



DİNAMİK İNSANSIZ HAVA SİSTEMLERİ ROTA PLANLAMASI LİTERATÜR ARAŞTIRMASI VE İNSANSIZ HAVA SİSTEMLERİ ÇALIŞMA ALANLARI

LITERATURE REVIEW OF DYNAMIC UNMANNED AERIAL SYSTEM ROUTING PROBLEMS AND PROPOSALS FOR FUTURE STUDIES OF UASS

Cihan ERCAN^{1*}, Cevriye GENCER²

¹Savunma Bilimleri Enstitüsü, Kara Harp Okulu, 06654, Ankara.

cercan74@gmail.com

²Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, 06570, Ankara.

ctemel@gazi.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 17.07.2012, Kabul Tarihi/Accepted: 08.10.2012

doi: 10.5505/pajes.2013.25733

*Yazışılan yazar/Corresponding author

Özet

İnsansız Hava Sistemleri (İHS) ile sağlanan teknolojik olanaklar kadar önemli olan bir husus da, kullanıcının bu olanakları etkin şekilde planlayabilmesi, ihtiyacı olan anlık değişikliğe çabuk ayak uydurabilmesi, karar vericiler için önemli olabilecek bilgiyi doğru ve zamanında paylaşabilmesi, kısaca ağ üzerinde verimli çalışabilmesidir. Muhabere Elektronik ve Bilgi Sistemleri (MEBS)'ndeki gelişmeler, Araç Rotalama Probleminin (ARP) dinamik durumlarda da çözümünü mümkün kılmıştır. Bu bağlamda İHS'lerinin, keşif faaliyetleri rota planlanması kapsamındaki ARP uygulamaları her geçen gün gelişerek artmaktadır. Bu makalenin amacı, İHS'lerinin "dinamik rota planlaması" kapsamında yapılan literatür çalışmalarının incelenmesi, kapsamlarının tespiti, bu alandaki gelişmeler ile çalışılmayan alanların belirlenmesi ve böylelikle ileride araştırma yapılabilecek alanlara yön verilmesidir. Bu sayede, İHS'lerin havada kalış süresinin artırılmasından ziyade, havada kaldığı müddetçe yol için ayrılan "niteliksiz" zamanın azaltılarak, hedefler üzerindeki görevini icra ettiği "nitelikli" zamanın artırılması hedeflenmektedir.

Anahtar kelimeler: İnsansız hava sistemleri, İnsansız hava araçları, Araç rotalama problemi, Dinamik araç rotalama problemi.

Abstract

Outwith the technological developments made with Unmanned Aerial Vehicles (UAV); other important issues for the users like effective planning and re-planning; providing the clear, concise and timely information to the decision makers is part of the Network Enabled Capability. Significant improvements to the Communication and Information systems have made it possible to find dynamic solutions for Vehicle Routing Problems. In this context, "Vehicle Routing" applications for UAVs in reconnaissance missions are increasing exponentially. This study investigates the literature in "dynamic route planning", defining the scope and identifying shortcomings for future studies in Unmanned Aerial Systems. Using this approach not only reduces stagnant travel time to target time but increases the usable times spent on targets.

Keywords: Unmanned aerial systems, Unmanned aerial vehicles, Vehicle routing problems, Dynamic vehicle routing problem.

1 Giriş

Etki ve ilgi alanlarının büyümesi, harekât alanında İHS kullanımını zorunlu kılmış; büyüyen ilgi alanında, hedefler ve hasım hakkında anlık bilgi sahibi olmak, zamanında karar verebilmenin en önemli unsuru haline gelmiştir. Bu kapsamda günümüzde İHS'ler hem ülkemizde hem de tüm dünyada yoğun olarak kullanılmaktadır ve gelecekte de kullanımının artacağı değerlendirilmektedir. Envanterde bulunan veya bulunacak İHS'lerin nitelik ve nicelikleri ile birlikte, bu sistemlerin bir arada etkin bir şekilde bilimsel yöntemlerle planlanması, "ağ destekli yetenek" kapsamında kaçınılmaz olmuştur.

Gelişen teknoloji ve değişen harp doktrinleri, Silahlı Kuvvetleri barışta dâhi tehditlere karşı caydırıcılık sağlayabilecek, görevini en kısa sürede, dinamik ve ekonomik şekilde icra edebilecek modern sistemleri envanterine katmaya zorlamıştır. İçinde yaşadığımız Bilgi Çağı'nda, sistemlerin verimli tedariki, planlanması ve kullanılması ön plana çıkmış, "bilgi üstünlüğü" nün sağlanması savaşın kazanılmasının bir gereği olmuştur. Yüzyıllar boyunca kara ve denizde yapılan iki boyutlu muhabere, uçakların eklenmesiyle üç boyuta, 20. yy sonrasında ise uzayın eklenmesiyle dört boyuta çıkmıştır. Bu bağlamda İHS'ler, çok boyutlu harekât doktrininde gelecekte

de anahtar rol oynayacaktır. Bu kapsamda, Goraj, [1] İHS'lerin en önemli kullanım alanlarını aşağıdaki şekilde özetlemiştir:

- Kötü hava ve çevre koşulları, nükleer, biyolojik ve kimyasal olarak kirletilmiş bölgeler, radyasyon tehdidinin olduğu bölgeler gibi İHS'lerin tek çözüm olduğu tehlikeli görevler,
- Hava tahmini, atmosfer ve okyanuslar hakkında veri toplama, çevresel, tarım, manyetik ve radyolojik haritalama maksatlı gözetlemeler gibi İHS'lerin hem en ekonomik hem de en iyi çözümün olduğu bilimsel görevler,
- Sınır güvenliği, şehirlerin trafik durumu, bölgesel hava röle ve baz istasyonu, koruma altındaki alanların gözetlenmesi, yangın, boru hatları ve enerji nakil hatlarının kontrolü gibi İHS'lerin ticari olarak tercih edildiği görevler.

İHS gibi maliyetleri çok yüksek olan, genellikle dışa bağımlı askeri sistemlerin planlanması ve verimli kullanımına olan gereklilik giderek artan stratejik bir ihtiyaç haline gelmiştir. Bilgi ve iletişim sistemlerinde son zamanda meydana gelen gelişmelere paralel olarak, sistemlerin kullanım maliyetlerini azaltıcı rota planlaması uygulama alanları da giderek artmıştır. Dolayısıyla, İHS'lerin ekonomik ve verimli kullanımı için

“rota planlaması”nın çözüm uygulamaları, etkin bir araç olarak ortaya çıkmaktadır.

Modern savaşlarda zafer; düşmanı daha önce gören, kuvvetlerini görünmezlikle düşmandan saklayabilen ve düşmandan önce karar verme döngüsünü tamamlayan, bilgi teknolojilerine sahip tarafa daha yakın görünmektedir [2]. İnsansız Hava Araçları (İHA) içerisinde pilotu olmadan hareket edebilen, uzaktan kumanda ile yönetilebilen ve uçuştan önce rotası ile faydalı yük görevleri planlanabilen araçlar olarak tanımlanmışlardır [3]. Bu kapsamda, İHA'nın da içinde bulunduğu insansız sistemler, insanların giremediği veya girmesinin tehlikeli olduğu ortamlarda yoğun olarak kullanılan modern çağın sistemleridir.

İHS günümüzde sadece hedef tespit ve keşif amaçlı değil, aynı zamanda savaş uçağı olarak da kullanılmaktadır. Hedef seçimindeki “Tespit et, Teşhis et, Yok et (3F: Find-Fix-Finish)” üçlü mekanizmada artık sadece İHS'lerin yeterli olduğu bir dönemde olduğumuz aşikârdır. Hedefler artık sadece İHS'ler ile tespit edilebilmekte, teşhis edilebilmekte ve sadece İHS'ler ile etkisiz hâle getirilebilmektedir. Bu nedenle, ordular için stratejik olan bu sistemlerden en fazla fayda sağlayacak planlamaların, bilimsel metotlar ile yapılması gerekmektedir.

2 Araç Rotalama Problemleri

Genel anlamda, malların depo ve müşteriler arasında dağıtımıyla ilgilenen problemler, ARP olarak adlandırılır [4]. ARP, ilk olarak 1959 yılında Dantzig ve Ramser, [5] tarafından literatüre kazandırılmıştır. Yazarlar çalışmalarında benzin istasyonlarına benzin dağıtımı problemi üzerinde durmuşlar ve çözüm için ilk matematiksel programlama modelini yazmışlardır. ARP'de, her biri kendi deposundan hareket eden ve yine bir depoya dönen araçlar tarafından, müşterilerin ihtiyaçlarını belirlenen kısıtlar altında karşılayan ve taşıma maliyetlerinin veya kat edilen yolun minimize edildiği rotalar kümesi belirlenir.

İHS de, belirli bir yer kontrol istasyonundan hareket eden, tespit edilen hedefleri verilen tahditler altında gözetleyerek yine bir yer kontrol istasyonuna dönen ve kat edilen mesafenin en az olmasının hedeflendiği bir uygulama olması sebebiyle, İHS rota planlamaları ARP problemi olarak ele alınıp; bu kapsamda çözüm aranabilir.

ARP, problemi çözmek için gerekli olan hesaplama gücünün problemi boyutuyla birlikte üssel olarak arttığı NP-zor problemler sınıfına giren ve yaygın olarak bilinen bir tamsayı programlama problemidir. Bu tür problemlerde çözüm zamanının önemli olduğu durumlarda doğru sonuca hızlı bir şekilde ulaşabilmek için, yaklaşık sonuçların bulunması hedeflenir. Bu görev genellikle, problemin doğasını anlamaya çalışan çeşitli sezgisel yöntemlerle yerine getirilir [6].

Homojen bir filoya sahip klasik ARP'nin matematiksel modeli için genel bir formülasyon aşağıda verilmiştir [7]. Formülasyonda ;

- n = Düğüm sayısını,
- NV = Araç sayısını,
- K_v = v aracının kapasitesini,
- T_v = v aracının maksimum rota zamanını,
- D_i = i noktasındaki talebi ($d_{i=0}$),
- t_i^v = v aracının i noktasında yapacağı iş süresini ($t_{i=0}^v = 0$),
- t_{ij}^v = v aracının i noktasından j noktasına ulaşması için geçen zaman ($t_{i=j}^v = \infty$),

c_{ij} = i noktasından j noktasına ulaşma maliyetini (ör. mesafe),

x_{ij}^v = Eğer v aracı i noktasından j noktasına ulaşıyorsa 1, aksi halde 0 olduğunu göstermektedir.

$$\text{Min} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{v=1}^{NV} c_{ij} x_{ij}^v \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \sum_{i=1}^n \sum_{v=1}^{NV} x_{ij}^v = 1 \quad (j = 2, \dots, n) \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{v=1}^{NV} x_{ij}^v = 1 \quad (i = 2, \dots, n) \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ip}^v - \sum_{j=1}^n x_{pj}^v = 0 \quad (v = 1, \dots, NV; \quad p = 1, \dots, n) \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n d_i \left(\sum_{j=1}^n x_{ij}^v \right) \leq K_v \quad (v = 1, \dots, NV) \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n t_i^v \sum_{j=1}^n x_{ij}^v + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n t_{ij}^v x_{ij}^v \leq T_v \quad (v = 1, \dots, NV) \quad (6)$$

$$\sum_{j=2}^n x_{1j}^v \leq 1 \quad (v = 1, \dots, NV) \quad (7)$$

$$\sum_{i=2}^n x_{i1}^v \leq 1 \quad (v = 1, \dots, NV) \quad (8)$$

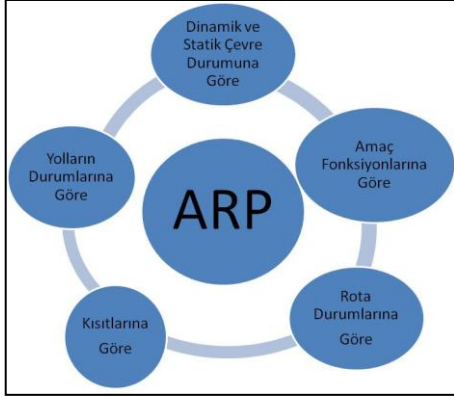
$$X \in S \quad (9)$$

$$x_{ij}^v = 0 \text{ veya } 1, \text{ tüm } i, j, v \text{ için} \quad (10)$$

Yukarıdaki matematiksel modelde, (1) denklemi toplam mesafenin minimum yapılmasını, (2) ve (3) denklemleri ise her noktanın tek bir araç tarafından ziyaret edilmesini sağlamaktadır. Rota devamlılığı (4) denklemi ile, araç kapasite kısıtı ise (5) denklemi ile tanımlanmıştır. Toplam zaman kısıtını tanımlayan denklem (6)'dır. (7) ve (8) denklemleri, araç mevcudunu aşmamak amacıyla konmuştur.

Gerçek dünya problemlerinde var olan farklı tahditler, ARP'de çeşitliliği de beraberinde getirmiştir. Literatürde yukarıda genel olarak çerçevesi çizilmiş yaklaşımdan farklı olarak, değişik özellik ve kısıtlara sahip ARP'lerin incelenmesine yol açmıştır. ARP'nin literatürde ele alınmış birçok farklı türü olmakla birlikte, temel olarak beş sınıftan bahsetmek mümkündür. Bunlar; dinamik ve statik çevre durumlarına, rotalama durumlarına, kısıtlara, yolların durumuna ve amaç fonksiyonlarına göre incelenebilir (Şekil 1). Her durum kendi içerisinde ayrı ayrı incelenebileceği gibi, diğer durumlarla da etkileşim halinde olabilir. Diğer bir ifadeyle, dinamik bir durum açık uçlu bir durumu barındırdığı gibi, asimetrik yol durumunu da içerebilir. Benzer şekilde, simetrik ve periyodik yüklemeli bir ARP problemi, kapalı ve statik durumlar için de incelenebilir.

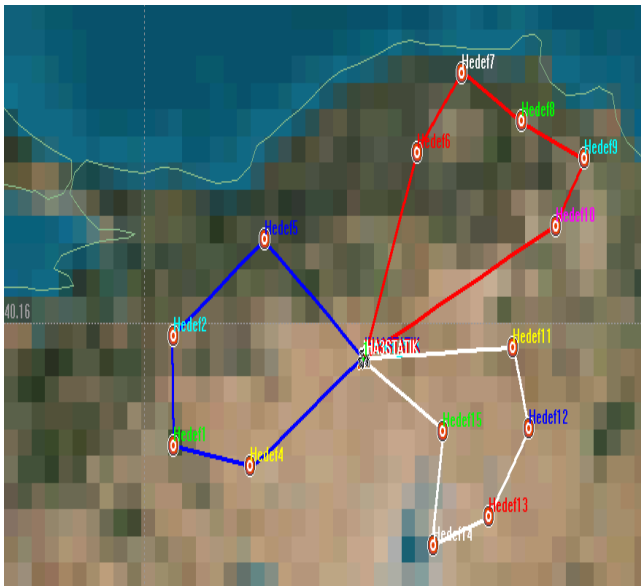
Bu çalışma esnasında ARP konusunda son 15 yılda yayımlanan 170 makale incelenmiş, özellikle Dinamik ARP (DARP) türü problemlerle ilgili yapılan çalışmalar detaylandırılarak 2012 yılına kadar İHS ARP dinamik uygulamalarında incelenmemiş alanlara dikkat çekilmeye çalışılmıştır. ARP problemlerinin genel sınıflandırılması kapsamında, İHS uygulamaları için yapılabilecek çalışmalar dördüncü bölümde verilmiştir.



Şekil 1: ARP Problemlerinin genel sınıflandırılması.

3 Dinamik Rota Planlaması Çalışmaları

Dinamik durum, statik ortamda (Şekil 2) bir değişikliğin meydana gelmesiyle oluşur. Örneğin Şekil 2'deki statik durumda, keşif ve gözetleme görevi kapsamında belirlenen 14 hedef için atanmış 3 adet İHA; iniş ve kalkışın gerçekleştirilebileceği tek bir pist vardır. Tüm İHA'ların görev öncesinde konuşlandığı bu pist, aynı zamanda İHA'ların kontrolünün ve yönetiminin de yapıldığı yer kontrol istasyonudur. Görevlendirme, $t=0$ anında, yani ilk İHA'nın gözetleme faaliyetlerine başlamasından önce yapılmıştır. 1, 2, 4 ve 5 numaralı hedefler, göreve başlamadan önce 1 numaralı İHA'ya (mavi rota); 6, 7, 8, 9 ve 10 numaralı hedefler 2'nci İHA'ya (kırmızı rota); 11, 12, 13, 14 ve 15 numaralı hedefler ise 3 numaralı İHA'ya (beyaz rota) atanmıştır. Şekil 2'de de görüldüğü gibi, ilk hava görev emrine (HGE) göre, İHA-1 kalkışından hemen sonra sırasıyla 4, 1, 2 ve 5 numaralı hedefleri gözetleyip tekrar kalktığı yer kontrol istasyonuna inecektir. Her bir İHA aynı zamanda farklı bir rotayı temsil etmektedir. Statik durumda görev başladıktan sonra hiçbir nedenle HGE'de değişiklik yapılamaz. Bu durumda tüm İHA'lar, görev sonuna kadar kendilerine $t=0$ anında bildirilmiş rotayı takip ederek belirlenmiş yer kontrol istasyonuna dönerler.

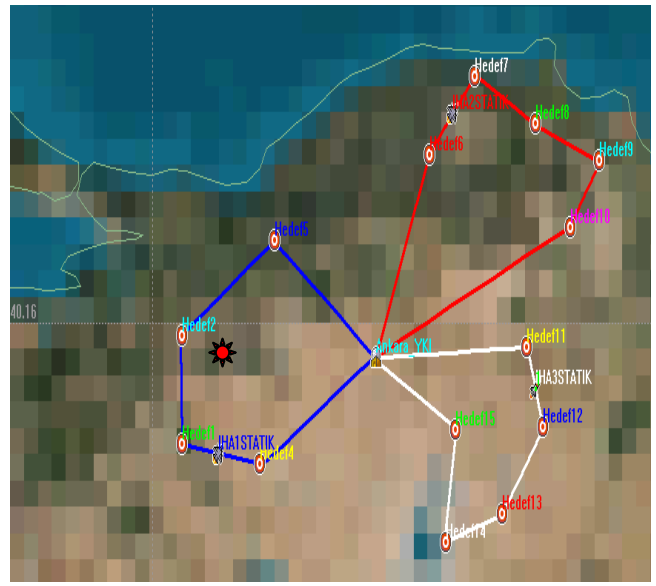


Şekil 2: Statik durum örneği ($t=0$ anında tüm hedefler önceden planlı).

Gerçek İHA uygulamalarına uygun olmayan bu durumda, görev esnasında meydana gelecek değişikliklere (dinamik durumlar) İHA'lar ve yer kontrol istasyonları kayıtsız kalırlar.

Görev almış bir İHA'nın düşmesi, yeni bir İHA'nın sisteme dâhil edilmesi, görev esnasında İHA'ya havadan yakıt ikmali yapılarak kapasitesinin artırılması, yeni bir Yer Kontrol İstasyonunun (YKİ) hizmete açılması, yeni bir hedefin ani olarak ortaya çıkması (Şekil 3), HGE'deki henüz gözetlenmemiş bir hedefin listeden (rotadan) çıkartılması, tehlikeli güzergâhların kapatılması, daha önceden yasaklanan güzergâhın müsaade edilmesi v.b. gibi durumlar İHS sistemleri için dinamik durum olarak ele alınabilir. Problemin dinamik versiyonunda, zaman geçtikçe ve İHA'lar gözetleme maksatlı keşif faaliyetlerine devam ederken yeni beliren hedefler, daha önceden planlanmış rotaların değişmesine neden olabilirler. Örneğin, Şekil 3'de resmedildiği gibi 3 adet İHA görevlerine devam ederken " t_1 " anında 2 numaralı hedefin yakınında ve İHA-1'in sorumluluk sahasında kırmızı ile işaretlenen yeni ve önemli bir hedef sisteme dâhil olmuştur. Burada sorulacak soru "yeni hedef en az maliyetle hangi İHA'nın rotasına dahil edilecek ve dahil edilen rotada hangi sırada gözetlenecek?"tir.

Literatürde, ARP konusunda oldukça fazla çalışma olmasına rağmen, DARP konusunda yapılan çalışmalar nispeten azdır. DARP araştırmalarının konusu ise genelde "karada konuşlu" araçlar içindir. Bu çalışmalarda mesafeler genellikle iki boyutlu olarak ele alınmıştır. "Havada konuşlu araç sistemleri" için dinamik çalışmaların sayısı yok denecek kadar azdır: O'Rourke ve arkadaşları [8] çalışmalarında, Bosna Savaşı sırasında kullanılan İHS'lerin rotalarını dinamik olarak bulabilmek amacıyla "Tabu Arama" sezgiselini; İHS sistemlerinde görev atamaları üzerinde çalışan Jin v.d., [9] ise "ortaklaşa arama" modeli önermişlerdir. Kim v.d., [10], otonom çalışan İHS'ler için sınırlı bilgilerin olduğu durumlardaki İHS anlık rota planlamalarını çalışmışlardır. Bu kapsamda belirsizlik durumlarında dinamik planlama önerilerinde bulunmuşlardır. Çok amaçlı stokastik gözetleme zamanları konusunda çalışan Peng ve Gao, [11] ise, görev süresinin ve kullanılan araç sayısının azaltılması için "en yakın ekleme geliştirme" algoritmasını önermişlerdir.



Şekil 3: Dinamik duruma geçiş ($t=t_1$ zamanında ani ve plansız hedefin sisteme dâhil olması).

Benzer şekilde, Duan v.d., [12], çoklu heterojen İHS uygulamaları için dinamik ve belirsizlik durumlarını irdelemişler ve “Max-min adaptif karınca kolonisi” yaklaşımını; Murray ve Karwan, [13] ise hava operasyonlarında kullanılmak üzere yeniden atama ve yeniden rotalama problemlerinde dinamik rotalama için “Tam sayılı programlamayı” önermişlerdir.

Literatür araştırmalarında da görüldüğü üzere, günümüzde daha yaygın ihtiyaç duyulan DARP'nin İHS uygulamaları, ARP gibi henüz detaylı incelenmiş bir konu değildir. Yapılan çalışmaların ise uluslararası araştırmalar olduğu, ulusal bir çalışmanın olmadığı görülmüştür.

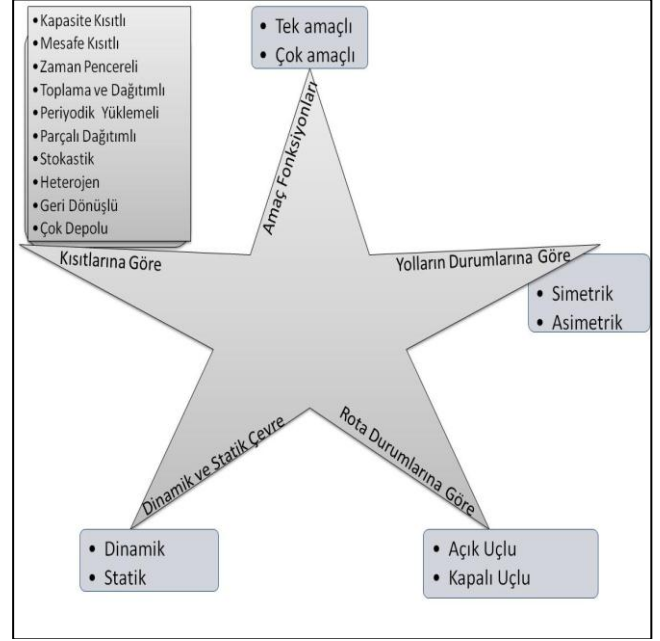
Türkiye'nin İHS alanında hâlihazırdaki ve gelecekteki durumunu analiz eden Mansız, [14], İHS'ler için “Yetenek tabanlı teknoloji öngörüsü modeli, İHS uygulaması” başlıklı çalışmada, Türkiye için İHS yetenek alanlarının belirlenmesi ve teknoloji taksonomisi konusunu irdelemiş ve Delphi tekniği ile teknoloji öngörüsü yapmıştır. Mansız, Türkiye'nin 2016-2020 döneminde zayıf olan durumunu ciddi yatırımlar yaparak güçlendireceğini, İHS'yi etkili hassas ve küçük silah sistemleri ile donatarak muharip bir hava aracı haline dönüştürme yolunda prototip sistem geliştirmeye yönelik projeler üreteceğini öngörmüştür. Bu öngörüden hareketle, milli İHS üretim imkân ve kabiliyetinin artmasıyla birlikte envantere bulunan İHS sistemleri farklılaşacak, görev planlamaları daha karmaşık hale gelecektir. Farklı imkân ve kabiliyette olan (heterojen) İHS sistemlerinin farklı sorumluluk alanlarında ortaya çıkabilecek değişik görevleri icra edecek esnek ve dinamik bir görev planlamasına ihtiyaç duyulacaktır. Bu planlamalarda farklı tipteki İHS'lerin bir arada kullanılması ve aralarında bilgi paylaşımının sağlanması gerekir. Böylelikle sistemler ancak bir bütün olarak ağ destekli yetenek konseptine uygun olarak kullanılabilir, görevler etkin ve süratli yapılabilecektir.

İHS teknolojisine sahip ülkelerde geliştirilen muharip (mühimmat kullanabilen) İHA'ların satışında ortaya konan yaptırımlar neticesinde, yeni teknolojilerin kazanılmasında milli projelere ağırlık verildiği gözlemlenmektedir.

İncelenen çalışmalar arasında, İHS sistemlerini ağ merkezli yetenek konseptinde ele alan çalışma yüzdesi çok düşüktür (%1). Çalışmalarda, ABD tarafından (örneğin Predatör) yürütülen İHS planlamalarının hiyerarşik bir yapıda olduğu ve özellikle silahlı İHS'lerin kullanımı, angajman kuralları kapsamında yapıldığı için son kararın insan tarafından verilmesi gerekliliğinin göz ardı edilmemesi gerektiği ifade edilmiştir [15]. Dikkat edilmesi gereken ikinci bir konu ise, bu tür stratejik sistem planlamalarının merkezi olarak yapılması gerekliliğidir. Ademi merkezietçi bir planlama alt problemler için uygun çözümler üretebilir ancak stratejik seviyede uygun olmayan çözümler ürettiği gibi, koordinasyon problemleri de yaratabilir.

4 ARP Sınıflandırılması ve Bu Kapsamda İHS'lerin Uygulama Alanları

Bu bölümde, Şekil 1'de genel sınıflandırması yapılan ARP'nin İHS kapsamında yapılabilecek “rota planlaması” uygulamaları detaylandırılmıştır. Bu bağlamda, genel formülasyonu ikinci bölümde verilen modele ilave olarak çeşitli gerçek durumlar ilave edilerek Şekil 4'deki gibi detaylandırılan ARP uygulamalarına göre, İHS'lerin hangi sınıflandırmalarda nasıl incelenebileceği ifade edilmeye çalışılmıştır.



Şekil 4: ARP problemlerinin detaylı sınıflandırılması.

4.1 Statik ve Dinamik Ortama Göre ARP

4.1.1 Statik ARP (StARP)

StARP'nde, problem çözülmeden önce YKİ, İHA ve hedeflere ait gerekli tüm bilgiler (kısıtlar, talepler, kapasiteler, maliyet bilgileri v.b) bilinmektedir, bu bilgiler problemin çözüm aşamasında da değişkenlik göstermez ve sabittirler.

Gerek yol güzergâhını tespit edecek algoritmanın çalışması sırasında, gerekse İHA'ların görevini icra ederken girdilerde bir değişiklik olmuyorsa, çalışma StARP olarak ele alınabilir. Ancak bu durum gerçek hareket alanı ile örtüşmemektedir. Komuta, Kontrol, Keşif, Bilgisayar, İstihbarat, Gözetleme ve Muhabere (K3BIGM) kapsamındaki gelişmeler; yer kontrol istasyonu tarafından İHA görüntülerinin anlık alınmasını, saniyeler içerisinde kıymetlendirme merkezlerine iletilmesini, kıymetlendirmeler sonucu İHA görev emirlerinde gerçek zamana yakın değişiklikler yapılarak rotalarının yeniden belirlenmesini mümkün kılmıştır. Bir İHA'nın düşmesi, diğer bir İHA'nın görev planlamasını anlık değiştirme gerekliliğini ortaya çıkartabilmektedir. Daha önceden hedef için belirlenen gözetleme zamanları değişebilir, hedefte tehdit görüntü vermeyebilir veya hava koşulları sebebiyle hedef üzerinde uçuş planlandığı gibi gerçekleşmeyebilir. Bu tür durumlar hedeflerin “yeniden sıralanması” ihtiyacını ortaya koyarken, etkisiz hale getirilmesi gereken ani bir hedefin belirlenmesi “yeniden sıralama” ihtiyacı ile birlikte, farklı imkân kabiliyette olan İHA'ya ihtiyaç duyması sebebiyle “yeniden atama” problemini de ortaya çıkartabilir.

Bu çalışma esnasında ARP konusunda incelenen 170 makaleden büyük bir çoğunluğunun (%91) statik durumları ele aldığı gözlemlenmiştir. Dolayısıyla İHS'ler konusunda yapılacak çalışmaların dinamik olarak çalışılmasının gerçek problemleri yansıtması açısından daha uygun olacağı değerlendirilmiştir.

4.1.2 Dinamik ARP

DARP'de yer alan “dinamik”lik yaklaşımı karar vericiler için, araç rotaları ve çizelgenmesinde ihtiyaç duyulan bilgilerin dinamik olarak açığa çıkmasını göstermektedir. Bianchi, [16]'ye göre problemi dinamik yapan iki önemli durum vardır:

Problemle ilgili bilgiler zamanla değişmektedir ve çözümler mutlaka zaman ilerledikçe yeni gelen bilgilerle eşzamanlı bulunmalıdır. Bu ön çözümün bulunamayacağı anlamına gelmektedir.

Keşif, Gözetleme ve İstihbarat görevinde askeri harekâtın başarısı için önemini son on yıldır inanılmaz oranda artıran İHS'ler karmaşık ve dinamik bir ortamda, bazen tek başlarına bazen de insanlı sistemlerle görev alırlar. Bu ortamda, harekât alanında zamana duyarlı ani hedefler için rotalarını dinamik olarak değiştirme ihtiyacı duyarlar. StARP'den farklı olarak, DARP'de gerek algoritmanın çalışması gerekse İHA'nın görevini icra etmesi sırasında, yeni hedefler planlamalara dâhil edilebilir, planlanmış hedefler herhangi bir sebeple iptal edilebilir, görevini icra eden bir İHA herhangi bir sebeple görevine devam edemeyebilir. Bu gibi durumlar dinamik durumları doğurur.

İHA'lardan alınan anlık görüntüler, hedefin yerinin hassas bir şekilde tespit edilmesini ve böylelikle ateş sistemlerinin hedeflerini büyük bir doğrulukla etkisiz hale getirmesine yardımcı olurlar. İHA'lar üzerinde genelde Elektrooptik (EO) veya Infrared (IR) sensörleri mevcuttur [13]. Her sensörün diğer sensöre karşı avantajları vardır. Silahlı İHA'ların varlığı ise günümüzde inkâr edilemez bir gerçektir. Her hedefin gözetlenmesi için ihtiyaç duyulan sensör (faydalı yük) tipi farklılık arz edebilir veya hedefin etkisiz hale getirilmesi için silahlı İHA görevlendirilmek zorunda kalınabilir. Türkiye'de çalışılmamış olan bu konu için, her bir İHA'ya, imkân ve kabiliyetlerine (üzerinde taşıyabileceği sensör ve silah sistemlerine) göre "etkinlik" skoru verilebilir ve Karar Destek Sistemlerinde bu durum planlamalara dâhil edilebilir.

Statik durumlar için belirlenen amaç fonksiyonu, dinamik ARP için anlamsız kalabilir. Psaraftis [17] bu tür uygulamalarda "etkinlik", "verimlilik" gibi performans ölçümlerinin daha anlamlı amaç fonksiyonu olduğunu belirtmiştir. Nitekim Murray ve Karwan [13] çok amaçlı yaptıkları çalışmalarında birinci amaçlarını "tüm görevin etkinliği" olarak belirlemişler, genelde tek amaç olarak kullanılan kat edilen yolun azaltılmasını ise üçüncü öncelikli olarak değerlendirmişlerdir. İHS'leri, dinamik çalışırken kara veya deniz araçlarından farklı kılan önemli bir özellik de, yeni bir İHA görevlendirilmesi kara veya deniz aracı görevlendirilmesinden daha zor olması ve zaman gerektirebilmesidir. Bunun nedeni İHS'lerin görev için uçuşa hazırlanmasında diğerlerine oranla daha uzun zamana ihtiyaç duymasındır.

İncelenen makalelerden, gerçek zamanlı rota planlamasında dinamik ortam bilimsel çalışmaların az olduğu (%9), yapılan çalışmaların da genelde son zamanlarda olduğu gözlemlenmiştir. Türkiye'de ise DARP'yi İHS'ler için uygulayan bir yayına rastlanmamıştır.

4.2 Rotalama Durumlarına Göre ARP

4.2.1 Açık Uçlu ARP (AUARP)

AUARP'de rotalar merkez depo ile başlamakta, talep noktası ile sona ermektedir. Bunun sağlanması için ek olarak yeni bir kısıtın modele eklenmesine gerek yoktur. Sonuç zaten açık uçlu rotalar doğuracaktır [18].

AUARP, yaklaşık yirmi yıldır literatürde olmasına rağmen, çalışmaların son yıllarda yoğunlaştığı görülmüştür. Bu çalışmaların çoğu, evlere paket ve gazete taşıma problemleri olarak ele alınmıştır. İlk olarak 1981 yılında Schrage tarafından literatüre kazandırılan bu tür uygulamalar, ikili işbirliği veya NATO kapsamında farklı ülkeler tarafından işletilen İHS'lerin görev alanımızda kullanımı ile mümkün olabilir. Örneğin, NATO kapsamında bir operasyonda görev

alan birliklerimizin sorumluluk sahasındaki gözetleme ihtiyaçları için diğer ülkelerin sahip olduğu İHS'lerin kullanılması gibi. Bu durumda İHS'lerin nereden kalktığı ve nereye ineceği ile ilgilenilmez (başlangıç ve bitiş noktaları), sadece gözetleme yapılacak hedefler (müşteriler) ve rota belirlenir.

4.2.2 Kapalı Uçlu ARP (KUARP)

KUARP'de her bir rota bir YKİ'de başlatılıp, aynı YKİ'de bitirilmelidir. Tek YKİ'li problemlerde bunun sağlanması için modele ilave kısıt eklenmelidir. İHS'ler için, KUARP'de her rota bir YKİ'de başlatılıp, aynı YKİ'de bitirilmelidir. Bu tür çözümlere literatürde çok sık rastlanmaktadır. Bu nedenle yapılacak araştırmalarda AUARP uygulamalarına yönelmesinin uygun olacağı düşünülmektedir.

4.3 Kısıt Durumlarına Göre ARP

4.3.1 Kapasite Kısıtlı ARP (KKARP)

KKARP'de, tüm müşterilerin talepleri dağıtılır, talepler belirlidir ve önceden bilinir. Araçlar, tek bir merkez depodan hareket ederler, aynı kapasitede yani homojendirler. Araçlar için yalnızca kapasite kısıtı söz konusudur. KKARP'de amaç, tüm müşterilere yapılan servisin toplam maliyetini minimize etmektir.

İHS KKARP uygulamalarında her bir hedefin gözetlenmesi için gereken süre belirlidir ve önceden bilinir. Burada İHA'ların azami havada kalış süresi (dayanıklılık) kapasite kısıtı olarak ele alınmaktadır. İHS'lerin üzerinde bulunan sensörlerin kapasiteleri de (kameraların kayıt imkânı v.b.) kapasite kısıtı olarak ele alınabilir. Ayrıca, çalışmalarda dayanıklılık yerine İHS'lerin yakıt durumları da kapasite kısıtı olarak değerlendirilebilir.

4.3.2 Zaman Pencereci ARP (ZPARP)

ZPARP'ni Braysy ve Gendreau, [19], farklı coğrafi alanlarda dağınık olarak bulunan müşteriler kümesine bir depodan en düşük maliyetli rotaların tasarlanması problemi olarak tanımlamışlardır. Rotalar, verilen bir zaman aralığında her müşteri bir kere ve sadece bir araç tarafından ziyaret edilecek şekilde tasarlanmalıdır ve her rota depoda başlayıp yine depoda son bulmalıdır.

ZPARP İHS'ler için, harekât alanının farklı coğrafi alanlarında dağınık olarak bulunan hedeflere sabit bir YKİ'den başlayarak belirlenen zaman kısıtına uygun olarak, en düşük maliyetli rotaların tasarlanması problemi olarak tanımlanabilir. Rotalar, verilen bir zaman aralığında her hedefi bir kere ve sadece bir İHA tarafından ziyaret edilecek şekilde tasarlanmalıdır, ayrıca her rota YKİ'de başlayıp YKİ'de son bulmalıdır. Hedeflerin gözetlenmesi için belirlenen zaman aralığı "gevşek" veya "sıkı" olabilir. Gevşek olduğu durumda zaman penceresi kısıtı ihlal edilebilir, sıkı olduğu durumda ise bu kısıt mutlaka sağlanır veya ihlal edilen kısıt için amaç fonksiyonunda ceza ödenir.

İHS'ler konusunda yapılan çalışmalarda incelenenler arasında uygulamaların genelde (%63) ZPARP çalışıldığı görülmüştür. Ancak, İHS'lerin hedef üzerinde belirlenen zaman penceresi içerisinde bir ağırlıklandırma yapılabilir, belirlenen zaman penceresi içerisinde tercih edilen zaman dilimi probleme dâhil edilebilir. Böylelikle gözetlemenin, belirtilen zaman penceresinin başında, ortasında veya sonunda yapılması tercih sebebi olarak ele alınabilir.

4.3.3 Mesafe Kısıtlı ARP (MKARP)

MKARP'nde, rotalara atanan her aracın gidebileceği maksimum mesafe kısıtı mevcuttur. İHS'lerin bu tür uygulamalarında, rotalara atanan her bir İHA'nın gidebileceği

maksimum mesafe (zaman) kısıtı vardır. Burada İHA'ların azami menzili (dayanıklılık) mesafe kısıtı olarak ele alınabilir. Mesafe kısıtı uygulamalarında, üç boyutlu hesaplamaların dikkate alınması, gerek İHA'ların en fazla uçabileceği mesafe gerekse havada en fazla kalabileceği zaman açısından önem arz etmektedir.

4.3.4 Toplama ve Dağıtım ARP (TDARP)

Toplama ve dağıtım taleplerinin farklı müşterilere ait olduğu ARP, toplama ve dağıtım işlemlerini birlikte kapsayan araç rotalama probleminin bir çeşididir. Bu problem türünde, sensörlerin kayıt kapasitelerini dikkate alarak İHS'lerin aldığı görüntüleri, görevleri esnasında yakın bölgede konuşlu dost birliklere görüş hattında aktarmak üzere, dost birliklerin bulunduğu koordinatların da rotaya dâhil edilerek alınan hedef görüntülerinin dost bölgeye aktarılması ve göreve daha sonra devam edilmesi konusu çalışılabilir. Aynı zamanda, İHA'lara havadan yakıt ikmali uygulamaları da, hedefler dağıtım merkezi, yakıt ikmalinin yapılacağı üç boyutlu konum ise toplama noktası olarak değerlendirilerek bu kapsamda çalışmalar yapılabilir.

4.3.5 Parçalı Dağıtım ARP (PDARP)

Bu tip ARP'de, aynı müşterinin talebi farklı araçlardan karşılanabilir. Eğer toplam maliyetlerin düşmesine katkı sağlayacaksa, aynı hedef farklı İHA'lar tarafından gözetlenebilir veya bir hedefte görevini icra eden bir İHA'nın acil hedef kapsamında başka bir hedefte görevlendirildikten sonra kalan gözetleme zamanında planlanmış görevine devam edecek yaklaşımlar geliştirilebilir.

4.3.6 Periyodik ARP (PARP)

PARP, belirlenen planlama periyodunda çalışır ve her bir müşteri tespit edilen servis frekansında ziyaret edilebilir. Literatürde çoğu zaman (%82) tek planlama dönemi için çözüm arayışına gidilmiştir, ancak teknoloji dönüşümünün yaşanmasıyla kazanılan yeni imkânlar, İHA'ların havada kalış süresini artırmıştır. Bu gelişme, modern İHS filolarına sahip ülkelerin, İHS görevlendirmelerinde daha uzun dönemli planlama yapmasına olanak tanımıştır. "Global Hawk" tipi bir İHA, havada kalış süresinin çok olması sebebiyle belirli bir dönemde bir kez görevlendirilirken, havada kalış süresi Global Hawk'a nispeten daha az olan "Predatör" tipi bir İHS aynı dönemde birkaç kez görevlendirilebilir. Dolayısıyla heterojen filoda bulunan en uzun havada kalış süresine sahip İHS'nin azami havada kalma süresi periyodun uzunluğunu belirleyebilir.

4.3.7 Stokastik ARP (StoARP)

StoARP, klasik ARP'nin problem verilerinden bazılarının rastgele olduğu bir modele dönüştürülmesiyle elde edilir. ARP alanında yapılan çalışmaların büyük bir bölümünde müşteri bilgileri, araç bilgileri, yol ve hava durumları gibi bilgiler deterministik olarak ele alınmıştır. Bu yüzden önerilen çözüm metotları tamamen deterministik ortamlar içindir. Ancak, harekât alanındaki hedef bilgileri, yol bilgileri, hava durumu gibi parametrelerin deterministik varsayımı doğru bir yaklaşım olmaması nedeniyle bu parametrelerin stokastik olarak çalışılması daha uygun bir yaklaşım olacaktır.

Ayrıca, StoARP problemlerini, bulanık ARP olarak ele almak, çözüme katkı sağlayabilir. Gözetlenecek hedeflerin yerleri tam olarak bilinmediği durumlarda, hedeflerin gözetlenmesi belirli olasılıklar dâhilinde olur. Bazı durumlarda ise hedefin gözetlenmesi için ihtiyaç duyulabilecek zaman tam olarak kestirilemeyebilir. O anki görüntüler, söz konusu hedef

üzerindeki gözetleme zamanını planlanandan daha az veya daha çok olmasını gerektirebilir. Planlamalarda, net değer yerine kesin olmayan (örneğin gözetleme zamanı "yaklaşık 20 dk" veya "20 dk ile 40 dk arası" gibi) ifadelerle yer verilerek, bulanık uygulamalar yapılabilir. Böylelikle gerçek duruma daha uygun çözümler aranmış olacaktır.

4.3.8 Heterojen (Karışık) Filolu ARP (HARP)

HARP, değişik kapasiteli veya özellikli heterojen araç filolarının bulunduğu sistemler için geliştirilmiş bir ARP tipidir. Taillard, [20] bu tip problemlerin ARP tipi problemlere nazaran daha az çalışılmış olmasının sebebini, HARP probleminin homojen ARP problemine nazaran daha zor çözülmesi olarak ifade etmiştir. Klasik ARP problemlerinde, bütün araçlar aynı tip olup, kapasiteleri aynıdır. Bu durum her zaman, gerçekçi olmayabilir. Değişik kapasiteli ve üzerinde farklı yük barındıran heterojen İHS filolarının bulunduğu uygulamaların daha gerçekçi olduğu, yapılacak çalışmalarda bu hususun dikkate alınmasının daha doğru bir yaklaşım olacağı düşünülmektedir.

4.3.9 Çok Depolu ARP (ÇDARP)

Genel ARP tanımı tek bir başlangıç ve bitiş noktası için (tek depolu) yapılmıştır. Ancak, araçlar tek bir YKİ yerine birden fazla kalkış noktasının birinden hareket edebilirler ve her bir aracın rotası hareket ettiği bu depoda başlayabilir ve sonlanabilir. Bu kapsamda, kalkışa müsait birden fazla YKİ'nin olması durumunda İHS filoları için ÇDARP çalışmaları yapılabilir.

4.4 Yolların Durumuna Göre

4.4.1 Simetrik ARP (SARP)

Eğer gidiş ve dönüş için kat edilen mesafenin maliyeti veya zamanı aynı değerler alıyorsa maliyet, zaman ya da mesafe matrisi simetrik olur ve problem Simetrik ARP olarak tanımlanır.

4.4.2 Asimetrik ARP (AARP)

Eğer gidiş ve dönüş için kat edilen mesafenin maliyeti farklı değerler alıyorsa maliyet ya da mesafe matrisi asimetrik olur ve problem AARP olarak tanımlanır. İHA'ların gidiş ve dönüş için havada kat ettiği mesafenin maliyeti, özellikle rüzgâr etkisi sebebiyle, farklı değerler alması, maliyet ya da mesafe matrisini asimetrik yapar ve problem AARP olarak çalışılabilir.

4.5 Amaç Fonksiyonlarına Göre

4.5.1 Tek amaçlı ARP (TAARP)

Problemin çözümünde bir tek amacın belirlendiği ve çözümde sadece bu amaç fonksiyonunun en iyilenmeye çalışıldığı ARP problemleri, TAARP olarak isimlendirilebilir. Burada amaç genellikle İHA'nın kat edeceği yolun en azaltılmasıdır.

4.5.2 Çok amaçlı ARP (ÇAARP)

Problemin çözümünde birden fazla amacın belirlendiği ve çözümde bu amaç fonksiyonlarının aynı anda en iyilenmeye çalışıldığı ARP problemlerine ÇAARP denir. Burada amaç tek değil, birden fazladır. ÇAARP'de, kullanılan İHA sayısının azaltılması, kat edilen mesafenin azaltılması, kullanılan İHA görev dengesinin iyileştirilmesi, etkinlik skorlarının artırılması gibi hedefler aynı anda elde edilmeye çalışılır. ARP konusunda incelenen çalışmaların büyük bir kısmı (% 96) tek amaçlıdır. Ancak, özellikle dinamik ortamda görev yapan İHS'lerin görev emrindeki değişikliklerde, tüm görev etkinliğinin en iyilenmesi, ilk görev emrindeki değişikliğin en

küçüklenmesi ve kat edilecek tüm yolun en küçüklenmesi gibi birbirini ile çelişen amaçların olması sebebiyle çok amaçlı dinamik Karar Destek Sistemi konuları yeni çalışma alanları olabilir.

5 Sonuç ve Değerlendirme

İHS'lerin önemi gerek sivil gerekse askeri uygulamalarda giderek artmaktadır. İHS'lerden beklenen görevlerin etkinliği, ancak İHS kullanımındaki uygulamaların etkinliği ile sağlanabilir. İncelenen çalışmalarda İHS'lerin etkinliğini artırmak için yapılan teorik ve pratik araştırmaların büyük bir kısmının; İHS tasarımı, İHS platform dengelemesi ve İHS kontrol sistemleri gibi İHS'lerin havada kalış süresinin artırılmasına veya yeni kabiliyetler ilave edilmesine yönelik olduğu, ancak "rota planlaması" çalışmalarına ağırlık verilmediği gözlemlenmiştir.

İHS'lerin yaygın kullanılması ile birlikte, İHS'ler konusundaki bilimsel çalışmalar da aynı hızla artmıştır. Fakat aynı ivme ulusal çalışmalarda gözlemlenmemiştir. Ulusal çalışmalarda çok sınırlı sayıda "rota planlaması" kapsamında İHS'ler incelenmiştir.

İHS'lerinin etkin kullanılmasının askeri hârekat üzerindeki en önemli etkilerinden biri stratejik ve operatif seviyedeki harekâtın temposunun artırılması olacaktır. İHS'lerin planlanmasında bilimsel yaklaşım, söz konusu İHS'yi kullanan birimin planlamadaki yaklaşımına bağlıdır. Çok iyi tasarlanmış mükemmel bir İHA, kendisinden beklenen etkinliği, kullanımındaki verimsizlikten dolayı sağlayamayabilir. Değişen muharebe koşullarına süratle ayak uydurabilen ve hızlı bir şekilde rota planlarının oluşturulması, Silahlı Kuvvetler açısından önem arz etmektedir. İHS'lerin mevcut imkân ve kabiliyetlerini dinamik ortamlarda da kullanılmasına yönelik Türkiye'de yapılan bilimsel çalışmaya rastlanılmamıştır.

İHS ile yapılan çalışmalarda uzaklık hesaplamalarında, mesafeler iki boyutlu öklid uzaklıkları olarak ele alınmıştır. Yapılacak uygulamaların mesafe ve zaman hesaplamalarında üç boyutlu olarak çalışmaların yapılması ve hedeflerin elinde bulunan silahların tesirli menzilden korunmasını sağlayacak dördüncü boyutun da modele eklenmesi gerekliliği mevcuttur. Ayrıca görev boyunca sabit kabul edilen İHA hızlarının değişebileceği dikkate alınmalıdır.

İHS'lerin stratejik önemleri dikkate alındığında, "dinamik rota planlamaları" kapsamında yapılan çalışmaların çok yetersiz kaldığı görülmektedir. Yapılan çalışmalarda ise problemin genelde bir veya iki çeşidi (kısıtı) dikkate alınarak çözülmüştür. Literatürde sadece Pisinger ve Ropke [21]'nin yaptığı çalışmada zaman pencereli, kapasiteli, çok depolu, yer bağımlı (site-dependent) ve açık uçlu problemi bir arada ele alan tek bir çözüm önerisi ile karşılaşılmıştır. Benzer şekilde İHS planlamalarında aynı anda ele alınarak çalışılması gereken ve dördüncü bölümde açıklanan çok sayıda kısıt mevcuttur. YKİ ve İHS'lerin gerçek kısıtları problemin zorluğunu artırmakta, araştırmacıyı farklı ve çoklu uygulamaları aynı anda incelemeye sevk etmektedir. Dördüncü bölümde detaylandırılan kapsamda yapılacak çalışmaların, İHS'lerin Türkiye'de etkin ve verimli kullanılmasına hizmet edeceği, böylelikle mevcut İHS'lerin kullanımında "nitelikli zaman"ların artacağı değerlendirilmiştir. Bir önceki bölümde belirtilen çalışma alanlarına ilave olarak, literatürde bulunan İHS uygulamalarında aşağıdaki çalışmaların yapılabileceği öngörülmektedir:

1. Sınırsız olan her tip İHS sayısının belirli sayıda olduğu durumlar incelenebilir,
2. YKİ'nin harekât alanındaki coğrafi durumları, piste sınırlı sayıda İHS'lerin iniş ve kalkışına müsaade

eder. Ayrıca, bir YKİ'den iniş kalkış yapabilecek İHS sayısı, kullanılan frekans görüncesinin sınırlı olmasından dolayı sonsuz değildir ve belirlidir. YKİ'nin hizmet verebileceği İHS kapasitenin sınırsız olması yerine belirli sayıda olduğu durum ele alınabilir,

3. Önerilen kısa, orta ve uzun dönem için karar destek sistemleri kapsamında analizlerin yapılması değerlendirilebilir. Literatürde genelde tek bir planlama için çalışmalar mevcuttur. Kısa dönem bu kararların, orta ve uzun vadede sisteme katkısını inceleyecek simülasyon çalışmaları yapılabilir.

Yukarıda belirtilen açık alanların veya benzer çalışmaların yapılması dinamik ARP konusundaki bilgi seviyesini artıracak, İHS'lerin daha etkin ve verimli kullanılmasını sağlayacak, daha az kaynak (operatör, haberleşme sistemleri, frekans, İHS v.b) kullanımına imkân verecek ve daha gerçekçi problemlerin çalışılması için araştırmacıları motive edecektir.

6 Teşekkür

Yazarlar, bu çalışmada sağlanan destekten dolayı Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumuna teşekkür eder. Yayın, yazarların kendi görüşlerini ifade eder.

7 Kaynaklar

- [1] Goraj, Z., "Civilian Unmanned Aerial Vehicles – Overview Of European Effort and Challenges for the Future", Aviation Journal, Vilnius, VII (1), 3-15, 2003.
- [2] Argun, M., "Savaşların Yeni Cephesi", Savunma ve Havaçılık Dergisi, 2010/2, Cilt 24, 138, 2010.
- [3] FM 34-25-2, Unmanned Aerial Vehicles (Draft), Washington, Department of the Army, 1995. <http://www.fas.org/irp/doddir/army/fm34-25-2/index.html>. İnternet erişim tarihi: 06 Haziran 2012.
- [4] Toth, P. ve Vigo, D., The Vehicle Routing Problem, SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications, SIAM Publishing, Philadelphia, PA, 2001.
- [5] Dantzig, G.B. ve Ramser, J.H., "The Truck Dispatching Problem", Management Science, Vol.6, No.1, 1959, 80-91. Published by: INFORMS Stable URL: <http://www.jstor.org/stable/2627477> Erişim: 24/11/2010 08:14.
- [6] Şeker, Ş., "Araç Rotalama Problemleri ve Zaman Pencereli Stokastik Araç Rotalama Problemine Genetik Algoritma Yaklaşımı" (Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi), İstanbul, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- [7] Kocabaş, S., "İnsansız Hava Araçlarının Rota Planlaması için bir Karar Destek Sistemi (Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi)", Ankara, Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü, 2003.
- [8] O'Rourke, K.P., Bailey, T.G, Hill, M.R., ve Carlton, W.B., "Dynamic Routing of Unmanned Aerial Vehicles Using Reactive Tabu Search", Military Operations Research, 6(1), 5-30, 1999.
- [9] Jin, Y., Liao, Y., Minai, A.A. ve Polycarpou, M.M., "Balancing Search and Target Response in Cooperative Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Teams", IEEE Trans Syst Man Cybern B Cybern, 36(3), 571-587, 2006.
- [10] Kim, Y., D.-W. Gu and I., Postlethwaite, "Real-time path planning with limited information for Autonomous uninhabited air vehicles", Automatica, 44(3), 696-712, 2008.
- [11] Peng, X. ve Gao, X., "A Multi-objective Optimal Approach for UAV Routing in Reconnaissance Mission with Stochastic Observation Time", Foundations of Intelligent

- Systems, 17th International Symposium, ISMIS 2008, Toronto, Canada, May 20-23, Proceedings, 246-255, 2008.
- [12] Duan, H., Zhang, X., Wu, J. ve Ma. G., "Max-Min Adaptive Ant Colony Optimization Approach to Multi-UAVs Coordinated Trajectory Replanning in Dynamic and Uncertain Environments", *Journal of Bionic Engineering*, 161-173, 2009.
- [13] Murray, C.C. ve Karwan, H.M., "An Extensible Modeling Framework for Dynamic Reassignment and Rerouting in Cooperative Airborne Operations", *Wiley Online Library, Naval Research Logistics* 57 (7), 634-652, 2010.
- [14] Mansız, B., Yetenek Tabanlı Teknoloji Öngörüsü Modeli: İnsansız Hava Aracı Uygulaması (Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi), Ankara, Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü, 2010.
- [15] USA DoD Internet, Unmanned FY 2009-2034 Unmanned Systems Integrated Roadmap, 2009.
- [16] Bianchi, L., Notes on Dynamic Vehicle Routing -The State of Art, Technical Report IDSIA-05-01, 2000.
- [17] Psaraftis, H.N., Dynamic Vehicle Routing Problems In B.L. Golden, A.A. Assad, editors, *Vehicle Routing: Methods and Studies*, chapter 11, Elsevier Science Publishers B.V.(North Holland), Amsterdam, 223-248, 1998.
- [18] Erol, V., Araç Rotalama Problemleri için Popülasyon ve Komşuluk Tabanlı Metasezgisel Bir Algoritmanın Tasarımı ve Uygulaması (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi), İstanbul, Yıldız Teknik Üniversitesi, Sistem Mühendisliği, 2006.
- [19] Braysy, O. ve Gendreau, M., "Tabu Search Heuristics for the Vehicle Routing Problem with Time Windows", *Sociedad de Estadística e Investigación Operativa Top*, Vol. 10, No. 2, 211-237, 2002.
- [20] Taillard, E.D., "A Heuristic Column Generation Method For The Heterogeneous Fleet VRP", *RAIRO Rech. Oper.*, Vol. 33 (1), 1-14, 1999.
- [21] Pisinger D. ve Ropke, S., "A General Heuristic For Vehicle Routing Problems", *Computers & Operations Research*, 34 (8), 2403-2435, 2007.