olan araçlar.
Keşif ve gözetleme	Düşman kuvvetlerine ait cephane, silah ya da askeri konumlar gibi cephe bilgilerinin toplanmasında kullanılan araçlar.
Çatışma	Düşman ya da terör unsurlarının etkisiz hale getirilmesinde kullanılan mühimmat yüklü araçlar.
Lojistik	Taşımacılık faaliyetlerinde kullanılan araçlar.
Araştırma ve geliştirme	Gelecek yıllardaki uygulamalar için Ar-ge çalışmalarında kullanılan araçlar.
Sivil ve ticari	Satış ve pazarlama faaliyetlerinde sivil insanlar için ticaret amacıyla kullanılan araçlar.

Bu çalışmada keşif ve gözetleme ile çatışma görevlerinde kullanılan insansız hava araçlarının filo halinde eş zamanlı olarak rotalanması problemi ele alınmakta ve kısa sürede etkin çözümler üretilmesi amaçlanmaktadır. Problem literatürde hareket eden nesnelerin yakalanması problemi olarak da bilinen Hareketli Hedefli Gezgin Satıcı Problemi (HHGSP) (Moving Target Traveling Salesman Problem) başlığı altında incelenmektedir.

HHGSP, ilk kez Helvig ve ark., tarafından 1998 yılında ortaya atılmış ve belirtilen tarihten itibaren askeri operasyonlar başta olmak üzere birçok alanda etkin bir şekilde uygulanmıştır [9]. HHGSP’de,  $S=\{s_1, s_2, \dots, s_n\}$  hedefler kümesini oluşturmakta, her bir  $s_i$  hedefi, sabit bir  $v_i$  hızına ve  $p_i$  başlangıç pozisyonuna sahip olmaktadır. Sistemde başlangıç noktasından (orijin) harekete başlayan bir adet vurucu bulunmakta ve vurucu ( $v > |v_i|$ ) tüm hedeflerden daha fazla hıza sahip olmaktadır. Problemden vurucunun orijinden başlayıp, tüm hedefleri imha edip tekrar orijine döneceği minimum tur rotasının belirlenmesi amaçlanmaktadır.

HHGSP ile ilgili literatürde yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Helvig ve ark., problemi vurucunun  $x$  koordinat düzleminde hareket etmesi, yeniden ikmal yapması ve birden çok vurucunun bulunması durumları açısından ele almış, bu durumlara ilişkin çözüm metodolojileri önermişlerdir [9]. Fügenschuh ve ark., çok vuruculu, çok hedefli HHGSP için tam sayılı matematiksel model geliştirmiş ve model içerisinde zaman kavramını kesikli olarak belirlemişlerdir [10]. Stieber ve ark., çok hedefli çok silahlı atama problemini çözmek için zamanın kesikli olarak kabul edildiği bir matematiksel model geliştirmişler ve çalışma içerisinde enerji tüketimini bir amaç olarak dikkate almışlardır [11]. Stieber ve Fügenschuh, hedeflerin belirli bir zaman penceresine sahip olduğunu varsayımlar ve tüm hedeflerin imha edildiği minimum seyahat turunu, zamanın kesikli ve sürekli olarak ele alındığı iki farklı modelleme yaklaşımıyla belirlemeye çalışmışlardır [12]. Jiang ve ark., tek vuruculu, çok hedefli HHGSP’yi çözmek için genetik algoritmaya dayalı bir çözüm yaklaşımı önermişler ve algoritmanın etkinliğini artırmak için farklı çaprazlama ve mutasyon operatörleri ile bakım onarım mekanizmalarını kullanmışlardır [13]. Jindal ve ark., vurucunun iki hedefi imha ettikten sonra orijin noktasına dönmesi gerektiği varsayımı altında bir vuruculu

“n” hedefli HHGSP’yi çözmek için hedeflerin önceliklendirilmesine dayalı sezgisel bir algoritma geliştirmişler ve toplam seyahat zamanını minimize etmeyi amaçlamışlardır [14]. Englot ve ark., insansız hava aracı ile birden fazla hedefin imha edilmesi problemini ele almış, problemin çözümü için iki farklı sezgisel algoritma önermişlerdir. Analiz çalışması sonucunda hızlı hareket eden sistemlerde açgözlü olmayan sezgisellerin, yavaş hareket eden sistemlerde ise ajan tabanlı Lin-Kernighan Sezgiselinin(LKH) daha iyi çözümler ürettiğini belirtmişlerdir [15]. Jindal ve ark., yeniden ikmal yapılan HHGSP’yi, hedeflerin orijine yaklaştığı ve orijinden uzaklaştığı durumlar açısından değerlendirmiş ve problemin çözümü için iki farklı algoritma geliştirmişlerdir [16].

Khosravi ve ark., görev alanında çeşitli engellerin bulunduğu ve hedeflere ait yörüngelerin belirli olmadığı ödül toplama problemini incelemiş ve problemin çözümü için sezgisel bir algoritma geliştirmişlerdir [17]. Zhou ve ark., şehir lokasyonlarının Gauss dağılımına göre zaman içerisinde değiştiği Dinamik GSP’yi çözmek için “Dynamic Inver-Over Evolutionary” algoritmasını geliştirmiş ve analiz çalışmaları sonucunda önerilen algoritmanın optimal sonuçlara ulaştığını belirtmişlerdir [18]. Choubey, belirli açı ve hızlarda hareket eden hedeflerin, orijinden başlayan bir vurucu tarafından imha edilmesi problemini ele almış ve problemin çözümü için genetik algoritmaya dayalı bir çözüm yaklaşımı önermiştir [19]. Lee ve ark., silah-hedef atama problemini çözmek için Bağışıklık Sistemine Dayalı Karınca Kolonisi Optimizasyonu yöntemini kullanmış ve beklenen tahribatın minimize edilmesini amaçlamışlardır [20]. Pushkarini ve Bullo, çalışmalarında hedeflerin birim çember üzerinde Poisson dağılımına göre rastgele dağıldığını varsayımlar ve problemin çözümü için üç farklı sezgisel algoritma önermişlerdir [21]. Knapp ve Rothe, top atışı ya da roket gibi dışarıdan yapılan saldırıların lazer silahları ile etkisiz hale getirildiği silah hedef atama problemini ele almış ve problemin çözümünde simülasyon metoduna dayalı bir çözüm metodolojisi geliştirmişlerdir [22]. Ries ve Ishizaka, çalışmasında belirsizliğin ve dinamikliğin yüksek olduğu deniz gözetleme faaliyetlerinde kullanılacak insansız hava araçlarının rotalanması problemini incelemiş, belirtilen problemi çözmek için çok kriterli karar

verme ve matematiksel modellemeye dayalı hibrit bir çözüm yaklaşımı önermişlerdir [23]. Bu çalışmalara ek olarak, HHGSP kapsamında literatürde yapılmış çalışmalar çizelge 4’ de gösterilmektedir.

çözülmede, ele alınan problem ve problem için önerilen sezgisel algoritma, HHGSP ve İHA Rotalama Problemi literatüründe bilindiği kadarıyla ilk kez kullanılmaktadır. Ayrıca bu çalışma, hareketli hedeflerin bulunduğu bir sis-

**Çizelge 4.** HHGSP ile ilgili literatürde yapılmış çalışmalardan bazıları (Some of the studies in the literature about MTTSP)

Yazar Adı ve Soyadı	Kaynak	Yılı	Çözüm Yöntemi
Bourjolly ve ark.	[24]	2006	Tabu Arama Alg. ve Sezgisel Alg.
Blough ve ark.	[25]	2016	Genetik Algoritma ve Sıralı Buluşma Noktası Metodu
Mei ve ark.	[26]	2015	Sezgisel Algoritma
Groba ve ark.	[27]	2015	Genetik Algoritma, En Yakın Komşu Arama Algoritması
Mercer ve ark.	[28]	2008	Genetik Algoritma
Killby ve ark.	[29]	2007	Genetik Algoritma
Marlov ve ark.	[30]	2007	Sezgisel Algoritma
Fang ve ark.	[31]	2013	CASS Algoritması
Cross ve ark.	[32]	2007	Sezgisel Algoritma
Shuttleworth ve ark.	[33]	2008	Matematiksel Modelleme ve Sezgisel Algoritmalar
Bimbo ve Pernici	[34]	2005	Optimal Çözüm Metodolojisi
Bimbo ve Pernici	[35]	2005	Monte Carlo Simülasyonu
Ilavarasi ve Joseph	[36]	2014	Literatür Araştırması
Asahiro ve ark.	[37]	2004	Sezgisel Algoritma
Asahiro ve ark.	[38]	2008	2 faktörlü yaklaşım algoritması
Chalasanı ve ark.	[39]	1996	Yaklaşım Algoritması
Papadakos ve ark.	[40]	2011	Sezgisel Algoritma
Hammar ve Nilsson,	[41]	1999	Sezgisel Algoritma
Bengt	[42]	2002	Sezgisel Algoritma

Bu çalışmada, çok vuruculu-çok hedefli, zaman pencereli ve kapasite kısıtlı HHGSP ele alınmıştır. Problemin çözümü için çok kriterli karar verme metodolojisine dayalı sezgisel bir çözüm yaklaşımı önerilmiştir. İncelenen problemde farklı amaç ve teknik özelliklere sahip hedefler ve vurucular bulunmakta, hedefler sistemde sabit kalmayıp hareket etmekte ve sistemden ayrılış zamanları farklı olmaktadır. Operasyon anında vurucular arasından ideal olanlarının sadece göreve çıkarılması ve doğru vurucunun doğru hedeflere araç-uçuş zaman kapasitesi dikkate alınarak hızlı bir şekilde yönlendirilmesi istenmektedir. Tüm bu kısıtlamalar ve amaçlar altında heterojen İHA ve SİHA filosunun minimum sayıda araç kullanarak maksimum başarı ile tüm hedefleri imha etmesi ve ilgili operasyonu gerçekleştirmesi ancak akıllı bir çözüm mekanizmasının kullanılması ile mümkün olacaktır. Problem içerisinde hedefler anlık olarak sürekli konum değiştirmekte, sistemdeki hedef sayısı zaman içerisinde değişebilmekte, her bir birim zamanda vuruculara ve hedeflere ilişkin koordinatların yeniden belirlenmesi gerekmektedir. Operasyon esnasında hedeflerin doğru bir şekilde tasnif edilmesi icap etmekte (hedef için Silahlı İHA mı yoksa Silahsız İHA mı kullanılacağına belirlenmesi): bu dinamik bilgileri altında hangi hedefin hangi vurucu tarafından kaçınıcı birim zamanda hangi koordinat ekseninde vurulacağına yeniden hesaplanması ve vurucuya ait uçuş kapasite bilgisinin sürekli güncellenmesi zorunlu olmaktadır. Bu gereksinimler altında, sistemdeki hedef-vurucu vurma sırasına ait çok büyük miktardaki olası çözüm arasından minimum sayıda aracın kullanıldığı görev rotasının kısa bir çözüm süresi içerisinde belirlenmesi, problemin çözümünü oldukça zorlaştırmakta ve problemi dinamik bir yapıya büdündürmektedir. Belirtilen problem, önerilen çözüm mekanizması ile çok kısa bir süre içerisinde etkin bir şekilde

temde İHA ve SİHA filolarının aynı operasyon alanı içerisinde eş zamanlı olarak ve birlikte rotalanması nedeniyle de literatürdeki diğer çalışmalardan ayrılmaktadır.

Çalışmanın ikinci bölümünde problemin tanımı yapılmakta, üçüncü bölümünde kullanılan çözüm metodolojisi ifade edilmektedir. Dördüncü bölümde yapılan uygulama çalışmasına ilişkin bilgiler verilmekte, beşinci bölümde çalışmanın sonuçları tartışılmaktadır. Son bölümde ise çalışmaya ilişkin genel değerlendirmeler yapılmakta ve gelecekteki çalışmalara ilişkin öngörülerde bulunulmaktadır.

## 2. PROBLEMİN TANIMI (PROBLEM DEFINITION)

HHGSP, robotik sistemlerin çizelgelenmesi, insansız hava araçlarının rotalanması, uydular için yakıt ikmal rotasının tespiti, deniz gözetleme operasyonları ve güvenlik kamerasıyla yapılan tarama faaliyetlerinde izlenecek yolun belirlenmesi problemlerinde uygulanmaktadır. Problem, uygulama alanının çeşitliliğinden dolayı içerisinde birçok farklı kısıdı barındırabilmektedir. Bu çalışmada, operasyon alanındaki hedeflerin filo halinde hareket eden insansız hava araçları tarafından zaman penceresi, kapasite ve görev kısıtlamaları dikkate alınarak kabul edilebilir çözüm süresi içerisinde minimum sayıda araç ile imha edilmesi problemi ele alınmaktadır.

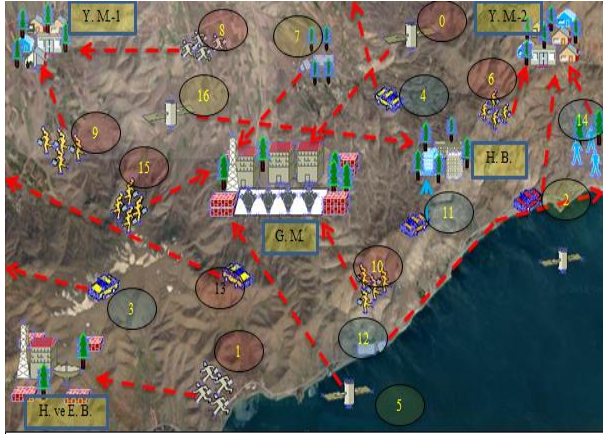
Problem, günümüzde birçok ülkenin karşı karşıya kaldığı terör, kaçakçılık ya da mülteci geçişleri gibi ulusal güvenliği tehdit eden unsurların takibi, kontrolü ve etkisiz hale getirilmesi operasyonlarında ortaya çıkmaktadır. Birçok ülke belirtilen görevleri sağlamak için insansız hava araçlarından yararlanmakta, yüksek risk gerektiren operasyonlarda minimum kayıp ve

maksimum başarı ile görevlerini gerçekleştirmek için bu araçları kullanmaktadır. Buna ek olarak, ülkeler bu operasyonları yaparken fazla sayıda araç kullanmanın yaratabileceği olumsuz sonuçlardan etkilenmemek için minimum sayıda İHA ve SİHA kullanmayı amaçlamakta, gereksiz ya da fazla İHA kullanımının oluşturabileceği olumsuz sonuçlar aşağıda belirtilmektedir [43].

- İHA' lara ait uçuş maliyetlerinin fazla olması
- Gereksiz yere yapılan uçuşların İHA' lara ait bakım-onarım maliyetlerini artırması
- Operasyon alanında fazla sayıda İHA' nın görev almasının düşman unsurlarını uyarması ve İHA' lara karşı tedbirler almaya yönlendirmesi
- Fazla sayıda yapılan uçuş nedeniyle arıza riskinde artış yaşanması ve İHA' ların kaybolması vb.de

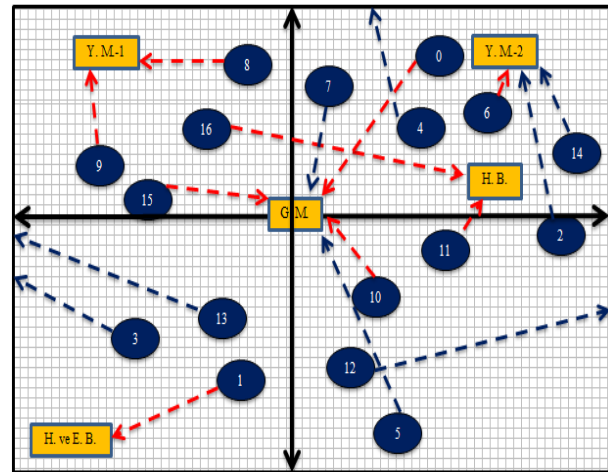
İnsansız hava araçları teknik özelliklerine ve kullanım amaçlarına göre farklı görevlerde kullanılabilir. Silahsız insansız hava araçları (İHA) ile keşif ve gözetleme yapılırken, silahlı insansız hava araçları (SİHA) ile hedefler anlık olarak imha edilebilir. Filo halinde hareket eden insansız hava araçlarının kabul edilebilir çözüm süreleri içerisinde doğru hedeflere etkin bir şekilde rotalanması ise önemli bir problemi ifade etmektedir.

Bu çalışmada heterojen filolu insansız hava araçları tarafından hareketli hedeflerin imha edilmesi problemi ele alınmakta, problemin görsel gösterimi şekil 1'de, koordinat eksenine üzerine yerleşimi şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Probleminde gözetlenmesi ve imha edilmesi gereken hedefler (Targets which are needed to be observed and destroyed in the problem)

Şekil 1'de, herhangi bir coğrafi alan üzerinde bulunan sivil, haberleşme ve güvenlik binalarından oluşan bir yerleşim merkezi gösterilmektedir. Burada "Y.M." Yerleşim Merkezini, "H.B." Hükümet Binalarını, "H. ve E. B." Haberleşme ve Enerji Binalarını, "G.M." ise Güvenlik Merkezi binasını ifade etmektedir. Şekil üzerinde yerleşim merkezinde bulunan binalara farklı amaçlar doğrultusunda çeşitli hedeflerden saldırı ya da istihbarat amacıyla tehditler bulunmaktadır. Problemden temel amaç, tüm hedefleri insansız hava araçlarının teknik özellikleri ve kapasite kısıtlarını dikkate alarak kabul edilebilir çözüm zamanı içerisinde imha etmektir. Sistem içerisinde 17 hedef bulunmakta, bunların her biri farklı amaç ve özelliklere sahip olmaktadır. Bu hedefler t=0 anında belirtilen lokasyonlardan harekete başlamakta ve her bir hedefin kendi zaman aralığı içerisinde etkisiz hale getirilmesi gerekmektedir. Problemden Güvenlik Merkezinin bulunduğu bina orijin (0,0) olarak kabul edilmekte, yerleşim merkezi ve hedefler koordinat ekseninin dört farklı bölgesinde bulunabilmektedir. Problemin koordinat eksenindeki görünümü şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2. Problemin koordinat ekseninde gösterimi (The illustration of the problem on the coordinate axis)

Şekil 2' de mavi düğümler hedefleri, turuncu kutular hedeflerin varış yapacağı noktaları, aradaki oklar ise hedeflerin izleyeceği rotaları göstermektedir. Bu oklardan kırmızı renkli olanlar çatışma görevinde olan hedefleri, mavi oklar ise keşif ve gözetleme görevini gerçekleştiren hedefleri ifade etmektedir. Bu hedeflere ilişkin bilgiler çizelge 5'de belirtilmektedir.

Çizelge 5. Problemden hedeflerin özellikleri (The characteristics of the targets in the problem)

Hedef No	Araç	Başlangıç konumu(x,y)	Çıkış Zamanı	Hız	Silah durumu	Variş noktası	Variş koordinatı(x,y)	Amaç	Görev
0	SİHA	310, 407	3,65	140	Bomba	G.M.	0,0	Bombalama	Çatışma
1	Mobil Birlik	-10, -386	4,18	100	Hafif Tahripli Silah	H. ve E. B.	-420,-470	İletişimi Kesme	Çatışma
2	Araba	430,-15	4	110	Yok	Y.M.-2	406,424	İstihbarat	Keşif ve Gözetleme
3	Araba	-240, -354	3,26	110	Orta tahripli silah	Sınır	-496,-102	Şüpheli araç	Keşif ve Gözetleme

**Çizelge 5.** Problemdaki hedeflerin özellikleri (The characteristics of the targets in the problem)

Hedef No	Araç	Başlangıç konumu(x,y)	Çıkış Zamanı	Hız	Silah durumu	Varış noktası	Varış koordinatı(x,y)	Amaç	Görev
4	Araba	282, 206	2,82	120	Yok	Sınır	114,500	Şüpheli araç	Keşif ve Gözetleme
5	İHA	152, -492	3,68	140	Orta tahripli silah	G.M.	0,0	İstihbarat	Keşif ve Gözetleme
6	Mobil Birlik	390, 227	1,98	100	Ağır Tahripli Silah	Y.M.-2	406,424	Saldırı	Çatışma
7	Tır	44, 364	3,66	100	Yok	G.M.	0,0	İstihbarat	Keşif ve Gözetleme
8	Mobil Birlik	-90, 380	2,26	100	Hafif Tahripli Silah	Y.M.-1	-316,392	Saldırı	Çatışma
9	Mobil Birlik	-302, 104	2,88	100	Ağır Tahripli Silah	Y.M.-1	-316,392	Saldırı	Çatışma
10	Mobil Birlik	160, -187	2,46	100	Ağır Tahripli Silah	G.M.	0,0	Saldırı	Çatışma
11	Araba	291, -361	0,89	120	Bomba	H.B.	330,370	Bombalama	Çatışma
12	Tır	116, -361	3,5	110	Yok	Sınır	500,-326	Şüpheli araç	Keşif ve Gözetleme
13	Araba	-60, -209	3,78	120	Hafif Tahripli Silah	Sınır	-500,-100	Kaçakçılık	Keşif ve Gözetleme
14	Mobil Birlik	500, 136	3,03	100	Yok	Y.M.-2	406,424	Şüpheli birlik	Keşif ve Gözetleme
15	Mobil Birlik	-219, 47	2,24	100	Ağır Tahripli Silah	G.M.	0,0	Saldırı	Çatışma
16	İHA	-121, 204	3,92	120	Yok	H.B.	330,70	"İstihbarat	Keşif ve Gözetleme

**Çizelge 6.** Probleme ilişkin temel varsayımlar (The basic assumptions related to the problem)

- Vurucular, hedeflerden daha fazla hıza sahip olmalıdır.
- Vurucu filosundaki araçların her biri birbirinden farklı özelliklere sahip olmakta ve her araçtan yalnızca bir adet bulunmaktadır.
- Vurucular, tüm hedefleri imha ettikten sonra başlangıç noktasına döneceklerdir.
- Hedefler ve vurucular (x, y) koordinat düzleminde, herhangi bir hız ve yönde hareket edebilirler.
- Vurucuların ve hedeflerin hızları zaman içerisinde değişmemektedir.
- Vurucuların her biri farklı özelliklere sahip olmakta yani heterojen filolu bir rotalama işlemi gerçekleştirilmektedir.
- Hedeflerin açıları zaman içerisinde değişmemektedir.
- Hedeflere ait yakıtlarının sınırsız olduğu ve hedeflerin belirli bir zaman aralığı içerisinde sistemde bulunduğu varsayılmaktadır.
- Vurucuların uçuş zaman kapasitesinin sınırlı olduğu yani havada belli bir süre kalabildiği, mühimmat kapasitesinin ise sınırsız olduğu varsayılmaktadır.
- Vurucu ve hedeflere ait sınırlı bir görev alanı ya da görev zamanı bulunmamaktadır.
- Vurucuların ve hedeflerin t=0 anında ilgili zaman aralığında sistemde hazır bulunduğu, bunlara ait hız, pozisyon ve açıların(vurucu açısı hariç) bilindiği varsayılmaktadır.
- Amaç tüm hedeflerin kabul edilebilir çözüm süresi içerisinde imha edildiği tur rotasını belirlemektir.
- Hedefe yönelen her vurucu İHA, hedefi başarılı bir şekilde imha etmiş, imha sonrası hedefin son durumu için ayrıca bir keşif ve gözetleme İHA' sını görevlendirilmemiştir.
- Sistemde t anından bulunan hedeflere ilişkin bilgilerin, SİHA' da bulunan radar sistemi ile yapılan taramalardan elde edildiği varsayılmıştır.

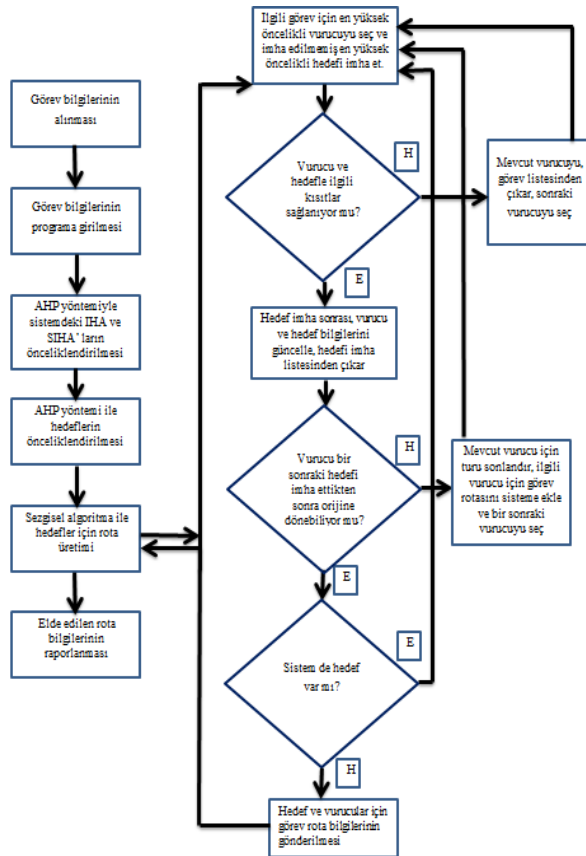


Asahiro vd., Asahiro vd., ve Bengt, çalışmalarında klasik tek vuruculu HHGSP'nin NP-Hard yapıda olduğunu göstermişlerdir [37], [38], [42]. Bu çalışmada klasik HHGSP problemine vurucuların ve hedeflerin heterojen özelliklere sahip olduğu varsayımı eklenmiş, klasik HHGSP'nin genel halı dikkate alınmıştır. Probleme ilişkin kısıtlamalar ve varsayımlar çizelge 6'da belirtilmektedir.

Problemin çözümü için AHP ve Sezgisel Algoritmaya dayalı bir çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. AHP ile vurucu ve hedeflerin önceliklendirilmesi yapılmış, Sezgisel Algoritma ile belirtilen öncelikler doğrultusunda ilgili kısıtlar dikkate alınarak tüm hedeflerin imha tur rotası belirlenmeye çalışılmıştır. Bir sonraki bölümde çözüm metodolojilerine ilişkin bilgiler verilecek ve dördüncü bölümde önerilen yöntem kullanılarak problem çözülecektir.

### 3. ÇÖZÜM METODOLOJİSİ (SOLUTION METHODOLOGY)

Bu çalışmada problemin çözülmesi için sezgisel bir yaklaşım önerilmekte ve vurucuların hedeflere doğru ve etkin bir şekilde yönlendirilmesi için AHP yönteminden faydalanılmaktadır. Şekil 3'de problem için geliştirilen algoritmaya ait akış diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 3. Problem için önerilen çözüm mekanizması (The proposed solution mechanism for the problem)

Bu akış diyagramındaki karar mekanizmaları içerisinde bazı kısıtlamaları barındırmaktadır. Bu kısıtlamalar aşağıda ifade edilmektedir.

#### Karar mekanizması – 1: “Vurucu ve hedefle ilgili kısıtlar sağlanıyor mu?”

Bu mekanizmada vurucu kendi branşındaki göreve yönlendirildikten sonra, hedefin belirtilen zaman aralığı içerisinde imha edilip edilmediği, vurucunun havada kalma kapasitesinin aşıp aşılmadığı ve hedefi imha ettikten sonra orijine dönecek kadar yakıtının (endurance) olup olmadığı sorgulanmaktadır. Eğer bu şartlar sağlanmıyorsa, vurucu görev listesinden çıkartılmakta ve bir sonraki en yüksek öncelikli vurucu seçilerek algoritmanın ilgili adımları tekrarlanmaktadır.

#### Karar mekanizması – 2: “Vurucu bir sonraki hedefi imha ettikten sonra orijine dönebiliyor mu?”

Bu mekanizmada vurucunun ilgili hedefi imha ettiği ve bu hedefi imha ettikten sonra orijine dönebileceği doğrulandıktan sonra, bir sonraki hedefe yönlendirilip yönlendirilemeyeceğine karar verilmektedir. Eğer vurucu bir sonraki hedefi imha ettikten sonra orijine dönebilecek zamana sahipse göreve devam ettirilmekte, bu zamana sahip değilse vurucu için görev sonlandırılmakta ve görev rota bilgileri sisteme eklenmektedir.

#### Karar mekanizması – 3: “Sistem de hedef var mı?”

Bu mekanizmada, sistemde hedef olup olmadığı kontrol edilerek algoritma sonlandırılmaktadır. İmha edilmemiş hedef var ise algoritmanın adımları tekrarlanarak imha işlemi gerçekleştirilmekte, imha edilmemiş hedef yok ise algoritma sonlandırılarak tüm vurucu ve hedeflere ilişkin bilgiler programa gönderilmektedir.

İHA, SİHA ve Hedeflerin önceliklendirilmesine ilişkin bilgiler bölüm 3.1 içerisinde, bu analiz çalışmasına dayalı olarak yapılan uygulama çalışması bölüm 4 içerisinde ifade edilmektedir.

#### 3.1 Analitik Hiyerarşik Proses (Analytical Hierarchical Process)

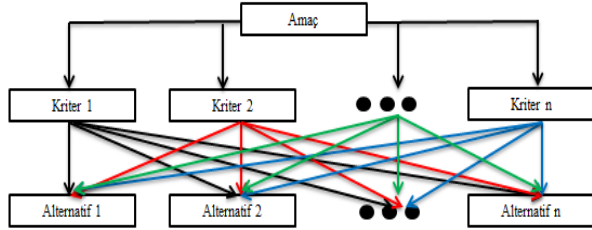
Thomas L. Saaty tarafından takdim edilen Analitik Hiyerarşik Proses (AHP) yöntemi, çok kriterli karar verme yöntemlerinden birisidir [44]. Yöntem de belirli kriterler altında farklı alternatifler arasından en iyi alternatifin seçilmesi amaçlanmaktadır. AHP yöntemi hiyerarşik bir yapıdan oluşmakta, bu yapıda amaç, kriterler temelinde, kriterler ise alternatifler temelinde değerlendirilmektedir.

AHP yönteminde ilk olarak çalışma içerisinde incelenecek problemin tanımlanması yapılmakta ve hiyerarşik yapısı oluşturulmakta, daha sonra alternatiflerin seçilmesine etki eden kriterler arasında bir karşılaştırma matrisi oluşturularak kriter önem dereceleri belirlenmektedir. Hesaplanan kriter öncelikleri için tutarlık değeri hesaplanmakta ve bu değer 0,1 den küçük ise yapılan değerlendirmenin tutarlı olduğu belirtilmektedir. Bu işlemlerden sonra her bir kriter için alternatifler değerlendirilerek yüzde önem dereceleri hesaplanmakta ve en uygun alternatif, sonuç dağılımından yararlanılarak belirlenmektedir. İlgili adımlar aşağıda detaylı bir şekilde ifade edilmektedir [45].



**Adım 1. Problemin tanımlanması ve probleme ilişkin hiyerarşik yapının oluşturulması.**

AHP yönteminde problemin çözümü için hiyerarşik bir yapı oluşturulmakta, bu yapının en üst kısmında amaç, alt kısmında ilgili amaca etki eden kriterler ve en alt kısımda aralarından ideal olanının belirlenmeye çalışıldığı alternatifler yer almaktadır. İlgili hiyerarşik yapı aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.



**Şekil 4.** AHP yöntemine ilişkin hiyerarşik yapı. ( Hierarchical structure related to AHP method )

**Adım 2. İkili karşılaştırma matrisinin oluşturulması.**

Bu aşamada, kriterlerin ikili olarak karşılaştırılmasından hareketle bir karşılaştırma matrisi oluşturulmaktadır. Karşılaştırma yapılırken Saaty’ nin geliştirmiş olduğu skaladan yararlanılmakta, bu skala çizelge 7 de verilmektedir. [46].

**Çizelge 7.** İkili karşılaştırma matrisinde kullanılan değerlendirme skalası (Evaluation scale used in pairwise comparison matrix)

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit önem	İki faktör amaca eşit şiddette katkıda bulunmaktadır.
2	Biraz önemli	
3	Orta derecede önemli	İlgili faktöre ilişkin tecrübe ve yargılar, diğer faktöre göre orta derecede bir öneme sahip olmaktadır.
4	Orta dereceden biraz daha önemli	
5	Kuvvetli derecede önemli	İlgili faktöre ilişkin tecrübe ve yargılar, diğer faktöre göre kuvvetli derecede bir öneme sahip olmaktadır.
6	Biraz daha kuvvetli derecede önemli	
7	Çok kuvvetli derecede önemli	İlgili faktöre ilişkin tecrübe ve yargılar, diğer faktöre göre çok kuvvetli derecede bir öneme sahip olmakta, bu faktör diğer faktöre oranla amaca kuvvetli derecede etki etmektedir.
8	Çok, çok kuvvetli derecede önemli	
9	Aşırı kuvvetli derecede önemli	Diğer faktöre kıyasla, en yüksek öneme sahip kritere ait dereceyi göstermektedir.

Belirtilen ölçeklendirme doğrultusunda, kriterler için çizelge 8 deki ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmaktadır [45], [47].

**Çizelge 8.** Kriterlerin için oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi(Pairwise comparison matrix created for criteria)

	Kriter 1	Kriter 2	Kriter ...	Kriter n
Kriter 1	a11	a12	...	a1n
Kriter 2	a21	a22	...	a2n
Kriter ...	...	...	...	...
Kriter n	an1	an2	...	ann

Çizelgeye ilişkin matris formatı aşağıda belirtilmektedir [80].

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (3.1.1)$$

$$a_{i,j} = i. kriterin, j. kritere üstünlük derecesi$$

Elde edilen A matrisinden hareketle, adım 3’de kriterlere ilişkin görelî ağırlıkların hesaplaması yapılmaktadır.

**Adım 3. Kriterlere ilişkin görelî ağırlıkların belirlenmesi** [45], [47].

“A” ikili karşılaştırma matrisine dayalı olarak Bi sütun vektörü ve B sütun vektörlerinin matris formatına gelmesiyle C matrisi elde edilmektedir. Elde edilen C matrisinin satırlarında bulunan elemanların aritmetik ortalamalarının alınması sonucu W öncelik vektörü elde edilmektedir. Bu vektör aynı zamanda kriterlere ilişkin görelî ağırlıkları ifade eden vektördür. İlgili çözüm adımları aşağıda belirtilmektedir.

$$B_i = \begin{bmatrix} b_{i1} \\ b_{i2} \\ \dots \\ b_{in} \end{bmatrix} \quad b_{i,j} = \frac{a_{i,j}}{\sum_{i=1}^n a_{i,j}} \quad (3.1.2)$$

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nn} \end{bmatrix} \quad C = [B_1 \ B_2 \ \dots \ B_n] \quad (3.1.3)$$

$$W = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix} \quad w_i = \frac{\sum_{i=1}^n c_{ij}}{n} \quad (3.1.4)$$

**Adım 4. Kriter kıyaslamalarına ilişkin tutarlılık değerinin ölçülmesi** [45], [47].

AHP yönteminde karar vericilerin, kriterler arasında karşılaştırma yaparken tutarlı davranıp davranmadıklarını belirlemek ve tutarsız ise ilgili kıyaslamaların yeniden gözden geçirilmesini sağlamak için “Tutarlılık Oranı” hesaplanmaktadır. Bu oran sıfıra yakın olması karar matrisinin ve yapılan değerlendirmenin yüksek tutarlı olduğunu göstermekte, 0,1 den büyük olması ise yapılan değerlendirmenin tutarsız olduğunu ve yeniden değerlendirme yapılması gerektiğini göstermektedir. Tutarlılık Oranının hesaplanmasında aşağıdaki formülasyon kullanılmaktadır.

$$CR = \frac{CI(\text{Tutarlılık Göstergesi})}{RI(\text{Rassallık Göstergeleri})} \quad (3.1.5)$$

Tutarlık göstergesi (CI) değerinin hesaplanmasında aşağıda belirtilen adımlar uygulanmaktadır.

$$CR = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad \lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{W_i} \quad (3.1.5)$$

Rassallık göstergesi (RI) nin hesaplanmasında çizelge 9 da belirtilen rassallık göstergeleri tablosundan faydalanılmaktadır.

**Çizelge 9.** Rassallık Göstergeleri (Random Index) [45], [47].

N	1	2	3	4	5	6	7	8
RI	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41
N	9	10	11	12	13	14	15	
RI	1,45	1,49	1,51	1,54	1,56	1,57	1,59	

Belirtilen işlemlerden elde edilen matris tutarlı ise adım 5'e geçilmektedir.

**Adım 5.** Her bir kriter bazında alternatiflere ait yüzde önem derecelerinin belirlenmesi [47].

Bu adımda her bir kriter için, alternatiflere yukarıdaki adımlar uygulanarak kriterler bazında alternatiflere ait yüzde önem dağılımları belirlenmektedir. Her bir kriter için yapılan değerlendirme sonucunda Si sütun vektörü elde edilmektedir. Bu vektör, ilgili kriter göre alternatiflere ait önem sırasını belirtmektedir.

$$S_i = \begin{bmatrix} S_{11} \\ S_{21} \\ \dots \\ S_{m1} \end{bmatrix} \quad (3.1.6)$$

**Adım 6.** Alternatiflere ilişkin önem sırasının belirlenmesi [47].

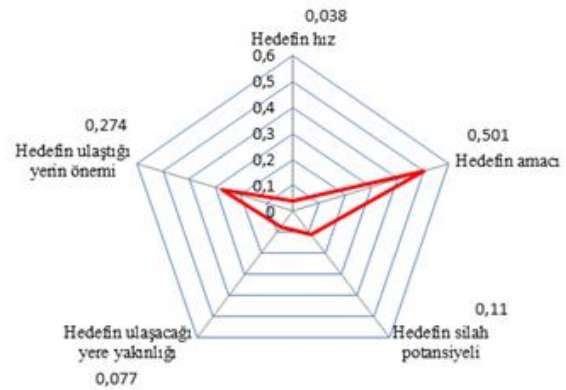
Bu adımda, elde edilen Si sütun vektörleri bir araya getirilerek K karar matrisi oluşturulmaktadır. K karar matrisinin adım 3 de belirlenen W öncelik vektörü ile çarpılmasıyla L vektörü (sütun vektör) elde edilmekte, bu vektör aynı zamanda alternatiflere ilişkin önem değerlerini belirtmekte ve bu vektördeki değerlerin toplamı 1 olmaktadır. İlgili formülasyon aşağıda ifade edilmektedir.

$$L = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \dots & C_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \dots & C_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_{m1} & S_{m2} & \dots & C_{mn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \dots \\ W_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \\ \dots \\ L_m \end{bmatrix} \quad L = K \times W \quad (3.1.7)$$

Çalışmada AHP yönteminin adımları uygulanarak ve uzman görüşleri dikkate alınarak İHA, SİHA ve hedefler önceliklendirilmekte, AHP metodunun uygulanmasında “Expert Choice” yazılımından yararlanılmaktadır.

### 3.1.1 Hedeflerin önceliklendirilmesi (Prioritization of the targets)

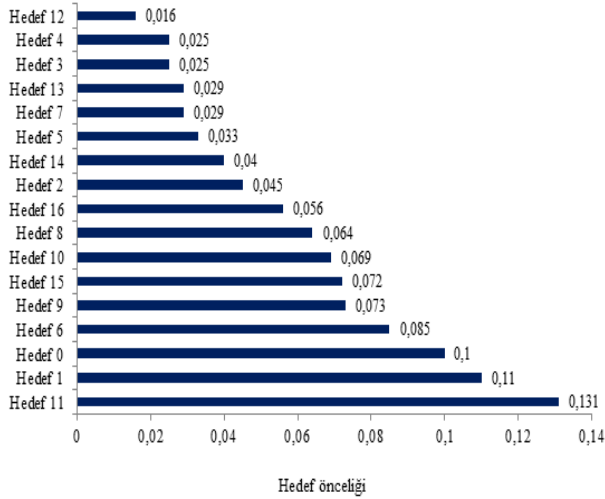
Problemde farklı teknik özellik ve amaçlara sahip 17 hedef bulunmaktadır. Vurucuların hedeflere etkin bir şekilde yönlendirilmesi için hedeflerin önceliklendirilmesi gerekmektedir. Çalışmada hedeflerin önceliklendirilmesi için uzman görüşüne dayalı olarak beş farklı kriter belirlenmiştir. Bu kriterler: hedefin hızı, hedefin ulaştığı yerin önemi, hedefin amacı, hedefin ulaşacağı yere yakınlığı ve hedefin silah potansiyeli şeklindedir. Gerçek hayat uygulamalarında uzmanlar, düşman unsurların amaçlarının ve taşıdığı mühimmat tiplerinin belirlenmesi ya da tahmin edilmesinde İHA, Mobese ve Güvenlik Kameraları görüntüleri ile iletişim araçları ve istihbarat elemanlarından faydalandığını ifade etmektedirler. AHP yöntemi ile bu kriterlere ait öncelikler belirlenmiş ve sonuçlar şekil 5 de gösterilmiştir.



**Şekil 5.** Hedef seçim kriterlerine ait öncelik değerleri (Priority values for the target selection criteria)

Şekil 5’ deki sonuçlardan hedef seçiminde en önemli kriterin “hedefin amacı” olduğu, bu kriteri “hedefin ulaşacağı yerin önemi” kriterinin takip ettiği, “hedefin hızı kriterinin” ise en düşük önemli kriter olduğu anlaşılmaktadır. Bu aşamadan sonra her bir kriter için alternatiflerin yüzde önem dağılımları hesaplanarak alternatif öncelik değerleri matrisi elde edilmektedir. İlgili matris, kriter öncelik değerleri ile çarpılarak alternatif önceliklerine ilişkin sonuç matrisi elde edilmekte ve şekil 6 da gösterilmektedir.

Şekil 6’da en yüksek önceliğe sahip hedefin “hedef 11 olduğu”, bu hedefleri “hedef 1” ve “hedef 0” m takip ettiği belirtilmektedir. Buna ek olarak en düşük öneme sahip hedeflerin ise “hedef 12”, “hedef 4” ve “hedef 3” olduğu, şekil 6 deki sonuçlardan çıkarılmaktadır.

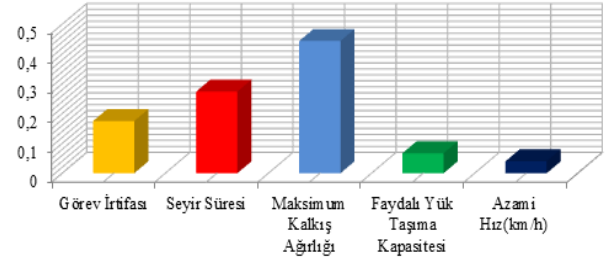


Şekil 6. Hedeflere ilişkin öncelik değerleri (Priority values for the targets)

### 3.1.2 Keşif ve gözetleme görevi için insansız hava aracı seçimi (Unmanned aerial vehicle selection for reconnaissance and surveillance)

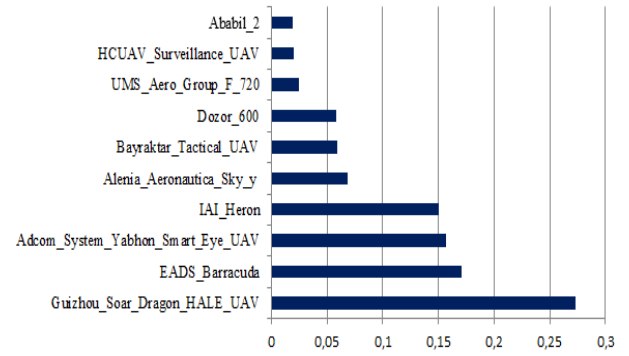
Problemde hedefler keşif-gözetleme ve çatışma olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Keşif ve gözetleme için farklı özelliklere sahip İHA'lar gerekirken, çatışma için farklı özelliklere sahip SİHA'lar gerekmektedir. Keşif ve gözetleme için geliştirilmiş çok sayıda insansız hava aracı bulunmasına karşın, bu çalışmada 10 farklı ülkenin geliştirmiş olduğu ve yoğun bir şekilde kullandığı 10 farklı insansız hava aracı dikkate alınmıştır. Bu araçların seçimine etki edebilecek kriterler uzman görüşü dikkate alınarak belirlenmiştir. Araçlara ve ilgili kriterlere ilişkin bilgiler çizelge 10'da gösterilmektedir.

Çizelge 10'da gösterilen bilgiler dikkate alınarak, AHP yöntemiyle önceliklendirme işlemi gerçekleştirilmiş, kriterlere ait öncelikler şekil 7'de, İHA'lara ait öncelikler ise şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Keşif ve gözetleme araçları için kriter öncelikleri (Criterion priorities for reconnaissance and surveillance vehicles)

Şekil 7'ye göre en yüksek öneme sahip kriterin "Maksimum Kalkış Ağırlığı" olduğu, bu kriteri "seyir süresi" kriterinin takip ettiği ve beşinci önem sırasındaki kriterin ise "azami hız" kriteri olduğu tespit edilmiştir. Bu bilgiler doğrultusunda alternatiflerin önceliklendirilmesi yapılmış ve elde edilen sonuçlar şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 8. Keşif ve gözetleme araçlarına ilişkin öncelik değerleri (Priority values for reconnaissance and surveillance vehicles)

Şekil 8'e bakıldığında, ilgili alternatifler arasında en iyi İHA'nın Çin Halk Cumhuriyeti üretimi "Guizhou Soar Dragone" nun olduğu, en düşük performansa sahip aracın

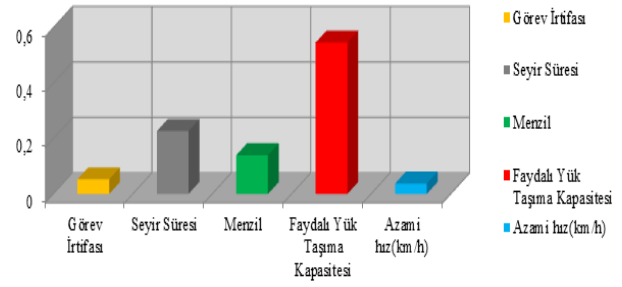
Üreten Ülke	İHA Adı	Servis/Operasyonel İrtifası (ft)	Max Take Off Ağırlık (kg)	Faydalı Yük Taşıma Kapasitesi (Payload) (kg)	Azami-Maksimum hız(km/s)	Havada kalış süresi	Kaynak
Türkiye	Bayraktar Tactical UAV	27000	650	55	222	24 saat	[48]
İtalya	Alenia Aeronautica Sky-y, Research-Reconnaissance MALE	25000	1200	150	260 ve üzeri	14 saat	[49-51]
İsviçre	UMS Aero Group F-720	16000	250	70	200	12 saat	[52]
Rusya	Dozor 600, Reconnaissance-Attack Aircraft Late 2010	23293	720	210	210	24 saat	[53-54]
Birleşik Arap Emirlikleri	Adcom System Yabhon Smart Eye Unmanned Aerial Vehicle (UAV)s Yabhon	23950	1000	550	222	120 saat	[55]
Çin	Guizhou Soar Dragon (Soar Eagle) HALE UAV	59000	7500	650	750 ve üzeri	10 saat	[56-58]
Yunanistan	HCUAV Surveillance UAV	6561	185	35	190	11 saat	[59]
İran	Ababil 2	9800	83	40	370	2 saat	[60]
Almanya-İspanya	EADS Barracuda	20000	3250	300	647	36 saat	[61-62]
İsrail	IAI Heron	32800	1150	250	207	52	[63]

ise İran yapımı “Ababil 2” olduğu anlaşılmaktadır. Bir sonraki bölümde silahlı insansız hava aracı seçimi gerçekleştirilmekte, dördüncü bölümde ise uygulama çalışması ifade edilmektedir.

### 3.1.3 Silahlı insansız hava aracı seçimi (Unmanned combat aerial vehicle selection)

SİHA'lar ülkelerin son yıllarda yoğun bir şekilde çalıştıkları ve operasyonlarda etkin bir şekilde kullandıkları otonom sistemlerdir. Çalışmada ülkelerin kullandıkları 15 farklı SİHA dikkate alınarak rotalama işlemi gerçekleştirilmektedir. Rotalama işleminin başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesi için SİHA'lar önerilen sezgisel yöntem doğrultusunda AHP yöntemi ile önceliklendirilmektedir. Çalışmada dikkate alınan SİHA'lara ilişkin bilgiler çizelge 11'de, uzman görüşüne dayalı SİHA seçimine etki eden kriterlere ait öncelikler şekil 9'da ve SİHA'ların performans ölçütlerine göre sıralanması ise şekil 10'da gösterilmektedir.

Literatürdeki çalışmalara dayalı olarak ve ilgili kriterler dikkate alınarak yapılan analiz çalışması sonucunda AHP yöntemine göre elde edilen kriter öncelikleri şekil 9'da gösterilmektedir.



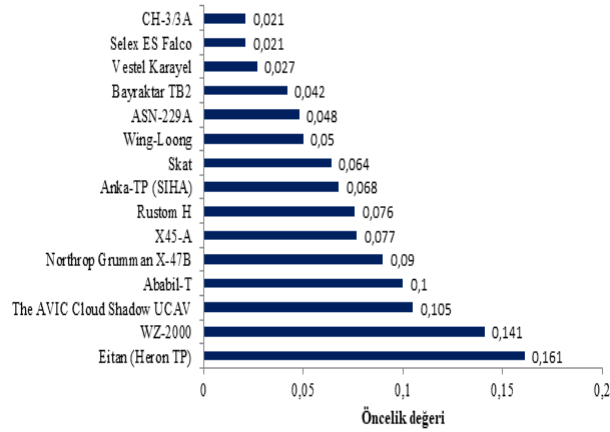
Şekil 9. Kriterler ait öncelik sıralaması (Priority ranking for criteria)

Şekil 9'a bakıldığında, SİHA'ların önceliklendirilmesinde en önemli kriterin “Faydalı Yük Taşıma Kapasitesi”, en düşük önemli kriterin ise “Azami Hız” olduğu anlaşılmaktadır. Bu kriter öncelikleri doğrultusunda SİHA'ların sıralanmasına ilişkin bilgiler şekil 10'da gösterilmektedir.

Şekil 10'a bakıldığında en yüksek performanslı SİHA'nın Eitan (Heron TP): en düşük performanslı SİHA'nın ise “CH-3/3A” ve “Selex ES Falco” olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 11. Silahlı insansız hava araçlarına ilişkin bilgiler (Information for unmanned combat aerial vehicle)

Üreten Ülke	SIHA Adı	Servis/Operasyonel İrtifası	Menzil	Faydalı Yük Taşıma Kapasitesi	Azami hız(km/s)	Havada Kalış Süresi	Kaynak
Çin	The AVIC Cloud Shadow UCAV	46000 ft	297 km	399 kilogram	619	6 saat	[64-65]
ABD	Northrop Grumman X-47B	42000 ft	3889 km	2000 kilogram	1102,536	6 saat	[66-67]
Çin	ASN-229A	32800 ft	1998 km	100 kilogram	180	20 saat	[68]
Çin	CH-3/3A	16400 ft	2398 km	60 kilogram	200	12 saat	[68]
Çin	Wing-Loong	16400 ft	4000 km	200 kilogram	280	20 saat	[68]
Çin	WZ-2000	59000 ft	2400 km	80 kilogram	800	3 saat	[68]
İran	Ababil-T	14000 ft	50 km	40 kilogram	300	1,5 saat	[68]
İsrail	Eitan (Heron TP)	45000 ft	7400 km	2000 kilogram	370	70 saat ve üzeri	[69-71]
Rusya	Skat	39370 ft	1996 km	2000 kilogram	850	15 saat	[72-74]
ABD	X45-A	40000 ft	2405 km	680 kilogram	919	15 saat	[75-76]
İtalya	Selex ES Falco	21325 ft	200 km	70 kilogram	216	18 saat	[77-78]
Hindistan	Rustom H	35000 ft	350 km	350 kilogram	225	24 ile 48 saat arası	[79-80]
Türkiye	Bayraktar TB2	27000 ft	150 km	55 kilogram	222	24 saat ve üzeri	[81-82]
Türkiye	Anka-TP (SIHA)	30000 ft	4896 km	200 kilogram	217	24 saat	[83-84]
Türkiye	Vestel Karayel	22500 ft	150 km	70 kilogram	148	20 saat ve üzeri	[85-87]



Şekil 10. Alternatiflere ait öncelik sıralaması (Priority ranking for alternatives)

Bir sonraki bölümde vurucu ve hedef öncelikleri dikkate alınarak rotalama işlemi gerçekleştirilmektedir.

#### 4. UYGULAMA ÇALIŞMASI (APPLICATION STUDY)

Uygulama çalışmasında, ülkelerin gerçek hayat problemlerinde karşılaştıkları terör ve tehdit unsurlarının davranışlarına paralel olarak heterojen özellikte 17 farklı

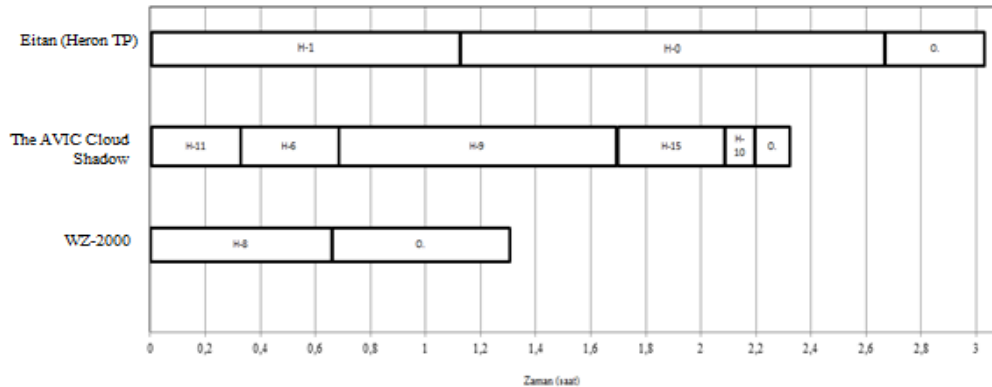
hedef tasarlanmış ve bu hedeflere ilişkin bilgiler bölüm 2 içerisinde verilmiştir. Belirtilen hedeflerin imhası için ülkelerin geliştirmiş oldukları ve yoğun şekilde kullandıkları 10 farklı İHA ile 15 farklı SIHA'dan oluşan uçuş filosu dikkate alınmış ve önerilen sezgisel algoritma ile kabul edilebilir çözüm süresi içerisinde az sayıda araç kullanarak etkin bir hedef imha rotası oluşturulmaya çalışılmıştır. Algoritmanın çözümü 4 GB RAM ve 2,3 GHz işlemcili bilgisayarda C# programı kullanılarak gerçekleştirilmiş, elde edilen tur rotası çizelge 12'de gösterilmiştir.

Çizelge 12'de çatışma görevinde kullanılan araçların hedefleri imha etme sırasına ve zamanına ilişkin bilgiler ile keşif ve gözetleme görevinde kullanılan İHA'ların hedefleri gözlemledikleri zamana ve gözlem sırasına ilişkin bilgiler gösterilmektedir. Çizelge 12'de ifade edilen sonuçların zaman doğrusu üzerinde gösterimi şekil 11 ve şekil 12'de belirtilmektedir.

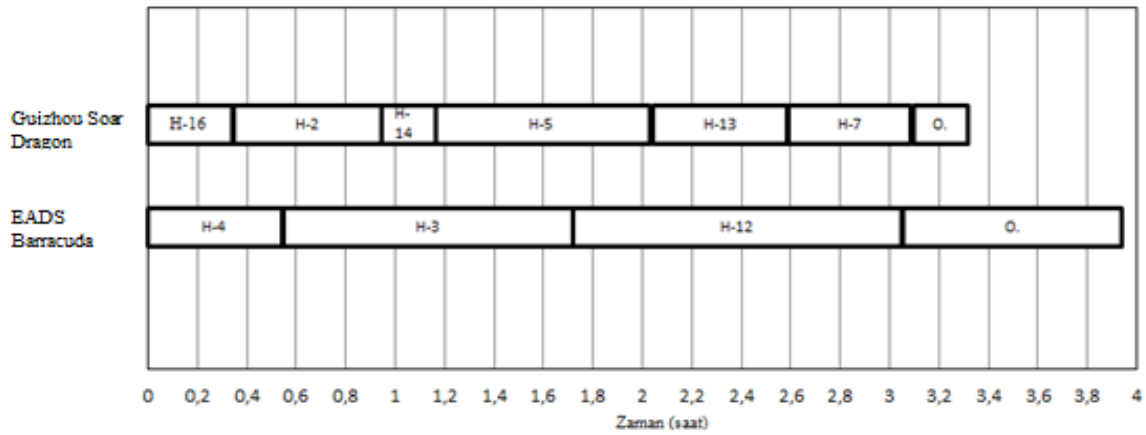
Şekil 11'e bakıldığında vurucu ve hedefler için öncelik değerleri dikkate alınarak, ilgili zaman dilimleri içerisinde hedeflerin imha edildiği ve on vurucudan yalnızca üçü ile görevlerin başarılı bir şekilde gerçekleştirildiği tespit edilmiştir. Buna göre en yüksek önceliğe sahip üç vurucu operasyonda kullanılmış ve her

Çizelge 12. Uygulama çalışması sonuçları (Results of the application study)

Çatışma Sonuçları	
Eitan (Heron TP)	Orijin – hedef 1 – hedef 0 – Orijin
Görev imha zamanı	0 – 1,15373 – 2,66644 – 3,04
WZ-2000	Orijin – hedef 11 – hedef 6 – hedef 9 – hedef 15 – hedef 10 – Orijin
Görev imha zamanı	0 – 0,38502 – 0,76435 – 1,6492 – 2,15286 – 2,19471 – 2,22
The AVIC Cloud Shadow	Orijin – hedef 8 – Orijin
Görev imha zamanı	0 – 0,6693 – 1,34
Keşif Sonuçları	
Guizhou Soar Dragon	Orijin – hedef 16 – hedef 2 – hedef 14 – hedef 5 – hedef 13 – hedef 7 – Orijin
Hedef gözetleme zamanı	0 – 0,28438 – 0,98026 – 1,19578 – 2,01519 – 2,60327 – 3,15358 – 3,22
EADS Barracuda	Orijin – hedef 4 – hedef 3 – hedef 12 – Orijin
Hedef gözetleme zamanı	0 – 0,56097 – 1,78268 – 3,08205 – 3,95
Algoritma toplam çalışma zamanı	2 saniye 48 salise



Şekil 11. Çatışma operasyonu için hedef imha sırası (Target destruction order for conflict operation)

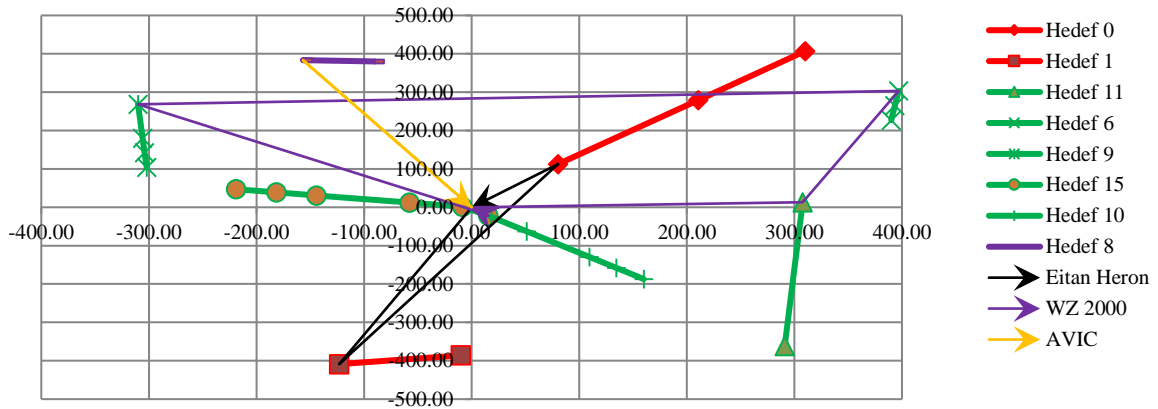


**Şekil 12.** Keşif ve gözetleme operasyonu için hedef imha sırası (Target destruction order for reconnaissance and surveillance)

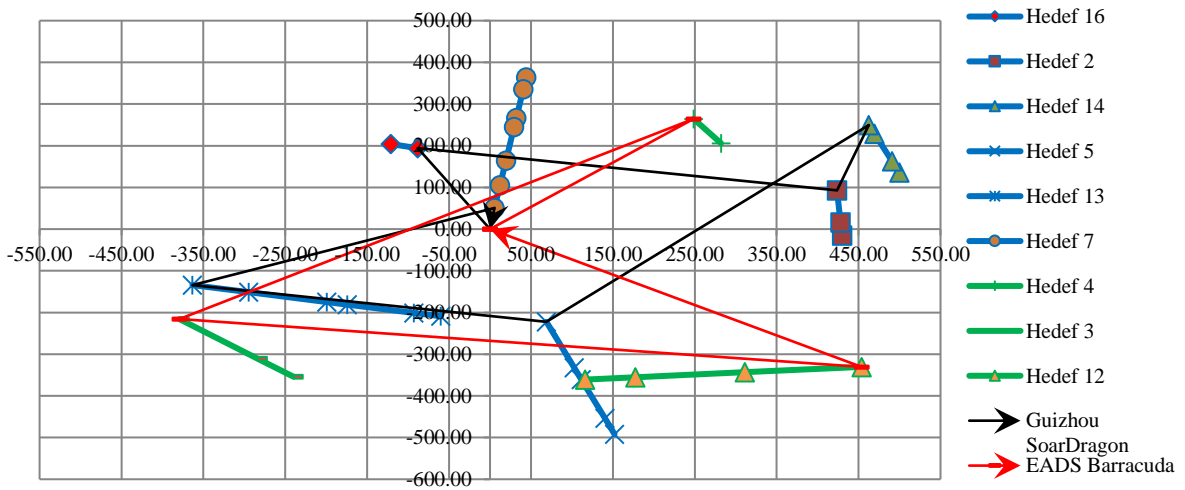
bir vurucu için yüksek önceliğe sahip hedefler ilk olarak imha edilmiştir. Şekil 11'de "O." yazılı kutular ise ilgili vurucunun orijine dönüş zamanını ifade etmektedir.

Şekil 12'ye bakıldığı zaman en yüksek önceliğe sahip iki araçla tüm hedefler başarılı bir şekilde imha edilmekte,

geriye kalan 8 aracın kullanılmamasıyla maddi anlamda tasarruf sağlanabileceği öngörülmekte ve göreve çıkan tüm vurucularda hedeflerin öncelik seviyelerine göre imha edildiği tespit edilmektedir. Koordinat ekseninde çatışma ve keşif görevlerine ilişkin vuruculara



**Şekil 13.** Koordinat ekseninde çatışma operasyonu için görev imha sırası (Target destruction order for conflict operation on the coordinate axis)



**Şekil 14.** Koordinat ekseninde keşif operasyonu için görev imha sırası (Target destruction order for reconnaissance and surveillance operation on the coordinate axis)



ve hedeflere ait görev rotaları şekil 13 ve 14 içerisinde detaylı bir şekilde analiz edilmiştir.

Yukarıdaki bilgiler doğrultusunda tüm hedeflerin belirtilen zaman aralığı içerisinde ilgili öncelikler doğrultusunda belirlenmiş olan varış noktasına varmadan az sayıda vurucu ile imha edildiği tespit edilmiştir. Buna ek olarak algoritmanın etkinliği test etmek için hedef sayısının 40 ile 200, vurucu sayısının 10 ile 50 arasında değiştiği 25 farklı senaryo üretilmiştir. İlgili senaryolarda hedeflere ilişkin bilgiler çizelge 13 de, vuruculara ilişkin bilgiler ise çizelge 14 de gösterilmiştir. Çizelgedeki hedef ve vurucu hızları, bölüm ikideki ifade edilen hedefler ile bölüm üçte belirtilen İHA'lara ve SİHA'lara ait minimum ve maksimum hızlardan yola çıkarak

belirlenmiştir. Belirtilen parametreler doğrultusunda 4 GB RAM ve 2,3 GHz işlemcili bilgisayarda C# programı kullanılarak analiz çalışması yapılmış, elde edilen sonuçlar şekil 15 ve şekil 16 da gösterilmiştir.

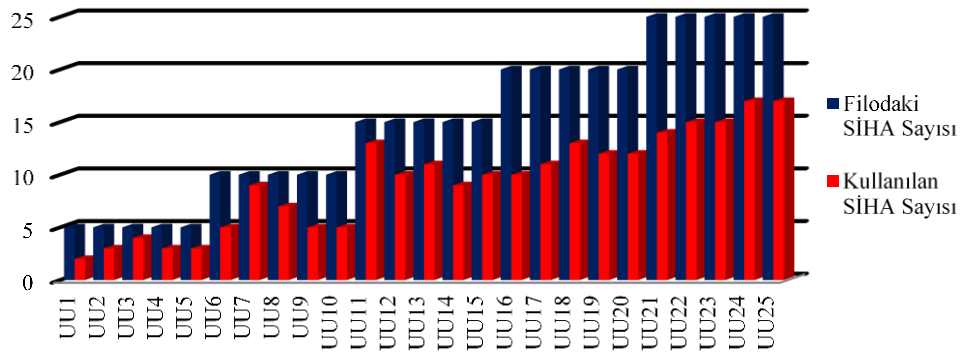
Şekil 16' daki sonuçlardan tüm senaryolarda SİHA kullanımından tasarruf sağlandığı, maksimum tasarrufun "UU1" senaryosundan, minimum tasarrufun ise "UU7" senaryosundan elde edildiği anlaşılmaktadır. Buna ek olarak tüm senaryolarda ilgili hedeflerin tamamının SİHA' lar tarafından belirlenen zaman aralığı içerisinde başarılı bir şekilde etkisizi hale getirildiği tespit edilmiştir.

**Çizelge 13.** Senaryolardaki hedeflere ilişkin parametrik bilgiler (Parametric information about targets in scenarios)

Hedef Sayısı	X Koordinatı (km)	Y koordinatı (km)	Hedef Minimum Hız (km/s)	Hedef Maksimum Hız (km/s)	Hedef Sistemden Çıkış Zamanı Minimum (s)	Hedef Sistemden Çıkış Zamanı Maksimum (s)	Hedef Öncelikleri (puan)
40	[-500, +500]	[-500, +500]	100	140	2	6	[1, 1000]
80	[-625, +625]	[-625, +625]	100	140	2	6	[1, 1000]
120	[-750, +750]	[-750, +750]	100	140	2	6	[1, 1000]
160	[-875, +875]	[-875, +875]	100	140	2	6	[1, 1000]
200	[-1000, +1000]	[-1000, +1000]	100	140	2	6	[1, 1000]

**Çizelge 14.** Senaryolardaki vuruculara ilişkin parametrik bilgiler (Parametric information about pursuers in scenarios)

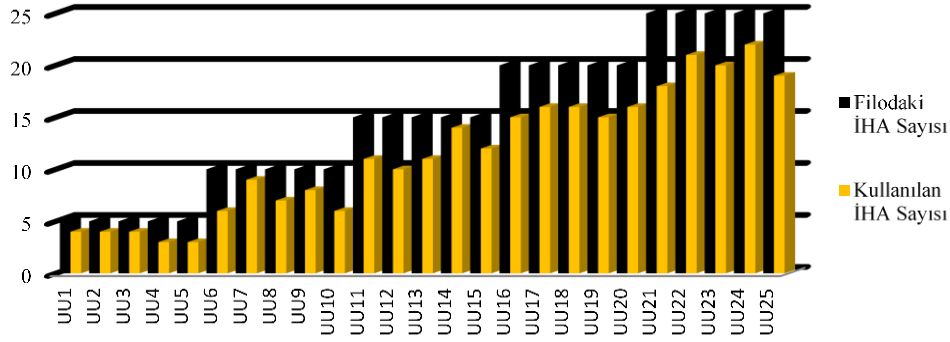
Araç Tipi	Minimum Hız (km/s)	Maksimum Hız (km/s)	Minimum Uçuş Kapasitesi (s)	Maksimum Uçuş Kapasitesi (s)	Vurucu Öncelikleri
İHA	190	750	5	15	[1, 1000]
SİHA	148	1102	5	15	[1, 1000]



Senaryo	UU1	UU2	UU3	UU4	UU5	UU6	UU7	UU8	UU9	UU10	UU11	UU12	UU13	UU14	UU15	UU16	UU17	UU18	UU19	UU20	UU21	UU22	UU23	UU24	UU25
Tasarruf Oranı(%)	60	40	20	40	40	50	10	30	50	50	13	33	27	40	33	50	45	35	40	40	44	40	40	32	32

**Şekil 16.** SİHA kullanımına ilişkin deneysel analiz sonuçları (Results of experimental analysis on the use of UCAV)

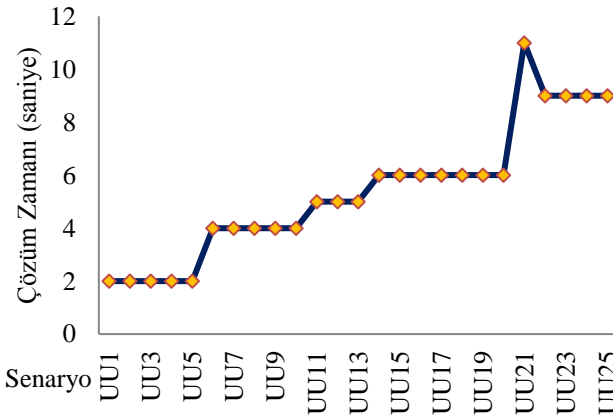




Senaryo	UU1	UU2	UU3	UU4	UU5	UU6	UU7	UU8	UU9	UU10	UU11	UU12	UU13	UU14	UU15	UU16	UU17	UU18	UU19	UU20	UU21	UU22	UU23	UU24	UU25
Tasarruf Oran(%)	20	20	20	40	40	40	10	30	20	40	27	33	27	7	20	25	20	20	25	20	28	16	20	12	24

Şekil 17. İHA kullanımına ilişkin deneysel analiz sonuçları (Results of experimental analysis on the use of UAV)

Şekil 17’deki sonuçlar incelendiği zaman, tüm senaryolarda İHA kullanımından tasarruf sağlandığı, maksimum tasarrufun “UU4”, “UU5” ve “UU6” senaryolarından sağlandığı, minimum tasarrufun ise “UU14” senaryosundan sağlandığı tespit edilmiştir. Ayrıca, tüm senaryolarda ilgili hedeflerin tamamı belirlenen zaman aralığı içerisinde İHA’lar tarafından gözlemlenmiş ve keşfedilmiştir.



Şekil 18. Çözüm zamanı açısından deneysel analiz sonuçları (Experimental)

Çözüm zamanı açısından deneysel analiz sonuçları incelendiği zaman algoritmanın oldukça iyi bir performans gösterdiği tespit edilmiştir. Algoritmanın tüm senaryolarda saniyeler içerisinde hedefleri sınıflandırıp minimum sayıda araçla uygun görev rotalarını ürettiği şekil 18’deki sonuçlardan anlaşılmaktadır.

## 5. TARTIŞMA (DISCUSSION)

Birçok ülke ulusal güvenliğini sağlamak adına askeri operasyonlarda terör ve tehdit unsurlarını etkisiz hale getirmek için insansız hava aracı filolarını yoğun bir şekilde kullanmaktadır. Askeri operasyonlar; anlık olarak planlanması, kısa sürelerde doğru ve etkili çözümlerin üretilmesi gereken stratejik görev alanlarıdır. Kısa sürelerde karar verilmesi gereken operasyonlarda yanlış planlanmış görev rotaları, ulusal güvenlik açısından geri dönüşü mümkün olmayan sonuçlar doğurabilmekte, bu nedenden dolayı askeri operasyonlarda kabul edilebilir çözüm süreleri içerisinde maksimum başarı ile görevlerin gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu çalışmada önerilen çözüm mekanizması ile operasyon alanındaki hedeflerin tamamının hızlı ve etkili bir şekilde kabul edilebilir çözüm zamanı içerisinde imha edildiği tespit edilmiştir.

Çalışmada hedefler zaman içerisinde sürekli konum değiştirmekte, her bir hedef farklı amaçlara ve zaman penceresine sahip olmaktadır. Buna ek olarak, vurucular silahlı ve keşif-gözetleme olmak üzere iki fiyoda ayrılmakta, her bir fiyoda farklı özelliklere sahip vurucular bulunmakta ve bu vurucular sınırlı bir süre havada kalabilmektedir. Çalışma sonucunda, bu varsayımlar ve kısıtlamalar altında kabul edilebilir çözüm süresi içerisinde tüm filoların doğru hedeflere eş zamanlı olarak rotalanması amaçlanmakta, belirtilen özelliklerden dolayı çalışmanın literatürde ilk olma özelliği taşıdığı düşünülmektedir.

Silahlı insansız hava araçları, gelecek yıllar içerisinde suikast ve toplu saldırılar için önemli bir araç olma potansiyeline sahiptir. Boyutu küçük olan ve taşıdığı gram ağırlığındaki mermilerle öldürücü güce sahip olabilen silahlı insansız hava araçları ve dronelarla etkili bir şekilde mücadele etmek ancak aynı cinsten araçların etkin ve başarılı bir şekilde rotalanması ile mümkün olacaktır. Bu çalışmanın, belirtilen olayların

engellenmesinde bir çözüm yaklaşımı olarak kullanılabilirliği, önerilen yöntemin geliştirilmesi ve farklı yöntemlere entegre edilmesi ile daha başarılı sonuçların alınabileceği öngörülmektedir. Belirtilen yöntemin ayrıca askeri operasyonlar başta olmak üzere, arama-kurtarma faaliyetleri ve lojistik hizmetlerinde kullanılan İHA'lar için uygun görev rotasının belirlenmesinde etkili bir şekilde kullanılabilirliği tahmin edilmektedir.

## 6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME (CONCLUSION AND EVALUATION)

İnsansız hava araçları yeni nesil hava araçlarından biri olup, askeri operasyonlardan lojistiğe, keşif ve gözetleme görevlerinden, ziraate kadar geniş bir alanda yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Birçok ülke, ulusal güvenliğini sağlamak ve terör unsurlarını engellemek için sıklıkla bu araçlara başvurmakta, keşif ve gözetleme yapan İHA'lar ile düşman unsurlarını takip ederken, SİHA'lar sayesinde anlık olarak bu unsurları etkisiz hale getirmektedir. Burada önemli olan noktalardan birini filo halinde hareket eden insansız hava araçlarının etkin bir şekilde rotalanması problemi oluşturmaktadır. Özellikle aynı operasyon alanı içerisinde farklı görevlerin eş zamanlı olarak gerçekleştirilmesi gerektiği durumlarda, ilgili araçların doğru hedeflere yönlendirilmesi büyük bir öneme sahip olmaktadır. Anlık, hızlı ve doğru karar verilmesi gereken askeri operasyonlarda, yanlış planlanmış görev rotaları ölüm, yaralanma ya da toprak kaybı gibi geri dönüşü mümkün olmayan sonuçlara sebebiyet verebilmektedir. Bu çalışmada heterojen filolu insansız hava araçları ile (Silahlı-Silahsız İHA) aynı operasyon alanı içerisinde farklı amaç ve özelliklere sahip hedeflerin kabul edilebilir çözüm süresi içerisinde imha edilebilmesi için yeni bir sezgisel çözüm yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen algoritma farklı senaryolar üzerinde test edilmiş, sonuç olarak tüm senaryolarda hedeflerin kabul edilebilir çözüm süresi içerisinde az sayıda araç kullanılarak imha edildiği tespit edilmiştir. Çalışmanın İHA ve SİHA rotalama problemlerinin çözümünde bir çözüm basamağı olarak kullanılabilmesinin yanı sıra görevlere yönelik heterojen filo oluşturma aşamasında da faydalı bir şekilde uygulanabileceği düşünülmüş, gelecek çalışmalarda önerilen algoritmanın geliştirilmesi ve ilgili araçlara entegre edilmesiyle daha etkili sonuçların alınabileceği öngörülmüştür.

## BİLGİLENDİRME (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma TÜBİTAK-BİDEB 2211 doktora burs programı ile desteklenmektedir

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

[1]. Kahveci, M., & Nazlı, C. A. N. (2017). İnsansız Hava Araçları: Tarihçesi, Tanımı, Dünyada Ve Türkiye'deki Yasal Durumu. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(4): 511-535.

- [2]. Kök, T. (2012). İnsansız Hava Araçlarının Güvenli Kullanımı için Spektrum İhtiyaçlarının Belirlenmesi ile İlgili Öneriler. Teknik Uzmanlık Tezi, İstanbul, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu.
- [3]. Rana, K., Praharaj, S. & Nanda, T. (2016). Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): An Emerging Technology for Logistics. *International Journal of Business and Management Invention*, 5(5): 86-92.
- [4]. <http://www.bilgesam.org/Images/Dokumanlar/0-2-2014021955insansizhava-araclari.pdf> Erişim tarihi 27.12.2018.
- [5]. Szabolcsi, R. (2016). UAV Operator Training–Beyond Minimum Standards. *International Scientific Committee*, 193.
- [6]. D'Alessandro, A., Bucalo, F., Coltelli, M., & Martorana, R. (2015, September). Drones-New Technologies for Geophysics?. *In Near Surface Geoscience 2015-21st European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics*.
- [7]. Bento, M. D. F. (2008). Unmanned aerial vehicles: an overview. *Inside GNSS*, 3(1): 54-61.
- [8]. [https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:8MQhO-iYTwoJ:https://tr.wikipedia.org/wiki/%25C4%25B0nsa ns%25C4%25B1z\\_hava\\_arac%25C4%25B1+&cd=1&hl=tr&ct=clnk&gl=tr](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:8MQhO-iYTwoJ:https://tr.wikipedia.org/wiki/%25C4%25B0nsa ns%25C4%25B1z_hava_arac%25C4%25B1+&cd=1&hl=tr&ct=clnk&gl=tr) Erişim tarihi: 29.12.2018
- [9]. Helvig, C. S., Robins, G., & Zelikovsky, A. (1998, August). Moving-target TSP and related problems. *In European Symposium on Algorithms (pp. 453-464)*. Springer Berlin Heidelberg.
- [10]. Fügenschuh, A., Knapp, M., & Rothe, H. (2014). The Multiple Traveling Salesmen Problem with Moving Targets. *Helmut-Schmidt-Univ., Professur für Angewandte Mathematik*.
- [11]. Stieber, A., Fügenschuh, A., Epp, M., Knapp, M., & Rothe, H. (2015). The multiple traveling salesmen problem with moving targets. *Optimization Letters*, 9(8): 1569-1583.
- [12]. Stieber, A., & Fügenschuh, A. (2016). Variants in Modeling Time Aspects for the Multiple Traveling Salesmen Problem with Moving Targets.
- [13]. Jiang, Q., Sarker, R., & Abbass, H. (2005). Tracking moving targets and the non-stationary traveling salesman problem. *Complexity International*, 11(2005): 171-179.
- [14]. Jindal, P., & Kumar, A. (2011). Multiple Target Intercepting Traveling Salesman Problem, *International Journal of Computer Science and Technology*, 2(2): 327-331.
- [15]. Englot, B., Sahai, T., & Cohen, I. (2013, December). Efficient tracking and pursuit of moving targets by heuristic solution of the traveling salesman problem. *In Decision and Control (CDC): 2013 IEEE 52nd Annual Conference on (pp. 3433-3438)*. IEEE.
- [16]. Jindal, P., Kumar, A., & Kumar, S. (2011). Dynamic version of Traveling Salesman Problem. *International Journal of Computer Applications* (0975–8887): 19(1).
- [17]. Khosravi, M., & Aghdam, A. G. (2014, December). Cooperative receding horizon control for multi-target interception in uncertain environments. *In Decision and Control (CDC): 2014 IEEE 53rd Annual Conference on (pp. 4497-4502)*. IEEE.

- [18]. Zhou, A., Kang, L., & Yan, Z. (2003, December). Solving dynamic TSP with evolutionary approach in real time. *In Evolutionary Computation, 2003. CEC'03. The 2003 Congress on (Vol. 2, pp. 951-957)*. IEEE.
- [19]. Choubey, N. S. (2013). Moving Target Travelling Salesman Problem Using Genetic Algorithm. *International Journal of Computer Applications*, 70(2).
- [20]. Lee, Z. J., Lee, C. Y., & Su, S. F. (2002). An immunity-based ant colony optimization algorithm for solving weapon-target assignment problem. *Applied Soft Computing*, 2(1): 39-47.
- [21]. Agharkar, P., & Bullo, F. (2014, June). Vehicle routing algorithms to intercept escaping targets. *In American Control Conference (ACC): 2014* (pp. 952-957). IEEE.
- [22]. Knapp, M., & Rothe, H. (2012). Concept for simulating engagement strategies for C-RAM systems using laser weapons. *Proceedings of the DMMS*.
- [23]. Ries, J., & Ishizaka, A. (2012, December). A multi-criteria support system for dynamic aerial vehicle routing problems. *In Communications, Computing and Control Applications (CCCA): 2012 2nd International Conference on (pp. 1-4)*. IEEE.
- [24]. Bourjolly, J. M., Gurtuna, O., & Lyngvi, A. (2006). On-orbit servicing: a time-dependent, moving-target traveling salesman problem. *International Transactions in Operational Research*, 13(5): 461-481.
- [25]. Blough, O. P., Farrington, T. K., & Hudson, J. (2016). Trojan Asteroid Mission Design: Target Selection And Sequencing Optimization.
- [26]. Mei, G., Ran, X., Fang, D., & Zhang, C. (2015). Improved Satellite Scheduling Algorithm for Moving Target. *In Proceedings of The fourth International Conference on Information Science and Cloud Computing (ISCC2015)*. 18-19 December 2015. Guangzhou, China. Online at <http://pos.sissa.it/cgi-bin/reader/conf.cgi?confid=264>, id. 58.
- [27]. Groba, C., Sartal, A., & Vázquez, X. H. (2015). Solving the dynamic traveling salesman problem using a genetic algorithm with trajectory prediction: An application to fish aggregating devices. *Computers & Operations Research*, 56, 22-32.
- [28]. Mercer, G., Barry, S. I., Marlow, D. O., & Kilby, P. (2008). Investigating the effect of detection and classification range and aircraft dynamics on a. *ANZIAM Journal*, 49, 475-492.
- [29]. Kilby, P., Tobin, P., Luscombe, R., Barry, S. I., & Hickson, R. (2007). The maritime surveillance problem.
- [30]. Marlow, D. O., Kilby, P., & Mercer, G. N. (2007, December). The travelling salesman problem in maritime surveillance-techniques, algorithms and analysis. *In Proceedings of the International Congress on Modelling and Simulation* (pp. 684-690).
- [31]. Fang, F., Jiang, A. X., & Tambe, M. (2013). Protecting moving targets with multiple mobile resources. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 48, 583-634.
- [32]. Cross, M., Marlow, D., & Looker, J. (2007). Application of the non-stationary travelling salesman problem to maritime surveillance. *Proceedings of MISG*, 1-4.
- [33]. Shuttleworth, R., Golden, B. L., Smith, S., & Wasil, E. (2008). Advances in meter reading: Heuristic solution of the close enough traveling salesman problem over a street network. *In The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges (pp. 487-501)*. Springer US.
- [34]. Del Bimbo, A., & Pernici, F. (2005, October). Distant targets identification as an on-line dynamic vehicle routing problem using an active-zooming camera. In Visual Surveillance and Performance Evaluation of Tracking and Surveillance, 2005. *2nd Joint IEEE International Workshop on (pp. 97-104)*. IEEE.
- [35]. Bimbo, A. D., & Pernici, F. (2005, June). Saccades planning with kinetic TSP for distant targets identification. In Imaging for Crime Detection and Prevention, 2005. *ICDP 2005. The IEE International Symposium on (pp. 145-149)*. IET.
- [36]. Ilavarasi, K., & Joseph, K. S. (2014, February). Variants of travelling salesman problem: A survey. *In Information Communication and Embedded Systems (ICICES): 2014 International Conference on (pp. 1-7)*. IEEE.
- [37]. Asahiro, Y., Horiyama, T., Makino, K., Ono, H., Sakuma, T., & Yamashita, M. (2004). How to collect balls moving in the Euclidean plane. *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, 91, 229-245.
- [38]. Asahiro, Y., Miyano, E., & Shimoirisa, S. (2008). Grasp and delivery for moving objects on broken lines. *Theory of Computing Systems*, 42(3): 289-305.
- [39]. Chalasani, P., Motwani, R., & Rao, A. N. I. L. (1996, July). Algorithms for robot grasp and delivery. *In 2nd International Workshop on Algorithmic Foundations of Robotics*.
- [40]. Papadakos, N., Tzallas-Regas, G., Rustem, B., & Thoms, J. (2011). Risky traveling salesman problem. *European Journal of Operational Research*, 212(1): 69-73.
- [41]. Hammar, M., & Nilsson, B. J. (1999, July). Approximation results for kinetic variants of TSP. *In International Colloquium on Automata, Languages, and Programming (pp. 392-401)*. Springer Berlin Heidelberg.
- [42]. Bengt, J. (2002). Approximation Results for Kinetic Variants of TSP. *Discrete & Computational Geometry*, 4(27).
- [43]. Karakaya, M. En Az Sayıda İnsansız Hava Aracı Kullanarak Sabit Hedeflerin Gözetlenmesinin Planlanması.
- [44]. Akdeniz, H. A., & Turgutlu, T. (2007). Türkiye’de perakende sektöründe analitik hiyerarşik süreç yaklaşımıyla tedarikçi performans değerlendirilmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 9(1): 1-17.
- [45]. Ömürbek, N., & Şimşek, A. (2014). Analitik Hiyerarşik Süreci Ve Analitik Ağ Süreci Yöntemleri İle Online Alışveriş Site Seçimi. *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 12(22): 306-327.
- [46]. Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International journal of services sciences*, 1(1): 83-98.
- [47]. [http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Y9PrXQxWpeIJ:www.deu.edu.tr/userweb/k.yaralioglu/dosyalar/Analitik\\_Hiyerarshi\\_Proces.doc+&cd=3&hl=tr&ct=clnk&gl=tr](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Y9PrXQxWpeIJ:www.deu.edu.tr/userweb/k.yaralioglu/dosyalar/Analitik_Hiyerarshi_Proces.doc+&cd=3&hl=tr&ct=clnk&gl=tr) Erişim tarihi: 23.12.2018.
- [48]. <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:2kUkSVOagROJ:https://en.wikipedia.org/wiki/Bayraktar>

- \_Tactical\_UAS+&cd=1&hl=tr&ct=clnk&gl=tr Erişim tarihi: 07.01.2019.
- [49].[https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:T9jga0Qp4RMJ:https://en.wikipedia.org/wiki/Alenia\\_Aermacchi\\_Sky-Y+&cd=2&hl=tr&ct=clnk&gl=tr](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:T9jga0Qp4RMJ:https://en.wikipedia.org/wiki/Alenia_Aermacchi_Sky-Y+&cd=2&hl=tr&ct=clnk&gl=tr) Erişim tarihi: 07.01.2019.
- [50].[http://pages.mscsoftware.com/rs/mscsoftware/images/aleniaaeronautica\\_october6%5B1%5D.pdf](http://pages.mscsoftware.com/rs/mscsoftware/images/aleniaaeronautica_october6%5B1%5D.pdf) Erişim tarihi: 07.01.2019.
- [51].[http://pages.mscsoftware.com/rs/mscsoftware/images/aleniaaeronautica\\_october6%5B1%5D.pdf](http://pages.mscsoftware.com/rs/mscsoftware/images/aleniaaeronautica_october6%5B1%5D.pdf) Erişim tarihi: 07.01.2019.
- [52].[https://umsskeldar.aero/wpcontent/uploads/UMS\\_SKELDAR\\_F-720.pdf](https://umsskeldar.aero/wpcontent/uploads/UMS_SKELDAR_F-720.pdf) Erişim tarihi: 07.01.2019.
- [53].<https://www.globalsecurity.org/military/world/russia/dozor.htm> Erişim tarihi: 07.01.2019.
- [54].<https://www.strategypage.com/htm/w/htairfo/articles/20090913.aspx> Erişim tarihi: 07.01.2019.
- [55].<https://www.airforce-technology.com/projects/yabhon-smart-eye-unmanned-aerial-vehicle-uav/> Erişim tarihi: 07.01.2019.
- [56].[https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:v3ShtWEoijcJ:https://en.wikipedia.org/wiki/Guizhou\\_Soar\\_Dragon+&cd=1&hl=tr&ct=clnk&gl=tr](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:v3ShtWEoijcJ:https://en.wikipedia.org/wiki/Guizhou_Soar_Dragon+&cd=1&hl=tr&ct=clnk&gl=tr) Erişim tarihi: 07.01.2019.
- [57].[https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:v3ShtWEoijcJ:https://en.wikipedia.org/wiki/Guizhou\\_Soar\\_Dragon+&cd=1&hl=tr&ct=clnk&gl=tr](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:v3ShtWEoijcJ:https://en.wikipedia.org/wiki/Guizhou_Soar_Dragon+&cd=1&hl=tr&ct=clnk&gl=tr) Erişim tarihi: 07.01.2019.
- [58].<https://www.defenceaviation.com/2013/01/guizhou-soar-eagle.html> Erişim tarihi: 07.01.2019.
- [59].<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:tGUO-Abiw-wJ:https://en.wikipedia.org/wiki/HCUAV+&cd=1&hl=tr&ct=clnk&gl=tr> Erişim tarihi: 07.01.2019.
- [60].<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Bd4xWo3AScQJ:https://en.wikipedia.org/wiki/Ababil+&cd=6&hl=tr&ct=clnk&gl=tr> Erişim tarihi: 07.01.2019.
- [61].<https://indopakdef.wordpress.com/2009/07/28/eads-defence-security-tests-the-largest-unmanned-aerial-system-uav-ever-built-in-europe/> Erişim tarihi: 07.01.2019.
- [62].[https://en.wikipedia.org/wiki/Medium-altitude\\_long-endurance\\_unmanned\\_aerial\\_vehicle](https://en.wikipedia.org/wiki/Medium-altitude_long-endurance_unmanned_aerial_vehicle) Erişim tarihi: 08.01.2019.
- [63].[https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:7dRcarhnNV8J:https://en.wikipedia.org/wiki/IAI\\_Heron+&cd=1&hl=tr&ct=clnk&gl=tr](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:7dRcarhnNV8J:https://en.wikipedia.org/wiki/IAI_Heron+&cd=1&hl=tr&ct=clnk&gl=tr) Erişim tarihi: 08.01.2019.
- [64].[https://www.militaryfactory.com/aircraft/detail.asp?aircraft\\_id=1673](https://www.militaryfactory.com/aircraft/detail.asp?aircraft_id=1673) Erişim tarihi: 08.01.2019.
- [65].[https://www.youtube.com/watch?v=Oo\\_11ZkAVS4](https://www.youtube.com/watch?v=Oo_11ZkAVS4) Erişim tarihi: 08.01.2019.
- [66].<http://www.airkule.com/yazar/NORTHROP-GRUMMAN-X-47B/1182/> Erişim tarihi: 08.01.2019.
- [67].[https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Q954ddTdA2UJ:https://en.wikipedia.org/wiki/Northrop\\_Grumman\\_X-47B+&cd=3&hl=tr&ct=clnk&gl=tr](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Q954ddTdA2UJ:https://en.wikipedia.org/wiki/Northrop_Grumman_X-47B+&cd=3&hl=tr&ct=clnk&gl=tr) Erişim tarihi: 08.01.2019.
- [68].O'Gorman, Rob, and Chris Abbott. "Remote control war."(2013).  
<https://www.files.ethz.ch/isn/170021/Remote-Control-War.pdf> Erişim tarihi: 08.01.2019.
- [69].[http://www.iai.co.il/2013/18900-37204-en/BusinessAreas\\_UnmannedAirSystems\\_HeronFamily.aspx](http://www.iai.co.il/2013/18900-37204-en/BusinessAreas_UnmannedAirSystems_HeronFamily.aspx) Erişim tarihi: 08.01.2019.
- [70].[http://www.iai.co.il/Sip\\_Storage/FILES/8/42458.pdf](http://www.iai.co.il/Sip_Storage/FILES/8/42458.pdf) Erişim tarihi: 08.01.2019.
- [71].[https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:1proqLE7jI8J:https://en.wikipedia.org/wiki/IAI\\_Eitan+&cd=1&hl=tr&ct=clnk&gl=tr](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:1proqLE7jI8J:https://en.wikipedia.org/wiki/IAI_Eitan+&cd=1&hl=tr&ct=clnk&gl=tr) Erişim tarihi: 08.01.2019.
- [72].[https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:KwaPm4zYuxsJ:https://en.wikipedia.org/wiki/Mikoyan\\_Skat+&cd=1&hl=tr&ct=clnk&gl=tr](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:KwaPm4zYuxsJ:https://en.wikipedia.org/wiki/Mikoyan_Skat+&cd=1&hl=tr&ct=clnk&gl=tr) Erişim tarihi: 08.01.2019.
- [73].<http://foreignpolicy.com/2013/06/03/meet-skat-russias-stealthy-drone/> Erişim tarihi: 08.01.2019.
- [74].[https://www.militaryfactory.com/aircraft/detail.asp?aircraft\\_id=909](https://www.militaryfactory.com/aircraft/detail.asp?aircraft_id=909) Erişim tarihi: 08.01.2019.
- [75].<https://ebooks.wtbooks.com/static/wtbooks/ebooks/9781283497367/9781283497367.pdf> Erişim Tarihi: 30.09.2018
- [76].<https://www.airforce-technology.com/projects/x-45-ucav/> Erişim tarihi: 08.01.2019.
- [77].[http://www.aiad.it/aiad\\_res/cms/documents/FalcoEVO\\_Salex2013.pdf](http://www.aiad.it/aiad_res/cms/documents/FalcoEVO_Salex2013.pdf) Erişim tarihi: 08.01.2019.
- [78].<http://www.leonardocompany.com/en/-falco-un-peacekeeping> Erişim tarihi: 08.01.2019.
- [79].[https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:AvA2gXAhLLcJ:https://en.wikipedia.org/wiki/DRDO\\_Rustom+&cd=1&hl=tr&ct=clnk&gl=tr](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:AvA2gXAhLLcJ:https://en.wikipedia.org/wiki/DRDO_Rustom+&cd=1&hl=tr&ct=clnk&gl=tr) Erişim tarihi: 08.01.2019.
- [80].[https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:XyoulGy2WY4J:https://en.wikipedia.org/wiki/Medium-altitude\\_long-endurance\\_unmanned\\_aerial\\_vehicle+&cd=1&hl=tr&ct=clnk&gl=tr](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:XyoulGy2WY4J:https://en.wikipedia.org/wiki/Medium-altitude_long-endurance_unmanned_aerial_vehicle+&cd=1&hl=tr&ct=clnk&gl=tr) Erişim tarihi: 08.01.2019.
- [81].[https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:arEWjWn9CnMJ:https://tr.wikipedia.org/wiki/Bayraktar\\_Taktik\\_%25C4%25B0nsans%25C4%25B1z\\_Hava\\_Arac%25C4%25B1+&cd=8&hl=tr&ct=clnk&gl=tr](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:arEWjWn9CnMJ:https://tr.wikipedia.org/wiki/Bayraktar_Taktik_%25C4%25B0nsans%25C4%25B1z_Hava_Arac%25C4%25B1+&cd=8&hl=tr&ct=clnk&gl=tr) Erişim tarihi: 08.01.2019.
- [82].[https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:2kUkSV0agR0J:https://en.wikipedia.org/wiki/Bayraktar\\_Tactical\\_UAS+&cd=7&hl=tr&ct=clnk&gl=tr](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:2kUkSV0agR0J:https://en.wikipedia.org/wiki/Bayraktar_Tactical_UAS+&cd=7&hl=tr&ct=clnk&gl=tr) Erişim tarihi: 08.01.2019.
- [83].[https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:ztuJgG4o2RAJ:https://en.wikipedia.org/wiki/TAI\\_Anka+&cd=3&hl=tr&ct=clnk&gl=tr](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:ztuJgG4o2RAJ:https://en.wikipedia.org/wiki/TAI_Anka+&cd=3&hl=tr&ct=clnk&gl=tr) Erişim tarihi: 08.01.2019.
- [84].[https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:ztuJgG4o2RAJ:https://en.wikipedia.org/wiki/TAI\\_Anka+&cd=1&hl=tr&ct=clnk&gl=tr](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:ztuJgG4o2RAJ:https://en.wikipedia.org/wiki/TAI_Anka+&cd=1&hl=tr&ct=clnk&gl=tr) Erişim tarihi: 08.01.2019.
- [85].<http://www.bilgiustan.com/yerli-ih-sistemleri-mill-insansiz-hava-araclari/> Erişim tarihi: 08.01.2019.
- [86].<https://tyrannosurusrex.wordpress.com/2016/06/16/vestel-karayel-hedefleri-basariyla-vurdu/> Erişim tarihi: 08.01.2019.
- [87].<https://militaryedge.org/armaments/karayel/> Erişim tarihi: 08.01.2019.