

## İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ GENETİK ALGORİTMA YÖNTEMİYLE ÇOKLU HEDEFLERE PLANLANMASI

Hv.Plt.Yzb. Baha PAKKAN\*

Yrd.Doç.Dr.Hv.Müh.Yb. Murat ERMİŞ

HHO Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü  
34149, Yeşilyurt / İSTANBUL  
bpakkan@hho.edu.tr

Hava Harp Okulu Dekanlığı  
34149, Yeşilyurt / İSTANBUL  
m.ermis@hho.edu.tr

*Geliş Tarihi: 25 Ağustos 2009, Kabul Tarihi: 30 Ocak 2010*

### ÖZET

*Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (KKARP), bir noktadan başlayarak farklı düğüm noktalarına (şehir, hedef, vs.), en kısa süre veya en düşük maliyetle en az sayıda araç ile uğranılmasını eniyileyen problem çeşididir. Bu çalışmada, Hava Kuvvetleri'nin gözlem amaçlı olarak, İnsansız Hava Araçlarının (İHA) olası hedeflere çevrim dışı olarak Görev Planlanmasını daha hızlı ve daha etkin şekilde yapılabilmesine yardımcı olabilecek Genetik Algoritma (GA) tabanlı bir çözüm yöntemi geliştirilmiştir. İstenilen hedeflerin coğrafi koordinatları çevrim içi internet üzerinden Google Maps sunucusu vasıtasıyla Delphi ortamına alınarak veri paketleri haline getiren ve Matlab ortamında işlenebilmesi için Matlab Simulink modelleme yapısı içerisinde paketleri alan ve saklayan bir arayüz tasarlanmıştır. Önerilen yeni GA yöntemi, bu veri paketlerini girdi olarak alıp eniyileyerek her bir İHA için uygun rotayı hesaplamaktadır. Farklı parametre değerleri için deneyler yapılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu çalışma daha ileride yapılabilecek çevrim içi/gerçek zamanlı hedef/rota belirleme çalışmaları için bir başlangıç teşkil edebilecektir.*

*Anahtar Kelimeler: İnsansız Hava Aracı, Araç Rotalama Problemi, Genetik Algoritmalar.*

### ASSIGNMENT OF A FLEET OF UMMANNED AERIAL VEHICLES TO MULTI TARGETS USING GENETIC ALGORITHMS

### ABSTRACT

*Capacity Constrained Vehicle Routing Problem (CCVRP), a combinatorial optimization problem seeking to service a number of customers with a fleet of vehicles which have limited carrying capacity of the goods that must be delivered. In this study, a Genetic Algorithms (GA) based solution method is developed to help Turkish Air Force Command aiming to detect possible foes by using Unmanned Air Vehicles (UAVs) in a more manageable and efficient manner. A user interface is designed to gather targets' data from the Google Maps server and to import into Matlab database. The proposed novel GA method tries to optimize the path of each UAV which flies on. The results of computational experiments in order to evaluate the effectiveness of our GA method are presented. This study might be used for future online/real time target/route planning researches.*

*Keywords: Unmanned Aerial Vehicle, Vehicle Routing Problems, Genetic Algorithms*

### 1. GİRİŞ

İHA sistemleri, özellikle askeri alanda, vazifenin kritik ve tehdidin yoğun olduğu görev bölgelerinde, insan kaybı riskinin bulunmaması ve hava aracı performansının insan zaafına bağlı olmaması gibi, insanlı sistemlere göre çok büyük avantajlara sahiptir. Bu nedenle günümüzde tüm ülkeler İHA alımına ya da yapımına gitmektedirler. Özellikle havada kalış

zamanının fazla ve dolayısıyla menzilin çok yüksek olması, İHA'ların bir sortidepek çok hedefe gidip görevini etkin bir şekilde yapmasını sağlamıştır [1].

Hava Kuvvetlerinde yapılan görevlerin başarılı olarak değerlendirilmesinde zamanlama ve tam başarı çok önemlidir. İHA'ların gözetleme faaliyetlerinde hızlı ve doğru görüntü aktarmaları, planlama ve görev başarısı

\*Sorumlu Yazar

açısından kritik öneme sahiptir. Teşhis edilmesi istenen hedeflerin çokluğu ve buna bağlı olarak göreve gönderilecek İHA'ların sayısının artması ile İHA'ların kapasite kısıtları göz önüne alındığında, kısa süre içerisinde yapılması beklenen bir planlama, büyük zorluklara neden olmakta ve içinden çıkılmaz bir hal almaktadır. Hedef sayısı ve uçak sayısının her bir artışı, çözüm sayısında üstel olarak artışa sebep olduğundan, bir noktadan sonra hesaplama süresi kabul edilebilir sınırlar içerisinde olmamaktadır.

Araç Rotalama Problemi (ARP), bir noktadan başlayarak farklı düğüm noktalarına (şehir, hedef, vs.), en kısa süre veya en düşük maliyetle en az sayıda araç ile uğranılmasını eniyileyen problem çeşitidir. Bu tür problemler, literatürde düğüm sayısı arttıkça çözüm süresi üssel olarak arttığından NP-sıkı olarak adlandırılmaktadır. Farklı çalışmalarda önerilen birçok yöntemde kesin algoritmaların kullanılmaması sebebiyle sezgisel veya meta sezgisel metotlar kullanılarak geliştirilen çok çeşitli çözüm tekniği bulunmaktadır.

Meta sezgisel metotlardan olan GA yöntemi, doğada geçerli olan en iyinin hayatta kalması kuralına dayanarak, daha iyi çözümler bulmayı hedefleyen doğa esin bir yöntemdir. GA problemlere tek bir çözüm üretmek yerine farklı çözümlerden oluşan bir çözüm kümesi bulur. Böylelikle, arama uzayında aynı anda birçok nokta değerlendirilmekte ve sonuçta bütünsel çözüme ulaşma olasılığı yükselmektedir.

Bu çalışmada, İHA'lar için etkin rotaların bulunması amacıyla geliştirilen sistemde görsel bir kullanıcı ara yüzü oluşturulmuştur. Planlama Subayı bu ara yüzü kullanarak, istenilen hedeflerin coğrafi koordinatlarını çevrim içi internet üzerinden Google Maps sunucusu vasıtasıyla Delphi ortamına alıp veri paketleri haline getirerek Matlab ortamında Matlab Simulink vasıtasıyla işleyerek geliştirilen GA tabanlı çözüm tekniğiyle en uygun rotaları bulabilmekte ve görsel olarak izleyebilmektedir.

İnternete bağlı bir bilgisayardan Google Maps programı yardımıyla Kalkış Meydanı ve istenen hedeflerin yerini tespit ederek, veri giriş alanına; görev yapacak İHA sayısı, üzerinde bulunacak kameranın çalışma süresi ve her hedef için görüntü talep süresi girilmesi ile, sonuçlar grafik ve tablo halinde kısa sürede hesaplanarak Planlama Subayının en etkin şekilde planlama yapmasına yardım etmektedir.

## 2. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI

### 2.1. Tarihsel Gelişimi

İleri teknoloji ürünü ilk İHA'lar 1970'li yıllarda ilk olarak İsrail tarafından kullanılmıştır. Bilindiği gibi 1970'li yıllarda İsrail ile Arap dünyasının girmiş olduğu gerek sıcak ve gerekse soğuk savaş ortamında, İsrail'in sürekli olarak keşif ve gözetleme yapma ihtiyacı ortaya çıkmış ve bu ihtiyacın giderilmesi

amacıyla ilk olarak gerçek zamanlı (real time) gözetleme yapan ve yaptığı gözetleme sonucu elde ettiği bilgileri yerde bir istasyona aktaran ve bu istasyondan aldığı elektronik sinyaller vasıtasıyla uçuşuna ve gözetlemesine devam eden ilk İHA tasarlanmıştır.

Yakın zamanda ABD Körfez Savaşı'nda, Pioneer ve Pointer adlı iki değişik İHA sistemini denemiştir. Bu savaşta İHA'lar gerçek zamanlı istihbarat sağlamış ve hasar tespit görevlerinde kullanılmıştır.

Ayrıca Bosna-Hersek Krizi ve Kosova Harekati'nda başta ABD olmak üzere, Almanya, Fransa ve İngiltere tarafından İHA'lar etkin bir şekilde kullanılmıştır. Özellikle bu son iki harekatta, yine ABD üretimi bir İHA olan Predator, sıkça kullanılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Predator

### 2.2. İnsansız Hava Aracı Tanımları

NATO kaynaklarında kabul gören İHA tanımı şöyledir; İçinde insan olmayan, uzaktan kumanda ile yönlendirilen veya otonom olarak kendisini yönlendiren motorlu itki gücü olan, silah ya da faydalı yükleri ana gövdesine yüklenip çıkarılabilen, görev sonu geri dönerek iniş yapabilen veya hedefte silah olarak kendini imha edebilen araçlardır [2].

### 2.3. NATO'nun İnsansız Hava Aracı Sınıflandırması

Ülkeler sınıflamayı kendi ihtiyaç ve görev özelliklerine göre değişik şekilde yapmaktadır. NATO bünyesindeki sınıflandırma menzile göre ve genellikle İHA'nın kuvvetler emrindeki kullanımına dayanır. Yüksek irtifa ve uzun menzilli sistemlerin Hava Kuvvetleri, alçak irtifa ve orta menzile kadar olan sistemlerin (taktik) Kara Kuvvetleri, taktik özellikli ve dikine iniş/kalkış yapabilen sistemlerin Deniz Kuvvetleri tarafından kullanılması öngörülmüştür.

### 3. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİ

#### 3.1. Araç Rotalama Problemlerinin Tanımı

ARP taşıma maliyetlerini azaltmak ve müşteri hizmetlerini arttırmak için bir veya birden fazla aracın takip etmesi gereken en iyi rotayı bulmaktır [3].

Diğer bir tanıma göre; ARP, coğrafi olarak dağıtık müşterilere bir veya birden fazla depodan hizmet vermek üzere görevlendirilen araçların optimum dağıtım/toplama rotalarının tasarlanması problemidir. ARP dağıtım yönetiminin kalbidir. ARP'nin en basit şekline Klasik ARP denir. Klasik ARP'de birinci şehir depo olmak üzere  $n$  adet şehir ve  $m$  adet araç vardır. Her bir aracın kapasitesi  $C$  ve  $i$  düğümünden  $j$

düğümüne olan mesafe  $d_{ij}$  olarak tanımlanır. ARP ile  $m$  adet aracın rotası belirlenirken;

- Her bir şehir yalnız bir defa ziyaret edilir,
- Her bir araç rotasına aynı depoda başlar ve sonlandırır,
- Rota sayısı ve konfigürasyonu ile ilgili kısıtlar vardır.

Bu temel kısıtlar haricindeki kısıtlar problemin özelliğine göre değişmektedir [4].

#### 3.2. Araç Rotalama Probleminin Tarihsel Gelişimi

ARP ilk olarak 1959 yılında Dantzig ve Ramser tarafından literatüre kazandırılmıştır [4]. Yazarlar bu çalışmalarında benzin istasyonlarına benzin dağıtım problemi üzerinde durmuşlar ve problemin çözümü için ilk matematiksel programlama modelini kurmuşlardır. Daha sonra 1964 yılında Clark ve Wright probleme sezgisel bir çözüm önermiş ancak bu çalışmadan sonra literatürde ARP'ye ilgi daha da artarak büyümüştür [5]. ARP şu ana kadar üzerinde en fazla yöntem geliştirilen optimizasyon problemlerinden birisidir.

Solomon, ARP araştırmaları üzerinde zaman kısıtlarını konu alan çeşitli problemleri incelemiştir. Problemin bu tipinde, çizelgelemenin uzaysal anlayışıyla geçici anlayışı karşılaştırılmaktadır [5].

Koskosidis, daha esnek çalışma zamanı kısıtlarına izin vermiştir. Koskosidis'e göre eğer araç çok geç ya da çok erken ulaşıyorsa bu ceza maliyeti gerektirir. Malakandri ve Daskin trafik sıkışıklığı temelli, zaman bağımlı ARP algoritmaları üzerinde çalışmışlardır [6].

#### 3.3 Araç Rotalama Problemi ve Notasyonları

ARP çözüm bölgesi  $G(V,E)$  grafının kenarları ile sınırlanan kombinasyonel bir problemidir.

Klasik bir ARP modelinde:

$G=(V,E)$ : Bir çizge,

$V=\{v_0, v_1, \dots, v_n\}$  Düğüm kümesi,

$E=\{v_i, v_j\}: v_i, v_j \in V, i \neq j$  Bir yay kümesi ise,

$V$  kümesinde  $v_0$  merkez depoyu, diğer  $n$  sayıda nokta ise müşterileri ifade etmektedir. Her müşteri pozitif bir  $q_i$  talebine sahiptir ve her biri  $C$  kapasiteli  $m$  araçtan oluşan bir araç filosu depoda bulunmaktadır. Literatürde bu kapasite kısıtının yer almadığı problemlere MTSP adı verilmektedir. ARP'de temel amaç tüm müşterilere hizmet götürmek için her aracın gideceği güzergahı çizmek, diğer bir deyişle  $m$  adet rota belirlemektir. Kuşkusuz bunu yaparken de kısıtlara uyularak maliyetin minimize edilmesi arzulanmaktadır. Tek depolu klasik bir ARP'nin doğrusal modeli aşağıdaki gibi formüle edilebilir:

$M$ : İHA Sayısı

$N$ : Hedef Sayısı

$d_{i,j}$ :  $i$  ve  $j$  noktaları arası mesafe

$q_i$ :  $i$ 'nci hedefin izlenme süresinin talep miktarı

$C$ : Araç Kapasitesi

Değişken;

$$x_{ijk} : \begin{cases} 1, k \text{ nolu araç } i \text{ noktasından } j \text{ noktasına hareket ederse} \\ 0, \text{ aksi takdirde} \end{cases}$$

Amaç fonksiyonu:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0, j \neq i}^N \sum_{k=1}^M d_{ij} x_{ijk} \quad (1)$$

Şu kısıtlara göre:

$$\sum_{k=1}^M \sum_{j=1}^N x_{ijk} = M, \quad i = 0 \text{ ise} \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^M \sum_{j=1}^N x_{ijk} = 1, \quad \forall i \in \{1, \dots, N\} \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^M \sum_{j=1}^N x_{ijk} = 1, \quad \forall j \in \{1, \dots, N\} \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{i0k} \leq 1, \quad \forall k \in \{1, \dots, M\} \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^N q_i \sum_{j=1}^N x_{ijk} \leq C, \quad \forall k \in \{1, \dots, M\} \quad (6)$$

Amaç fonksiyonu (1) toplam kat edilecek mesafenin yani maliyetin minimize edilmesi gerektiğini ifade etmektedir. (2) denklemi işletme biriminden çıkacak araç sayısının  $M$  adet olduğunu, (3) ve (4) kısıt denklemleri bir müşterinin mutlaka bir araç tarafından ziyaret edilmesi ile müşteriye gelen ve müşteriden çıkan yollardan sadece bir tanesinin kullanılmasının zorunlu olduğunu, (5) nolu kısıt denklemi bir aracın ancak bir defa işletme biriminden çıkacağı dolayısıyla rotalamada bir defa kullanılacağını, (6) nolu kısıt denklemi ise araçlara yüklemelerin araç kapasite değeri  $C$ 'yi geçmemesini belirtmektedir. Bazı

problemlerde araç sayısı kısıtı olarak en fazla  $M$  tane aracın kullanılması gerektiği yer almaktadır. Bu durumda (2) nolu denklemde eşitlik ifadesi yerine küçük eşit ifadesi yer alacaktır. Modelde yer alan temel kısıtlar olan (3) ve (4) nolu denklemler rotaların sürekliliğini sağlaması açısından önemlidir. Bir ARP problemine genel olarak şu bilgilere ihtiyaç vardır [6]:

- Her müşteriden diğer müşterilere ulaşım süresi veya aralarındaki mesafe,
- İşletme birimlerinden her müşteriye ulaşım süresi veya aralarındaki mesafe,
- Talep noktalarındaki talep miktarı,
- Araç sayısı ve araç kapasite değeri,
- Optimize edilmesi gereken unsur veya unsurlar (amaç fonksiyonu) .

#### 4. GENETİK ALGORİTMALAR

##### 4.1..Genetik Algoritma Tanımı ve Tarihçesi

GA, araştırma ve optimizasyon algoritmaları olup, canlılardaki doğal gelişim prensibine dayanmaktadır. GA çözüm uzayındaki her noktayı, kromozom adı verilen bir dizi ile kodlar. Her kuşakta, GA, çaprazlama ve mutasyon gibi genetik operatörleri kullanarak yeni bir popülasyon oluşturur. Birkaç kuşak sonunda, popülasyon daha iyi uygunluk değerine sahip üyeleri içerir [7].

GA'nın temel ilkeleri ilk kez Michigan Üniversitesi'nde John Holland tarafından ortaya atılmıştır. Holland 1975 yılında yaptığı çalışmaları "Adaptation in Natural and Artificial Systems" adlı kitabında bir araya getirmiştir. İlk olarak Holland evrim yasalarını genetik algoritmalar içinde eniyileme problemleri için kullanmıştır. Daha sonra öğrencisi olan David Goldberg tezinde gaz boru hattının kontrolünü içeren bir problemin çözümünü GA ile gerçekleştirmiştir [8].

GA doğada geçerli olan en iyinin yaşaması kuralına dayanarak sürekli iyileşen çözümler üretir. Bunun için "iyi"nin ne olduğunu belirleyen bir uygunluk (fitness) fonksiyonu ve yeni çözümler üretmek için yeniden kopyalama (recombination), değiştirme (mutation) gibi operatörleri kullanır. GA'ların bir diğer önemli özelliği de bir grup çözümlerle uğraşmasıdır. Bu sayede çok sayıda çözümün içinden iyileri seçilip kötülerini elenebilir.

GA problemlere tek bir çözüm üretmek yerine farklı çözümlerden oluşan bir çözüm kümesi üretir. Böylelikle, arama uzayında aynı anda birçok nokta değerlendirilmekte ve sonuçta bütünsel çözüme ulaşma olasılığı yükselmektedir. Çözüm kümesindeki

çözümler birbirinden tamamen bağımsızdır. Her biri çok boyutlu uzay üzerinde bir vektördür.

GA problemlerin çözümü için evrimsel süreci bilgisayar ortamında taklit ederler. Diğer en iyileme yöntemlerinde olduğu gibi çözüm için tek bir yapının geliştirilmesi yerine, böyle yapılardan meydana gelen bir küme oluştururlar. Problem için olası pek çok çözümü temsil eden bu küme GA terminolojisinde popülasyon adını alır. Popülasyonlar; vektör, kromozom veya birey adı verilen sayı dizilerinden oluşur. Birey içindeki her bir elemana gen adı verilir. Popülasyondaki bireyler evrimsel süreç içinde GA işlemcileri tarafından belirlenirler.

##### 4.2. Genetik Algoritmanın Performansını Etkileyen Nedenler

GA pek çok parametreye bağlı olarak çalışmaktadır. Uygulanacak olan GA operatörlerin tipi ve büyüklüğü, çözüm uzayını, çok büyütebilir uzun zamana ihtiyacı doğurabilir veya küçük bir alanda arama yaparak verimsiz sonuçlara ulaşmaya sebep olabilir. Bu nedenle GA'nın performansını etkileyen nedenler iyi incelenmelidir.

*Kromozom sayısı:* Kromozom sayısını arttırmak çalışma zamanını arttırırken azaltmak da kromozom çeşitliliğini yok eder.

*Mutasyon Oranı:* Kromozomlar birbirine benzemeye başladığında hala çözüm noktalarının uzağında bulunuyorsa mutasyon işlemi GA'nın sıkıştığı yerden kurtulmak için tek yoldur. Ancak yüksek bir değer vermek GA'yı kararlı bir noktaya ulaşmaktan alıkoyacaktır.

*Kaç Noktalı Çaprazlama Yapılacağı:* Normal olarak çaprazlama tek noktada gerçekleştirilmekle beraber yapılan araştırmalar bazı problemlerde çok noktalı çaprazlamanın çok yararlı olduğunu göstermiştir.

*Çaprazlamanın sonucu elde edilen bireylerin nasıl değerlendirileceği:* Elde edilen iki bireyin birden kullanılıp kullanılmayacağı bazen önemli olmaktadır.

*Nesillerin birbirinden ayrık olup olmadığı:* Normal olarak her nesil tümüyle bir önceki nesle bağlı olarak yaratılır. Bazı durumlarda yeni nesli eski nesille birlikte yeni neslin o ana kadar elde edilen bireyleri ile yaratmak yararlı olabilir.

*Parametre kodlanmasının nasıl yapıldığı:* Kodlamanın nasıl yapıldığı en önemli noktalardan biridir. Kimi zaman bir parametrenin doğrusal ya da logaritmik kodlanması GA'nın performansında önemli bir farka yol açabilir.

*Kodlama gösteriminin nasıl yapıldığı:* Nasıl olduğu yeterince açık olmamakla beraber GA'nın performansını etkileyen bir noktadır. İkilik düzen,

kayan nokta aritmetiği ya da gray kodu ile gösterim en yaygın yöntemlerdir.

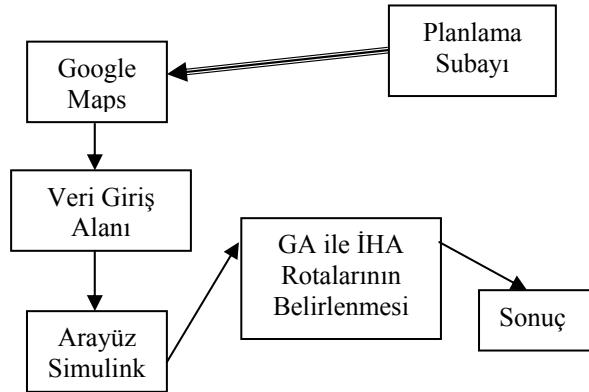
*Başarı değerlendirmesinin nasıl yapıldığı:* Akıllıca yazılmamış bir değerlendirme işlevi çalışma zamanını uzatabileceği gibi çözüme hiçbir zaman ulaşmamasına neden olabilir [9].

## 5. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ ÇOKLU HEDEFLERE GENETİK ALGORİTMA YÖNTEMİYLE PLANLANMASI

Bu bölümde, Hava Kuvvetleri'nin gözlem amaçlı olarak İHA'ların olası hedeflere çevrim dışı olarak Görev Planlanmasının daha hızlı ve daha etkin şekilde yapılabilmesine yardımcı olabilmek için geliştirilen GA tabanlı bir çözüm yöntemi anlatılacaktır. İstenilen hedeflerin coğrafi koordinatları çevrim içi internet üzerinden Google Maps sunucusu vasıtasıyla Delphi ortamına alınarak veri paketleri haline getiren ve Matlab ortamında işlenebilmesi için Matlab Simulink modelleme yapısı içerisinde paketleri alan ve saklayan bir arayüz tasarlanmıştır. Önerilen yeni GA yöntemi, bu veri paketlerini girdi olarak alıp eniyileyerek, her bir İHA için uygun rotayı hesaplamaktadır. Farklı parametre değerleri için deneyler yapılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır

### 5.1. Akış Şeması

İHA'ları çoklu hedeflere rotalama probleminin GA yöntemiyle çözümü yaklaşımının genel çatısı Şekil 2'de gösterilmiştir.



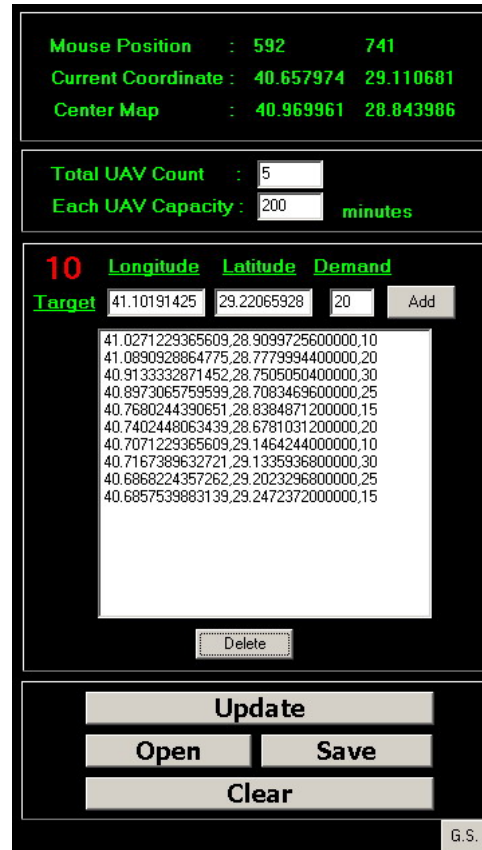
Şekil 2. Genel Çatı.

Windows işletim sistemi üzerinde Borland Delphi 7.0 programlama dilinden interaktif bir planlama yazılımı gerçekleştirilmiştir. Bu yazılım içinde Google Maps API'lerinden faydalanılarak dinamik, çevrim içi (online) haritalardan yararlanılmıştır (Şekil 3). Uçuşların gerçekleştirileceği dolayısıyla hedeflerin bulunduğu coğrafyalar internet üzerinden TCP bağlantısı gerçekleştirilerek Google Maps sunucusundan elde edilmiştir. Hedef bölgeleri coğrafi GPS sistemi koordinatları, gerçekleştirilen bir arayüz vasıtasıyla Delphi ortamına aktarılmıştır.



Şekil 3. Google Maps Görüntüsü.

Elde edilen hedef bölgelerinin GPS koordinatları uygulama üzerinde UDP veri paketleri haline getirilmiş ve işlemlerin gerçekleştirileceği Matlab ortamına aktarılmak üzere bir bağlantı oluşturulmuştur. Geliştirilen planlama arayüzlerinden toplam İHA sayısı, her bir İHA kaydedebildiği görüntü süreleri ve her bir hedefin ne kadar süreyle kayıt altına alınacağı gönderilen konum bilgisi paketleri içerisinde yer almıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Veri Giriş Alanı.

Gönderilen veri paketlerini girdi verisi olarak Matlab ortamında işlenebilmesi için Matlab Simulink modelleme yapısı içerisinde paketleri alan ve saklayan bir arayüz tasarlanmıştır. UDP bağlantısı üzerinde seri

olarak aktarılan veri paketleri veri dizilerine dönüştürülerek değişkenler üzerine atanmıştır.

### 5.2. Kullanılan Çözüm Yaklaşımı

Çözüm için algoritma Matlab'da kodlanmıştır. Hazırlanan GA kodunda, başlangıç popülasyonu Rassal Başlangıç Yöntemi ile oluşturulmuştur. Tüm oluşturulan bireylerin uygunluk değerleri hesaplanarak sıralama seçim yöntemi vasıtasıyla iki ebeveyn seçilmiştir. Birey kırarak çaprazlama yapılmış ve değiştirme (swap) mutasyon yöntemiyle mutasyona uğratılmıştır. Tekrar yeni bireylerin uygunluk değerleri hesaplanarak, döngünün bu şekilde durdurma kriteri sağlanıncaya kadar devam etmesi sağlanmıştır. Durdurma kriterine ulaşıldığında en iyi iyileştirilmiş bireyler (rotalar) ekrana yansıtılmıştır.

### 5.3. Problemin Çözümü

Bu çalışmadaki uygulamalarda 60'a kadar hedeften (düğüm) ve 10'a kadar İHA'dan oluşan KKARP ele alınmıştır. GA bilindiği üzere, geleneksel yöntemlerle çözümü zor veya imkansız olan problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Bu uygulamada GA'nın işleyişi İHA'nın Çoklu Hedeflere Planlanması problemi üzerinde test edilmiştir. Uygulamada İHA Filosunun uçaklarının istenilen hedeflerin görüntülerinin tatmin edici sonuçlara ulaşılabilmesi için talep edilen süre kadar üzerinde kalacak şekilde uçuşuyla oluşturulan uçuş ağı ele alınmıştır. Buna göre, İHA Filosu 10 uçağa sahip sabit bir Üs'te konuşlanan bir İHA Filosu'dur. Hedefler ise ülke sınırları içinde veya dışında görüntüleri İstihbarat Açısından talep edilen her hangi bir noktadır. Oluşturulan arayüz vasıtasıyla üssün konumu, hedeflerin koordinatları ve görüntü ihtiyaç süreleri, uçak sayısı ve uçaklara adapte edilecek kameraların görüntü kaydetme süreleri, kısıtlar ve ihtiyaçlar doğrultusunda belirlenebilecektir.

### 5.4. Test Sonuçları ve Değerlendirmeler

Amaç fonksiyonu dahilinde en kısa rota uzaklığını bulmak üzere GA kullanılarak girdi değerleri matris şeklinde Matlab programında kodlanmış ve sonuçlar 512 Mb hafızalı ve 1.49 Ghz işlemcili bilgisayarda test edilmiştir.

GA'lar topluluk (başlangıçta bu topluluk genelde rasgele oluşturulur) ile başlar ve bu topluluk üzerinde çaprazlama, mutasyon ve seçme gibi yöntemlerin uygulanmasıyla problemin her aşamasında en iyiye doğru bir gidiş sağlanır. Bu çalışmada da başlangıç popülasyonu rasgele oluşturulmuş ve nesil çeşitliliğini sağlamak ve tatmin edici sonuca ulaşmak için birey kırarak çaprazlama ve değiştirerek mutasyon uygulanarak birçok testler yapılmıştır.

GA kullanılarak bir problem çözülürken algoritmanın ne zaman sonlanacağına kullanıcı karar vermektedir. GA'nın belli bir sonlanma kriteri yoktur. Sonucun yeterince iyi olması veya yakınsamanın sağlanması algoritmanın durması için kriter olarak kullanılabilir.

Bu çalışmada 6000 yineleme, sonlandırma kriteri olarak tercih edilmiştir. Bunun nedeni belli bir yinelemenin ardından yapılan birçok denemeden sonra sonucun değişmemesidir.

Popülasyonda kromozom sayısı arttıkça (popülasyon boyutu büyüdükçe) çözüme ulaşmak için gerekli koşum sayısı artar. En uygun çözümü bulmak için program pek çok defa çalıştırılır. Kromozom sayısı çok fazla olursa GA çok yavaş çalışır. Bunun yanında kromozom sayısı az olursa (popülasyon boyutu) GA çözüm aranan uzayın ancak bir kısmını gezebilir ve çaprazlama için fazla seçeneği yoktur. Test sonuçları ışığında bu problemde en kısa rotaya 6000 yinelemede 80 sayılı popülasyon büyüklüğünde hesaplandığı görülmüştür.

Yineleme Sayısı 6000, Popülasyon Boyutu 80 olan GA'da 15, 30, 45 ve 60 adet sabit hedefler için 3, 5, 10 adet İHA'nın izleyeceği rota verileri Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Mesafe, Yineleme, Süre Çizelgesi.

Hedef	Uçak	Minimum Mesafe (nm)	Yineleme Sayısı	Süre (sn)
15	3	668.3	3940	113.15
	5	715.5	4188	114.32
	10	720.1	4493	114.91
30	3	884.3	4818	115.25
	5	816.9	4606	116.33
	10	903.8	4678	117.97
45	3	1055.2	5165	154.65
	5	1049.6	5258	163.89
	10	1098.3	5696	186.38
60	3	2011.2	5601	201.37
	5	1970.8	5714	219.62
	10	1955.7	5653	243.15

Bu veriler ışığında, hedef miktarının büyümesi, arama yapılacak olan çözüm uzayını genişletmiş, İHA Filosu'nun görev için tahsis edeceği İHA sayısının artışı ise, olası çözüm miktarlarını üssel olarak arttırmıştır. Bu durum genişleyen çözüm uzayında büyük sıçrayışlara (exploration) uygun ortam sağlayarak daha rahat yineleme yapılmasına fırsat tanımış ve buna bağlı olarak da daha fazla süreye ihtiyaç duymuştur.

15 ve 30 adet hedeften oluşan çözüm uzayında farklı sayıda İHA'ların yaptığı görevler için hesaplanan ortalama sürelerin, 45 ve 60 adet hedeften oluşan senaryoda ihtiyaç duyulan süreye göre çok daha az ve birbirine oldukça yakın olduğu tespit edilmiştir. 45 ve



60 adet hedeften oluşan çözüm uzaylarında ise süre miktarlarında belirgin farklılaşmalar görülmüş, 45 ve 60 hedef için kullanılan İHA sayılarının artışının, ihtiyaç duyulan süreyi gözle görülür şekilde artırdığı tespit edilmiştir.

Kat edilen minimum mesafeler incelendiğinde; 15 adet hedef için 3 adet İHA'nın, 30 ve 45 adet hedef için 5 Adet İHA'nın, 60 adet hedef için ise 10 adet İHA'nın daha verimli sonuçlar verdiği görülmüştür. Az sayıda hedef için minimum sayıda İHA tahsisini uygun olduğu, çok sayıda hedef için ise daha fazla sayıda İHA tahsis etmenin daha başarılı sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

15 adetlik hedef için 5 adetlik İHA Filosunun 4 adet, 10 adetlik İHA Filosunun ise 4 ile 5 arasında değişen miktarda İHA tahsis ettiği, kalan İHA'larını ise kullanmadığı gözlenmiştir. Her İHA'nın tek bir noktadan kalkıp tekrar aynı noktaya dönmesi gerektiği şartından dolayı az sayıdaki hedeflere ne kadar az İHA planlanırsa o kadar ekstra mesafe uçulması önlenecektir.

Çok sayıda hedefe az sayıda İHA planlanırken tüm hedeflerin teşhis edilmesi şartından dolayı İHA'ların menzilleri artırılarak programın hata vermesi engellenmiştir. 60 adet hedef için 3 adet İHA tahsisinde; çözüm uzayının büyük, İHA sayısının az olmasından dolayı tutarsız sonuçlarla karşılaşmış ve bazı denemelerde daha aramanın başında bir noktada takılıp kaldığı görülmüştür.

## 6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

İHA sistemleri, özellikle askeri alanda, vazifenin kritik ve tehdidin yoğun olduğu görev bölgelerinde, insan kaybı riskinin bulunmaması ve hava aracı performansının insan zaafalarına bağlı olmaması gibi, insanlı sistemlere göre çok büyük avantajlara sahiptir.

Hava Kuvvetlerinde yapılan görevlerin başarılı olarak değerlendirilebilmesi için zamanında ve tam olarak icra edilmesi zorunludur. İHA'ların gözetleme faaliyetlerinde hızlı ve doğru görüntü aktarmaları, planlama ve görev başarısı açısından kritik öneme sahiptir. Teşhis edilmesi istenen hedeflerin çokluğu ve buna bağlı olarak göreve gönderilecek İHA'ların sayısının artması ile İHA'ların kapasite kısıtları göz önüne alındığında, kısa süre içerisinde yapılması beklenen bir planlama, büyük zorluklara neden olmakta ve içinden çıkılmaz bir hal almaktadır. Hedef ve uçak sayısındaki artış, çözüm sayısında üstel olarak artmaya sebep olduğundan, bir noktadan sonra hesaplama süresi kabul edilebilir sınırları aşmaktadır. Bu durumdan kurtulmak için GA yöntemine başvurulmuştur. GA problemlere tek bir çözüm üretmek yerine farklı çözümlerden oluşan çözüm kümesi bulur. Böylelikle arama uzayında aynı anda

birçok nokta değerlendirilmekte ve sonuçta bütünsel çözüme ulaşma olasılığı yükselmektedir.

Bu çalışmada, İHA'lar için etkin rotaların bulunması amacıyla geliştirilen sistemde görsel bir kullanıcı ara yüzü oluşturulmuştur. Planlama Subayı bu ara yüzü kullanarak, istenilen hedeflerin coğrafi koordinatlarını çevrim içi internet üzerinden Google Maps sunucusu vasıtasıyla Delphi ortamına alıp veri paketleri haline getirerek Matlab ortamında Matlab Simulink vasıtasıyla işleyerek geliştirilen GA tabanlı çözüm tekniğiyle en uygun rotaları bulabilmekte ve görsel olarak izleyebilmektedir.

Geliştirilen sistem ile yapılan deneyler sonucunda en yüksek verimi veren yineleme sayısı ve popülasyon büyüklüğü tespit edilmiştir. Belirlenen yineleme ve popülasyon sayılarında 15, 30, 45 ve 60 adet hedeften oluşan arama uzayında 3, 5, 10 adet İHA'nın izleyeceği rotaların uzunluğu, hesaplama için ihtiyaç duyulan süreler ve yineleme sayıları hesaplanarak değerlendirilmiştir.

Geliştirilen bu sistemin Türk Hava Kuvvetleri'ne getireceği faydalar;

- Sistematik bir rotalama sistemi ile etkin ve verimli bir planlama oluşturularak uçulması planlanan toplam mesafeyi minimize ederek uçak kullanım maliyetini azaltmak,
- Hedef bilgi ve ihtiyaçlarının daha rahat elde edilmesi ve İHA Filosu'nun daha etkin kullanılması ile tatmin edici sonuçlara ulaşmaktır.

İHA'ların Çoklu Hedeflere Planlanması Problemi, TSK'nın son dönemde önemle üzerinde durduğu KKARP türüdür. Bu çalışma ile hedeflenen ileride bu konuda yapılacak çalışmalara bir başlangıç teşkil etmesidir. Oluşturulan model, aynı tip (homojen) İHA'lar ile talep edilen hedefleri gözetleme amacıyla uygun olarak tasarlanmıştır. Günümüzde sadece hedeflerin izlenerek farklı sistemler ile hedeflerin tahrip edilmesi sağlanırken, ileride yapılacak olan çalışmalarda ele alınacak İHA'lar, hedef izlemesinden çok, hedefe kilitlenebilen ve istenildiğinde hedefin geciktirilmesini veya tahrip edilmesini sağlayan silah sistemini bünyesinde bulundurabilmelidir. Farklı tipte hedeflerin tahribi farklı silah ve farklı mühimmata ihtiyaç duyacağı için, İHA Filolarında farklı tipte (heterojen) İHA'lar bulundurulması zorunlu olacaktır.

Ayrıca ileride, İHA'lar uydu bağlantılı olarak gerçek zamanlı (real time) gözetleme yapacak ve yaptığı gözetleme sonucu elde ettiği bilgileri yer istasyonlarına aktararak, bu istasyonlardan aldığı elektronik sinyaller vasıtasıyla uçuş ve gözetlemeye devam edecektir. Bu durum planlayıcılara tespit ve teşhis konularında yetki vermesinin yanında fırsat

hedefleri (pop-up targets) tahrip etme yetkisinin tanınmasını getirecektir.

## 7. KAYNAKLAR

- [1] Kaplankıran, Ö., 2007. Mini İnsansız Hava Aracı Etrafındaki Akışın Sayısal Olarak İncelenmesi, Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü, Hava Harp Okulu, Yayınlanmamış Y.Lisans Tezi, İstanbul.
- [2] ABD 2005-2030 İHA Sistemleri Yol Haritası, 2005 ( 2005-2030 UAV Road Map).
- [3] Shetty, V., Sudit M., Nagi, R., 2008. Priority-based Assignment and Routing of a Fleet of Ummanned Combat Aerial Vehicles, Computers&Operations Research, vol. 35, pp. 1813-1828, University Of Buffalo, USA.
- [4] Eryavuz, M., Gencer, C., 2001. Araç Rotalama Problemine Ait Bir Uygulama, Süleyman Demirel Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Yayınlanmamış Y. Lisans Tezi, Isparta.
- [5] Toth, P., Vigo, D., 2002. A heuristic algorithm for the vehicle routing problem with backhauls, Advanced Methods in Transportation Analysis, vol.3, pp. 585-608.
- [6] Cordeau, G., Gendreau, M., Hertz, A., Laporte, G., 2004. New Heuristics for The Vehicle Routing Problem, Les Chairs du Gerard, vol. 1, pp. 33.
- [7] Ambrosino, D., Sciomachen, A., 2007. A Heuristic Based On Multi Exchange Technics For A Regional Fleet Assignment Location- Routing Problem, Computers & Operation Research 36, pp.442-460, Italy.
- [8] Michalewicz, Z., 1996. Genetic Algorithm + Data Structure = Evaluation Programs, Third Edition, Springer Verlag, USA.
- [9] Şeker, Ş., 2007. Araç Rotalama Problemleri ve Zaman Pencere Stokastik Araç Rotalama Problemine Genetik Algoritma Yaklaşımı, Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınlanmamış Y.Lisans Tezi, İstanbul.
- [10] Eiben, A.E., Smith, J.E, 2003. Introduction To Evolutionary Computing, Springer Verlag, USA.
- [11] Ambrosino, D., Sciomachen, A., 2009. A Heuristic Based On Multi-exchange Techniques For A Regional Fleet Assignment Location-Routing Problem, Computers & Operations Research 36, pp. 442-460.
- [12] Baker, B., Ayechev, M.A., 2003. A Genetic Algorithm For the Vehicle Routing Problem, Computers & Operations Research 30, pp. 787-800, UK.

## ÖZGEÇMİŞLER

### Hv.Plt.Yzb. Baha PAKKAN

1976 yılında Dirmil/GÖLHİSAR'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Antalya'da tamamladı. 1995 yılında Hava Harp Okulu Endüstri Bölümünde Lisans Eğitimine başlayarak 1999 yılında Hv.Tğm olarak Hava Teknik Okullar ve Eğitim Merkezi Komutanlığı Gaziemir/İZMİR'e atandı. Temmuz 2000 tarihinde İstihbarat Okulundan mezun olarak 9'uncu Ana Jet Üs 192'nci Filo Komutanlığı BALIKESİR'de Filo İstihbarat Subayı olarak göreve başladı.

Ocak 2001-Ağustos 2002 tarihleri arasında 2'nci Ana Jet Üs Uçuş Eğitim Merkezi Çiğli/İZMİR'de uçuş eğitimini tamamlayarak Ekim 2002-Temmuz 2007 yılları arasında 12'nci Hava Ulaştırma Ana Üs 221'inci Filo Komutanlığı KAYSERİ'de kol uçucusu görevinde bulundu.

Eylül 2007-Ağustos 2009 tarihleri arasında Hava Harp Okulu Havacılık ve Uzay Teknolojileri Merkezi Endüstri Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimini tamamlayarak 2009 atamalarıyla İnsansız Hava Aracı Filosu Komutanlığı BATMAN'a İHA uçurucusu olarak atanmıştır.

### Yrd.Doç.Dr.Hv.Müh.Yb. Murat ERMİŞ

Boğaziçi Endüstri Mühendisliği Bölümünden ve İstanbul F.Y.O. K.'liğinden 1991 yılında mezun olmuştur. Kayseri Hava İkmal Bakım Merkezi Komutanlığında 1991-1993 yılları arasında çalışmıştır.

O.D.T.Ü. Endüstri Mühendisliği Bölümünde 1997 yılında yüksek lisans, İ.T.Ü. Endüstri bölümünde 2005 yılında doktora çalışmalarını tamamlamıştır.

Çalışma alanları, Matematiksel Modelleme, Metasezgisel Yöntemler, Optimizasyon ve Çizelgelemedir. Ulusal / Uluslar arası yayınları ve hakemlikleri bulunmaktadır. Halihazırda Hava Harp Okulu Komutanlığı Endüstri Mühendisliği Bölümünde öğretim üyesi olarak görevine devam etmektedir.