

İNSANSIZ HAVA SİSTEMLERİ ROTA PLANLAMASI DİNAMİK ÇÖZÜM METOTLARI VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Cihan ERCAN¹, Cevriye GENCER²

¹ Kara Harp Okulu, Savunma Bilimleri Enstitüsü, Harekât Araştırması ABD, 06654, ANKARA
University of Illinois at Urbana-Champaign, Coordinated Science Laboratory, 61801, Urbana, USA

² Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Endüstri Müh. Böl., 06570, ANKARA

¹cercan74@gmail.com, ²cercan@illinois.edu, ²ctemel@gazi.edu.tr

ÖZET: Savaş stratejisinin bir göstergesi olan muharebe araç ve gereçleri, teknoloji ile birlikte değişiklik göstermektedir. Yakın uzay ve uzayın da bir araç olarak kullanıldığı bilgi çağının savaşları; ok ve yayın kullanıldığı tarım dönemi ile top ve tüfeklerin kullanıldığı sanayi dönemi savaşlarından farklılık göstermektedir. Bu farklılıklar, harekât bölgesinin etki ve ilgi alanını genişlettiği gibi modern orduların kabiliyetlerini ve gereksinimlerini de etkilemektedir.

Keşif ve gözetleme görevinin en etkin ve verimli şekilde yapılabilmesi, envanterindeki sistemlerin modern olması ile birlikte bu sistemleri bilimsel yaklaşımlarla planlayabilme yeteneğine bağlıdır. Stratejik seviyede kullanılan İnsansız Hava Araçlarının (İHA) görevlendirmeleri esnasında karşılaşılan Araç Rotalama Problemleri (ARP), diğer sektörlerde olduğu gibi savunma sektöründe de oldukça yüksek maliyetlere sebep olabilmektedir. Bu nedenle İHA rota planlamalarının verimli bir şekilde çözümü, büyük tasarruflar sağlayacak olması ve hedeflerin zamanında gözetlenebilmeleri açısından önemlidir.

Bu çalışmanın amacı, İnsansız Hava Sistemlerinin (İHS) dinamik rota planlamasına yönelik yapılan çalışmalarının incelenmesi ve ileride yapılabilecek çözüm yaklaşımlarına yön verilmesidir. Bu sayede, Türkiye’de henüz kullanılmaya başlayan stratejik İHS’lerin görev etkinliklerinin artırılması, proje ve kullanım maliyetlerinin düşürülmesi hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: *İnsansız Hava Sistemleri, İnsansız Dinamik Araç Rotalama Problemi Çözüm Yaklaşımları, Sezgisel Algoritmalar*

Unmanned Aerial System Routing Problem Dynamic Solution Methods and Literature Review

ABSTRACT: War tools and materials, which are an indicator of war strategy and development, vary with the technology. Modern Warfares in the information age, where near space and the space being used as a tool, differ from both the agricultural era wars, in which arrows and bows had been used as a tool, and industrial era battles, in which machine guns and tanks were employed. These characteristics influence this area of interest and area of influence in the area of responsibilities, and affect the ability and the necessity of modern armies as well.

Being able to perform reconnaissance and surveillance missions in the most effective and efficient way is reliant on not only having the knowledge to create and invent them as well as having them in the inventor but also the ability of planning these systems with a modern scientific approach. Vehicle Routing Problem (VRP), encountered during the assignment of Unmanned Aerial Systems\ Vehicles (UAS\V) which is being used at the strategic level, can lead to elevated costs in the defense sector as well as other sectors. For this reason, the efficient solution of route planning is a very important issue to provide major cost savings and to observe the targets timely.

This study investigates the literature in “dynamic” route planning “solution” methods and defines the approaches for future “dynamic solution” studies of strategic UAVs which are being recently used in Turkey. Using this approach will increase the efficiency of usage of the UAVs and decrease the operating and project costs of them as well.

Key Words: Unmanned Aerial Systems, Dynamic Vehicle Routing Problem Solution Approaches, Heuristics

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Çoğu askeri harekât dinamik bir yapıya sahiptir ve karmaşık olaylar serisi içerir. Bu yüzden askeri operasyonlarla ilgili problemler de zor ve karmaşıktır. Harekât ortamının sürekli değişen yapısından dolayı İHS’lerin görev planlamalarını yapmak güçtür. Modern keşif gözetleme sistemi olan İHS’lerin görev planlamaları, gelişen teknolojileri de (kontrol ve uydu sistemleri gibi) dikkate alarak bir ağ şeklinde dizayn edilmeli, müşterek/birleşik harekâtı icra edecek şekilde tasarlanmalı ve rota planlamaları da aynı disiplin ile sağlanmalıdır.

Ağ destekli yetenek kapsamında bilgiye erişim kritik bir teknolojidir ve savaş alanındaki komutanlara durumsal farkındalık sağlar. Modern askeri sistemler, insanlı ve insansız sistemlerin bir arada kullanıldığı karmaşık savaş ortamlarına uyumlu şekilde tasarlanmalıdır (Shima ve Rasmussen, 2009).

Bu çalışmanın amacı, hızlı hareket eden İHS’lerin “dinamik rota planlaması” kapsamında “çözüm” metotlarının incelenerek, İHS’lerin hedeflere gitmek için yolda geçirdiği niteliksiz zamanın, harekât etkinliğine olumsuz etkisi olmadan azaltılmasına yönelik çözüm yollarına ışık tutmak, böylelikle Türkiye’de henüz projelendirilmeye ve kullanılmaya başlanan İHA’ların gerek proje maliyetlerinin gerekse kullanım maliyetlerinin düşürülmesine yardımcı olmaktır. Bu kapsamda, gerçek uygulamalara katkı sağlayacak “dinamik çözüm” yaklaşımlarına konu olan İHS ve rotalama problemleri hakkında tanımlamalar ikinci bölümde; günümüzde daha çok ihtiyaç duyulan dinamik ARP’nin statik ARP’den farkları ise üçüncü bölümde verilmiş ve bu farkların dinamik çözüm yaklaşımlarına olan etkileri incelenmiştir. Çözüm metotları için yaklaşımlar dördüncü bölümde, bu kapsamdaki literatür araştırması ise beşinci bölümde sunulmuştur. Son bölümde sonuç ve öneriler verilmiştir.

2. İNSANSIZ HAVA SİSTEMLERİ ve ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİ (UNMANNED AERIAL SYSTEMS-UAVs and VEHICLE ROUTING SYSTEMS-VRPs)

2.1 İnsansız Hava Sistemleri (UASs)

İnsansız sistem, işletmeci olarak bir insan taşımayan otonom ya da uzaktan komutayla çalışabilen, harcanabilir veya geri kazanılabilir özellikte, öldürücü veya öldürücü olmayan faydalı yükleri taşıyabilen, kendi kendine hareket yeteneğine sahip bir araçtır (U.S. DoD [web], 2010). İnsansız sistemler; hava, kara ve deniz araçlarını içermektedir. Bu sistemlerden günümüzde en çok kullanılanı İHS’lerdir.

İHS; İHA, yer kontrol istasyonları (YKİ) ve bunlar arasındaki haberleşme sistemlerinden oluşur. İHS’lerin en önemli özelliği, tehlikeli ve riskli görevlerde, uzaktan komuta ile veya otonom olarak kullanılabilmeleridir. İHS’ler günümüzde çoğunlukla askeri amaçlar için kullanılsa da sivil amaçlı kullanımları da dikkat çekmektedir. İHS’ler keşif, gözetleme ve istihbarat görevleri ile birlikte çok farklı görevlerde kullanılmaktadır (Odom, 2002). Bunlar:

- İstihbarat, Keşif ve Gözetleme,
- Hedef Tespiti ve İzleme,
- Mayın Tespit ve İmha,
- Nükleer, Biyolojik ve Kimyasal Kirlilik Tespiti,
- Yangın Tespit ve İzleme,
- Arama ve Kurtarma,

- Sivil Güvenlik,
- Haberleşme ve Elektronik Harp,
- Fiziksel Saldırı ve Tahrip,
- Sınır Güvenliği,
- Atmosferik ve Denizaltı Gözlem,
- Tarımsal Gözlem ve İlaçlama,
- Bilimsel Araştırmalar.

2.1.1. İnsansız Hava Sistemi Türleri (Types of UASs)

Keşif, gözetleme, hedef tespiti, istihbarat toplama amaçlı uçak ve balonların kullanılması, keşfedilmeleri ile birlikte başlamıştır. Daha sonra keşif ve gözetleme için özel olarak zeplin, uçak ve helikopterler üretilmiştir. Ancak düşman ateşi ile vurulma risklerinin yüksek olması, keşif görevlerinde pahalı uçak ve helikopterler yerine pilot kayıplarını da engelleyecek pilotsuz uçak kullanılması fikrini doğurmuştur (Gencer ve diğ., 2009; Kocabaş, 2003). Bu nedenle İHS'ler günümüzde keşif ve gözetleme görevleri için vazgeçilmez bir kuvvet çarpanı olmuştur.

Günümüzde, öneminin farkına varılan İHS'ler pek çok ülke tarafından kullanılmakta ve üretilmektedir. Kullanılan bazı İHS'lerin teknik özellikleri Çizelge-1'de gösterilmiştir. Ayrıca kullanım amacına uygun olarak, elle fırlatılan, uçak gibi pistten kalkıp inebilen, helikopter görünümünde ve kabiliyetinde olan, bir roket gibi rampadan fırlatılan ve paraşütle hava yastığı üzerine inebilen çok değişik tipte İHS mevcuttur (Gencer ve diğ., 2009; Kocabaş, 2003).

Çizelge-1. İHS çeşitleri ve teknik özellikleri (*UAV Types and characteristics*)(Pustam, 2002)

S.Nu.	İHS İsmi	Havada Kalış Süresi (Saat)	Azami Uçuş İrtifa (Feet)	Faydalı Yük Ağırlığı (Kg)
1	AV POINTER Micro Blimp	2	8.000	6,81
2	SPECTRE II	6	28.000	38,6
3	AEROSONDE	40	20.000	9,9
4	GNAT 750	48	25.000	63,56
5	XAP	1	5.000	1,82
6	HELIOS	48	90.000	68,1
7	JAVELIN	15	8.000	2,72
8	H-7F	2	8.000	5,45
9	SKYEYE	10	18.000	79,45
10	EXPLORER	25	10.000	11,4
11	CYPHER	25	5.000	20,5
12	FREEWING	85	15.000	22,7
13	PERSEUS	72	65.620	200
14	ALTUS II	24	65.000	400
15	PREDATOR	20	40.000	317,8
16	BOW-24	25	60.000	213,4
17	PIONEER	55	12.000	34,1
18	DARK STAR	8	45.000	454
19	GLOBAL HAWK	42	65.000	481,2

Ürün çeşitliliğinin çok olması ve “İnsansız Hava Aracı” veya “İnsansız Hava Sistemi” kavramlarının henüz yeni olması, tüm İHS'leri içeren bir sınıflama yapmayı zorlaştırmaktadır. Ancak literatürde genellikle İHS'ler; taktik, stratejik ve özel amaçlı İHS olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır (Chin ve Sern, 2009; Kocabaş, 2003).

2.1.1.1. Taktik İnsansız Hava Sistemleri (Tactical UAVs)

Bu gruptaki İHS'lerin maksimum uçuş irtifaları 40.000 feet'tir. Ortalama havada kalış süresi 1 ilâ 48 saat arasında değişmektedir. Taktik İHS'lerin menzilleri 10-500 km arasında değişmektedir. Bu grupta değerlendirilen İHS'ler; mikro, mini, kısa veya yakın menzil, orta menzil, alçak irtifa uzun havada kalış (Low Altitude Long Endurance-LALE) ve orta irtifa uzun havada kalış (Medium Altitude Long Endurance-MALE) İHS'lerdir. Bu tür İHS'lerin gelecekte çoklu-rol ve çoklu-görev platformlarına doğru gelişme gösterecekleri değerlendirilmektedir.

2.1.1.2. Stratejik İnsansız Hava Sistemleri (Strategic UAVs)

Bu grupta bulunan İHS'ler genel olarak yüksek irtifa havada kalış (High Altitude Long Endurance-HALE) olarak isimlendirilmektedir. Ortalama havada kalış süresi 24-48 saat, uçuş irtifası 65.000 feet üzerinde, menzili 500 km'den fazla ve maksimum kalkış ağırlığı ise ortalama 1200 kg'dır. "Komutanların kapanmayan gözü" olarak isimlendirilen bu tür İHS'lerin, gelecekte havada haftalarca hatta aylarca kalabileceği ve bu tür İHS'lerin faydalı yük kapasitelerinin artması, güvenilirlik ve daha fazla havada kalması yönünde ciddi gelişmelerin olacağı öngörülmektedir.

2.1.1.3. Özel Amaçlı İnsansız Hava Sistemleri (UAVs for special Purposes)

Sivil amaçlı ve bilimsel çalışmalarda kullanılan İHS türleri bu grupta yer almaktadır. İHS'ler genel olarak faydalı yük diye isimlendirilen sensörlerden oluşan insansız hava platformları olarak düşünülmektedir, ancak hem pilotların fizyolojik olarak kısıtlı kabiliyetlere sahip olmaları hem de olaylara havada reaksiyon gösterme sürelerinin kısılmasından dolayı İHS'ler artık birer savaş uçağı olarak da değerlendirilmektedir. Savaşçı İHS'ler bu grupta yer almaktadır.

2.2. Araç Rotalama Problemleri (VRPs)

Depo ve müşteriler arasında malların dağıtımıyla ilgilenen problemler, ARP olarak adlandırılır (Toth ve Vigo, 2001). ARP uygulama alanlarına;

- ✓ Tüketim Malzemelerinin Perakendecilere Ulaştırılması,
- ✓ Satış Otomatları ve Telefonlardan Paranın Toplanması,
- ✓ Yakıt, Mektup, Sipariş ve Evrak Dağıtımı,
- ✓ Koşarak Hedef Bulma (Orienteering) Problemleri,
- ✓ Çöplerin Toplanması,
- ✓ Devriye Hizmeti,
- ✓ Tehlikeli Maddelerin Ulaştırılması,
- ✓ ATM'lerin Kontrolleri,
- ✓ Servis Güzergâhlarının Belirlenmesi,
- ✓ Dayanaksız Tüketim Mallarının Dağıtımları örnek gösterilebilir.

ARP'de, her biri kendi deposundan hareket eden ve yine bir depoya dönen araçlar tarafından gerçekleştirilen, müşterilerin tüm ihtiyaçlarını verilen kısıtlar altında karşılayan ve taşıma maliyetlerin veya katedilen yolun/sürenin minimize edildiği rotalar belirlenir. İHS'lerin de, belirli bir YKİ'den hareket eden İHA'lar vasıtasıyla, belirlenen hedeflerin belirtilen tahditler altında gözetleyerek yine bir YKİ'ye dönen ve İHA'nın katettiği mesafenin minimize edildiği bir problem olması sebebiyle, ARP problemi olarak ele alınarak bu kapsamda çözüm aranabilir.

İHS için rota planlaması kapsamındaki sınıflandırmalar Ercan ve Gencer (2013) tarafından yapılmıştır. Söz konusu sınıflandırmalardan Dinamik ARP (DARP) konusu, bu çalışmada ele alınmış ve DARP doğasının, çözüm yöntemlerine olan etkileri incelenmiştir.

3. Dinamik ARP'nin Statik ARP'den Farkı ve Çözüm Yaklaşımlarına Etkisi (Difference between Dynamic VRP and Static VRP and effects on the solution approaches)

Powell ve arkadaşlarına (1995) göre; bir problemin parametrelerinin en az birisi zamanın bir fonksiyonu ise, model yürütülen faaliyetlerle zaman ekseninde etkileşimli ise veya yeni gelen bilgilerle çözüm yenileniyorsa dinamiktir. Günümüzde, ATM makinelerini tamir eden gezgin tamirci problemi, şehirlerarası veya uluslararası mektup/paket servisi, hasta veya yaşlıların telefon ile aranarak servis taşımacılığı, taksi hizmetleri ve acil servis hizmetlerinde (Polis, ambulans, itfaiye v.b.) DARP sıklıkla uygulanmaktadır.

Benzer şekilde, İHS'lerin görev planlamalarında, hedeflerin kesin yerlerinin ve zamanlarının bilinmemesi veya hedeflerin tespit edilmemek için uyguladıkları aktif ve pasif önlemler dikkate alındığında, dinamik çözüm yaklaşımları daha gerçekçi olacaktır. Hedeflerin yer ve zamanlarının bilinmediği problemlerin "dinamik" çözümü ile hedeflerin yer ve zamanının bilindiği "statik" çözümler birbirinden çok farklı yaklaşım sergilerler. Statik rota planlamaları, "planlı" hedefler için görev öncesi yapılır ve görev esnasında "anı" ortaya çıkan bir hedef olsa dâhi değiştirilmez. Dinamik rota planlamalarında ise durum farklıdır ve "plansız" hedeflere göre kısıtlar göz önünde bulundurularak rotalar değiştirilebilir.

Psarafitis makalesinde (1998; Larsen ve diğ., 2007), DARP çözümlerini SARP'den farklı kılan özellikleri aşağıdaki şekilde tanımlamıştır:

1. Zaman bölmesi gereklidir.
2. Problem açık uçlu olabilir.
3. Gelecek bilgiler bilinmeyebilir veya kesin olmayabilir.
4. Yakın dönem olayları daha önemlidir.
5. Yeniden sıralama ve yeniden atama kararları gerekebilir.
6. Bilgi güncelleme mekanizmaları zorunludur.
7. Daha hızlı hesaplama zamanları gereklidir.
8. Muğlak erteleme mekanizmaları zorunludur.
9. Amaç fonksiyonu değişik olabilir.
10. Zaman kısıtları farklı olabilir.
11. Değişik araç filoları esnekliği düşüktür.
12. Kuyruk hesaplamaları önemli olabilir.

Psarafitis 1995 yılında yaptığı çalışmasında ise, ARP için girdi olan bilgilerin formları hakkında statik ve dinamik duruma göre Çizelge-2'de özetlenen sınıflandırmaları yapmıştır.

Çizelge-2. ARP için girdi olan bilgilerin sınıflandırılması (Classification of the input information for VRP)

	STATİK	DİNAMİK
Bilginin Gelişimi	<ul style="list-style-type: none"> • Değişmez/güncellenmez. 	<ul style="list-style-type: none"> • Zaman ilerledikçe bilgiler genelde tazelenir/güncellenir.
Bilginin Kalitesi	<ul style="list-style-type: none"> • İyi (deterministik). 	<ul style="list-style-type: none"> • Yakın dönem olayları: İyi, olasılıklı. • Uzak dönem olayları: Belirsiz.
Bilginin İşlenmesi	<ul style="list-style-type: none"> • Merkezi: Tek yerde toplanır, işlenir. • A.Merkezi: Her bir İHS'de toplanır, kendi karar verir. 	<ul style="list-style-type: none"> • Merkezi: Tek yerde toplanır, işlenir. • A.Merkezi: Her bir İHS'de toplanır, kendi karar verir.

Dinamik ve statik ARP'nin farklılıkları konusunda daha detaylı bilgi için Larsen ve diğ. (2007)'nin çalışması incelenebilir. DARP çözümlerinde yukarıdaki hususlar ile birlikte dikkate alınması gereken diğer bir konu ise problemin dinamiklik derecesidir.

3.1. Dinamiklik Dereceleri (Degree of Dynamism)

Operasyon esnasında meydana çıkan yeni bilgiler, sistemin dinamikliğini değerlendirmede kullanılır. Larsen (2000), sistemin dinamiklik derecesini (dod) "dinamik taleplerin toplam taleplere oranı" olarak tanımlamıştır. Örneğin, gözetlemesi yapılan 10 hedeften 2'si gözetleme faaliyeti başladıktan sonra sisteme girmişse, sistem %20 dinamiktir. Larsen'e göre, sistemin dinamikliğini etkileyen diğer bir husus da, operasyon esnasında meydana gelen yeni güncellemelerin operasyon sürecinin başına veya sonuna yakın olmasıdır. Dinamikliğin efektiflik derecesi (edod) olarak adlandırılan bu durum şu şekilde tanımlanmıştır: 0'da başlayan ve T'de biten bir operasyon olsun. Yeni bir hedef emri T_i zamanında gelsin ($0 < T_i < T$). Ani hedeflerin sayısı n_{ani} ile, daha önceden planlanan hedeflerin sayısı ise $n_{planlı}$ ile gösterilsin. Operasyon esnasında gözetlenen toplam hedef sayısı $n_{toplam} = n_{planlı} + n_{ani}$ olsun. Larsen (2000), edod'u şu şekilde tanımlamıştır: $Edod = \sum_{i=1}^{i=n_{ani}} (t_i \setminus T)$. Buradan da görüleceği gibi edod, 0 ile 1 arasında değişen bir değerdir ve aşağıdaki şekilde sınıflandırmıştır:

Zayıf Dinamik Sistemler: Bu tür sistemler, müşterilerin çoğunluğunun (%80) tur kurulmadan önce bilindiği sistemlerdir. Örneğin, özel evlere ısınma için gaz ve yakıt sağlayan firmaların oluşturduğu sistemler.

Orta Derecede Dinamik Sistemler: Uluslararası paket\mektup\kargo taşımacılığı ile malzeme tamirini içeren sistemler bu türdür. Bu tip sistemlerde zayıf dinamik sistemlere göre daha çok ani hedefler oranı mevcuttur.

Kuvvetli Dinamik Sistemler: Polis, ambulans ve itfaiye gibi acil servisler ile taksicilik hizmetlerini içeren bu tür dinamik sistemlerde, çok az müşteri önceden bilinir. Bu tip sistemler hızlı değişimlerle ve taleplerin acil karşılanması gerekliliği ile özdeşirler.

Bu kapsamda, stratejik seviyede gözetleme için rutin görevlerde kullanılan İHA'ların oluşturduğu sistemler, zayıf dinamik sistemler olarak; taaruzi maksatlı görevlendirilen sistemler ile bilinmeyen bir bölgede keşif görevi icra eden Taktik İHA'lar ise orta veya kuvvetli sistemler olarak değerlendirilebilir. Yeni gözetlenmeye başlayan hedeflerin olduğu görevler ilk başlarda kuvvetli derecede dinamik iken, gün geçtikçe ve sorumluluk sahası hakkında bilgiler toplandıkça zayıf derecede dinamik sistemlere dönüşürler. Çözüm yaklaşımlarında dikkat edilmesi gereken bu hususlar, çözüm için gereken işlem zamanını da etkiler.

Dinamik sistemlerin çözümünde genelde kullanılan ve Larsen (2000) tarafından önerilen iki yaklaşım vardır. Biri zaman bölmeli çözümler, diğeri ise frekans bölmeli çözümlerdir. Zaman bölmeli çözümlerde, yeni hedeflerin sisteme ilave edilmesi belirli bir zaman periyodunda yenilenirken, frekans bölmeli çözümlerde ise yeni hedeflerin daha önceden belirlenen belirli bir sayıya (frekansa) ulaşmasıyla gerçekleştirilir. Zayıf dinamik sistemlerin çözümünde frekans bölmeli çözümlerin daha etkin olduğu ifade edilmiştir (Larsen , 2000). Bu önerilere ilave olarak her iki metodun kuvvetli yanlarının birleşimi olan yeni bir metot; zaman içerisinde miktar tabanlı uygulama metodu İHS'ler için kullanılabilir. Bu metotta, dinamik taleplerin önceden belirlenen zaman periyodunda yine daha önceden belirlenen bir eşığe ulaşılması halinde çözüm algoritması çağırılır. Örneğin her 10 dakikada bir 2 dinamik hedefin belirlenmesi gibi.

3.2. Statik, Dinamik, Deterministik ve Stokastik ARP Karşılaştırması (Comparison of static, dynamic, deterministic and stochastic VRPs)

Dinamik modelde önemli olan algoritmanın herhangi bir zaman için çalıştırılabilir olmasıdır. Diğer bir ifade ile, çözüm süreci herhangi bir anda durdurulabilir olmalı ve kabul edilebilir bir çözüm önerebilmelidir. Dinamik ARP'nin, statik, deterministik ve stokastik ARP(StoARP)'ler ile karşılaştırması Çizelge-3'te özetlenmeye çalışılmıştır.

Çizelgeden de anlaşılacağı üzere dinamik durum, problem yapısı olarak statik durumdan çok farklıdır ve değişik çözüm yaklaşımlarına ihtiyaç duyar. Buna rağmen, dinamik problemi çözmenin yollarından biri de, her yeni durum için statik durumun yeniden çözülmesidir. Ancak, dinamik durumda tüm hedeflerin değişmesi pek olası olmadığı gibi, değişikliğin bir önceki statik durumdaki

hedeflerin çoğunu hâlâ geçerli kılacak olması nedeniyle bu durum etkin olmayacaktır (Zucker ve diğ., 2007). Bu sebeple, dinamik durum için işlem zamanı daha az olan ve kısa sürede sonuca ulaştıracak çözüm metotları aranır.

Çizelge-3. Statik, Dinamik, Deterministik ve Stokastik ARP Karşılaştırma Matrisi
(Comperation table of static, dynamic, deterministic and stochastic VRPs)

	STATİK	DİNAMİK
DETERMINİSTİK	<ul style="list-style-type: none"> Klasik kapasite kısıtlı ARP. Tüm veriler önceden bilinir. Zaman içerisindeki değişiklikler açıkça dikkate alınmaz. Kesin olarak belirlenmiş hedefe bomba bırakan Taaruzi İHA bu kısımda değerlendirilebilir. 	<ul style="list-style-type: none"> Verilerin hepsi bilinir. Bilinenlerin bazıları zamana dayalıdır. Burada yolculuk zamanı günün saatlerine göre farklılık gösterebilir. ARP'de yeri bilinen ancak zamanı bilinmeyen hedefler veya hava sahasının yoğunluğunun sisteme dahil edilmesi gibi.
STOKASTİK	<ul style="list-style-type: none"> Rota planlaması, belirsiz olan veriler kesinleşmeden, uçuş öncesi yapılır. Veriler belirsizse, rastgele değişkenlerin talepleri tamamen karşılanamayabilir. Amaç fonksiyonu deterministik ve belirsizlik kısıtta ise, kısıtlar belli bir olasılıkla sağlanır. Bu durumda genelde; Birinci adımda belirsiz veriler ele geçmeden planlama yapılır. İkinci adımda ise değişkenler kesinleşince, düzeltmeler \iyileştirmeler yapılır. Burada amaç birinci adımın maliyeti ve ikinci adımın değişiklik maliyeti toplamını azaltmaktır. 	<ul style="list-style-type: none"> Gerçek zamanlı ARP ve dağıtım (Real time routing and dispatching) olarak da bilinir. Kesin olmayan veriler, stokastik süreçlerle tanımlanır. Örneğin müşteri talepleri poisson dağılıma göre olabilir. Belirsiz veriler, operasyonun gelişen safhalarında netleşir. İlk kez gözetlenen, hakkında daha önceden bir istihbarat elde edilmemiş veya az bilinen görev bölgeleri bu kapsamda ele alınabilir.

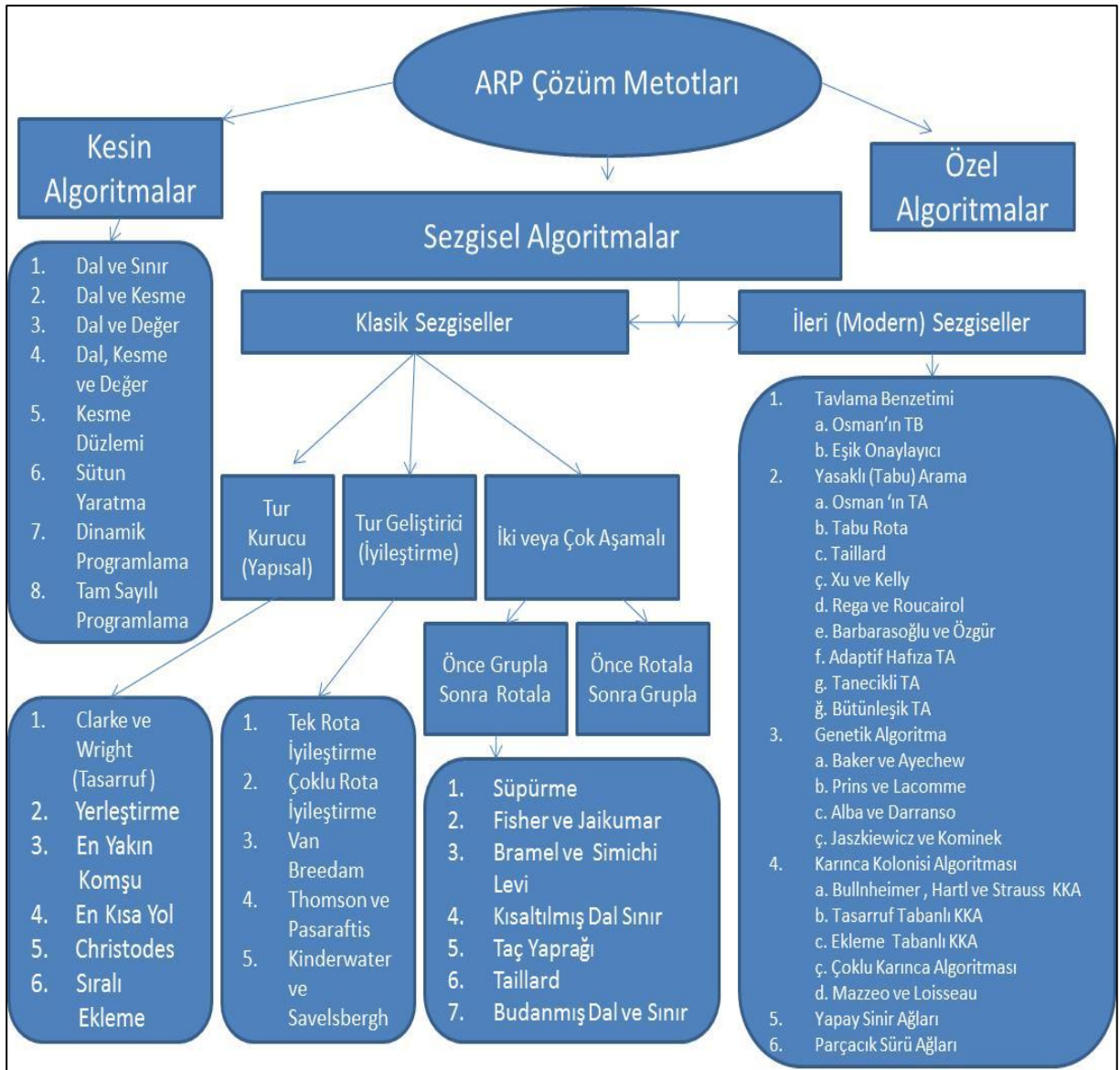
Yukarıda detayları verilen özellikler aynı zamanda bir sonraki bölümde açıklanan dinamik çözüm yaklaşımlarında problemin tipine bağlı olarak dikkate alınması gereken hususlardır.

4. ÇÖZÜM METODU YAKLAŞIMLARI (SOLUTION APPROACHES)

Keşif ve gözetleme görevlerinde kullanılan İHS'lerin bir YKİ'den kalkıp, hedefleri gözetledikten sonra yine emniyetli bir kontrol istasyonuna inmesi gerekir. Binlerce olasılığın bulunabileceği bu rotalardan en kısa olanını bulmak zor ve uzun zaman gerektiren bir planlamadır. Bu tür problemler NP-Zor tipi problemlerdir (Lenstra, 1981) ve problemin doğası gereği bazı durumlarda en uygun çözüme ulaşmak uzun sürebilir. Ancak, çok sayıda olan hedefler için görevlendirilecek ve üzerlerinde farklı türde faydalı yük taşıyan İHA'ların görev rotalarının belirlenmesi veya güncellenmesi için gereken işlem zamanı, görevin kritik ve zamana hassas görev olması nedeniyle, mümkün olduğu kadar kısa olmalıdır. Bu kapsamda, kullanılan optimizasyon teknikleri, talep edilen çözüm sürelerine göre farklılık göstermektedir.

ARP için çözüm metotları tanımlamalarında ve sınıflandırmalarında farklılıklar olmasına rağmen, çözüm metotları Şekil-1'deki gibi gruplandırılmaya çalışılmıştır (Toth ve Vigo, 2001; Erol, 2006; Sarıgöl, 2007; Özfirat, 2008; Yılmaz, 2008). ARP modelleri için kullanılan çözüm algoritmaları; kesin algoritmalar, sezgisel algoritmalar ve özel algoritmalar olmak üzere üç sınıfa ayrılabilir.

ARP için uygulamalarda daha çok sezgiseller kullanılmasına rağmen çözüm zamanının düşük olacağı küçük örnekler için kesin algoritmalar da kullanılmaktadır. Özellikle bilişim teknolojilerindeki hızlı gelişmeyle beraber, literatürde yer alan çalışmaların büyük kısmı sezgisel tekniklerden faydalanmaktadır. İHA'ların sınırlı havada kalış kapasiteleri ve bu sürede gözetlenecek hedef miktarları dikkate alındığında istenilen "kısa sürede en iyi rotanın bulunması" imkânsız olabilir. Bu sebeple, harekâti etkilemeyecek bir sürede rota çözümlerinin değerlendirilerek en iyi olmasa da kabul edilebilir iyi bir çözümün bulunması gerekmektedir. Bu ise tüm çözüm uzayının değerlendirilmesindenense, bu uzayda yer alan bazı çözümlerin değerlendirilmesi anlamına gelir ki, değerlendirilecek bu çözümlerin ölçütleri seçilecek sezgiselle göre değişiklik gösterir. En iyi çözüm, değerlendirilen bu "bazı çözümlerin" içerisinde olmayabilir. Kesin algoritmaların kapasitelerinin sınırlı olması nedeniyle araştırmacıların problem çözüme sürecine sezgiye dayalı çözüm bilgisini ortaya koydukları ve sezgiye dayalı algoritmalarda çok iyi sonuçlar elde ettikleri Zheng ve diğ. (2007) tarafından ifade edilmiştir.



Şekil-1. ARP Çözüm Metotları (VRP solution methods)

Şekil-1’de sınıflandırılması sunulan ARP çözüm metotlarının tanımları aşağıda verilmiş, bu kapsamda son dönemdeki araştırmaların odağı olan genel amaçlı meta sezgiseller detaylandırılmış ve problemin doğrusal modeli sunulmuştur.

4.1. Kesin Algoritmalar (Exact Algorithms)

Kesin algoritmalar, hesaplama bakımından zor ancak en iyi sonucu veren yöntemlerdir. Problemin boyutu arttıkça bu yöntemlerin uygulanması üssel bir biçimde zorlaşır (Chandler ve Pachter, 1998). Bu nedenle, özellikle planlama zamanının önemli olduğu ve hedef sayısının çok olduğu büyük boyutlu problemlerde daha az işlem yapılarak, fakat daha kısa sürede en iyi çözüme yakın sonuçlar veren sezgisel yöntemler kullanılabilir.

4.2. Sezgisel Algoritmalar (Heuristic Algorithms)

ARP'nin NP-Zor problemler kategorisinde olması nedeniyle en iyi çözümü veren metotlardaki yetersizlikten dolayı, bu tür problemlerin çözümünde genellikle sezgisel teknikler tercih edilmektedir. Sezgisel algoritmalar; klasik sezgiseller ve ileri (meta veya modern diye de adlandırılır) sezgiseller olmak üzere iki kategoride toplanmaktadır (Şekil-1). 1990 yılına kadar genelde, birinci kategorideki çalışmaların yapıldığı, 1990 yılı sonrasında ise çalışmaların ileri sezgisellere yöneldiği dikkat çekicidir.

4.2.1. Klasik Sezgiseller: Problem boyutu arttıkça kesin çözüm veren yöntemlerin uygulanması uzun zaman alır. Sezgisel yöntemler, arama uzayında daha sınırlı çözüm kümesini dolaşan ve kabul edilebilir hesaplama zamanında uygun çözümler verebilen yöntemlerdir. Bu alandaki ilk sezgisel yaklaşım, 1964 yılında Clarke ve Wright tarafından geliştirilmiştir.

Özellikle son çeyrek yüzyılda optimizasyon sahasında çalışan bazı bilim adamları genel amaçlı, esnek ve performansı yüksek yöntemler geliştirmek için dikkatlerini doğada var olan ve çalışan doğal sistemler ile bu sistemlerden cereyan eden olaylara yöneltmişlerdir. Tabiiatta var olan karmaşık ve zor doğal optimizasyon problemleri, yine tabiiatta var olan karmaşık ve zor doğal yöntemlerle çözülebileceğine inanan Karaboğa (2004), doğada var olan sistemleri ve olayları temel alarak oluşturulan optimizasyon yöntemlerini sezgisel yöntemler olarak isimlendirmiştir.

Tüm heterojen ve dinamik ARP çeşitleri, ARP'nin özel bir versiyonu oldukları için NP-Zor türü problemlerdir. Bu yüzden bu alandaki çalışmaların büyük çoğunluğunun, en iyiyi veren çözüm metotları yerine sezgisel algoritmaların geliştirilmesi üzerine yoğunlaştığı görülmektedir. Bazı çözümler klasik sezgiseller ile, bazı çözümler ise ileri sezgiseller ile iyi sonuçlar vermektedir. Problemin doğası gereği, heterojen ve dinamik ARP konusundaki çalışmaların büyük bir bölümü, çözüme ulaşmak için ileri sezgiselleri kullanmışlardır.

4.2.2. İleri Sezgiseller: Meta, modern veya diğer adıyla ileri sezgisel yöntemler, tüm çözüm alanı yerine, en elverişli bölgelerinin detaylı aranmasını gerçekleştirmeye dayalı yöntemlerdir. Bazı araştırmacılara göre ileri sezgisel yöntemlerle üretilen çözümlerin kalitesi, klasik sezgisellerle elde edilenlere göre daha iyidir. İleri sezgisel teknikler, klasik sezgisel tekniklere göre performans üstünlüğü sağlamasına rağmen daha çok hesap çabası gerektirmektedir. Cordeau ve diğ. (2002), iyi bir sezgisel algoritmanın kriterlerini doğruluk, hız, basitlik ve esneklik olmak üzere dört başlık altında toplamışlardır. Son dönemde yoğun olarak uygulama alanı bulan ileri sezgisel metotlar aşağıdaki şekilde detaylandırılabilir (Cura, 2008):

4.2.2.1. Tavlama Benzetimi (TB): Bu algoritma, bir metalin soğuyarak ve donarak minimum enerjili kristal yapısına dönüşmesi ile daha genel bir sistemde minimumun araştırılması arasındaki benzerlikten yararlanır. TB'nin diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında gözlemlenen en önemli avantajı, yerel minimumdan kurtulabilme yeteneğidir. Yaklaşım, yalnız amaç fonksiyonundaki iyileştirmelere bağlı olmayan, aynı zamanda bazı kötüleşmeleri de kabul eden bir rastlantı arama stratejisini benimser. Söz konusu aramada, ulaşılan yeni pozisyonda eğer amaç fonksiyonunda kötüleşme varsa bir kabul olasılığına bağlı olarak bu yeni noktaya gidilir veya bir önceki pozisyona geri dönlür.

4.2.2.2. Yasaklı (tabu) arama (YA): Bu algoritmada temel yaklaşım, son çözüme götüren adımın, dairesel hareketler yaratmasını engellemek için bir sonraki döngüde tekrarın yasaklanması veya cezalandırılmasıdır. Yasaklı arama yöntemi, kısmen benzer olaylarda rastlantılı işlemler gerçekleştirirken insan davranışının tutarsızlığa eğilimli olmasından esinlenmiştir. Algoritma, yerel minimuma doğru hareket ederek başlar. Daha önce yapılmış hareketlere tekrar dönüş yapmayı

engellemek için yöntem, bir veya daha fazla tabu listesi tutar. Başlangıçta hedef, çözüm uzayında kaba araştırma yapmaktır. Aday konular belirlendikçe arama yerel en iyi çözümü üretmeye odaklanır.

4.2.2.3. Genetik Algoritma (GA): GA da tüm sezgisel yaklaşımlar gibi rastlantı aramaya dayanmaktadır. Bu tip algoritmalar temel olarak evrimsel sistemin doğal işleyişini, canlandırabilecek şekilde biçimlendirilmiştir. Bunların başında da ilk kez Charles Darwin tarafından ortaya atılan en uygun olanın hayatta kalabilmesi prensibi gelmektedir. Zayıf bireyler, yeni bireyleri ya çok az üretebilecek kadar yaşarlar ya da hiç yeni bireyler oluşturmadan ölürlür. Ancak, daha güçlü olanlar daha uzun hayatta kalacaklarından çok daha fazla yeni birey üretecek ve kendine benzer özelliklere sahip evlatları olacaktır. GA'da, en iyilenecek fonksiyonun parametreleri, kromozomlar içinde yer alan genler olarak kodlanır. Başlangıçta rastlantı olarak belirlenmiş bireylerden (kromozomlardan) bir populasyon havuzu oluşturulur. Daha sonra birey çiftleri fonksiyon optimizasyonundaki performanslarına bağlı olarak bu havuzdan seçilir. Oluşan çocuklar ebeveynlerin yerini alırlar ve yeni bir nesil oluşur.

GA kullanan çözümlerde, GA'nın populasyon genişliği, kuşak sayısı gibi bazı parametreler için araştırmacılara esnek kullanım imkânı vermesinden dolayı yoğun olarak tercih edilmektedir. Ayrıca, paralel algoritmaların kullanıldığı çözümlerde, işlem zamanında önemli kazanımlar elde edilmektedir.

4.2.2.4. Karınca Kolonisi Algoritması (KKA): KKA, karıncaların beslenme davranışlarından esinlenmiştir. Birçok karınca türünde, karıncalar yemek kaynağına gidip gelirler ve yere feromon denilen bir madde bırakırlar. Diğer karıncalar, feromonun varlığını algılayarak feromon yoğunluğuna göre hareket ederler. Böylece bir yoldaki mevcut feromon artar veya azalır. Kısa bir yol üzerinde karıncalar daha sık gidip geldiğinden, daha fazla feromon izi bırakırlar. Öte yandan uzun yollar üzerindeki feromon azalacağından, koloninin diğer karıncaları tarafından da takip edilmezler.

4.2.2.5. Yapay Sinir Ağları (YSA): YSA, beyin gibi biyolojik bir sinir sisteminden etkilenilerek ortaya atılmış olan bir bilgi işleme modelidir. Bu modelin en önemli parçası yeni bir bilgi işleme yapısıdır. YSA'nı herhangi bir problemi çözmek için çok yüksek sayıdaki birbiriyle etkileşimli parçacıkların (nöronların), ahenk içinde çalışmasından oluşan bir bütün olarak algılamak mümkündür. YSA'larının önemli unsurlarından bir tanesi de öğrenme sürecidir. Biyolojik sistemlerde öğrenme, nöronlar arasındaki sinaptik bağlantıların düzenlenmesi ve biçimlenmesi şeklinde gözlemlenmektedir. Benzer yaklaşım söz konusu YSA için de geçerlidir.

4.2.2.6. Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO): PSO, kuş sürülerinin davranışlarından esinlenilerek geliştirilmiş populasyon tabanlı bir stokastik optimizasyon tekniğidir. Algoritma, potansiyel çözümlerin oluşturduğu bir kümenin, belirli bir problemin uygun çözümüne yaklaşmak için evrime uğradığı populasyon temelli bir algoritmadır. Bir optimizasyon tekniği olarak amacı, belirli bir çözüm uzayında tanımlanmış bir fonksiyonun global en iyi noktasını bulmaktır.

4.3. Özel Algoritmalar (Special Algorithms)

Bu tür algoritmalar, problemlerin özel durumları için geçerlidir ki, bunlar kesin veya daha iyi sezgisel çözümlerin olduğu alt problemlerdir. Problem, alt problemlere bölünebilir ve alt problemler ayrı ayrı özel algoritmalarla çözülebilir. Bu durum, farklı tekniklerin birleştirilmesi ile sağlanabilir (Hromkovič, 2004'ten aktaran Alpdoğan, 2008).

Genel olarak 1970'li yıllarda ARP'nin çözüm yöntemleri rota kurma, geliştirme ve iki aşamalı sezgiseller üzerine iken; daha sonraları matematik programlama tabanlı sezgiseller üzerine yoğunlaştığı görülmektedir. Sezgiseller daha fazla hesaplama çabası gerektirmesine rağmen kabul edilebilir kaliteli sonuçlar üretmektedir. 1990'larda ise meta hüristikler uygulanmaya başlanmıştır.

4.4. Matematiksel Model (Mathematical Model)

Bir önceki bölümde detaylandırıldığı gibi problemin yapısına bağlı olarak, uygulanan çözüm algoritmaları ve sonuçları değişiklik gösterebilmektedir. Klasik tek YKİ'li, simetrik ve heterojen bir İHA filosu için kullanılacak matematiksel programlama modeli aşağıda sunulmuştur.

$G=(V,E)$ bir graf, $V=\{v_0, v_1, \dots, v_n, v_{n+1}\}$ hedefler kümesi ve $E=\{(v_i, v_j): v_i, v_j \in V, i \neq j\}$ hedefler arasındaki yolları gösteren kenar kümesi olsun. Burada $\{v_0, v_{n+1}\}$ YKİ, $\{v_1, \dots, v_n\}$ ise gerçek hedefler kümesidir.

Kullanılan notasyonlar:

i, j : Hedefler kümesi,

M : İHA sayısı,

N : Hedef sayısı (0 numaralı ve $n+1$ numaralı hedef, YKİ'yi temsil eder),

d_{ijk} : "i" ve "j" hedefleri arasındaki mesafede "k" numaralı İHA'nın uçuş süresi ($d_{ijk} \geq 0$),

"i" ve "j" hedefleri arasındaki mesafenin "k" numaralı İHA'nın hızına bölünmesiyle bulunur.

S_{jk} : "j" hedefinin "k" numaralı İHA tarafından gözetlenmesi halinde, gözetlenme süresi ($S_0 = S_{N+1} = 0$),

C_k : "k" numaralı İHA'nın maksimum havada kalış süresi (dayanıklılık) ($C_k > 0$),

Değişken:

x_{ijk} : "k" numaralı İHA, "i" hedefinden "j" hedefine giderse 1, aksi halde 0.

Amaç Fonksiyonu:

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

Kısıtlar:

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

$$\sum_{k=1}^M \sum_{j=1}^{N+1} x_{ijk} = 1, \quad \forall i \in \{0, \dots, N\} \quad i \neq j \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^M \sum_{i=0}^N x_{ijk} = 1, \quad \forall j \in \{1, \dots, N+1\} \quad i \neq j \quad (4)$$

$$\sum_{i=0}^N x_{ipk} - \sum_{j=1}^{N+1} x_{pjk} = 0, \quad \forall p \text{ ve } \forall k \text{ için} \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^N S_{jk} \sum_{i=0}^N x_{ijk} + \sum_{i=0}^N \sum_{j=1}^{N+1} d_{ijk} x_{ijk} \leq C_k, \quad \forall k \in \{1, \dots, M\} \quad i \neq j \quad (6)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\} \quad \forall i, \forall j \text{ ve } \forall k \text{ için} \quad (7)$$

(1) numaralı amaç fonksiyonu, İHA'ların görevleri esnasında yolda geçen niteliksiz sürelerin yani maliyetin en azaltılması gerektiğini ifade etmektedir. Burada d_{ijk} tercih edilmesinin sebebi, İHA filolarının heterojen olmalarından dolayı hızlarının farklı olabileceği ve bu nedenle aynı hedefler arası farklı İHA'ların uçuş sürelerinin farklı olmasındandır. (2) numaralı denklem, YKİ'den görevlendirilecek toplam İHA sayısının M adet olduğunu; (3) ve (4) numaralı kısıt denklemleri, bir hedefin mutlaka ve sadece bir İHA tarafından gözetleneceğini göstermektedir. (5) numaralı kısıt ise hedef üzerine bir İHA gelmişse, rotanın devamlılığı için aynı İHA'nın o hedeften ayrılmasını sağlamaktadır. Formüldeki "p" tıpkı "j" gibi hayali bir hedef olarak düşünülebilir. (6) numaralı kısıt ise hedeflerin gözetlenmesi için ve hedefler arasında İHA'nın intikali için geçecek toplam zamanın, o rotada kullanılmasına karar verilen İHA'nın kapasitesi olan C_k 'yi geçmemesi gerektiğini belirtmektedir. Burada " C_k " ile İHA'ların, " S_{jk} " ile hem İHA'ların hem de hedeflerin heterojenliği sağlanmaktadır. Farklı faydalı yük taşıyan İHA'ların aynı hedef üzerinde aynı görevi icra etmesi için geçecek süre farklı olabilir.

Hedef sayısının fazla ve ihtiyaç duyulan çözüm sürecinin kısa olduğu durumlarda sezgisel yöntemlere başvurulur. Matematiksel modeli yukarıda verilen problemin GA tabanlı genel uygulamaları için kaba kodu aşağıda sunulmuştur (Aytemiz, 2008).

Genetik Algoritma (Kaba Kod)	
Genetic_Algorithm(P, f, M, \mathcal{C} , \mathcal{F} , K)	
$\mathcal{P} \leftarrow \text{POP}(M)$	► M çözümlü bir popülasyon, \mathcal{P} , oluştur.
$f(x^*) \leftarrow \text{Min}\{\mathcal{P}\}$	► Popülasyon içindeki en iyi çözümü bul.
$\mathcal{F}(\mathcal{P})$	► Popülasyonun fitness değerlerini hesapla.
$k \leftarrow 1$	
While $k \leq K$ (veya karar probleminin yanıtı hayır)	
$\{x_1, x_2\} \leftarrow \text{SEÇ}(\mathcal{P})$	► Popülasyondan iki adet aile çözüm seç.
$\{x_3, x_4\} \leftarrow \mathcal{C}(x_1, x_2)$	► Çaprazlama ile iki adet çocuk çözüm üret.
if $f(x_3) < f(x^*)$	
then	
$x^* \leftarrow x_3$	► En iyi çözümü güncelle.
$f(x^*) \leftarrow f(x_3)$	
if $f(x_4) < f(x^*)$	
then	
$x^* \leftarrow x_4$	► En iyi çözümü güncelle.
$f(x^*) \leftarrow f(x_4)$	
$\mathcal{P} \leftarrow \text{GÜNCELLE}(\{\mathcal{P} \cup x_3 \cup x_4\})$	► Popülasyonu güncelle.
$\mathcal{F}(\mathcal{P})$	► Popülasyonun fitness değerlerini hesapla.
$k \leftarrow k + 1$	
Return $x^*, f(x^*)$	

Hava Kuvvetleri'nin gözlem amaçlı olarak kullandığı İHA görev planlamasına yardımcı olabilecek GA tabanlı örnek uygulama, Pakkan ve Ermiş (2010) tarafından homojen İHA'lar için çalışılmıştır. Çalışmada, yinleme sayısı 6000, popülasyon boyutu 80 olarak ele alınmış ve 15, 30, 45 ve 60 adet sabit hedefler için 3, 5 ve 10 adet İHA'nın izleyeceği rotalar verilmiştir.

5. ÇÖZÜM METOTLARI LİTERATÜR ARAŞTIRMASI (LITERATURE REVIEW OF SOLUTION METHODS)

Bu bölümün amacı, İHS konusunda "ARP" kapsamında yapılan çözüm metotlarının incelenmesi, Türkiye'de benzer alanda yapılan çalışmaların tespiti, böylelikle yapılacak çözüm metotlarına ilişkin tavsiyelerde bulunulmasıdır.

ARP, gerçek hayat problemlerini yansıtmak için çeşitli varsayımlar altında değişik isimlerle incelenmektedir. Bu konudaki değişik uygulamalar Toth ve Vigo (2001) tarafından araştırılmış ve statik çözümlere ilişkin modeller sınıflandırmalara göre ayrı ayrı sunulmuştur. Literatürde en çok uygulanan Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi (ZPARP) konusunda yapılan sezgisel çalışmaları Tan ve arkadaşları (2001) araştırmışlar, yerel arama, melez tavlama benzetimi ve yasaklı arama algoritmaları kullanarak çözümleri iyileştirecek müşteri değişim metotlarını inceleyerek melez GA ve yerel arama metotlarını önermişlerdir. Hax ve Candea (1984) ise çalışmalarında, önceden belirlenmiş zaman pencereli ve talepleri bilinen dağıtık müşterilere hizmet vermek üzere bir merkezden yola çıkan araç filosunun rotalarını çalışmışlardır. Bu konudaki sınıflandırmalar ve uygulamalar Osman (1993), Laporte (1991) ve Bodin (1983)'ün çalışmalarında verilmiştir.

En iyiye yakın çözümleri veren sezgiseller konusundaki çalışmalar; Kontoravdis ve Bard (1994), Kohl ve Madsen (1997), Thompson ve Psaraftis (1993) ile Kolen ve arkadaşlarının (1987) da aralarında bulunduğu birçok araştırmacı tarafından günümüze dek çalışılmalıdır. Kolen ve arkadaşlarının (1987) çalışması ZPARP için yapılan ilk optimizasyon algoritması olup, problemin çözümü için sezgisel dal ve sınır tekniği önerilmiştir. Daha sonra Lau (2003) ve arkadaşları, ZPARP'yi heterojen filolar için çalışmışlardır.

ZPARP konusu; ayrıştırma algoritmaları kullanılarak Cook ve Rich (1999) tarafından ve kolon üretme algoritması kullanılarak Larsen (2000) tarafından çalışılmıştır.

ARP konusundaki benzer çalışmalar, gelişmelere paralel olarak ülkemizde de devam etmektedir. Buradan sonraki bölümde, son on yılda Türkiye’de benzer konularda yapılan tez çalışmaları kronolojik sıraya göre incelenmiştir. Devamında ise, ARP’yi İHA’lar üzerinde uygulayan çalışmalara yer verilmiştir.

Gezdur (2003), tümleşik araç rotalama için tam sayılı algoritma konusunda çalışmış ve ZPARP ile tesis yerleştirme problemi arasında sıkı bir ilişkinin olduğunu ifade etmiştir. Çalışmada, dal ve sınır tekniğini kullanan kolon üretme ile dinamik programlama çözüm metotları; heterojen filolu, zaman pencereli ve farklı kapasiteli ARP’ler için incelenmiştir.

Özaydın (2003) araştırmasında, ZPARP için doğrusal bir tamsayı programlama modeli ve problemin çözümü için melez sezgisel yaklaşımlar önermiştir. Önerilen sezgisel algoritmalar iki bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm, daha sonra geliştirilebilmek üzere bir başlangıç çözümü oluşturmaya yöneliktir. Başlangıç çözümü algoritmasının paralel ve sıralı versiyonları önerilmiştir. Her iki yaklaşım da müşterileri rotalara atarken onları gruplandırma esasına dayanmaktadır. İkinci kısım ise üç farklı prosedürü içeren bir çözüm geliştirme algoritmasıdır. Bu üç prosedür rotalar arası değişim, rotalar arası taşıma ve rota içi değişimdir.

Homojen İHA’ların statik rotalama problemini iki boyutlu olarak ele alan Kocabaş (2003), kısıtların yapısına bağlı olarak farklı çözüm yöntemlerini kullanmıştır. Bunlar en iyi yöntem, Clarke ve Wright kazançlar sezgiseli, tarama sezgiseli ve en yakın komşuluk sezgiselidir.

Öncan (2004) tarafından, Sığa Sınırlı ARP için geliştirilmiş olan Clarke ve Wright kazanım sezgiseli için yeni iyileştirmeler önerilmiştir.

ZPARP konulu çalışmasında Tokaylı (2005), merkez bir ana depodan, coğrafi olarak dağılmış müşterilerin ihtiyaçlarını belirtilen zaman aralığı içinde karşılamak için en az araçlı ve en kısa mesafeli rotaları bulmayı amaçlamıştır.

Erol (2006)’un yaptığı çalışmada, firmalarda özellikle lojistik planlarının oluşturulması sırasında sık karşılaşılan kapasite ve mesafe kısıtlı ARP için, popülasyon ve lokal arama tabanlı ileri sezgisel bir algoritma önerilmiştir. Klasik sezgisel metotlar kullanılarak oluşturulan başlangıç çözümleri, çözüm havuzu içerisinden “İkili Turnuva” mantığı ile seçilmiş ve çalışmada tanıtılan “arama uzayında çözümler arası uzaklık” kavramı ile komşu çözümler rastgele bir şekilde taranarak yeni çözümler üretilmiştir. Böylelikle arama işlemi, çözüm uzayının en umut verici alanlarında yapılmakta ve üretilen çözüm kalitesi artırılmaktadır. Ayrıca algoritma süreci tamamen stokastik bir yapıda ilerlemekte ve bu sayede yöntem, oldukça az sayıda parametre içermektedir.

Taşkıran (2006), ZPARP’yi KKA optimizasyonuna dayalı bir yaklaşımla çözmeyi amaçlamıştır. Minimizasyon problemini çözmek üzere biri araç sayısını, diğeri ise toplam katedilen yolu minimize etmeye odaklı iki KKA feromen seviyeleri vasıtasıyla haberleşerek bir yardımlaşma anlayışı içerisinde çalıştırılmıştır. Aydemir (2006) ise çalışmasında, esnek ZPARP için bir amaç programlama yaklaşımı ile tam zamanında üretim sistemi uygulayan 42 tedarikçili büyük bir otomotiv fabrikasının tedarikçilerinden malzeme temin etmek için kullandığı araçların rotalanmasını üç farklı amacı sağlayacak şekilde ele almış ve önerilen amaç programlama yaklaşımı ile en iyi sonucu elde etmiştir. Çalışmada orta büyüklükteki esnek ve sıkı zaman pencereli heterojen araç filosuna ve çoklu amaçlara sahip dağıtım problemi incelenmiştir. Önerilen modeli çözmek için öncelikle mümkün rotaları bulan daha sonra bu rotalardan en iyiler kümesini seçen “saymayı takip eden optimizasyon yaklaşımı” sunulmuş ve uygulama problemi bu yöntem ile çözülmüştür.

Boğ (2006) ise tezinde, literatürde yer alan iki rotalama problemi üzerinde çalışmıştır. Bunların ilkinde, ZPARP’yi ele almış ve araçların kapasitelerini müşterilerin belirlediği zaman penceresi kısıtlarını ihlâl etmeden, müşterilere hizmetin sağlanacağı rotaların belirlenmesi hususunu incelemiştir. Çalışmada, ZPARP için yeni bir dal-kesme algoritması sunulmuş, dal-kesme ağacının düğümlerinde oluşan tüm döngülerin polinom zamanda belirlenmesi ve ihlâl edilen geçerli eşitsizliklerin kontrolü ile yok edilmeleri için bir ayırma yöntemi uygulanmıştır. Ayrıca karışık tam sayılı doğrusal programın

düğüm gevşetmelerinde bulunan döngüler üzerinde dallandırmayı sağlayan yeni bir dallandırma stratejisi de uygulanmıştır. İkinci çalışılan husus ise, yer belirleme-rotalama problemi (YBRP)'nde, verilen aday tesis yerleri arasından en iyi yerlerin seçilmesini ve seçilen tesis yerlerinden tüm müşterilere hizmetin sağlanacağı araç rotalarının belirlenmesini kapsamaktadır. Çalışmada çoklu ve kapasite kısıtlı tesis ve araçların bulunduğu yer belirleme-rotalama probleminin çözümü için küme bölme esasına dayanan bir kolon üretimi algoritması önerilmiştir.

Araç rotalama ve çizelgeleme yöntemlerini kullanarak en iyi rotayı belirlemeyi ve bunu yaparken de rotalama maliyetlerini düşürmeyi amaçlayanlardan bir diğeri de Özkan (2006)'dır. Çalışmada, bir lojistik şirketinde ARP için doğrusal programlama yardımıyla en iyi rota bulunmuştur.

Şeker (2007), çalışmasında StoARP'yi çözmek üzere GA kullanmıştır. Önder (2007a) ise yaptığı çalışmada, heterojen taşıt güzergâhı problemi için matematiksel modelleme kullanılarak bir alt sınır belirlemiş, daha sonra sezgisel yöntemler kullanarak çözüm yöntemleri geliştirmiş, alt sınıra yakınlıklarına göre sezgisel yöntemler arasında bir seçim yapmıştır.

Lokasyon Rotalama Problemleri (LRP) iki zor problem olan lokasyon tahsisi ve araç rotalama problemlerinin birleşmesiyle oluşmaktadır. Amaç fonksiyonu rotalama, araç kullanma ve depo maliyetinden oluşmaktadır ve en azaltılmaya çalışılmaktadır. Sarıgöl (2007), çalışmasında LRP üzerinde durmuştur. Problemin çözümü için hiyerarşik kümeleme temelli sezgisel bir yöntem önerilmiştir. Önerilen sezgisel yöntemde araç kapasitelerine göre kümeler oluşturmuştur ve her küme içinde GSP çözülmüştür. Yerel tarama yöntemleri uygulanarak çözüm iyileştirilmiştir.

Darcan (2007) çalışmasında, ARP için tur yapım ve tur iyileştirme sezgisellerini verdikten sonra, bazı değişkenlerin önceden bilinemez olduğu durumlarda ortaya çıkan StoARP üzerinde durmuş ve çeşitli bilinmezlik durumları için StoARP türlerini incelemiştir. Çalışmada, talebin kesin değerinin önceden bilinmediği ancak olasılık dağılımının bilindiği durum incelenmiştir. İlk olarak 12 adet talep noktasına sahip bir dağıtım ortamında, talep noktaları araçlara kapasite kısıtları da göz önünde bulundurulmuş en kısa yol prensibine göre atanmış ve başlangıç rotaları oluşturulmuştur. Daha sonra bu rotalar, rota iyileştirme sezgiselleri (nokta atama, nokta değişimi ve rota değişimi gibi) kullanılarak optimize edilmiştir. Bir sonraki adımda ise aynı modele Clark-Wright tasarruf algoritması uygulanmış ve bunun sonucunda ilk çözüme göre daha iyi bir sonuca ulaşılmıştır. Daha sonra tasarruf algoritması ile bulunan sonuç yine rota iyileştirme sezgiselleri kullanılarak optimize edilmeye çalışılmıştır.

Önder (2007b), toplamalı gezgin satıcı problemi (GSP) için bilinen sezgisel yöntemleri operatör olarak kullanan bir GA yöntemini incelemiştir. Çalışmada, en yakın komşu sezgiseline dayalı bir çaprazlama yönteminin (En yakın komşu çaprazlaması, EYKÇ) özellikleri ve ikiden fazla ebeveyn kullanılması konusu sunulmuştur. Farklı ebeveyn seçimi ve birden fazla çocuk yaratma stratejileri de kıyaslanmış ve bilinen sezgisel yöntemler mutasyon operatörü olarak kullanılmıştır. 2-kenar değişimi ve düğüm sokma yöntemlerinin EYKÇ ile iyi sonuçlar verdiği ifade edilmiştir.

Gerdan (2007) ise, eş zamanlı dağıtım ve toplama yapılan ARP (DTARP) ile toplama ve dağıtım problemlerinin bileşimi olan, müşteriler arası malzeme akışlı eş zamanlı DTARP konusunu incelemiştir. Yeni bir problem olan müşteriler arası malzeme akışlı eş zamanlı dağıtım-toplama ARP'nin tanımı yapılarak, çözümüne yönelik sezgisel bir algoritma önerilmiştir.

Alpdoğan (2008)'in çalışmasında, GSP'lerine en iyi veya en iyiye yakın sonuç bulduracak yeni bir sezgisel metot geliştirilmiştir. Söz konusu metot, işletme alanında geçen "memnun müşteri 2 kişiye; mutsuz müşteri ise 20 kişiye söyler" sözünden yola çıkılarak geliştirilmiştir. Toplumsal yapıdan model alınarak yaratılan algoritma, belirli sayıda insanların rassal olarak kat ettikleri güzergâhlar üzerine yaptıkları yorum ve "dedikodulardan" etkilenen sonraki neslin olumsuz yorumların aksini tercih etmeleri veya yepyeni güzergâh deneme ihtiyacı duymaları üzerine kurulmuştur. Algoritmanın, en kötü senaryo analizine göre "opt-2" algoritmalarından daha iyi sonuç verdiği ispatlanmıştır.

Özfarat (2008) ise araştırmasında, ARP'nin üç farklı tipi olan Heterojen Filolu ARP (HARP), Parçalı Dağıtımlı ARP (PDARP) ve ZPARP'yi çalışmıştır. HARP, PDARP ve küçük ölçekli ZPARP için yeni bir eşik algoritması, büyük ölçekli ZPARP için ise küme kaplama algoritması geliştirilmiştir. Burada heterojen filolar için ekileşimli bulanık hedef programlama yaklaşımı sergilenmiştir.

Tezer (2009), birçok toplama noktalarının ve kargo şubesi ya da depo olarak ifade edilen tek bir genel dağıtım noktasının bulunduğu, statik-deterministik Toplama ve Dağıtım ZPARP'yi çalışmıştır. Problemin çözümüne yönelik iki aşamalı bir kesin çözüm algoritması geliştirilmiştir. Bu algoritmanın, birinci aşamasında dal ve sınır ile çözülen derinlik öncelikli arama işlemiyle oluşabilecek, baskın olmayan tüm uygun rotalar elde edilmiştir. İkinci aşamada ise, modeli kabul edilebilir zamanda çözebilmek için, küme bölümlenme formülasyonunun yalnızca kolonların alt kümelerini içeren kısıtlanmış sürümü kolon üretimi tekniği uygulanmıştır.

Karayollarında tehlikeli madde taşıyan araçlarda sıkça karşılaşılan bütünleşik rotalama ve çizelgeleme problemi, Uzun (2009) tarafından çalışılmıştır. Problemin amacı, bir ağ üzerindeki iki nokta arasında en düşük riski veren bir rota ve bu rota üzerinde seyreden tehlikeli madde taşıyan bir aracın nerede ve ne kadar durması gerektiğini belirten çizelgeyi bulmaktır. Problemin rotalama ve çizelgeleme süreçleri, birbirleri ile iletişim halinde olan iki ayrı süreç olarak belirlenip, bunlar için farklı çözüm yöntemleri geliştirilmiştir. Rotalama için her iterasyonda bir önceki iterasyonun en iyi rotasını kullanarak yeni rotalar üreten bir sezgisel üzerinde durulmuştur.

Dursun (2009)'un çalışmasında, ileri sezgisel bir yöntem olan GA ile ARP problemini modellenerek, yeni bir birey kodlama yaklaşımı yönteminden faydalanılmıştır.

Veri madenciliği yardımıyla, birçok alanda yaygın olarak kullanılan GSP'nin çözümü üzerinde duran Gönülol (2009)'un çalışmasındaki amaç, veri madenciliğinin, GSP üzerinde nasıl performans göstereceğini araştırmaktır. Bu kapsamda Simetrik GSP'de, literatürde iyi bilinen bazı test problemi için uygun parametreler kullanılarak, rassal üretilen verilerle veri madenciliği yaklaşımı denenmiştir.

Yukarıda incelenen çalışmalardan da görüldüğü üzere, ARP konusunda oldukça fazla bilimsel çalışmalar yapılmıştır. Ancak uygulama alanı olarak İHS'nin seçildiği çalışma, özellikle ülkemizde yok denecek kadar azdır. Ayrıca, Türkiye'de İHA konusunda yapılan optimizasyon çalışmalarında ise, mekanik, aerodinamik, mekatronik ve yapısal tasarım konularına ağırlık verilmiştir. ARP kapsamında ülkemizde yayımlanan çalışmalardan uygulama alanı olarak İHS'lerin seçildiği çalışmalar Çizelge-4'de, doğrudan araştırma konusuyla ilgili yapılan uluslararası çalışmalar ise Çizelge-5'te verilmiştir.

Çizelge-4. Türkiye'de yayımlanan İHS ARP çalışmaları (UAV VRP Articles published in Turkey)

S. NO	KONU BAŞLIKLARI	YAZAR(LAR)	YIL	YAYIN ADI	ÇÖZÜM METODU
1	Homojen ve ZPARP (İki boyutlu)	Sercan KOCABAŞ	2003	İnsansız Hava Araçlarının Rota Planlaması İçin Bir Karar Destek Sistemi	Tam Sayılı Programlama
2	Homojen ve ZPARP	Cevriye GENCER, Emel Kızılkaya AYDOĞAN ve Sercan KOCABAŞ	2009	İnsansız Hava Araçlarının Rota Planlaması İçin Bir Karar Destek Sistemi	Tam Sayılı Programlama
3	KKARP	Baha PAKKAN ve Murat ERMİŞ	2010	İnsansız Hava Araçlarının Genetik Algoritma Yöntemiyle Çoklu Hedeflere Planlanması	Genetik Algoritma
4	Homojen ARP	Halit ERGEZER ve Kemal LEBLEBİCİOĞLU	2012	Çoklu İnsansız Hava Araçları için Güzergah Planlaması	Genetik Algoritma
5	Dinamik ARP	Cihan ERCAN ve Cevriye GENCER	2013	Dinamik İnsansız Hava Sistemleri Rota Planlaması Literatür Araştırması ve İnsansız Hava Sistemleri Çalışma Alanları	DARP Literatür Araştırması

Çizelge-5. İHS ARP konusunda yayımlanan diğer çalışmalar (Other UAV VRP Articles)

S. NO	KONU	YAZAR(LAR)	YIL	YAYIN ADI	ÇÖZÜM METODU
1	İlk ARP	G. B. Dantzig ve J. H. Ramser Source	1959	The Truck Dispatching Problem	Lineer Programlama
2	ZPARP	Joel L. Ryan, T. Glenn	1998	Reactive Tabu Search in	Tabu (Yasaklı) Arama

		Bailey, James T. Moore ve William B. Carlton		Unmanned Aerial Reconnaissance Simulations	
3	ARP (Karşılaştırma)	Alex Van Breedam	1999	Comparing Descent Heuristics and Metaheuristics for the Vehicle Routing Problem	Tavlama Benzetimi ve Yasaklı Arama
4	DARP (Bosna savaşı)	Kevin P.O'Rourke, T.Glenn Bailey, Raymond Hill ve William B.Carlton	1999	Dynamic Routing of Unmanned Aerial Vehicles Using Reactive Tabu Search	Yasaklı Arama
5	TKARP	Bortoff, S.	2000	Path-Planning For Unmanned Air Vehicles	İki Basamaklı Yaklaşım, Voronoi Diyagramı
6	Homojen ARP	Chandler, P., S. Rasmussen, ve M. Pachter	2000	UAV Cooperative Path Planning	Hiyerarşik Ayrıştırma
7	ARP (Literatür Araştırması)	Laporte, G., Gendrau, M., Potvin, J-Y. ve Semet, F.	2000	Classial and Modern Heuristics for the VRP	Kazanç, Süpürme, İki Aşamalı Yaklaşımlar ile Yasaklı Arama
8	DARP	O'rouke. K.P., Bailey.T.G, Hill, M.R. ve Carlton,W.B.	2001	Dynamic Routing of Unmanned Aerial Vehicles Using Reactive Tabu Search	Yasaklı Arama
9	TKARP	Li, S. M., Boskovic, J. D., Seereeram, S., Prasanth, R., Amin, J., Mehra, R. K., Beard, R. ve T.W., Mclain	2002	Autonomous Hierarchical Control of Multiple Unmanned Combat Air Vehicles	Hiyerarşik Yaklaşım, Voronoi Diyagramı
10	ARP	Richards, A., Bellingham, J., T Tillerson, M. ve How, J.	2002	Coordination and Control of Multiple UAVs	MILP
11	DARP	Beard, R., Mclain, T., Goodrich, M. ve E. Anderson	2002	Coordinated Target Assignment and Intercept for Unmanned Air Vehicles	Hiyerarşik Yaklaşım
12	KKARP	Randal W. Beard ve Timothy W. McLain	2003	Multiple UAV Cooperative Search Under Collision Avoidance and Limited Range Communication Constraints	İşbirlikçi Arama
13	KKARP	Corey Schumacher, P., Chandler ve M., Pachter	2003	UAV Task Assignment with Timing Constraints	MILP
14	Heterojen ZPARP	Mehdi Alighanbari, Yoshiaki Kuwata ve Jonathan P. How	2003	Coordination and Control Of Multiple UAVs with Timing Constraints and Loitering	Yasaklı Arama
15	StoARP	Doğan, Atilla	2003	Probabilistic Approach in Path Planning for UAVs	Probabilistik Yaklaşım
16	DARP, TKARP	Yang, H. I. ve Y. J., Zhao	2004	Trajectory Planning for Autonomous Aerospace Vehicles Amid Obstacles and Conflicts	Kesikli Arama Stratejisi
17	Homojen ARP	Yan, P., Ding, M-Y. ve Zhou, C.P.	2004	Game-Theoretic Route Planning for Team Of UAVs.	Oyun Teorisi
18	KKARP	Matthew A. Russell ve Gary B. Lamont	2005	A Genetic Algorithm for Unmanned Aerial Vehicle Routing	Genetik Algoritma
19	ARP	Yao-hong Qu, Quan Pan ve Jian-guo Yan	2005	Flight Path Planning of UAV Based On Heuristically Search and Genetic Algorithms	Genetik Algoritma
20	TKARP	Shanmugavel, M., Tsourdos,A., Zbikowski, R. ve B.A., White	2005	Path Planning of Multiple UAVs in an Environment of Restricted Regions	Pythagorean Hodograph
21	HARP	Jacobson, Sheldon H., Laura A. McLay, Shane N. Hall, Darrall Henderson ve Diane E. Vaughan	2006	Optimal Search Strategies Using Simultaneous Generalized Hill Climbing Algorithms	Tepe Tırmanma Algoritması
22	Dinamik HARP	Jin, Y., Liao,Y., Minai, A.A. ve M.M. Polycarpou	2006	Balancing Search and Target Response in Cooperative Unmanned Aerial Vehicle Teams	Ortaklaşa Arama Modeli, Dinamik Hibrit Algoritma
23	TKARP	Eun, Y. ve H., Bang	2006	Cooperative Control of Multiple Unmanned Aerial Vehicles Using the Potential Field Theory	Potansiyel Alan Teorisi, Voronoi Diyagramı

24	Homojen ARP	Shanmugavel, M., Tsourdos, A., Z' Bikowski, R. ve White, B. A.	2006	3D Dubins Sets Based Coordinated Path Planning for Swarm Of UAVs	3D Dubins Kümeleri
25	Dinamik ZPARP	J. Berger, M. Barkaoui ve A. Boukhtouta	2006	A Hybrid Genetic Approach for Airborne Sensor Vehicle Routing In Real-Time Reconnaissance Missions	Hibrit Genetik Algoritma
26	Homojen ARP	Sujit,P.B., Sinha, A. ve Ghose, D.	2007	Team, Game, and Negotiation Based Intelligent Autonomous UAV Task Allocation for Wide Area Applications,	Literatür Araştırması: Oyun Teorisi
27	Heterojen ARP	Gary B. Lamont, James N. Slear ve Kenneth Melendez	2007	UAV Swarm Mission Planning and Routing Using Multi-Objective Evolutionary Algorithms	Evrimsel (Evolutionary) Algoritma
28	Çok amaçlı StARP	Mittal, Shashi, ve Kalyanmoy Deb	2007	Three-Dimensional Offline Path Planning for UAVs Using Multiobjective Evolutionary Algorithms	Çok Amaçlı Evrimsel Algoritma
29	Homojen ARP	Shanmugavel, M., Tsourdos, A., Zbikowski, R. ve B. A., White	2007	3D Path Planning for Multiple UAVs Using Pythagorean Hodograph Curves	Pythagorean Hodograph
30	ARP	Kwee Kim Lim, Yew-Soon Ong, Meng Hiot Lim, Xianshun Chen ve Amit Agarwal	2007	Hybrid Ant Colony Algorithms for Path Planning In Sparse Graphs	Hibrit Karınca Kolonisi
31	StoARP, DARP	Nikolaos Papadakos, George Tzallas-Regas ve Berç Rustem	2007	Task Assignment and Route Planning Under Uncertainty	Voronoi Diyagramı
32	DARP, TKARP	Zeitlin, A. D. ve M. P., Mclaughlin	2007	Safety of Cooperative Collision Avoidance for Unmanned Aircraft	Monte Carlo Simulasyonu
33	ARP (Karşılaştırma)	B. Moses Sathyaraj, L. C. Jain, A. Finn ve S. Drake	2008	Multiple UAVs Path Planning Algorithms: A Comparative Study	Dijkstra, Bellman Ford, Floyd-Warshall ve A star Algoritmaları
34	HARP, Önceliklendirme	Vijay K. Shetty, Moises Sudit ve Rakesh Nagi	2008	Priority-Based Assignment and Routing of a Fleet of Unmanned Combat Aerial Vehicles	Yasaklı Arama
35	DARP, TKARP, StoARP	Yoonsoo Kim, Da-Wei Gu ve Ian Postlethwaite	2008	Real-Time Path Planning with Limited Information for Autonomous Unmanned Air Vehicles	Dinamik Planlama
36	Çok amaçlı StARP, DARP	Xingguang Peng ve Xiaoguang Gao	2008	A Multi-Objective Optimal Approach For UAV Routing in Reconnaissance Mission with Stochastic Observation Time	En Yakına Ekleme Geliştirme Algoritması
37	TKARP	Yang, K. ve Sukkarieh, S.	2008	3D Smooth Path Planning for a UAV in Cluttered Natural Environments	Hızla arayan rastgele ağaçlar algoritması
38	DARP	Larsen, A., Madesn, O. ve Solomon, M.	2008	Recent Developments in Dynamic VRP	Literatür Araştırması: 2000 Öncesi ve Sonrasındaki Gelişmeler
39	Çok amaçlı ARP	Pohl, Adam J., ve Gary B. Lamont	2008	Multi-Objective UAV Mission Planning Using Evolutionary Computation	Evrimsel Algoritması
40	ARP	Siriwat Visoldilokpun	2008	UAV RP With Limited Risk	En Kısa Yol ve Tam Sayılı EKY, Kolon Üretme
41	Heterojen ARP, TKARP	Bertuccelli, Luca F., Han-Lim Choi, Peter Cho ve Jonathan P. How.	2009	Real-Time Multi-UAV Task Assignment in Dynamic and Uncertain Environments	Anlaşma (Consensus) tabanlı "Bundle" Algoritması
42	DARP	Kladis, G. P. Economou, J. T. Tsourdos, A. White, B. A. ve Knowles, K.	2009	Unmanned Aerial Vehicle Route Planning on a Dynamically Changing Waypoint Based Map for Exploration Purposes	Ağ Teorisi

43	ARP	Shima, Tal ve Rasmussen, Steven	2009	UAV Cooperative Decision and Control Challenges and Practical Approaches	MILP
44	DARP, StARP, TKARP	José J. Ruz, Orlando Arévalo, Gonzalo Pajares ve Jesús M. de la Cruz	2009	UAV Trajectory Planning for Static and Dynamic Environments	MILP
45	DARP, StARP, HARP	Hai-bin Duan, Xiang-yin Zhang, Jiang Wu ve Guan-jun Ma	2009	Max-Min Adaptive Ant Colony Optimization Approach to Multi-UAVs Coordinated Trajectory Replanning in Dynamic and Uncertain Environments.	Max-Min Adaptif Karınca Kolonisi
46	ARP	Duan, H, Yu, Y., Zhang, X., ve Shao, S.	2010	Three Dimension Path Planning for UCAV Using Hybrid Meta-Heuristic ACO-DE Algorithm	Hibrit Meta Sezgisel Karınca Kolonisi ve Diferansiyel Evrimsel Algoritması
47	DARP, HARP, ZPARP	Chase C. Murray ve Mark H. Karwan	2010	An Extensible Modeling Framework for Dynamic Reassignment and Rerouting in Cooperative Airborne Operations	Tam Sayılı Programlama
48	Dinamik HARP	Eugene Edison ve Tal Shima	2010	Integrated Task Assignment and Path Optimization For Cooperating Uninhabited Aerial Vehicles Using Genetic Algorithms	Genetik Algoritma, Kesikli Optimizasyon (Hamilton olmayan ağ)
49	TKARP ARP, Homojen ARP	Tsourdos A., White, B., ve M., Shanmugavel	2011	Cooperative Path Planning Of Unmanned Aerial Vehicles	Görünürlük Şebekesi, Voronoi Diyagramı, Olasılıklı Yaklaşım, Potansiyel Alan Teorisi, Hücre Bölme Yaklaşımı

*D:Dinamik, H: Heterojen, KK:Kapasite Kısıtlı, St:Statik, Sto:Stokastik, ZP:Zaman Pencereli, MILP: Karışık Tamsayılı Doğrusal Programlama. TK: Tehditlerden Kaçınma.

Çizelge-4 ve çizelge-5'den de görüleceği üzere yapılan bilimsel ARP çalışmalarının çok azı, İHS için uygulanmıştır. Bunun nedenlerinden bir tanesi, üçüncü boyutun ve İHA manevra kısıtlarının rota problemlerine getirdiği ek zorluklardır. Ancak, özellikle milli İHS üretim imkânlarının artması ve heterojen İHS sistemlerinin yaygın olarak kullanılması ile birlikte, Türkiye'de de İHS görev planlamaları için ARP ve özellikle dinamik ARP çözümlerine olan ihtiyaçların artacak olması nedeniyle, ARP çözümleri yönündeki bilimsel çalışmaların da hızlanacağı değerlendirilmektedir.

6. SONUÇ ve ÖNERİLER (RESULTS and SUGGESTIONS)

Yapılan bu çalışmalarda elde edilen değerlendirmeler aşağıda özetlenmiştir.

1. Millî İHS üretim imkân ve kabiliyetlerinin artmasıyla birlikte envantere bulunan İHA sistemleri farklılaşacak, görev planlamaları daha karmaşık hâle gelecektir. Farklı imkân ve kabiliyette olan heterojen İHA sistemleri, değişik sorumluluk alanlarında ortaya çıkabilecek farklı görevleri icra edecek esnek ve dinamik bir görev planlamasına ihtiyaç duyacaktır. Bu nedenle rota planlamaları için yapılacak çalışmalarda, "dinamik" çözümlere öncelik verilmesi ve problem sahası için "heterojen" İHS filosunun tercih edilmesi daha gerçekçi bir yaklaşım olacaktır.

2. Sorumluluk bölgesi hakkında çok fazla bilginin olmadığı bir alanda yapılacak keşif gözetleme faaliyetlerinde ve taktik İHS'ler için yapılacak çalışmalarda dinamiklik derecesinin yüksek; stratejik seviyedeki İHS'ler için ise daha düşük dinamiklik derecesini dikkate alan çözüm yaklaşımlarının sergilenmesi gerekmektedir. Sorumluluk alanındaki belirsizliğin artması ile birlikte çözüm yöntemlerinde dinamik hedeflerin aynı zamanda stokastik olduğu durumun incelenmesi daha doğru bir yaklaşım olacaktır.

3. İHS rota planlamaları çözüm yaklaşımlarında, değişen durumlara uyum ve hızlı tepki göstermesini sağlayabilecek, görev etkinliğini daha çevik hale getirecek, farklı coğrafi bölgelerde ve farklı görevlerde kullanılabilmesini mümkün kılacak dinamik KDS'ler esas alınmalıdır. Dinamik planlamalar sayesinde görevlendirilecek İHS sayısı da azaltılabilecektir. Böylelikle, sorumluluk sahası

içinde değişik mekânlarda konuşlu, farklı imkân ve kabiliyetteki İHS'ler süratli ve etkin olarak planlanabilecek, her bir İHS'nin değişen durumlara hızlı tepki gösterebilme imkânı ile karar vericilere gerçek zamana yakın bilgi akışı sağlanabilecektir.

4. İHS'ler için ARP'ler, planlamaçıların optimum çözüme odaklandıkları zaman, kısıtların dikkate alındığında işlem zamanının üssel bir şekilde artması nedeniyle karmaşık bir problem haline dönüşür. Bu tür yaklaşımlar zor ve işlem zamanı olarak verimli değildir. Son yıllarda bu problemin örnekleme alınarak küçük problemler halinde çözülmesiyle başarı elde edildiği Koyuncu ve İnalhan (2012) tarafından ifade edilmiştir. Dinamik problemlerin daha küçük problemler halinde çözülmesi ile optimum çözüm olmasa da istenilen sürede dinamik çözüm bulma şansı arttırılacaktır.

5. İHS'lerin verimliliğini etkileyen en önemli kısıtlardan bir tanesi de, "dayanıklılık" olarak adlandırılan, yeniden yakıt ikmali yapmadan uçabileceği maksimum uçuş zamanıdır. Bu uçuş süresinin mümkün olduğu kadar hedefler üzerinde keşif ve gözetleme için kullanılmasıyla, aynı uçuş zamanında daha fazla veri elde edilebilecek ve İHS'lerin etkinliği arttırılabilecektir. Uçuş rotalarının optimizasyonu ile yakıt tasarrufu sağlanabilecek, dolayısıyla İHA'ların keşif ve gözetleme kabiliyetleri direkt olarak yükseltilecektir. İHS'ler gibi, zamanın önemli olduğu vazifeleri icra eden sistemlerin askeri uygulamalardaki görev planlamalarının, hızlı ve dinamik yapılması, bu tür sistemlerin başarısı için kritiktir. Ancak, bilginin zamanında elde edilmesi gerekliliği, görevin aciliyeti, hedeflerin çokluğu, İHA sayısı ve çeşidi gibi kısıtlar dinamik rota planlamasını daha da güçleştirecektir.

6. Laporte'nin (1991) çalışmasında ifade ettiği gibi sezgisel yaklaşımlardan en yakın komşu, araya sokma ve tur geliştirme algoritmaları modifikasyona ihtiyaç duyulmadan DARP çözüm yaklaşımlarında uygulanabilir.

7. İkinci dünya savaşı sonrasında Neumann ve Morgenstern (1945) tarafından önerilen ve askeri uygulamalar ile birlikte özellikle ekonomi alanında başarı ile kullanım alanı bulan "Oyun Teorisi" yaklaşımlarının, son yıllarda İHS DARP konusundaki uygulamaları dikkat çekicidir (Sujit ve diğ., 2007). Ağ Destekli Yetenek kapsamında İHS filolarının birbiriyle koordineli rota planlamalarında, hedeflerin stratejilerine göre oyun teorisi tabanlı çözüm yaklaşımlarının başarı ile uygulanabileceği değerlendirilmektedir. Heterojen ve dinamik çoklu İHS kullanımları; çok oyunculu, işbirlikli, sıfır toplamlı olmayan oyunlar şeklinde modellenebilir. Buradaki strateji seçimleri dinamik olacaktır ve hedefin aldatma faaliyetleri veya hareketlilikleri çözümü şekillendirebilecektir. Oyun, tüm hedeflerin bulunması ile sona erecektir.

8. 1970'lerden bu yana statik ARP konusunda genel kabul gören ortak bir test platformu geliştirilmiş olmasına rağmen, DARP konusunda henüz ortak bir platform olmadığı gibi, dinamik çözümlerin nasıl karşılaştırılacağı konusunda da genel kabul gören bir test ortamı oluşturulamamıştır (Dror, M., Powell, W., 1993). Bu nedenle iyi tanımlanamamış amaç fonksiyonları, test veri setleri ile karşılaştırma metotlarının eksikliği ve standart olmayan formülasyon ile özdeşleştirilen stokastik ve dinamik ARP konusunda çalışmaların, bu boşlukları doldurmaya yoğunlaşacağı değerlendirilmiştir.

9. Gelecekte aynı anda kullanılan İHA sayısının artacağı değerlendirilerek, yapılacak dinamik çözüm yaklaşımlarında, İHA'ların havada çarpışmasını ve hedefler tarafından etkisiz hale getirilmelerini önleyecek tedbirleri içeren metotların göz önünde bulundurulması gerekecektir.

10. ARP konusunda yapılacak heterojen ve dinamik çözüm yaklaşımları, daha gerçekçi problemlerin çalışılması için araştırmacıları motive edecek ve Türkiye'de henüz kullanılmaya başlanan stratejik İHS'lerin verimliliğine doğrudan katkı sağlayacaktır.

11. Son onbeş yıl, gerek Türkiye'de gerekse dünyada İHS'lerin artarak kullanımına şahit olduğumuz bir dönem olmuştur. Ağ destekli harekât kapsamında belirsiz ortamlarda görev yapacak çoklu İHA kullanımlarının mümkün olduğu tam otonom kullanım konseptine hizmet edecek çözüm yöntemlerine olan ihtiyaç giderek artacaktır.

12. Crecy muharebesinin "okçuları", Birinci Dünya Savaşının "tankları", İkinci Dünya Savaşının "atom bombası", kendi zamanlarında muharebelerin kaderlerini çizmişlerdir (Attali, 2007). Bundan sonraki savaşların kaderlerinin ise "insansız sistemler" tarafından çizileceği hiçbir zaman unutulmamalıdır.

7. TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

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

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Alpdoğan, K., 2008, *A New Heuristic Approach to TSP (Yayımlanmamış Doktora Tezi)*, İstanbul, Marmara Üniversitesi.
- Attali, Jacques, 2007, *Geleceğin Kısa Tarihi, (Çev. Turhan ILGAZ)*, Ankara, İmge Kitabevi.
- Aydemir, Emrah, 2006, *Esnek Zaman Pencere Araç Rotalama Problemi ve Bir Uygulama (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi)*, Ankara, Gazi Üniversitesi.
- Aytemiz, Tevfik, 2008, *Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü 2008–2009 Eğitim-Öğretim Yılı Yaz Dönemi SB 5344 Hüristik Karar Yöntemleri Dersi Notları*, Ankara.
- Bodin, L. D., Golden, B. L., Assad, A., Ball, M. O., 1983, "Routing and Scheduling of Vehicles and Crews: The State of the Art", *Computers and Operations Research*, 10, 62-212.
- Boğ, S., 2006, *Algorithms for the Vehicle Routing Problem with Time Windows and the Location-Routing Problem (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi)*, İstanbul, Koç Üniversitesi.
- Chandler, P. R., Patcher, M., 1998, "Research Issues in Autonomous Control of Tactical UAVs", *Proceedings of the American Control Conference Philadelphia, Pennsylvania*, 394-398.
- Chin, Wang Jong, Sern, Victor Chua Yung, 2009, "Unmanned Aerial Vehicles: Development Trends&Technology Forecast", *Military Technology*, 33,2, 70-80.
- Cook, W., Rich, J.L., 1999, "A parallel cutting-plane algorithm for the vehicle routing problem with time windows." *Computational and Applied Mathematics Rice University, Houston EUA*, 5.
- Cordeau, J. F., Gendreau, M., Laporte, G., Potvin, J.Y., Semet, F., 2002, "A Guide To Vehicle Routing Heuristics", *Journal of the Operational Research Society*, 53, 512-522.
- Cura, T., 2008, *Modern Sezgisel Teknikler ve Uygulamaları*, Papatya Yayıncılık.
- Darcın, U., 2007, *Stokastik Araç Rotalama Algoritmalarının Karşılaştırmalı İncelenmesi (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi)*, İstanbul, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Dror, M., Powell, W., 1993, "Stochastic and Dynamic Models in Transportation", *Operations Research*, Vol.41, 11-14.
- Dursun, P., 2009, *Gezgin Satıcı Problemi için Veri Madenciliği Tabanlı Sezgisel Bir Yaklaşım (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi)*, Kocaeli, Kocaeli Üniversitesi.
- Ercan, C., Gencer, C., 2013, "Dinamik İnsansız Hava Sistemleri Rota Planlaması Literatür Araştırması ve İnsansız Hava Sistemleri Çalışma Alanları", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 19, Sayı 2, 104-111.
- Erol, V., 2006, *Araç Rotalama Problemleri için Popülasyon ve Komsuluk Tabanlı Metasezgisel Bir Algoritmanın Tasarımı ve Uygulaması (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi)*, İstanbul, Yıldız Teknik Üniversitesi, Sistem Mühendisliği.
- Gencer, C., Aydoğan, K.E., Kocabaş, S., 2009, "İnsansız Hava Araçlarının Rota Planlaması İçin Bir Karar Destek Sistemi", *Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Dergisi*, 8(2), 59-73.
- Gerdan, O., 2007, *Müşteriler Arası Malzeme Akışlı Eş Zamanlı Dağıtım-Toplama Yapılan Araç Rotalama Problemi ve Sezgisel Çözümü (Yayımlanmamış Doktora Tezi)*, Ankara, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Gezdur, A., 2003, *Capacitated Vehicle Routing Problem With TimeWindows (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi)*, İstanbul, Sabancı Üniversitesi.
- Gönüloğlu, Semiye, 2009, *A Heuristic Algorithm for an Integrated Routing and Scheduling Problem with Stops En-Route (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi)*, Ankara, Bilkent Üniversitesi.
- Hax, A.C., Candea, D., 1984, *Production and Inventory Management*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.

- Hromkovic, J., 2004, *Algorithmics for Hard Problems: Introduction to Combinatorial Optimization, Randomization, Approximation, and Heuristics, Second Edition*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Germany.
- Karaboğa, D., 2004, *Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları*, Atlas Yayın Dağıtım.
- Kocabaş, S., 2003, *İnsansız Hava Araçlarının Rota Planlaması için bir Karar Destek Sistemi (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi)*, Ankara, Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü.
- Kohl, N., Madsen, B.G., 1997, "An optimization Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Time Windows Based on Lagrangian Relaxation", *Operations Researchs*, Vol:45 Informs, 395-406.
- Kolen, A.W.J., Rinnooy, A.H.G., Trienekens, H.W.J.M., 1997, "Vehicle Routing with Time Windows", *Operations Research*, Vol:35.
- Kontravdis, G., Bard, J.F., 1994, "A GRASP for the Vehicle Routing Problem with Time Windows", *ORSA Journal on Computing* Vol. 7, No. 1.
- Koyuncu, E., İnalhan, G., 2012, "Exploiting Delayed and Imperfect Information for Generating Approximate UAV Target Interception Strategy", *J Intell Robot Syst.*
- Laporte G., 1991, "The Traveling Salesman Problem: An overview of Exact and Approximate Algorithms", *European Journal of Operations Research*, 231.
- Larsen, A., 2000, *The Dynamic Vehicle Routing Problem (Ph.D. Thesis)*, Danimarka, Technical University of Denmark, IMM, DTU.
- Larsen, A., Madsen, O.B.G., Solomon, M.G., 2007, "Classification of Dynamic Vehicle Routing Systems", *Dynamic Fleet Management Concepts, Systems, Algorithms, & Case Studies (Editors: Vasileios Zaimpekis, Christos D. Tarantilis, George M. Giaglis, Ioannis Minis)*, Chapter 2, Springer.
- Lau, H.C., Sim, V., Teo, K.M., 2003, "Vehicle routing problem with time windows and a limited number of vehicles", *European Journal of Operations Research*, 148, ss: 559-569.
- Lenstra, J., Kan, R.A., 1981. "Complexity of Vehicle Routing and Scheduling Problems", *Networks*, Vol.11, pp.221-227.
- Neumann, V.J., Morgenstern, O., 1945, "Theory of Games and Economic Behavior", *Bull. Amer. Math. Soc* 51, ss: 498-504.
- Odom, E., 2002, "Future Employment of Unmanned Aerial Vehicles", *Aerospace Power Journal*, 16,2.
- Osman İ., 1993, "Metastrategy Simulated Annealing and Tabu Search Algorithms for the Vehicle Routing Problem", *Annals of Operations Research*, 41:421-451.
- Öncan, T., 2004, *On Unidirectional Cyclic Layouts, Hamiltonian Circuits, Capacitated Vehicle Routes and Minimal Spanning Trees (Yayımlanmamış Doktora Tezi)*, İstanbul, Boğaziçi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği.
- Önder, İ., 2007(a), *An Employee Transporting Problem and its Heuristic Solutions (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi)*, Ankara, Çankaya Üniversitesi.
- Önder, İ., 2007(b), *A Genetic Algorithm for TSP with Backhauls Based on Conventional Heuristics (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi)*, Ankara, ODTÜ.
- Özaydın, Ekim, 2003, *Integrated Vehicle Routing and Warehouse Location Problem (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi)*, İstanbul, Koç Üniversitesi.
- Özfirat, P. M., 2008, *Exact And Heuristic Algorithms For The Variants Of The Vehicle Routing Problem (Yayımlanmamış Doktora Tezi)*, İzmir, Dokuz Eylül Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği.
- Özkan, P., 2006, *Araç Rotalama ve Çizelgeleme (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi)*, İstanbul, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Pakkan, Baha, Murat Ermiş, 2010, "İnsansız Hava Araçlarının Genetik Algoritma Yöntemiyle Çoklu Hedeflere Planlanması", *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, Cilt 4 Sayı 3, 77-84.
- Powell, W.B., Jaillet P., Odoni, A.R., 1995, "Stochastic and Dynamic Networks and Routing, in Network Routing", *Handbooks in OR and Management Science*, Vol.8, North Holland: Amsterdam, 141-295.
- Psaraftis, H. N., 1995, "Dynamic Vehicle Routing Problems: Status and Prospects", *Ann.Opns.Res.*, 61, 143-164.

- Psaraftis, H. N., 1998, "Dynamic Vehicle Routing Problems". B.L.Golden, A.A.Assad, eds. *Vehicle Routing: Methods and Studies*, Elsevier Science Publishers B.V.(North Holland), Amsterdam, 223-248.
- Pustam, A., R., 2002, "Unmanned Aerial Vehicles: Trends and Prospects", *Military Technology*, 26, 11, 44-55.
- Sarıgöl, İ., 2007, *A Clustared Based Heuristic for Location Routing Problems (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi)*, İstanbul, Sabancı Üniversitesi.
- Shima,T., Rasmussen, S., 2009, "UAV Cooperative Decision and Control Challenges and Practical Approaches", *Society for Industrial and Applied Mathematics*, Philadelphia.
- Sujit, P.B., Sinha, A., Ghose, D., 2007, "Team, Game, and Negotiation based Intelligent Autonomous UAV Task Allocation for Wide Area Applications", *Studies in Computational Intelligence (SCI)*, 70, 39-75.
- Şeker, Şükran, 2007, *Araç Rotalama Problemleri ve Zaman Pencere Stokastik Araç Rotalama Problemine Genetik Algoritma Yaklaşımı (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi)*, İstanbul, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Tan, K.C., Lee, L.H., Zhu, Q.L., Ou. K., 2001, "Heuristic Methods for Vehicle Routing Problem with Time Windows", *Artificial Intelligence in Engineering*, vol.15, ss.281-295.
- Taşkıran, D., 2006, *A Revised Multiple Ant Colony System For Vehicle Routing Problems With TimeWindows (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi)*, İstanbul, Sabancı Üniversitesi.
- Tezer, T., 2009, *Toplama ve Dağıtım Zaman Pencere Araç Rotalama Problemi İçin Kesin Çözüm Yaklaşımı ve Örnek Uygulamalar (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi)*, Balıkesir, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi.
- Thompson, P.M., Psaraftis, H.N., 1993, "Cyclic Transfer Algorithms for the Multivehicle Routing and Scheduling Problems", *Operations Research* 41, 935-946.
- Tokaylı, M.A., 2005, *Zaman Pencere Araç Rotalama Problemi için Bir Karar Destek Sistemi (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi)*, Ankara, Gazi Üniversitesi.
- Toth, P., D. Vigo, 2001, "The Vehicle Routing Problem", *SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications*, SIAM Publishing, Philadelphia, PA.
- U.S. DoD Home Page. Erişim 12 Ağustos 2011, *Unmanned System Integrated Roadmap 2010-2035*, <<http://www.dtic.mil>>.
- Uzun, E., 2009, *A Heuristic Algorithm for an Integrated Routing and Scheduling Problem with Stops En-Route (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi)*, Ankara, Bilkent Üniversitesi.
- Yılmaz, Şule, 2008, *Çok Depolu Araç Rotalama Probleminin Karınca Kolonisi Optimizasyonu ile modellenmesi ve Bir Çözüm Önerisi (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi)*, İstanbul, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Zheng,W., Xiang-Pei, H., Yang, C., Wen-Li, L. 2007, "Real Time Modeling Method for Vehicle Routing Problems", *International Conference on Harbin*, P.R. China, ICMSE.
- Zucker, M., Kuffner, J., Branicky, M., 2007, "Multipartite RRTs for Rapid Replanning in Dynamic Environments", *2007 IEEE Conference on Robotics and Automation*, Italy.