

# En Az Sayıda İnsansız Hava Aracı Kullanarak Sabit Hedeflerin Gözetlenmesinin Planlanması

Murat KARAKAYA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Bilgisayar Mühendisliği Bölümü  
Atılım Üniversitesi, Ankara  
kmmarakaya@atilim.edu.tr

## Özetçe

Bu çalışmada, çeşitli amaçlarla kullanılan İnsansız Hava Araçlarının (İHA) belirli hedeflere rotalanırken en az sayıda aracın kullanılmasını sağlayacak şekilde Karınca Kolonisi Eniyileme (KKE) meta-sezgiseli tabanlı bir çözüm yöntemi önerilmektedir. Belirlenen hedeflerin ve İHA üssünün koordinatları ile İHA'ların uçuş menzili kısıtının girdi olarak verilmesiyle, KKE meta-sezgiselini kullanarak en az sayıda İHA ile tüm hedeflerin üzerinden geçen rotaları bulan bir çözüm tasarlanmıştır. Önerilen bu çözüm; KKE yaklaşımını kullanarak konum ve kısıt bilgilerini girdi olarak alıp bir İHA ile en fazla sayıda hedefi kapsayacak rotayı bulacaktır. Daha sonra tüm hedef listesinden bu İHA'nın rotasındaki hedefleri çıkararak kalan hedefler için bir sonraki İHA ile aynı adımları tekraryacaktır. Hedef listesi tamamen boşaldığı zaman en az sayıda İHA için rotalar tespit edilmiş olacaktır. Önerilen sistem, farklı parametre değerleri için deneyler yapılarak değerlendirilmiş ve kullanılan İHA sayısını %20'ye kadar indirerek başarılı olduğu tespit edilmiştir.

## 1. Giriş

Günümüzün savaşlarında anında ve doğru bilgiye ulaşmak için askeri liderler kendi sorumluluk alanlarındaki arazide oluşan her türlü düşman faaliyetini görebilme ve izleme yeteneğine sahip olmak istemektedirler. Bu maksatla; havada uzun süre kalabilen, insan hayatını tehlikeye atmadan riskli görevleri icra edebilen, esnek yapıda olan ve uzaktan komuta edilebilen modern İnsansız Hava Aracı (İHA) sistemlerine olan talep ortaya çıkmış ve giderek artmaktadır.

İHA'ların çok değişik kullanım alanlarına örnek olarak; gerçek zamanlı keşif ve gözetleme yapmak, istihbarat toplamak, hedef tespiti ve teşhisi, uzun menzilli silahların atışlarının yönetmek, sınır güvenliği, elektronik saldırıları icra etmek, silahlı saldırılarda bulunmak ve diğer sivil amaçlı kullanımlar (uyuşturucuyla ve insan kaçakçılığıyla mücadele, vb.) verilebilir [1, 2, 3].

İHA'ların etkin ve verimli kullanılması için planlamada ve uygulamada karşılaşılan bir çok eniyileme konusu vardır [3]. Genel olarak Araç Rotalama Problemi (ARP) olarak adlandırılan bu alan birbirinden farklı bir çok kısıtı ve başarımları ölçütünü içeren değişkenlerden oluşmaktadır[4]. En basit haliyle ARP, belirli depolarda bulunan malların, depo ve müşteriler arasında nakledilmesiyle ilgili problemlerdir. İlk örnek problem, 1959 yılında Dantzig ve Ramser tarafından

tanımlanmıştır [4]. Bu çalışmada; ARP, merkezi depo ile benzin istasyonları arasında benzin dağıtım problemi olarak tanımlanmıştır. Tankerlerin depodan hareket ederek benzin istasyonlarını belli kıstaslar içinde ziyaret etmeleri ve depoya geri dönmeleri için gerekli minimum uzunlukta ve maliyetteki rotanın belirlenmesi için matematik model önermişlerdir.

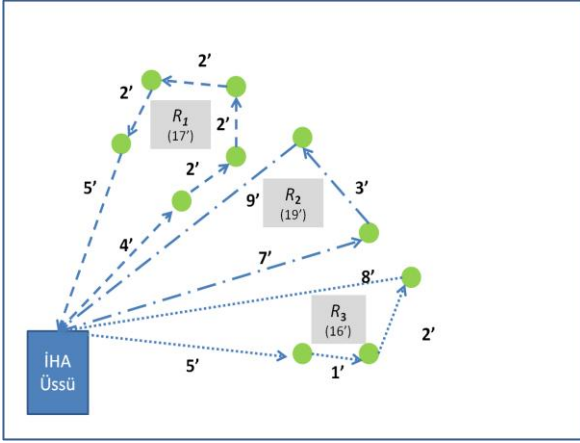
Bu çalışmanın konusu ise, belli bir hava üssünden kalkan İHA'ların belirlenen hedeflerin üzerinden geçerek görevlerini yapıp aynı havalanına dönmesini sağlayacak rotaların belirlenmesidir. Problemin amaç fonksiyonu; görevi yapacak en az sayıda İHA gerektirecek şekilde bu rotaların belirlenmesidir. Problemin kısıtları ise İHA'ların uçuş menzilleri (havada kalış süreleri) ile tüm tüm hedeflerin kapsanma gereksinimidir.

## 2. Problem Tanımı

İHA'ların rotalarının yapılmasında önemli bir faktör olarak en az sayıda İHA'nın kullanımı önemli bir yer tutmaktadır [5,6]. Bunun nedenleri olarak; İHA'ların uçuşlarının maliyetli oluşu, gereksiz uçuşların bakım maliyetlerini artırması, bölgede fazla İHA'nın uçmasının düşmanı uyarması ve hava savunma tedbirlerinin uygulanabilmesi, arıza riskinin artarak görevdeki İHA'ların kaybedilmesi, vb. sayılabilir.

### 2.1. Motivasyon

Şekil 1'de gösterilen İHA üssü ve görev bölgesindeki toplam 10 adet hedef en az sayıda İHA kullanılarak gözetlenecektir. Mevcut İHA'ların hepsinin aynı tip olduğu ve havada kalış sürelerinin maksimum 20 dakika olduğu kabul edilmiştir. Şekil 1'de 3 adet İHA kullanılarak geliştirilen bir rotalama görülmektedir. Her bir rota üzerinde İHA'ların 20 dakikadan az kaldığı ve tüm hedeflerin üzerinden uçulduğu görülmektedir. Şekil 2'de ise aynı veriler kullanılarak sadece 2 İHA kullanıldığı ve bunların 20 dakikanın altında kalan rotalarla tüm hedefleri ziyaret edebildikleri görülmektedir.



Şekil 1: 3 adet İHA kullanarak hedeflerin rotalanması.

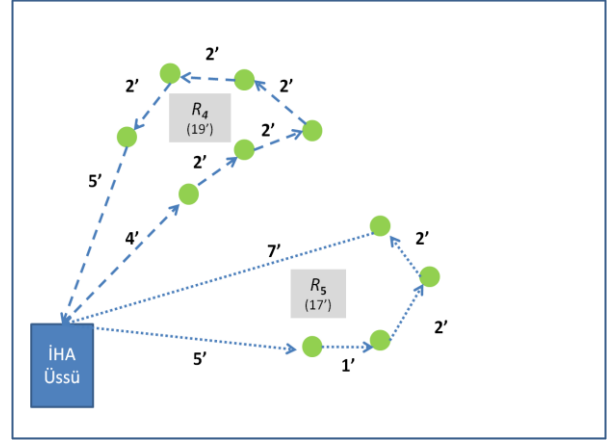
## 2.2. Karınca Kolonisi Eniyilemesi

Karınca Kolonisi Eniyilemesi (KKE) katımsal eniyileme problemlerinin çözülmesinde giderek daha yaygın kullanılan bir tekniktir. Dorigo ve arkadaşları tarafından gerçek karıncaların yiyecek ararken geçtikleri yerlere özel bir koku (feromon) bırakıp işaretleyerek, ferdi çabalarını tüm kolonideki diğer karıncalarla paylaşarak geliştirilen işbirliği ile bulunan yiyeceklere yuvadan ulaşan yolu en kısa hale getirmelerinden ilham alınarak geliştirilmiştir[7]. Öncelikle karıncalar yiyecek ararken rastgele gezinirler veya zemine daha önceden başka karıncalar tarafından bırakılan özel bir kokuyu takip ederler. Yiyecek bulan karınca yuvaya dönerken aynı kokuyu geçtiği yerlere bırakır. Böylece kokuyu takip eden karıncalar yiyeceğe ulaşabilir. Bir çok karıncanın aynı yolu kullanması sonucu bu yol üzerindeki koku giderek daha keskinleşir ve daha çok karıncayı kendisine çeker. En önemli sonuçlardan biri de yuvayla yiyecek arasındaki yol zamanla en kısa yol özelliğini kazanmasıdır.

Dorigo ve arkadaşları karıncaların bu davranışını Gezin Satıcı Problemine (GSP) uygulamışlar ve cesaret verici başarılı sonuçlar bulmuşlardır. Geliştirilen bu sezgi ötesi tekniğe (meta-heuristic) genel olarak Karınca Kolonisi Eniyilemesi (KKE) adı verilmiştir. Daha sonrasında hem KKE bir çok yönden geliştirilmiş hem de bir çok farklı araştırmacı tarafından bir çok farklı eniyileme problemine uygulanmıştır [8,9].

## 2.3. Gezin Satıcı Problemi (GSP)

GSP hem KKE'nin ilk kez bu probleme uygulanması hem de Çoklu İHA için güzergah belirlenmesi problemine olan benzerliğinden dolayı çalışmamız açısından önemlidir. Basitçe, GSP'de bir şehirde konuşlu bulunan gezgin bir satıcının sorumlu olduğu şehirleri her birine sadece bir kez uğramak şartıyla en kısa hangi güzergahla gezisini tamamlayacağını bulmasıdır. GSP'nin bir diğer versiyonu olan Çoklu Gezin Satıcı Probleminde (ÇGSP) ise aynı şehirde bulunan birden fazla gezgin satıcının tüm şehirleri sadece ve sadece bir satıcının ziyaret edecek şekilde tüm satıcıların katedecekleri mesafeyi en azda tutacak şekilde güzergahın tespit edilmesi incelenmektedir.



Şekil 1: 2 adet İHA kullanarak aynı hedeflerin rotalanması.

## 2.4. Çoklu Gezin Satıcı Problemi ve Çoklu İHA Rotalama Problemi

Çoklu İHA Rotalama Problemi (ÇIRP), Çoklu Gezin Satıcı Problemine (ÇGSP) indirgenebilir. ÇIRP'da aynı üsten kalkan bir çok İHA belirli hedefler üzerinden bir kez geçerek aynı üsse geri dönecek şekilde en kısa uçuş rotasının bulunması olarak tarif edilebilir [3,6,10,11]. ÇIRP çözümü için KKE kullanılarak bazı çalışmalar yapılmıştır [10,12]. Çalışmamızda, ÇIRP probleminin hedef fonksiyonu üzerinde bir değişiklik yaparak en kısa toplam güzergah uzunluğunun yanısıra *en az sayıda İHA'yı kullanacak rota planlamasını* bulmayı hedeflemekteyiz. Kısaca en az sayıda İHA kullanarak verilen hedeflerin toplam en kısa rota ile ziyaret edilmesi hedeflenmektedir.

## 3. KKE ile ÇIRP Çözümü

Aşağıda önce ÇIRP'nin formal olarak tanımlanması, daha sonra problemin KKE formatında yapılandırılması anlatılacaktır.

### 3.1. Amaç Fonksiyonu ve Kısıtları

Toplam hedef sayısının  $H$ , hedefler arasında mesafenin  $M_{ij}$  ( $i, j \in H$ ), her bir İHA'nın uçuş menzilinün aynı ve  $U$  km., görevlendirilen toplam İHA sayısının  $G$  olduğu kabul edildiğinde; amaç fonksiyonumuz  $G$ 'nin minimize edilmesidir. Kısıtlar ise; her bir İHA'nın rotası (uçuş mesafesi), uçuş menziline eşit veya daha az olmalı, tüm hedeflere sadece ve sadece 1 İHA planlanmalı, tüm hedefler kapsanmalı ve İHA'lar aynı üsten kalkıp aynı üsse geri dönmelidir.

### 3.2. KKE için ÇIRP'nin Yapılandırılması

KKE ile bir problemin çözülmesi için izlenecek adımlar ÇIRP için aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir.

### 3.2.1. En Yakın Komşu Sezgisel Metodu İle İlk Çözümün Yapılandırılması

Verilen hedeflerin ve üssün koordinatları ile uçuş menziline kullanılması ile başlangıç çözümü oluşturmak üzere En Yakın Komşu (EYK) sezgisel metodu kullanılmaktadır. Bu metodla üsden başlayarak bulunulan noktaya en yakın hedefe geçilmektedir. Her bir geçişte kalan uçuş menzili yapılan yolculuk kadar azaltılmaktadır. Seçilen bir sonraki hedefe geçiş yapılmadan önce; sonraki hedefe ve oradan da üsse dönüş yapılacak kadar uçuş menziline kalıp kalmadığı kontrol edilmektedir. Eğer kalan uçuş menzili buna müsaade etmiyorsa, bir sonraki hedefe gitmeden doğrudan üsse geri dönlülmektedir. Müsaade ediyorsa bir sonraki hedefe geçilmektedir. Böylece bir İHA için güzergah tamamlanmış olacaktır. Eğer ziyaret edilmemiş hedef var ise bir sonraki İHA için EYK metoduyla bir güzergah çizilmektedir. Tüm hedefler ziyaret edildiğinde, EYK sezgisel metodu ile başlangıç çözümü bulunmuş olmaktadır. Başlangıç çözümünün bulunduğu bu rota ( $R_{EYK}$ ), İHA sayısı ( $EYK_{İHA}$ ) ve toplam rota uzunlukları ( $EYK_{RU}$ ), KKE ile çözüm bulma algoritmasında aşağıda açıklanan şekilde kullanılır.

### 3.2.2. KKE ile Hedefler Arasından Seçim Yapılması

KKE'de her bir karınca tüm mevcut İHA'ları temsil etmektedir ve her bir karınca tüm İHA'ların güzergahını adım adım hedefleri gezerek oluşturmaktadır. Her bir karınca bulunduğu noktadan daha önce ziyaret etmediği bir hedefe gidebilmek için denklem (1)'de verilen olasılığı hesaplayacaktır.

$$P_{ij} = \frac{(\tau_{ij})(\eta_{ij})^\beta}{\sum_{i,j \in M_k} (\tau_{ij})(\eta_{ij})^\beta}, \quad i, j \notin M_k \quad (1)$$

Yukarıdaki denklemde;  $\tau_{ij}$  iki hedef arasındaki mevcut iz (feromon) miktarını,  $\eta_{ij}$  iki hedef arasındaki sezgisel değeri,  $\beta$  ise sezgisel değer olasılık üzerine etkisini,  $M_k$   $k$  karıncasının şimdiye kadar ziyaret ettiği hedefler ile kalan uçuş menziline içinde olamayacak hedefleri ihtiva eden liste ve  $P_{ij}$  ise  $i$  hedefinde bulunan  $k$  karıncasının  $j$  hedefine normalize edilmiş hareket etme olasılığıdır. 0 ile 1 arasında seçilecek rastgele bir sayı ile bu olasılıklar dikkate alınarak bir sonraki hedef belirlenecektir. Eğer tüm hedefler  $M_k$  listesinde ise veya kalan menzille ulaşılabilir bir hedef kalmamışsa, karınca üsse geri dönecektir. Böylece bir İHA için rota belirlenmiş olacaktır. Eğer hedeflerden ziyaret edilmemiş varsa aynı karınca ikinci bir tura başlayacaktır. Tüm hedefler aynı karınca tarafından ziyaret edildiğinde, diğer bir karınca aynı şekilde bir çözüm için çalışmaya başlayacaktır.

Denklem (1)'de verilen formül sayesinde karınca hem başka karıncaların bıraktığı izlerden faydalanabilecek hem de sezgisel değerleri kullanarak yeni rotalar keşfedebilecektir.

### 3.2.3. İlk İzlerin Oluşturulması

Hedefler arasındaki tüm muhtemel kenarlara başlangıç değeri olarak  $\tau_0$  değeri atanır (denklem 2). Daha sonra, EYK ile bulunan başlangıç rotadaki ( $R_{EYK}$ ) kenarlara denklem (3)'e göre hesaplanan değer eklenir.

$$\tau_{ij} = \tau_0, \quad i, j \in H \quad (2)$$

$$\tau_{ij} = \tau_{ij} + \frac{1}{EYK_{RU}}, \quad i, j \in R_{EYK} \quad (3)$$

Bu çalışmamızda KKE yaklaşımlarından MAX-MİN Karınca Sistemi (MMAS) tercih edildiğinden maksimum ve minimum iz değerleri Denklem (4) ve (5)'te olduğu gibi  $\tau_0$  değeri esas alınarak tanımlanmıştır. Aşağıda açıklandığı şekilde izler buharlaşırken veya güncellenirken, izlerin değerlerinin tanımlanan bu maksimum ve minimum değerleri aşmaması sağlanmaktadır.  $\tau_0$  değerinin bulunmasında ise EYK tarafından bulunan toplam rota uzunluğu başlangıç değeri olarak belirlenmiştir (Denklem (6)). Böylelikle, EYK tarafından seçilen rota üzerinde diğer kenarlara göre başlangıçta iki katı daha fazla iz tanımlanmış olacaktır. Beklentimiz başlangıçta yaratılan bu çözüm ile daha hızlıca optimal çözüme kavuşmaktır.

$$\tau_{\min} = \tau_0 / 4, \quad i, j \in H \quad (4)$$

$$\tau_{\max} = \tau_0 * 4, \quad i, j \in H \quad (5)$$

$$\tau_0 = \frac{1}{EYK_{RU}} \quad (6)$$

### 3.2.3. İzlerin Güncellenmesi

Her bir karınca tüm hedefleri ziyaret ettiğinde bir turunu tamamlamış olacaktır. Turun hedef fonksiyona göre olan başarısı ile orantılı olarak geçtiği rotaya ( $R_k$ ) kendi kokusunu bırakacaktır. Ancak bundan önce tüm hedefleri birbirine bağlayan rotalar üzerindeki izlerin bir miktar "buharlaşması" gerekmektedir. Böylece eski kötü tecrübelerden kalan izlerin gelecek aramalarda etkisinin azaltılması mümkün olacaktır. Denklem (7) kullanılarak tüm kenarlar üzerindeki iz miktarı,  $p$  buharlaşma katsayısı kadar azaltılır. Daha sonra Denklem (8)'deki formüle göre;  $k$  karıncasının rotası üzerindeki kenarların iz değeri artırılır. Denklem (8)'de  $KKE_{RU}$  ve  $KKE_{İHA}$ ; Karınca Kolonisi Eniyilemesine (KKE) göre bulunan rotaların toplam uzunluğu ve gerekli İHA sayısıdır. Benzer şekilde;  $EYK_{RU}$  ve  $EYK_{İHA}$  ise En Yakın Komşu (EYK) sezgisel metodu ile oluşturulan çözümün toplam rota uzunluğu ve toplam İHA sayısıdır.

$$\tau_{ij} = (1 - p)\tau_{ij}, \quad i, j \in R_k \quad (7)$$

$$\tau_{ij} = \tau_{ij} + \left( \frac{EYK_{RU}}{KKE_{RU}} + \frac{EYK_{IHA}}{KKE_{IHA}} \right), i, j \in R_k \quad (8)$$

Denlem (8) daha az sayıda İHA kullanan ve daha az toplam rota uzunluğuna sahip çözümlerin daha fazla iz bırakmasını sağlamaktadır. Böylelikle daha sonra gelecek karıncaların bu güzergaha ait seçimleri dikkate alması mümkün olacaktır. Ayrıca, bulunan çözümün değerinin EYK sezgisel metodunun bulduğu ile normalize edilmesi ile mevcut çözümden daha iyi bir çözüme ulaşmayı hızlandırması hedeflenmektedir. Denklem (8)'de sadece İHA sayılarının karşılaştırılmamasının nedeni aynı sayıda İHA içeren çözümler arasında en az rota uzunluğuna sahip olan çözüme öncelik verilmesi içindir. Benzer şekilde, *daha önceki bir çok çalışmada yapılanın aksine* [8, 9, 10, 12], sadece rota uzunluğunun dikkate alınmamasında da amaç daha az İHA kullanan çözümlere daha fazla iz değeri atanabilmesi içindir.

### 3.2.4. Sezgisel Değerin Hesaplanması

Sezgisel değer ( $\eta_{ij}$ ) bulunulan  $i$  hedefinden  $j$  hedefine gitmenin çözüm açısından ne kadar faydalı olabileceğinin bir ölçütüdür. Genelde denklem (4) olduğu gibi sabit bir ilişkiye dayandırılır. ÇIRP'da da ÇGSP'de sıkça kullanılan iki hedef arasındaki mesafeye ( $d_{ij}$ ) ters orantılı olarak sezgisel değer tanımlanmıştır [7,8,9].

$$\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}, i, j \in H$$

### 3.3. Algoritma

Yukarıda detayları açıklanan adımlar algoritma olarak Tablo 1'de sunulmuştur. Algoritmanın çalışabilmesi için toplam hedef sayısı ( $H$ ), hedeflerin birbirlerinden olan uzaklığı gösteren matrisin ( $M_{ij}$ ) ve İHA uçuş menzilin ( $U$ ) verilmesi gerekir. Algoritma öncelikle hedef fonksiyonuna ait iki parametrenin (kullanılan İHA sayısı ve toplam rota uzunluğu) değerini sıfırlar. Daha sonra EYK sezgisel metodunu kullanarak ilk çözümü oluşturur. Bu çözümden elde ettiği sonuçları kullanarak KKE meta-sezgiselinin kullanımı için iz değerinin ilk, maksimum ve minimum değerlerini hesaplayıp gerekli veri yapılarını oluşturur. Belirlenen sayıdaki karıncanın üs bölgesine yerleştirilmesini müteakiben algoritma her bir karıncayı sırasıyla bir çözüm bulması için çalıştırır. Karıncalar tüm hedefleri ezene kadar yukarıda açıklanan KKE uygun olarak rotaları çizerler. Tüm hedefler ziyaret edildikten sonra izler güncellenir ve bir sonraki karınca aynı şekilde çalışmaya başlar. Belirlenen durma şartına göre karıncaların çalışması durdurulur ve şimdiye kadar bulunan en iyi rotaya ait İHA sayısı ve toplam rota mesafesi ile rota çıktı olarak verilir.

## 4. Deney Tasarımı

Yukarıda izah edilen KKE metoduna ÇIRP'a uygulamak üzere MASON benzetim kütüphanesi [11] kullanılarak JAVA

tabanlı bir benzetim programı geliştirilmiştir. Programda kullanılan parametreler ve değerleri Tablo (2)'de sunulmuştur.

Hedeflerin sayısı ve koordinatları için GSP için oluşturulmuş ve bir çok yayında kullanılan dosyalardan istifade edilmiştir [12]. Bu maksatla, Tablo (3) ve (4)'de

Tablo 1: KKE ile ÇIRP'nin çözümü algoritması

```

ÇIRP ( $H, M_{ij}, U$ )
{
  IHA = 0; TRU = 0;
  REYK = EYK( $H, M_{ij}, U$ );
  init_Pheromone( $\tau_0$ );
  init_Heuristic( $M_{ij}$ );
  update_Pheromone( $GU_{EYK}$ );
  create_Ants( $m, base$ );

  while (!end_condition_satisfied)
  {
    for each ant
    {
      while (!all_targets_visited)
      {
        next = find_Next_Target();
        if (base_Reachable(next))
        {
          move(next);
          remaining_Range -= Mcurrent,next;
          TRU += Mcurrent,next;
        }
        else
        {
          move(base);
          IHA++;
          remaining_Range = U;
          TRU += Mcurrent,base;
        }
      }
    }
    RKKE = select_Best();
  }
  return (RKKE, IHA, TRU);
}

```

verilen farklı düğüm sayılı (150, 52 ve 22) üç dosya seçilmiştir. Dosya isimlerinin içinde geçen rakamlar toplam düğüm (şehir/hedef) sayısını göstermektedir. Seçilen dosyadaki koordinat değerlerine göre hedefler arası mesafeler hesaplanmıştır. İHA uçuş menzili için en uzaktaki hedefe ulaşılacak minimum menzil ile bu menzilden daha uzun farklı menziller seçilmiştir. Benzer şekilde, dosyalardaki düğümlerin koordinatları dikkate alınarak üsün konumu hedef bölgesinin ortasında olacak şekilde yerleştirilmiştir. Diğer parametre değerleri ise konu üzerine yapılan diğer

çalışmalarda kullanılan değerlere benzer olarak ayarlanmıştır [7,8,9,10].

Her bir deneyde, aynı parametrelerle iki farklı yaklaşım için (EYK ve KKE) 10 kez gözlem yapılmış ve gözlem sonuçlarının ortalamaları sonuç olarak raporlanmıştır.

Tablo 2: Benzetimde kullanılan parametreler ve değerleri

Parametre	Açıklama	Değeri
H	Hedef sayısı	Girdi dosyasına göre değişmektedir.
$M_{ij}$	Hedefler arası mesafe	Girdi dosyasına göre hesaplanmaktadır.
U	İHA uçuş menzili	Girdi dosyasına göre çeşitli menziller kullanılmıştır.
$p$	Buharlaştırma katsayısı	0.1
$\alpha$	Sezgisel değerin bir sonraki hedef seçimindeki etkisi	7
$m$	Karınca sayısı	50
$t$	Her bir karıncanın kaç kez çalıştırılacağı	200

## 5. Sonuçlar

Tablo (3) ve (4), KKE ve EYK yaklaşımlarına göre deney sonuçlarını ve KKE'nin EYK sonuçlarına göre başarısını yüzde olarak özetlemektedir.

Tablo (3)'de verilen sonuçlar İHA sayısındaki değişimi göstermektedir. Burada gözlemlenen önemli sonuçlardan biri KKE ile EYK sezgiselinin bulunduğu sonuçların iyileştirilebildiğidir. KKE, EYK sezgiseline göre %20'ye varan oranda daha az İHA kullanan rotalar bulabilmektedir. Ancak, bazı deneylerde KKE ve EYK aynı sayıda İHA kullanmıştır. Bu durum incelendiğinde genellikle seçilen uçuş menzili (U) parametresinin göreceli olarak uzun olduğu durumlardır. Örneğin CH150 dosyasında belirlenen 1000 ve 2000 uçuş menzillerinden, 1000 menzilli deneyde 2 adet daha az İHA kullanılırken, 2000 menzilli deneyde kullanılan İHA sayısı her iki yöntemde 5 olmuştur. Bunun nedeni olarak artan menzillerde kapsanan hedeflerin sayısı artması sonucu yapılan eniyilemenin sonuç üzerindeki etkinliğinin azaldığı düşünülebilir. Diğer seçilen dosyalardaki farklı menzillerde de benzer sonuç görülebilmektedir.

Tablo (4)'de verilen sonuçlar tüm İHA'lar için belirlenen toplam rota uzunluklarını karşılaştırmaktadır. Farklı deney sonuçlarının tümünde KKE, EYK sezgiseline göre toplam rota uzunluğunu önemli oranda azaltabilmektedir. Genel olarak, Tablo (3)'de gözlemlendiği gibi, kısa uçuş menzillerinde eniyileme daha büyük farklara neden olmaktadır. Ayrıca, Tablo (3) ve (4) birlikte incelendiğinde İHA sayısı ile toplam uçuş mesafesi arasında bir paralellik de göze çarpmaktadır. İHA sayısının en aza indiği durumlarda toplam rota uzunluğu da en küçük değerine ulaşmaktadır.

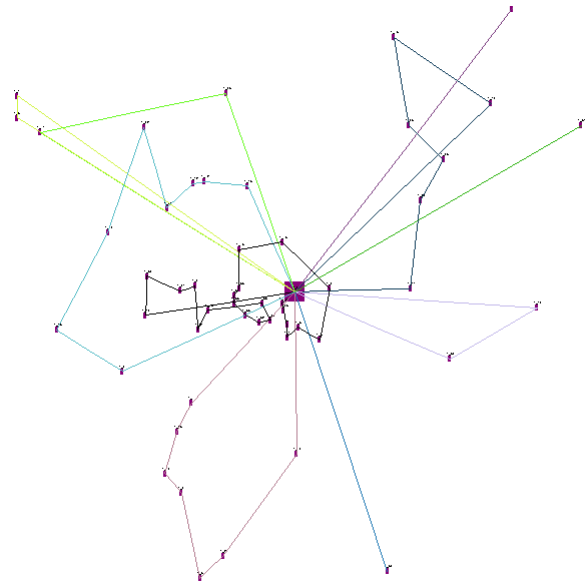
Şekil (3) ve (4) benzetim programının arayüzü kullanılarak elde edilen rota çizimlerini Berlin52 dosyasındaki hedeflere göre ve uçuş menzili 2000 olarak atandığı deneye göre resmetmektedir.

Tablo 3: Çeşitli veri dosyalarına ve uçuş menzillerine göre EYK ve KKE çözümlerindeki İHA sayısı

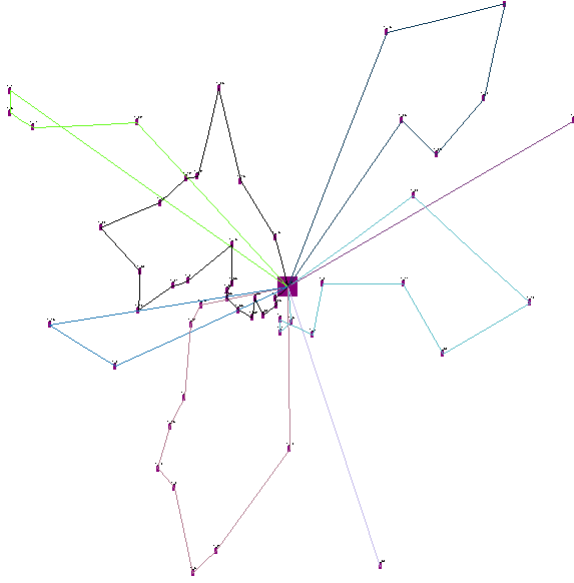
TSP Dosyası	Uçuş Menzili	EYK	KKE	(%)
CH150	2000	5	5	0
CH150	1000	15	13	13
CH150	900	21	18	14
Berlin52	2500	6	5	16
Berlin52	2000	10	8	20
Ulysses22	60	3	3	0
Ulysses22	50	5	4	20

Tablo 4: Çeşitli veri dosyalarına ve uçuş menzillerine göre EYK ve KKE çözümlerindeki toplam rota uzunlukları

TSP Dosyası	Uçuş Menzili	EYK	KKE	(%)
CH150	2000	9584	8334	13
CH150	1000	13970	12304	12
CH150	900	18115	15631	14
Berlin52	2500	13550	10658	21
Berlin52	2000	17578	13986	20
Ulysses22	60	155	139	10
Ulysses22	50	229	186	19



Şekil 3: EYK sezgiselinin Berlin52 dosyası verilerine göre Uçuş Menzili 2000 olarak verildiğinde 10 adet İHA kullanarak oluşturduğu rotalama.



Şekil 4: KKE meta-sezgiselinin Berlin52 dosyası verilerine göre Uçuş Menzili 2000 olarak verildiğinde 8 adet İHA kullanarak oluşturduğu rotalama.

Yukarıda özetlenen sonuçlar çalışmanın amacını desteklemektedir ve literatürdeki diğer sonuçlarla uyum içindedir.

Bu çalışma; daha ileride geliştirilecek farklı ve daha çok sayıdaki kısıtları da (dinamik/gerçek zamanlı hedef tespiti, hedef üstünde geçirilecek süre, hedefi ziyaret zaman penceresi, vb.) kapsayacak problemlerin çözümü için bir başlangıç teşkil etmektedir. Gelecek çalışmamızdaki amacımız, eklenecek diğer kısıtlarla birlikte sistemin daha gerçekçi hale getirilmesi ve bu kısıtlar altında KKE ile çözümün geliştirilmesidir. Konu üzerinde yaptığımız bu ilk çalışma sonraki çalışmalarımız için önemli bir temel teşkil edecek benzetim alt yapısını oluşturmamıza ve basit bir tasarım üzerinde KKE'nin başarılı şekilde çalıştığını gözlemlememize olanak tanımıştır.

## Teşekkür

TOK 2013 Düzenleme Kuruluna ve bildirinin daha kaliteli ve faydalı olması için görüşlerini ve önerilerini paylaşan hakemlere teşekkür ederim.

## Kaynakça

- [1] D. Glade, *Unmanned aerial vehicles: Implications for military operations*, AIR UNIV PRESS MAXWELL AFB AL, 2000.
- [2] J. Everaerts, "The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for remote sensing and mapping.", *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 37, 1187-1191, 2008.
- [3] C. Ercan ve C. Gencer, "Dinamik İnsansız Hava Sistemleri Rota Planlaması Literatür Araştırması ve İnsansız Hava Sistemleri Çalışma Alanları", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(2), 104-111, 2013.
- [4] G.B. Dantzig, ve J.H. Ramser. "The truck dispatching problem." *Management science* 6.1, 80-91, 1959.
- [5] V.K. Shetty, M. Sudit, ve R. Nagi, "Priority-Based Assignment and Routing of a Fleet of Unmanned Combat Aerial Vehicles", *Computers & Operations Research*, 35(6):1813-1828, 2008.
- [6] H. Ergezer ve K. Leblebicioğlu, "Path planning for multiple unmanned aerial vehicles." *Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 2012.
- [7] Dorigo M, Maniezzo V, Colomi A, "Positive feedback as a search strategy", Technical Report, Politecnico di Milano, 1991, 91-106.
- [8] P. Junjie, ve D. Wang, "An ant colony optimization algorithm for multiple travelling salesman problem." *First International Conference on Innovative Computing, Information and Control, ICIC'06*. Cilt 1, IEEE, 2006.
- [9] W. Liu, S. Li, F. Zhao ve A. Zheng, "An ant colony optimization algorithm for the multiple traveling salesman problem." *4th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, ICIEA'09*, IEEE, 2009.
- [10] H. Duan, X. Zhang, J. Wu, G. Ma, "Max-Min Adaptive Ant Colony Optimization Approach to Multi-UAVs Coordinated Trajectory Replanning in Dynamic and Uncertain Environments", *Journal of Bionic Engineering*, Volume 6, Issue 2, ss. 161-173, 2009.
- [11] C. Gencer, K.E. Aydağın, S. Kocabaş, "İnsansız Hava Araçlarının Rota Planlaması İçin Bir Karar Destek Sistemi", *Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Dergisi*, 8(2), 59-73, 2009.
- [12] W. Zhenhua ve arkadaşları, "UAV route planning using multiobjective ant colony system." *Cybernetics and Intelligent Systems, 2008 IEEE Conference on*. IEEE, 2008.
- [13] S. Luke, C. Cioffi-Revilla, L. Panait ve K. Sullivan, "MASON: A New Multi-Agent Simulation Toolkit" *Proceedings of the 2004 SwarmFest Workshop*, 2004.
- [14] TSPLIB web sitesi, <http://comopt.ifi.uni-heidelberg.de/software/TSPLIB95/>, 2013.