

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**HETEROJEN ÇOKLU İNSANSIZ HAVA-KARA-DENİZ ARAÇ
SÜRÜLERİ İÇİN KUANTUM HESAPLAMA TABANLI AKILLI
İŞBİRLİKÇİ KONTROL YAKLAŞIMLARI**

Nigar ÖZBEY

Doktora Tezi

BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞUBAT 2025

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

HETEROJEN ÇOKLU İNSANSIZ HAVA-KARA-DENİZ ARAÇ
SÜRÜLERİ İÇİN KUANTUM HESAPLAMA TABANLI AKILLI
İŞBİRLİKÇİ KONTROL YAKLAŞIMLARI

Tez Yazarı
Nigar ÖZBEY

Danışman
Prof. Dr. Mehmet KARAKÖSE

ŞUBAT 2025
ELAZIĞ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Başlığı:	Heterojen Çoklu İnsansız Hava-Kara-Deniz Araç Sürüleri İçin Kuantum Hesaplama Tabanlı Akıllı İşbirlikçi Kontrol Yaklaşımları
Yazarı:	Nigar ÖZBEY
İlk Teslim Tarihi:	14.01.2025
Savunma Tarihi:	13.02.2025

TEZ ONAYI

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açık yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Danışman:	Prof. Dr. Mehmet KARAKÖSE Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	<i>İmza</i> Onayladım
Başkan:	Prof. Dr. Burhan ERGEN Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım
Üye:	Doç. Dr. Fatih DEMİR Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım
Üye:	Prof. Dr. Tolga OVATMAN İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilgisayar ve Bilişim Fakültesi	Onayladım
Üye:	Prof. Dr. Asım Egemen YILMAZ Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun/...../20..... tarihli toplantısında tescillenmiştir.

İmza

Prof. Dr. Burhan ERGEN
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “ Heterojen Çoklu İnsansız Hava-Kara-Deniz Araç Sürüleri İçin Kuantum Hesaplama Tabanlı Akıllı İşbirlikçi Kontrol Yaklaşımları ” Başlıklı Doktora Tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

13.02.2025

Nigar ÖZBEY



ÖNSÖZ

Teknolojik gelişmeler, insansız araçların kullanımını farklı alanlarda yaygınlaştırmış ve bu araçların koordinasyonunu sağlamaya yönelik yenilikçi yaklaşımların geliştirilmesini bir gereklilik haline getirmiştir. Özellikle heterojen yapıya sahip insansız hava, kara ve deniz araçlarının birlikte çalışması; daha karmaşık görevlerin üstesinden gelinmesini mümkün kılarken, bu araçların dinamik ve karmaşık ortamlarda etkin bir şekilde çalışabilmesi için gelişmiş kontrol ve optimizasyon yöntemleri ihtiyaç duyulan bir araştırma alanı oluşturmuştur.

Bu tez çalışmasında, heterojen insansız araç sürülerinin görev atama, rota planlama ve engel kaçınma gibi temel zorluklarını ele alan yenilikçi bir çözüm önerisi sunulmaktadır. İnsansız hava, kara ve deniz aracı dinamik görevlerde verimli şekilde kullanılmasını sağlamak amacıyla, genetik algoritmalar ve costmap tabanlı yol bulma yöntemlerini birleştiren bir optimizasyon yaklaşımı geliştirilmiştir. Bu yöntem, farklı araç türlerine uygun olarak görev atama ve rota planlama süreçlerini optimize ederek operasyonel etkinliği artırır. Tez kapsamında önerilen kuantum-klasik hibrit yaklaşımlar, mevcut yöntemlerin sınırlarını aşmak için güçlü bir araç olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle görev atama ve rota planlama gibi gerçek dünyaya uygulanabilir senaryolar için kuantum hesaplama tabanlı yaklaşımlar, umut verici bir çözüm potansiyeline sahiptir. Bu tez çalışmasının, alandaki mevcut literatüre değerli katkılar sunarak, bu konu üzerine yapılacak gelecekteki çalışmalara rehberlik edecek faydalanılabilir bir kaynak olmasını diliyorum.

Bu çalışmada, değerli vaktini bana ayırarak desteklerini esirgemeyen, görüş ve katkılarıyla bana yol gösteren tez danışmanım Prof. Dr. Mehmet KARAKÖSE'ye teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, hayatımın her anında ilgi, anlayış ve her türlü desteğini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

Bu tezde geliştirilen yöntemler **121E439** nolu **TÜBİTAK 1001** araştırma projesi ile desteklenmiştir. Tezdeki yazılımsal ve donanımsal uygulamaların temin edilmesinde maddi desteklerinden dolayı Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumuna teşekkür ederim.

Nigar ÖZBEY

ELAZIĞ, 2025

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLOLAR LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Heterojen İnsansız Sürü Araçlar	4
1.2. Literatür Özeti	11
1.3. Tezin Amacı ve Kapsamı	34
1.4. Tezin Yapısı.....	34
2. HETEROJEN İNSANSIZ SÜRÜ ARAÇLARIN GÖREV KOORDİNASYONU.....	36
2.1. İnsansız Hava Araçları Görev Atama Problemleri	36
2.2. İnsansız Kara Araçları Görev Atama Problemleri.....	43
2.3. İnsansız Deniz Araçları Görev Atama Problemleri	48
2.4. İHA-İKA Görev Atama Problemleri	55
2.5. İHA-İDA Görev Atama Problemleri	61
3. HETEROJEN ÇOKLU İNSANSIZ ARAÇLARDA GÖREV KOORDİNASYON YAKLAŞIMLARI	64
3.1. İnsansız Araçlar için Pareto Tabanlı Çok Amaçlı Rota Optimizasyonu ve Engel Kaçınma Stratejileri.....	64
3.1.1. Giriş.....	65
3.1.2. Pareto Tabanlı Rota Optimizasyonu ve Engel Kaçınma Süreci	67
3.1.3. Uygulama Modeli ve Optimizasyon Süreci.....	68
3.1.4. İKA için Engel Kaçınma ve Hareket Yönlendirme	69
3.1.5. Simülasyon Ortamının Oluşturulması	70
3.1.6. Deneysel Sonuçlar	70
3.1.7. Sonuç.....	74
3.2. Genetik Algoritma Tabanlı Heterojen İnsansız Sürü Araç Görev Koordinasyonu.....	75
3.2.1. Giriş.....	76
3.2.2. Çalışmanın Ana Yapısı.....	80
3.2.3. Önerilen Yöntem	81
3.2.4. Simülasyon Ortamının Oluşturulması	91
3.2.5. Deneysel Sonuçlar	91
3.2.6. Sonuç.....	94
4. HETEROJEN ÇOKLU İNSANSIZ ARAÇLAR İÇİN KUANTUM HESAPLAMA TABANLI İŞBİRLİKÇİ OPTİMUM GÖREV TAHSİSİ YAKLAŞIMI.....	95
4.1. Giriş	95
4.2. Kuantum Hesaplama.....	97
4.2.1. Kuantum Hesaplamanın Avantajları Dezavantajları	98

4.2.2. Kuantum Hesaplamanın Temel Kavramları	99
4.2.3. Kuantum Algoritmalar	102
4.3. Kuantumdan İlham Alan Evrimsel Algoritma (QEA) Tabanlı Yaklaşım.....	103
4.4. Kuantum-Klasik Hibrit Tabanlı Yaklaşım.....	107
4.4.1. Simülasyon Ortamının Oluşturulması	109
4.4.2. Kuantum Çözümün Gözlemlenmesi.....	110
4.4.3. Rotalardan Turların Hesaplanması	111
4.4.4. Kuantum Çözümün Güncellenmesi	112
4.5. Deneysel Sonuçlar	113
4.6. Sonuç	120
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	121
KAYNAKLAR.....	124
ÖZGEÇMİŞ	



ÖZET

Heterojen Çoklu İnsansız Hava-Kara-Deniz Araç Sürüleri İçin Kuantum Hesaplama Tabanlı Akıllı İşbirlikçi Kontrol Yaklaşımları

Nigar ÖZBEY

Doktora Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Şubat 2025, Sayfa: xiii + 137

Heterojen insansız hava, kara, deniz aracı (Unmanned Vehicles, UV) sürüleri için işbirlikçi kontrol yaklaşımları, dinamik ortamlarda etkin çalışması oldukça önemlidir. Tez çalışmasında İnsansız hava- kara için Pareto tabanlı çok amaçlı bir rota optimizasyonu ve engel kaçınma yöntemi önermektedir. Geliştirilen yöntem, dinamik bir ortamda enerji tüketimini minimize ederek hedefe ulaşma süresini optimize etmeyi ve engellerden güvenli şekilde kaçınmayı hedeflemektedir. Ayrıca UV'ler dinamik görev senaryolarında etkin konuşlandırılması için genetik algoritmalar ve costmap tabanlı yol bulma tekniklerini birleştiren yenilikçi bir optimizasyon çerçevesi sunmaktadır. UV'lerin görev atama ve rota planlama süreçlerinde operasyonel etkinliklerini artırmayı hedefleyen bu yaklaşım, farklı araç türlerine özel kriterlerle uyumlu bir şekilde optimize edilmiştir.

Günümüzde insansız araçlar, insan müdahalesi olmadan güvenli ve verimli bir şekilde hedefe ulaşabilmektedir. Ancak farklı türdeki araçlarda görev atama ve rota planlama gibi karmaşık optimizasyon sorunlarını da ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle çoklu araç koordinasyonunu sağlamak için etkili ve yenilikçi yöntemlerin geliştirilmesi bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu tezde, insansız araçların iş birliği içinde tamamen otonom görev ataması yapabilmesi için kuantum-klasik hibrit bir sistem tasarlanmıştır. Önerilen yöntem, klasik genetik algoritmalarla benzer performans sergilerken, kuantumdan ilham alan evrimsel algoritmalarla kıyasla üstün sonuçlar elde etmiştir. Ayrıca, kuantum bilgisayarlarının hız avantajıyla, klasik genetik algoritmalarla uzun sürede çözülebilecek karmaşık problemlerin çok daha kısa sürede çözülebileceği gösterilmiştir.

Yapılan çalışmalarla, heterojen insansız araç sürülerinin dinamik ve karmaşık ortamlarda etkin görev planlaması, enerji verimliliği ve engel kaçınma sorunlarına için yenilikçi çözümler sunmaktadır. Ayrıca kuantum bilişimin görev atama problemlerine uygulanabilirliğini başarılı bir şekilde ortaya koyarak, bu alanda yenilikçi yaklaşımlar için bir temel oluşturmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Heterojen çoklu insansız araç sürüleri, Kuantum-klasik hibrit sistem, Görev atama, Optimizasyon

ABSTRACT

Quantum Computing Based Intelligent Collaborative Control Approaches for Heterogeneous Multi-Swarms of Unmanned Aerial-Ground-Marine Vehicles

Nigar ÖZBEY

Ph.D. Thesis

FIRAT UNIVERSITY
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Computer Engineering

February 2025, Pages: xiii + 137

Collaborative control approaches for heterogeneous unmanned aerial, ground, marine vehicle (Unmanned Vehicles,UV) swarms are crucial for effective operation in dynamic environments. This thesis proposes a Pareto-based multi-objective route optimization and obstacle avoidance method for unmanned aerial and ground vehicles. The developed method aims to optimize the time to reach the target while minimizing energy consumption and ensuring safe obstacle avoidance in dynamic environments. Additionally, it introduces an innovative optimization framework combining genetic algorithms and costmap-based pathfinding techniques for efficient deployment of UVs in dynamic mission scenarios. This approach, designed to enhance operational efficiency in mission assignment and route planning processes, is optimized to align with criteria specific to different vehicle types.

Although unmanned vehicles can operate safely and efficiently without human intervention, complex optimization challenges such as task assignment and route planning emerge in multi-vehicle coordination. Therefore, developing effective and innovative methods for multi-vehicle coordination is essential. In the thesis study, introduces a quantum-classical hybrid system to enable autonomous task assignment for unmanned vehicles in collaboration. The proposed method demonstrates comparable performance to classical genetic algorithms while outperforming quantum-inspired evolutionary algorithms. Additionally, it shows that quantum computing's speed advantage can solve complex problems, which would take longer with classical genetic algorithms, in significantly shorter times.

This work offers innovative solutions for task planning, energy efficiency, and obstacle avoidance in dynamic and complex environments for heterogeneous unmanned vehicle swarms. Furthermore, it successfully demonstrates the applicability of quantum computing to task assignment problems, laying the foundation for innovative approaches in this field.

Keywords: Heterogeneous multi-unmanned vehicle swarms, Quantum-classical hybrid system, Task assignment, Optimization

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Heterojen insansız sürü araçların kullanım alanları.....	1
Şekil 1.2. Heterojen insansız sürü araç sistemleri.	2
Şekil 1.3. İHA iletişim ağı [15].	8
Şekil 1.4. İHA sürülerinde görev atama için Kızıl Tilki Algoritması [29].	14
Şekil 1.5. İHA sürü planlamasının akış şeması [43].	20
Şekil 1.6. Önerilen hareket planlama algoritması [46].	22
Şekil 1.7. İki seviyeli optimizasyon algoritmasına genel bakış [47].	23
Şekil 1.8. İHA ve İKA için iki seviyeli bir planlama yöntemi [49].	24
Şekil 1.9 Önerilen DQN destekli sürü zekası yöntemi [56].	27
Şekil 1.10. Sualtı hedefini arayan ve izleyen heterojen sistem [58].	28
Şekil 1.11. Heterojen çoklu insansız araçlar için uçtan uca paralel bir kontrol stratejisi [62].	30
Şekil 1.12 Çoklu insansız araçlar arasında işbirlikli operasyon [62].	31
Şekil 1.13. Heterojen SİDA ve İDA işbirlikçi aramasının şematik diyagramı [64].	32
Şekil 2.1. Önerilen sistem mimarisi [66].	37
Şekil 2.2. Optimizasyon probleminin çözüm çerçevesi [67].	38
Şekil 2.3. QPSO algoritma adımları [68].	39
Şekil 2.4. MFOA akış şeması [70].	41
Şekil 2.5. Çoklu İKA yol planlayıcısının akış diyagramı [74].	43
Şekil 2.6. Statik ve dinamik ortamlarda hareket planlama kontrol mimarisi [77].	46
Şekil 2.7. İKA'ların yol planlamasına yönelik G-Ant çerçevesi [78].	47
Şekil 2.8. Çoklu İDA'ların görev atama ve yol optimizasyonu için akış şeması [80].	49
Şekil 2.9. İDA ile veri toplama için yol planlama yöntemi [81].	50
Şekil 2.10. İDA ile deniz tabanının ilgi alanlarının incelenmesine yönelik algoritma süreci [82].	51
Şekil 2.11. Hibrit yol planlama algoritması sistemi [84].	52
Şekil 2.12. DFQL algoritması akış şeması [85].	54
Şekil 2.13. İKA ve İHA için işbirlikçi bir rota hesaplama stratejisi [87].	56
Şekil 2.14. İHA-İKA sisteminin işbirlikçi model çerçevesi [88].	57
Şekil 2.15. İHA - İKA işbirliğine dayalı bir yol noktası planlama algoritması [89].	58
Şekil 2.16. İHA-İKA sistemi mimarisi [91].	60
Şekil 2.17. İHA ve İDA'ların su yüzeyindeki çöp temizliği için iş birliği [93].	61
Şekil 2.18. Deniz arama ve kurtarma görevlerinde işbirlikçi İDA - İHA sistemi [94].	62

Şekil 3.1. Pareto tabanlı rota optimizasyonu ve dinamik engel kaçınma süreci	67
Şekil 3.2. Simülasyon ortamı.....	70
Şekil 3.3. (a) Pareto tabanlı rota optimizasyonu ait görev yörüngesi, (b) İKA ve engeller arasında mesafe değişimi, (c) Hedef tespit olasılığının zaman geçmişi, (d) Araç görev yörüngesi.	72
Şekil 3.4. Veritabanı diyagramı.....	84
Şekil 3.5. Genetik algoritma akış şeması.....	87
Şekil 3.6. Grafiksel kullanıcı arayüzü	90
Şekil 3.7. Senaryo sonrası optimizasyonla seçilen araçların rotası ve haritalaması	92
Şekil 3.8. Parametre giriş ve optimizasyon ekranı ve optimizasyon için seçilen parametreler sonrası seçilen kara araçlarının rotası ve haritalaması	92
Şekil 3.9. Görev başarı oranı, çarpışma riski, operasyonel verimlilik iyileşmelerini gösteren grafik	93
Şekil 4.1. Kuantum hesaplamanın gelişimi	98
Şekil 4.2. Bloch küresi notasyonu gösterimi	100
Şekil 4.3. Süper-pozisyon, (a) bir kübiti süper-pozisyona geçiren devre, (b) süper-pozisyon durumundaki kübitin bloch küresi gösterimi	100
Şekil 4.4. İki-kübitlik dolanık kuantum sistemler (bell durumları), (a) $\phi + \text{durumu}$, (b) $\phi + \text{durumu}$, (c) $\psi + \text{durumu}$, (d) $\psi - \text{durumu}$	101
Şekil 4.5. Kuantum algoritma türleri	103
Şekil 4.6. Gözlem sonucunda bir kübitin çöküşü	104
Şekil 4.7. QEA'nın genel akış diyagramı [151].	105
Şekil 4.8. Rota matrisinin hesaplanmasında kullanılan yöntemin blok diyagramı, Uc 'nin oluşturulacak matrisin sütun indeksi, Uf 'nin ise matrisin oluşumunun her aşamasındaki durumu olduğu şekilde gösterilmektedir.	108
Şekil 4.9. Önerilen yaklaşımın genel blok diyagramı.....	108
Şekil 4.10. Simülasyon Ortamı.....	110
Şekil 4.11. QS'den S'in, S'den rotanın elde edilmesi	111
Şekil 4.12. Rota ve yardımcı vektörlerinden turların hesaplanması	112
Şekil 4.13. Klasik GA performansı	114
Şekil 4.14. Silveira vd.[153]'nin Uyarlanmış QEA tabanlı önerilen yaklaşımın performansı	115
Şekil 4.15. Önerilen yaklaşımın performansı	115
Şekil 4.16. Elde edilen örnek rotalar. a) Toplam mesafeleri (1135.27) kullanarak klasik GA için en iyi rota, b) Maksimum araç mesafesini (319.69) kullanarak klasik GA için en iyi rota, c) Maksimum araç mesafesini (322.13) kullanarak QEA ve önerilen yöntem için en iyi rota	117
Şekil 4.17. Farklı senaryolar için ortalama maliyetler. a) Maksimum rota mesafelerine göre hesaplanan maliyetler, b) Toplam mesafelere göre hesaplanan maliyetler.....	119

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 1.1. Heterojen insansız sürülerde karşılaşılan problemler	5
Tablo 1.2. Algoritma performas değerlendirilmesi	33
Tablo 3.1. Simülasyon senaryolarının performans karşılaştırması	73
Tablo 3.2. Pareto tabanlı optimizasyon yöntemlerinin karşılaştırmalı analizi	74
Tablo 3.3. Önerilen yöntem ile literatür çalışmaları arasındaki karşılaştırma tablosu	79
Tablo 3.4. Hava araçları veritabanı tablosu.....	82
Tablo 3.5. Kara araçları veritabanı tablosu	82
Tablo 3.6. Deniz araçları veritabanı tablosu	83
Tablo 3.7. En iyi çözümler veritabanı tablosu	83
Tablo 3.8. Deneysel sonuçların tablo halinde değerlendirilmesi	93
Tablo 4.1. Klasik hesaplama ve kuantum hesaplama karşılaştırması	97
Tablo 4.2. Temel kuantum kapılar	102
Tablo 4.3. Çalışmada kullanılan parametreler	114
Tablo 4.4. Senaryo 1 için detaylı simülasyon sonuçları.....	116
Tablo 4.5. Senaryolara göre maksimum rota ve toplam maliyet.....	118

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

λ	: Araç için belirlenmiş enerji katsayısı
d_n	: Bir adımda hareket edilen mesafe
N	: Toplam adım sayısı
Δt	: Zaman adımları
K	: Tespit edilen engel sayısı
w_k	: Engel k için ağırlık katsayısı
d_k	: Aracın engel k ile arasındaki mesafe
$P_T(t)$	: Aracın t anındaki pozisyon vektörü
P_S	: Engel merkezinin pozisyon vektörü
R	: Engel algılama yarıçapı
P'_T	: Aracın t anındaki yeni pozisyonu
$P_T(t)$	: Aracın mevcut pozisyonu
$\hat{d}_{new}$	: Hedef yönü
$ \psi\rangle$	: Kuantum-bit(kübit)
QS	: Kuantum Çözümü

Kısaltmalar

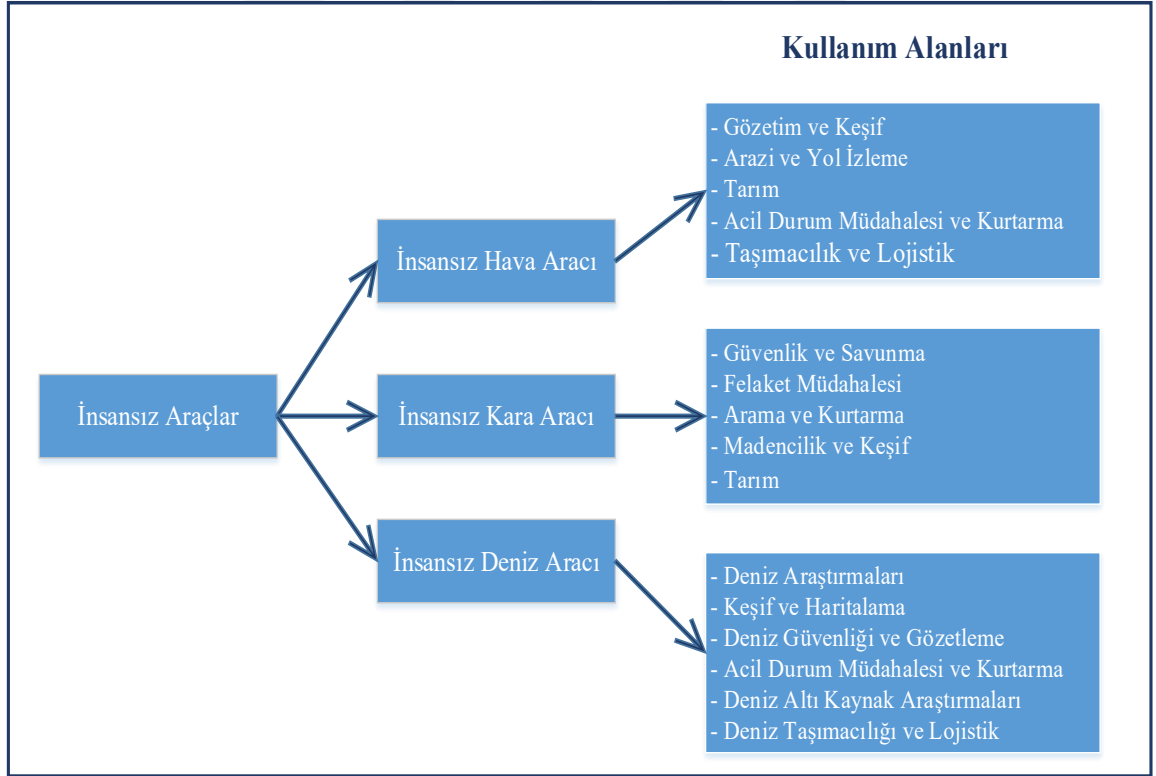
ACOPA	: Ant Colony Optimisation with a Probability-based random-walk strategy and an Adaptive waypoints-repair method
ACO	: Karınca Kolonisi Optimizasyonu (Ant Colony Optimization)
AGA	: Adaptif Genetik Algoritma
APF	: Yapay potansiyel alan (Artificial Potential Field)
CPP	: Çin Postacı Problemi
DGA	: Diferansiyel Gelişim Algoritması
DoS	: Hizmet Dışı Bırakma
DFQL	: Dinamik ve hızlı Q-Öğrenme (Dynamic and Fast Q-learning)
DQN	: Derin Q-ağları
DWA	: Dinamik pencere algoritması
GA	: Genetik Algoritma
GCS	: Yer Kontrol İstasyonu
GMGN	: Grid Harita Oluşturma Ağı (Grid Map Generation Network)
GWO	: Gri Kurt Optimizasyonu (Grey Wolf Optimizer)
GUI	: Grafikselsel Kullanıcı Arayüz
İDA	: İnsansız Deniz Aracı
İHA	: İnsansız Hava Aracı
İKA	: İnsansız Kara Aracı
MFOA	: Çoklu Sürü Meyve Sineği Optimizasyon Algoritması (Multi-swarm Fruit Fly Optimization Algorithm)
MPC	: Dağıtık Model Öngörülü Kontrol (Model Predictive Control)
PSO	: Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization)
QEA	: Kuantumdan İlham Alan Evrimsel Algoritma
QPSO	: Kuantum Parçacık Sürü Optimizasyonu
RFA	: Kıızıl Tilki Algoritması (Red Fox Algorithm)

SAPSO :Simüle edilmiş tavlama parçacık sürü optimizasyonu (Simulated Annealing Particle Swarm Optimization)
SİDA : Sualtı İnsansız Deniz Aracı
UVs : Unmanned Vehicles



1. GİRİŞ

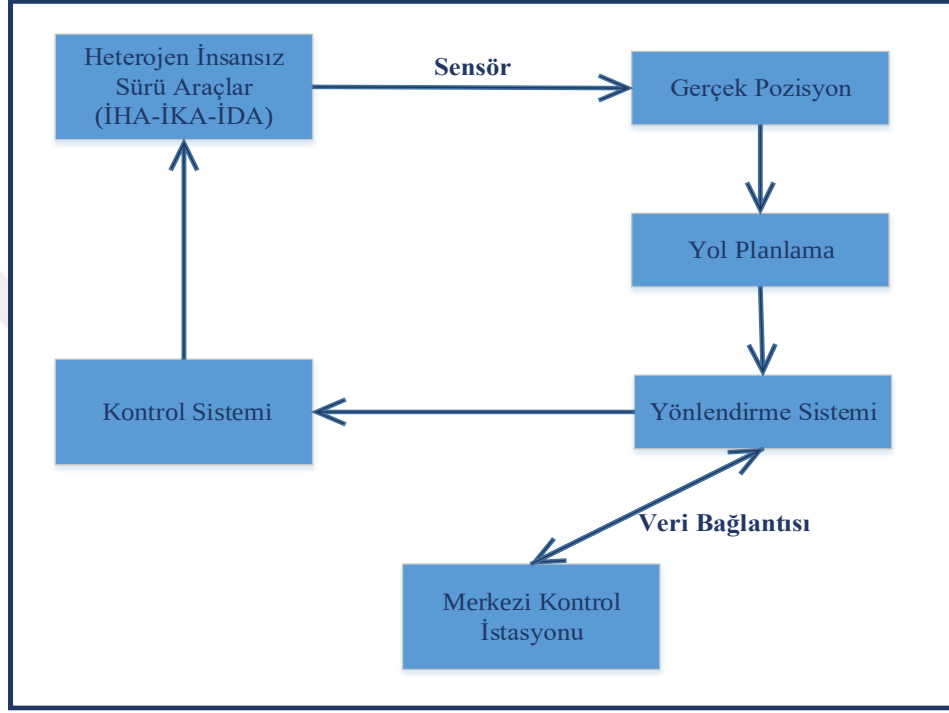
Günümüzde teknolojik gelişmeler sonucunda insansız araçlar, savunma sanayisi başta olmak üzere birçok farklı alanda kullanılmaktadır. İnsansız araçların kullanıldığı alanlarda öncelikle çevre algılanır ve ortam hakkında bilgiler elde edilir, daha sonra belirlenen amaç doğrultusunda senaryolar gerçekleştirilir. Belirlenen amaç doğrultusunda gerçekleştirilen senaryolarda İnsansız Hava Aracı (İHA), İnsansız Kara Aracı (İKA) ve İnsansız Deniz Aracı (İDA) gibi farklı araç türlerinin kullanılması, sürüdeki her üyenin sınırlarını en aza indirgenerek daha avantajlı bir hal almasını sağlamaktadır [1]. Heterojen insansız araçlar birlikte çalışarak karmaşık görevleri gerçekleştirebilmektedir Şekil 1.1’de gösterildiği gibi, heterojen insansız sistemler günümüzde askeri uygulamalar, felaket müdahalesi, çevrenin izlenmesi, taşımacılık ve deniz araştırmaları gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Kullanım alanlarının geniş kapsamlı olması ve farklı tipte araçların kullanılması birçok zorluğu da beraberinde getirmektedir. Bu nedenle bu alanda yapılan çalışmalar oldukça önem kazanmıştır.



Şekil 1.1. Heterojen insansız sürü araçların kullanım alanları.

İnsansız sistemler kara, hava ya da denizde belirli görevleri yerine getirmek için veri işleme, sensör ve kontrol birimleri bulunduran ve bu görevleri yerine getirmek için insan müdahalesi gerektirmeyen sistemlerdir [2]. Bu sistemlerin genel yapısı Şekil 1.2’de gösterilmiştir. Sistemde

öncelikle insansız araçlardan sensörlerden alınan veri doğrultusunda ilgili aracın yol planlaması yapılarak yönlendirme sistemine veri akışı sağlanır. Yönlendirme sistemine, merkezi kontrol istasyonundan ve yol planlamadan alınan veriler doğrultusunda bir çıktı elde edilir. Bu aşama sonunda elde edilen çıktı kontrol sistemine gönderilir. Kontrol sistemi belirlenen amaç doğrultusunda görev dağılımı yaparak ilgili araca yönlendirme gerçekleştirir.



Şekil 1.2. Heterojen insansız sürü araç sistemleri.

Genel olarak İHA, İKA ve İDA sistemlerine baktığımızda;

- İHA'nın ana bileşenleri üç ana kategori altında incelenebilir: [3] (i) uçak gövdesi, navigasyon sistemi, güç sistemi ve faydalı yük içeren hava platformu; (ii) uzak bir mevziden insan kontrolüne izin veren yer kontrol istasyonu; ve (iii) diğer iki bileşen arasındaki iletişimi destekleyen iletişim sistemi.
- İKA'lar özellikle insan için tehlikeli olacak ortamlarda kullanılırlar [4]. İKA'lar uzaktan kontrol edilebildiği gibi kullanılan sensörler sayesinde otonom olarak verilen görevi yerine getirebilir. İKA çevre algılama ve hareket planlama gibi temel teknikleri yerine getirir.
- İDA, hem sualtı hem de su üstü araçlarını kapsamaktadır [2]. İDA'lar insansız işleme izin veren deniz taşıtlarını kapsamaktadır ve insan müdahalesi olmadan kendi kararlarını kendi veren otonom araçlardır.

Sürüler kavramsal basitlikleri nedeniyle ilgi çekicidir, bu nedenle mevcut çalışmaların çoğu homojen sürüleri dikkate alır. Ancak gerçek dünya sürüleri genellikle yeni kolektif davranışlara yol açan değişken dinamik özelliklere sahip ajanları içermektedir. Bu durum heterojen sürü yapısının önemini artırmaktadır[5]. Heterojen sürü yapısı doğal sürülerden esinlenerek, heterojen yapay sürü yapısı tasarlanarak uygulanmaktadır. Bu alanda yapılan çalışmalar, farklı yeteneklere sahip bireysel robotların iki ila üç popülasyona ayrılarak ortak bir hedefe ulaşmak için birlikte kullanıldığı robotik sistemler üzerinde yoğunlaşmıştır. Bir sürünün homojenliğini korumak için tüm ajanların ihtiyaç duyulan tüm yeteneklere sahip olması gerekmektedir. Ancak bu durum karmaşık ajanların oluşmasına yol açacaktır. Bu karmaşıklık istenmeyen bir durumdur ve bu nedenle heterojen sistemlerde ajanlar mümkün olduğunca basit tutulmaktadır. Heterojen sürü sistemlerinde iki veya üç alt homojen ajan sürüsü kullanılarak, ajanların yeteneklerine göre genel problem belirli bir alt probleme bölünür.

Sürüler tipik olarak birçok bireysel, basit ve homojen veya heterojen ajandan oluşmaktadır [6]. Geleneksel olarak herhangi bir merkezi kontrol olmaksızın işbirliği yaparlar ve basit ve yerel davranışlara göre hareket ederler. Etkileşim yoluyla karmaşık görevleri çözebilen bir kolektif davranış sergilerler. Bu özellikler sürülere uyarlanabilirlik, sağlamlık ve ölçeklenebilirlik gibi avantajlar sağlamaktadır. Sürü robotiği, kendi bireysel yeteneklerinin dışındaki görevleri ortaklaşa çözmek için birbirleriyle etkileşime giren ve işbirliği yapan robotik sistemlerin incelenmesine dayanır [7]. Bir sürü robotik sistemi oluşturan robotlar genellikle homojendir. Heterojen sürü robotik sistemleri homojen robotların ayrı gruplarından yani alt sürülerden oluşur.

Genellikle bir sürü, asenkron bir şekilde ilerleyen bir dizi özdeş üyeden meydana gelir. Sürüyü oluşturan öğeler basit bireysel yeteneklere sahiptir. Sürü üyeleri arasındaki iletişim yerel bazda sınırlı olduğu için, sürü üyeleri sürünün genel durumu hakkında bilgi sahibi değildir. Sürü robotiği, çok sayıda nispeten basit robotların koordinasyonuna yönelik bir yaklaşımdır. Bu yaklaşımda robotlar yerel etkileşim yoluyla kendi kendine organize olup kolektif bir davranış sergilerler. Kolektif davranış, bireysel robotların birbirleriyle ve çevre ile etkileşimlerinin sonucu meydana gelir. Kolektif davranışını gerçekleştirmek için robotun bireysel davranışlarının ve robotların birbirleriyle etkileşimlerinin dikkatli bir şekilde tasarlanması gerekmektedir. Bir sürü robotik sistem aşağıdaki özelliklere sahiptir [8];

- Robotlar otonom bir yapıya sahiptir,
- Robotlar yerel algılama ve iletişim yeteneklerine sahiptir,
- Robotlar merkezi kontrole sahip değildir, küresel bilgiye erişimi yoktur,
- Robotlar belirli bir görevi yerine getirmek için işbirliği yapar.

Bu bölümde heterojen insansız sürülerin yapısı, uygulama alanları, avantajları ve dezavantajları ele alınıp, karşılaşılan problemler ve bu problemlerin çözümünde kullanılan yöntemler incelenmiştir.

1.1. Heterojen İnsansız Sürü Araçlar

İnsansız sürü araçlar son yıllarda hızla gelişen önemli bir teknolojidir. İnsansız sürü araçlar, belirli bir görevi yerine getirmek üzere koordine olmuş bir şekilde hareket eden otonom araçlardan oluşur. Heterojen insansız sürü araçlar ise farklı tipte araçların bir araya gelerek oluşturduğu bir sürüdür. Heterojen insansız sürü araç teknolojileri, sağlamlık, ölçeklenebilirlik ve esneklik özellikleriyle birçok avantajı beraberinde getirmektedir. Bu avantajlar;

1. Sağlamlık: Heterojen insansız sürü araçlarda, eğer bir araç arızalanırsa veya görevi yerine getiremez hale gelirse, diğer araçlar devralabilir ve görevin kesintisiz bir şekilde devam etmesi sağlanabilir. Bu yapı sistemin en önemli avantajıdır. Sistemde bazı bireyler başarısızlık gösterse bile, sistem kollektif sağlamlığa sahip olur [9],[10].
2. Esneklik: Heterojen insansız sürü araçlar farklı araç tiplerini bir araya getirerek esnekliği sağlar. Böylelikle görevler etkin bir şekilde yerine getirilir. Örneğin, dronlar ve kara araçlarından oluşan bir sürü, hava ve karada gerçekleştirilecek bir görevde hem geniş bir alanı tarayabilir hem de yüksek çözünürlüklü görüntüler elde edebilir. Böylelikle sistem birden fazla amaç ve görev için modülerleştirilmiş çözümler üretme yeteneğine sahip olur [9], [10].
3. Ölçeklenebilirlik: Heterojen insansız sürü araçlar, farklı özelliklere sahip araçların bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Bu yapı sistemin ölçeklenebilirliğini artırır. İhtiyaç duyulan görevin karmaşıklığına bağlı olarak, sürüdeki araç sayısı ve tipleri kolayca ayarlanabilir. Sistem çok çeşitli birey ile çalışabildiği için sisteme bir bireyin eklenmesi veya çıkarılması, görevin tamamlanmasını etkilememelidir [9], [10].

Heterojen insansız sistemler kullanım alanlarının geniş kapsamlı olması ve farklı tipte araçların kullanılmasıyla birlikte birçok zorluğu da beraberinde getirmektedir. Bu zorlukların başında koordinasyon problemi yer almaktadır. Heterojen insansız sürü araçların etkili bir şekilde çalışabilmesi için araçlar arasında koordinasyon büyük önem taşır. Farklı araç tipleri arasında uyumlu bir iletişim ve koordinasyon sağlamak oldukça zordur. Bunun için gelişmiş algoritmalar ve iletişim protokollerinin oluşturulması gerekmektedir. Ayrıca heterojen insansız sürüler içinde yer alan araçlar farklı yeteneklere sahip olduğu için uygun rollerin ve görevlerin atanması gerekmektedir. Heterojen insansız sürülerde karşılaşılan problemler Tablo 1.1' de yer almaktadır.

Tablo 1.1. Heterojen insansız sürülerde karşılaşılan problemler

Kullanılan Alan	Referanslar
Heterojen bireylerin sürü olma zorluğu	[5]
Sürü robotik sistemlerinde arama	[7]
İHA ile hareketli hedef tespiti	[11]
Yetkisiz erişimleri tespit etmek	[12]
İHA'lar arasındaki kablosuz iletişim problemi	[13]
Heterojen insansız sistemlerde iletişimde dalga biçimleri	[14]
İHA iletişiminde güvenlik sorunları	[15]
Heterojen İHA sürü ağının verimi	[16]
Optimizasyon problemi	[17]
İHA'nın bir İKA üzerine kalkışı, takibi ve inişi için bir kontrol stratejisi	[18], [19], [20]
İHA – İKA işbirliği	[18], [19], [20] [21], [22]
Heterojen insansız sistemlerde alan keşfi, hedef arama, hedef izleme	[22], [23]
İnsansız su üstü aracı - insansız su altı aracı – İHA işbirliği	[23]

Akbari ve Unland yapmış oldukları çalışmada, heterojen bireylerin aynı alt problemlere sahip olmaları durumunda bir sürü gibi davranmalarına izin veren yeni bir afinite tabanlı heterojen sürü takviyeli öğrenme metod geliştirmiştir [5]. İki ajan arasındaki yakınlığın, yani ajanların belirli bir alt problemi çözmeye yönelik birlikte çalışma uyumluluğunun ölçülmesi ve sürü davranışı olasılığını göstermesi önerilmiştir. Bu yöntem temel olarak özdeş olmayan ancak işbirliği yapabilen ajanların sürü davranışı sergilemelerine izin vermektedir. Sürüdeki araçların bilgileri paylaşma ve uzmanlıklarına uyan sorunları çözmesi sağlanmıştır. Heterojen sürülerde ajanlar sürü davranışı sergileme olasılığını kontrol etmek için yeteneklerindeki ve hedeflerindeki benzerliği yani afiniteyi ölçebilmelidir. Çok etmenli sistemler bağlamında yakınlık, uygulamanın amaçlarına göre iki aracının birlikte çalışmak için uyumluluğunu gösteren bir değer olarak tanımlanabilir. İki etmen arasındaki yakınlığın ölçülebilmesi için, belirleyici faktörlerin belirlenmesi ve sonunda her bir etmen için ölçülmesi gerekir. Bu nedenle iki ajan arasındaki afiniteyi ölçmek için profilleri arasındaki benzerlik ölçülebilir. Heterojen sürülerde bir temsilci, kendi kararını vermek için kendi profili ile bazı ilgili ajanların profili arasındaki benzerlikleri kontrol edebilir. Bu yöntem, temel olarak bu tür ajanların daha büyük bir sürüden bilgi toplamasına ve bu daha geniş bilgiyi daha iyi kararlar vermek için kullanabilmesine olanak sağlar.

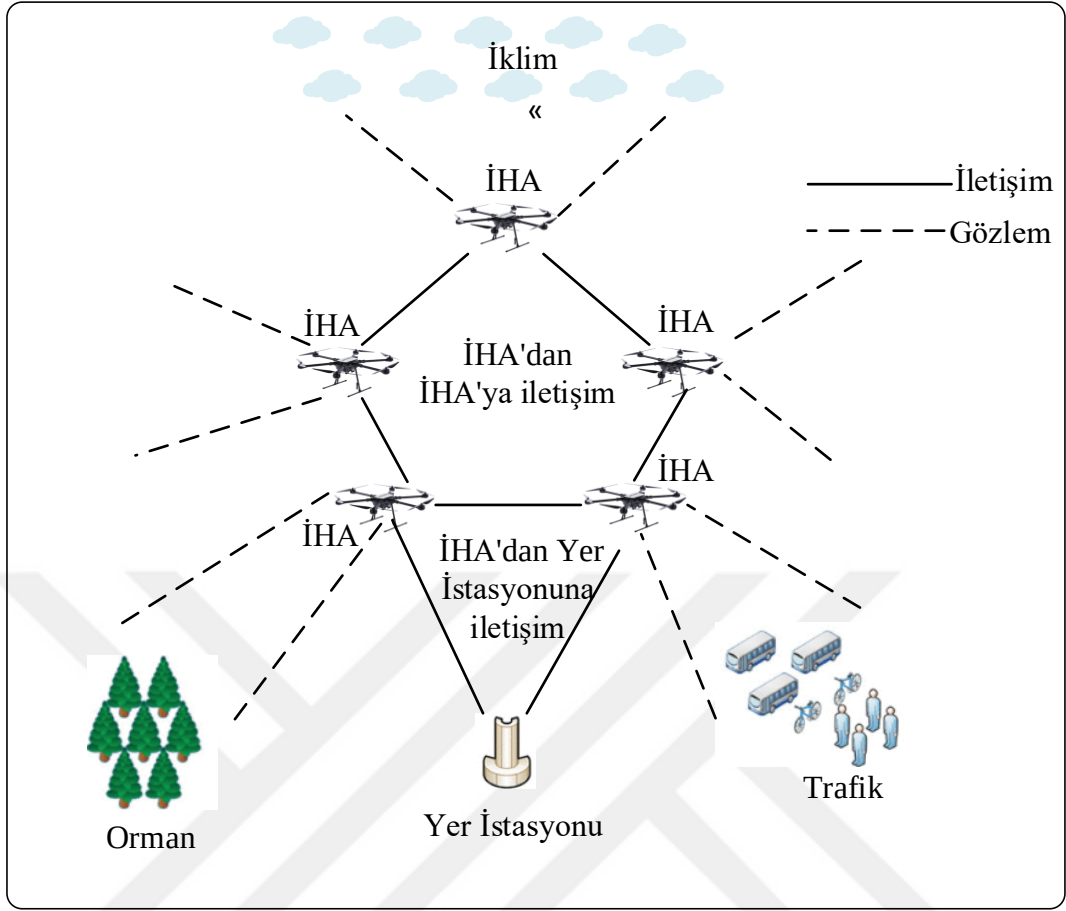
Heterojen robot sürüleri farklı yetenek ve kapasitelere sahip robotlardan oluşan sistemler olduğu için bu tür sistemlerin yönetimi, iletişim, koordinasyon ve görev dağılımı açısından zorluklar içerir. Ducatelle ve ark., yaptıkları çalışmada iki farklı robot türünden oluşan bir sürü robotik sistemin yiyecek arama görevini gerçekleştirmiştir [7]. Bu görev için ayak-bot adı verilen küçük tekerlekli robotlar ve göz-bot adı verilen tavana takılabilen uçan robotlar kullanılmıştır. Ayak robotları arama işlemini gerçekleştirirken, göz robotları ayak robotlarını yönlendirmek amacıyla tavana konumlandırılmıştır. Yaklaşımın arkasındaki genel fikir, ayak robotlarının göz robotlarından aldıkları yönlendirmeli talimatları yürütmesi ve göz robotlarının, verdikleri talimatları uyarlamak

için ayak robotlarının davranışını ve geri bildirimlerini gözlemlemesidir. Yapılan çalışmada çoklu tip yollar arasından en kısa yol bulmak için karınca koloni algoritması (Ant Colony Optimization, ACO) kullanılmıştır. Kullanılan yöntem ile karıncaların feromon izleme davranışı yuva ve besin kaynağı arasında bir yol bulma işlemini ve en kısa yola yakınsamayı sağlamıştır. Bouvry ve ark., yaptıkları çalışmada videoda hareketli hedef tespiti gerçekleştirmiştir. Bu işlemi gerçekleştirmek için İHA'lar uzun menzilli radar ve elektro-optik/kızılötesi kameralar dahil olmak üzere çeşitli yerleşik sensörlerle donatılmıştır [11]. Bu donanımların her ikisi de coğrafi konumla ilişkilendirilerek etkili gözetim ve istihbarat sağlamıştır. Yapılan çalışmada amaç kamyon, araba, motosiklet gibi kara araçlarının hareketlerini izlemek ve ilgilenilen hedefleri tanımdır. İHA'larda yeniden görevlendirme işleminde ve karar sürecinde sürüdeki diğer İHA'lar tarafından toplanan verileri kullanılmaktadır. İHA çevresindeki diğer İHA'lardan mesajlar alır, İHA otonom olarak gerçekleştireceği bir sonraki eyleme karar vermek için mesajları analiz etmektedir. Çalışmada İHA hareketi için ACO kullanılmıştır. Bu algoritma karıncaların çevreyi feromon birikimi yoluyla bilgi alışverişi yapmak için kullanmasına dayanır. Feromon konsantrasyonu İHA'ların davranışını etkiler. İHA'lar diğer İHA'ların aynı yerleri çok sık tekrar ziyaret etmelerini önlemek için ziyaret edilen coğrafi alanlara sanal itici feromonlar bırakmaktadır.

İHA'lar günümüzde çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bir İHA sınırlı bir kaynağa ve yeteneğe sahip olduğu için karmaşık ve zorlu görevlerde istenilen performansı gösterememektedir. Bu nedenle karmaşık görevleri gerçekleştirmek için birden fazla İHA kullanılmaktadır. Bu yapı ile tek bir İHA'nın sahip olmadığı işlevlerde avantajlı bir yapı sağlamaktadır. Ancak bu durum işlem karmaşıklığını artırmaktadır. Çoklu İHA sistemleri daha yüksek karmaşıklığa sahip olduğu için, tek bir İHA için kullanılan geleneksel algoritmaları kullanmak zordur. Karmaşık görevleri yerine getirebilmek sürü zekası kavramı ortaya çıkmıştır. Sürü zekası terimi ilk olarak yalnızca yerel bilgileri kullanan basit kuralları izleyen birçok kişiden oluşan doğal ve yapay sistemlerin kendi kendini organize eden kolektif davranışını ifade eder. Yapay sürü zekası sistemleri tipik olarak basit robotlar veya yazılım ajanlarından oluşan bir popülasyondan oluşur. Sürü zekası modeli çok etmenli sistemdir. Bu sistem belirli bir görevi bağımsız olarak yerine getirebilen ve yeterince uzun bir süre boyunca kararlar verebilen bir dizi akıllı araçtan oluşur. Sürü zekası için [12]; parçacık sürü optimizasyonu, karınca kolonisi optimizasyonu, yapay arı kolonisi algoritması, yapay bağışıklık sistemi, gri kurt algoritması gibi birçok algoritma ve yöntem kullanılmaktadır.

İHA sürüleri birçok avantaj sağlamasına rağmen, bazı zorlukları da beraberinde getirmektedir. Bu zorluklardan biri de İHA'lar arasındaki kablosuz iletişim problemidir. İHA'ların iletişim içinde kalabilmeleri için güvenli bir mesafeyi korumaları gerekmektedir. Wu ve ark., yapmış olduğu çalışmada İHA'ların seyir refakati için heterojen bir flock algoritması tasarlamıştır [13]. Karmaşık bir ortamda tek bir İHA çok sayıda malzeme taşıyamaz bu nedenle çoklu İHA yapısı kullanılmıştır.

Taşıma işleminin güvenliğini sağlamak için refakatçi İHA'lar kullanılarak İHA'lar iç katmanda korunmuştur. Refakatçi İHA'lar dış katmanda mümkün olduğunca eşit bir şekilde konuşlandırılarak, düşman İHA'ları hızlı bir şekilde tespit edebilmektedir. Tasarlanan algoritma ile İHA'ların doğru konumlandırılması gerçekleştirilerek güvenli taşıma sistemi gerçekleştirilmiştir. İnsansız platformlar arasındaki bağlantı ve birlikte çalışabilirlik, hızla değişen bir ortamda işbirliği sağlamak için oldukça önemlidir. Bu nedenle iletişimde dalga biçimleri için uyumlu bir yazılım mimarisi tasarlamak heterojen insansız sistemler arasında işbirliği gerçekleştirmek için gereklidir. Heterojen insansız sistemlerde donanım ve yazılım yapıları oldukça farklıdır. Bu farklılık sistemlerin geliştirilmesinde ve yöntemlerin uygulanmasında zorluklara sebep olacak ve maliyeti artıracaktır. Heterojen yapılarda kullanılan araçlardaki farklı bilgi işlem gücü, kontrol yeteneği ve yazılım/donanım yapısı nedeniyle taşınabilir ve yeniden kullanılabilir iletişim dalga biçimleri geliştirmek oldukça zordur. Bu sorunu çözüm bulmak için Zhuang ve ark., yaptıkları çalışmada heterojen insansız sistem için yazılım tanımlı modüler bir mimari önermişlerdir [14]. Önerilen mimari heterojen insansız sistemlerde yeniden kullanılabilirlik alanında iyileştirme sağlamaktadır. İnsansız araçlar arasındaki iletişimi açık bir kablosuz ağ üzerinden gerçekleştirdiği için iletişimde çeşitli potansiyel tehditlerle karşı karşıyadır. Bu nedenle insansız araçlarda iletişimdeki güvenlik sorunları ortaya çıkmaktadır. İHA'lar arasında iletişimde gizli dinleme, kesintiye uğratma ve yanıltma gibi güvenlik sorunları oluşmaktadır. Pan ve ark., yapmış oldukları çalışmada İHA'lar için heterojen bir işaret şifreleme şeması geliştirilmişlerdir [15]. Yapılan bu çalışmada İHA ile yer istasyonu arasındaki iletişime önem verilmiştir. İşaret şifreleme yöntemi şifreleme ve dijital imzanın bir kombinasyonudur ve bu yöntem İHA iletişimi için gizlilik, bütünlük, kimlik doğrulama ve özelliklerini sağlamaktadır. Şekil 1.3'te İHA'lar ile yer istasyonu arasındaki iletişim ağını göstermektedir. Bu yapıdaki ağda birden fazla İHA hem kendi aralarında hem de yer istasyonu reddedilemezlik ile iletişim kurar. Önerilen yapı ile İHA'ların görev paylaşımı ve veri aktarımı gibi işlemleri güvenli bir şekilde gerçekleştirmesine olanak tanınmıştır. İHA'lar için kimlik tabanlı kriptografi kullanırken, yer istasyonu için geleneksel genel anahtar altyapısı kullanılmıştır.



Şekil 1.3. İHA iletişim ağı [15].

İHA’larda belirlenen alt görevlerin net zaman ve konumlarda gerçekleştirilebilmesi için paylaşılan bilginin doğru olması gerekir. 5G’nin geliştirilmesiyle birlikte İHA sürülerinde karmaşıklık ve doğruluk açısından daha zorlu görevlerin gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Bilginin doğru iletilmesi için işbirliği yapılan İHA’lar arasında izinsiz girişlerin belirli İHA’ya iletilmesi gerekmektedir. 5G’nin ana teknolojilerinden biride hüzmelerdir. Hüzmeler İHA kontrol iletişimini daha doğru bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlayarak İHA’nın paketleri belirli hedeflere yönlü olarak teslim etmesini sağlar. Hüzmeler ayrıca İHA ağındaki enerji tüketimini ve parazitide önemli ölçüde azaltmaktadır. İHA sürülerinde 5G’nin gelişmiş hüzmeler özelliğinden yararlanarak, bağlantılar optimize edilir ve dağıtım verimliliği elde edilir. Hüzmelerin iletim menzili içindeki İHA sürüsünün hücre duvarı, bilgi ve işbirliği ve görev tamamlama izinsiz girişlerini paylaşmak için inşa edilebilir. Wang ve ark., yaptıkları çalışmada heterojen İHA sürü ağına verimini artırmak için bir hücre duvarı paradigması tasarlamıştır [16]. Bu yapıda heterojen İHA sürüleri arasındaki bağlantıları yeniden eşleştirerek heterojen İHA sürü ağları arasındaki iletişim için bir hücre duvarı oluşturulmuştur.

Seo ve Tsourdos yapmış oldukları çalışmada yörünge optimizasyonu yoluyla heterojen çoklu İHA'ların stratejik bir çatışmasının çözümünü ele almaktadır [17]. Farklı özelliklere sahip birden fazla İHA için bir yörünge optimizasyon problemi İHA'lar arasındaki çakışmayı gidermeyi ve ortamdaki engellerden kaçınmayı gerçekleştirme kısıtlamaları ve İHA'ların toplam kontrolünü en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Çalışmada önerilen Gauss psödospektral optimizasyon yöntemi ile amaç fonksiyonunu minimize etmek için faz sürelerini belirleyerek İHA'ların sadece yönlendirme komutlarına değil, İHA'ların kalkış ve iniş sürelerine de karar vermektedir. Gauss psödospektral yöntemi optimizasyon probleminin birkaç aşamaya bölerek, sistem dinamiklerini içeren kısıtların her aşama için farklı şekilde tanımlayarak önemli bir avantaj sağlamaktadır. Aşamaların süreleri problem formülasyonu ile sabitlenebilir veya amaç fonksiyonunu minimize etmek için optimizasyon yöntemi ile karar verilebilir. Heterojen İHA'ların stratejik çatışmasının giderilmesi, çoklu İHA'lar için yörünge optimizasyonu ile gerçekleştirilir. Yörünge optimizasyonu problemi, tüm İHA'ların çakışma giderme ve engellerden kaçınma sırasında kontrol çabalarını en aza indirecek şekilde tanımlanmıştır. İHA'lar arsında çakışmayı gidermek için, İHA'ların korunan bölgelerinin yarıçaplarının toplamından daha büyük mesafe iki İHA arasında sağlanmalıdır. Engellerden kaçınma ile ilgili kısıtlamalar ise korunan bölgelerin kesişmemesi için her bir İHA ile her bir engelin merkezi arasındaki mesafeyi korumak için tanımlanmıştır. İHA'ların kalkış ve iniş süreleri optimizasyon parametreleri olarak kabul edilmektedir. Yörünge optimizasyonu İHA'ların kalkış ve iniş süreleri ile tanımlanan çoklu aşamalara sahip olacak şekilde yapılandırılmıştır. Önerilen Gauss psödospektral optimizasyon yöntemi ile fazların sürelerini belirleyerek nesnel fonksiyonun minimizasyonu için İHA'ların kalkış ve iniş sürelerine karar verilir.

Ghamry ve ark., yaptıkları çalışmada orman yangınları izleme, tespit ve mücadele görevlerinde ve diğer uygulamalarda uygulanmak üzere bir quadrotor İHA bir İKA üzerine kalkışı, takibi ve inişi için bir kontrol stratejisi sunmaktadır [18]. İKA'lar lider olarak atanırken İHA'lar takipçidir. Kontrolün amacı İKA pozisyonuna ve istenen yüksekliğe göre İHA kontrolörü için komutlar oluşturmaktır. Önerilen kontrol algoritmasında, oluşumu düzensiz ve belirsiz bir ortamda bile tutmak için tasarımında kayan mod kontrolü kullanılmıştır. Kalkış sırasında filo kontrolörü, İHA konumunu istenen yükseklikte stabilize etmek için İHA yerel kontrolörüne komutlar göndermektedir. Bergeon ve ark., yapmış oldukları çalışmada bir İHA'nın hareketli bir İKA üzerine inmesine yardımcı olacak bir yöntem sunmuştur [19]. İniş asistanı sisteminde İHA üzerindeki aktif ışıklar, İHA'nın konumunu (mesafe ve yön) tanımak için kullanılmıştır. Ayrıca bu yaklaşım İKA'nın İHA ile işbirliği yaparak oryantasyon ve pozisyon ayarlamasına da yardımcı olur. Öncelikle aktif ışıklar yanıp sönerek video akışındaki görüntüler üzerinde tanımlamalarını basitleştiriyor. Sırayla iki görüntü arasındaki fark yanıp sönen ışıklar ile hesaplanabilir. Aradaki

farkı bulma işlemi kolay kullanım olduğu için mikrodenetleyiciler gibi hafif bilgisayarlarda bile hesaplanabilir.

Bacheti ve ark., yapmış olduğu çalışmada İKA ve İHA'dan oluşan bir oluşumun kontrolünü ele almaktadır [20]. İHA'nın belirli bir yolu izleyip İKA'ya göre göreceli bir pozisyonu korurken, İHA İKA'yı takip ederek koordineli bir şekilde ilerler. Böylece İHA herhangi bir zamanda İKA üzerine iniş gerçekleştirebilir. Bu makale, bir İKA ve bir İHA'dan oluşan heterojen bir oluşumun, İHA'nın İKA'dan kalkması veya üzerine inmesi için önceden tanımlanmış bir yolu takip etmede ortaya çıkan ortak navigasyon sorununu ele almaktadır. Bunun, İHA'nın paketi teslim etmek için mobil bir tabandan hareket ettiği, paket varış noktasına yakınken ve/veya paketi teslim ettikten sonra tekrar üzerine indiği bir paket teslimi görevinin bir parçası olarak düşünülmektedir. Bu makaledeki yaklaşım, İHA ve İKA'yı çoklu robotlu bir sistem olarak ele almak ve her iki aracın navigasyonunu koordineli bir şekilde kontrol etmektir. Bu çalışmada ele alınan İKA-İHA oluşumunu karakterize etmek için sanal yapı paradigması benimsenmiştir. Bu yapı, iki aracı birbirine bağlayan çizgi parçası olan 3D Kartezyen uzayda düz bir çizgidir. Oluşumu karakterize eden geometrik elemandaki bir referans noktasına sanal bir robot konur. Amaç İHA'nın İKA üzerine inişinin gerçekleştirilmesi olduğundan, referans noktası İKA'ya karşılık gelen sanal hattın uç noktası olarak belirlenmiştir.

Cheng ve ark., yapmış olduğu çalışmada 1 İHA ve 1 İKA arasındaki işbirliğinin sağlanması için bir yaklaşım sunmuştur [21]. İHA, İKA'daki hedef işaretleyiciyi izleyerek hareket eden İKA'yı otonom olarak izleyebilir ve üzerine iniş gerçekleştirilebilir. Yerleşik kamera tarafından yakalanan görüntüler, karadaki dizüstü bilgisayar kablosuz kanallarına iletilir. İHA'nın karada hareket eden araca göre göreceli konumu, bilgisayar aracılığıyla alınan görüntülerden tahmin edilir. Tahmini mevcut konum, kablosuz kanallar aracılığıyla İHA'ya gönderilir. Hedef işaretçisini tespit etmek ve konumlandırmak için önerilen görsel tabanlı yaklaşım İHA'nın yüksekliğinin yanı sıra dağınık zemin arka planına karşı dayanıklıdır.

Çok etmenli sistemlerde oluşum izleme kontrolü çalışılan araştırma alanıdır. İHA ve İKA'lar alan keşfi ve hedef arama gibi çeşitli görevleri başarılı bir şekilde gerçekleştirmektedir. İHA ve İKA'ların kullanıldığı sistemlerde en çok gerçekleştirilen senaryoların başında bir hedefe ulaşmak veya bir lideri takip etmektir. Bu takibi gerçekleştirmek için formasyon izleme kontrolörlerinin lideri takip edecek her takipçi için tasarlanması gerekmektedir. Oluşum izleme kontrol yöntemi merkezi kontrol ve dağıtılmış kontrol olmak üzere iki kategoriye ayrılabilir [22]. Merkezi kontrol yönteminde liderin durumlarına erişen ve her takipçi ajana hareket komutları gönderen bir kontrol merkezine vardır. Bu yöntem ajan sayısı az olan basit uygulamalar için uygundur. Dağıtılmış kontrol yönteminde ise takipçiler sadece komşu ajanlarla iletişim halindedir ve liderin durumlarını doğrudan almasına gerek yoktur. Bu yaklaşım sistem ölçeğinden etkilenmediğinden İHA ve İKA sürülerinde büyük potansiyele sahiptir.

Okyanus izleme faaliyetlerinde hedeflerin zamanında tespiti ve sonrasında hedeflerin izlenmesi oldukça önemlidir. Okyanuslarda bu geniş kapsamlı izlemeyi gerçekleştirmek için etki alanları arası izleme yaklaşımı önerilmiştir. Böylelikle bir hedefin gökyüzünde ve denizde her yönden izlenmesi gerçekleştirilmiştir. Mevcut çalışmalar aynı alanda işbirlikçi izleme yöntemine dayanmaktadır. Lin ve ark., yaptıkları çalışmada sualtı hareketli hedef izleme görevi, hedef arama ve hedef izleme olmak üzere iki aşamada gerçekleştirmiştir [23]. Böylelikle problem daha basit bir hale getirilmiştir. Hedef arama aşamasında gerçekleştirilen işlemler merkezi bir şekilde kontrol edilmiştir. Bu işlemde İHA havada geniş bir arama gerçekleştirirken, Sualtı İnsansız Deniz Aracı (SİDA) derin su aramasını, İKA ise yüzeyde arama yapar. Ayrıca İKA, SİDA ve İHA arasındaki haberleşmeyi gerçekleştirmektedir. Sistemde herhangi bir araç hedefi bulduğunda, komşu araçlara hedef konum bilgisi göndermektedir. Hedef bulunduktan sonra her araç hedef takip aşamasına geçmektedir. Hedef izleme aşamasında ise dağıtılmış bir kontrol yaklaşımı kullanılmaktadır. Bu aşamada her aracın yolu, kontrolör tarafından ayrı ayrı oluşturulur. İHA yol planlamasını tamamlar ve hedefi takip eder. SİDA ise İHA'yı takip eder ve güvenli iletişim mesafesini korur. İHA, havada hedefe kilitlenir ve konumlandırmayı sağlar. Bu çalışmada yol planlaması için bir Markov karar modeli geliştirilmiştir. İşbirliğine dayalı hedef izleme algoritması, Q-learning tarafından tasarlanmıştır. Q-learning algoritmik modelinde yol planlamada optimal çözümünü elde etmek için zamansal fark ve gradyan iniş kullanılmıştır. Ayrıca sinir ağı eğitiminin verimliliğini artırmak için rastgele ampirik tekrarlama kullanılmıştır.

1.2. Literatür Özeti

İnsansız platformlar keşif, saldırı ve kurtarma gibi zorlu görevleri yerine getirirler. Bu platformlar hızlı tepki verdiklerinden ve düşük maliyetli oldukları için tercih edilmektedir. Çalışma ortamı giderek daha karmaşık hale geldikçe, tek insansız bir platform yetersiz bireysel yeteneklere ve basit yürütme yeteneklerine sahip olduğu için karmaşık yaklaşımlara cevap verememektedir. Bu nedenle, işbirliği ve daha sofistike planlama yöntemleri gerekmektedir. Heterojen çoklu İHA'lar karmaşık görevlerde daha iyi uyum sağlayarak, ekip şeklinde görevi yürütmek için işbirliği içindedirler. Heterojen çoklu İHA'larda kaynak ve görev planlaması oldukça önemlidir. Zheng ve ark., yapmış oldukları çalışmada karmaşık kısıtlamalar ile heterojen çoklu İHA'larda ortak görev planlama problemini çözmek için bir hibrit ayrık genetik algoritma önerilmiştir [24]. Önerilen algoritma, simüle edilmiş tavlama algoritmasının tavlama mekanizmasını birleştirmektedir. Genetik algoritmanın yerel arama yeteneği zayıf ancak global arama yeteneği güçlüdür. Simüle edilmiş tavlama algoritması ise güçlü yerel arama yeteneğine sahiptir ve bu özellik yerel optimal çözüme düşmeyi engeller. Geliştirilen algoritmanın temel amacı global arama yeteneğini koruyarak algoritmanın yerel arama yeteneğini geliştirmektir. Tavlama mekanizması ile bireysel uygunluğu ayarlanarak algoritmanın erken aşamasında düşük uygunluğa sahip bireylerin olasılığını

artıracaktır. Böylece daha yüksek uygunluğa sahip bireylerin olasılığı biraz azaltılacaktır. Yapılan bu çalışma ile heterojen çoklu İHA'ların, karmaşık görevleri etkili bir şekilde yerine getirmek için işbirliği içinde çalışmaktadır.

İHA'ların yapay zeka algoritmalarına dayalı görev atama problemi son yıllarda oldukça önem kazanmıştır. Zhang ve ark., yapmış oldukları çalışmada İHA'larda çoklu görev problemini çözmek için geliştirilmiş benzetilmiş simüle edilmiş tavlama parçacık sürüsü optimizasyonu (Simulated Annealing Particle Swarm Optimization, SAPSO) algoritması uygulamıştır [25]. Temel parçacık sürü optimizasyonu (PSO) algoritması bir sürü zekası arama algoritmasıdır. Bu algoritma basit yapı, uygun dağıtım ve hızlı yakınsama avantajlarına sahiptir. Ancak temel PSO algoritması bazı karmaşık problemlerde yerel optimuma düşebilmektedir. Çalışmada önerilen algoritma hibrit yaklaşım, temel parçacık sürü optimizasyonu algoritması ve benzetilmiş tavlama algoritmasından oluşur. Çalışmada önerilen algoritma İHA'ların çoklu görev tahsisi probleminde daha yüksek yakınsama doğruluğuna ve kararlılığa sahiptir. Bu algoritma, İHA'ların heterojenliği ve çoklu kısıtlamalarından dolayı görev tahsisinde karşılaşılan zorluğu çözmek için sürü zekası algoritmalarına dayanan yeni bir yöntem sunmaktadır. Sonuç olarak SAPSO algoritması, İHA'ların çoklu görev tahsisi problemini daha yüksek yakınsama doğruluğu ve kararlılıkla çözebilme yeteneğine sahiptir. Bu, İHA'ların heterojenliği ve çoklu kısıtlamaları göz önünde bulundurarak görev tahsisindeki zorlukları aşmak için geliştirilen bir sürü zekası algoritmasının yeni bir yöntemidir.

Çoklu İHA'lar için verimli görev planlamaya yönelik birçok çalışma mevcuttur. Wang ve ark., yaptıkları çalışmada görev planlama probleminin çözümü için tüm görevlerin tamamlanma süresi ve enerji tüketimini en aza indirmek ve görev yürütme başarı oranını maksimuma çıkarmayı amaçlamıştır [26]. Çalışmada dağıtılmış eşleştirme teorisi tabanlı yeniden tahsis algoritması önerilmiştir. Algoritmada öncelikle bir İHA'nın mevcut hizmet fonksiyonu ve komşu İHA bilgisi belirlenir. Hizmet fonksiyonu görevler doğrultusunda istek mesajları gönderir, İHA'lar istek mesajlarına yanıt verir ve tercih listelerini günceller. Son olarak eşleşen görevleri uygun hizmet fonksiyonuna aktarır. Algoritmanın yakınsama analizi, birkaç sınırlama ve kısıtlama altında belirli bir adımda istikrarlı bir eşleştirme çözümüne ulaştırır. Bu algoritma çeşitli parametre ayarları altında kıyaslama algoritmalarından daha iyi performans gösterdiği ve sağlam bir yapıya sahip olduğu simülasyon sonuçları ile gösterilmiştir. Bu çalışma dağıtılmış heterojen ve çoklu İHA uç hesaplamaya dayalı bir görev planlama problemi üzerindeki etkili bir çözümü sunmaktadır.

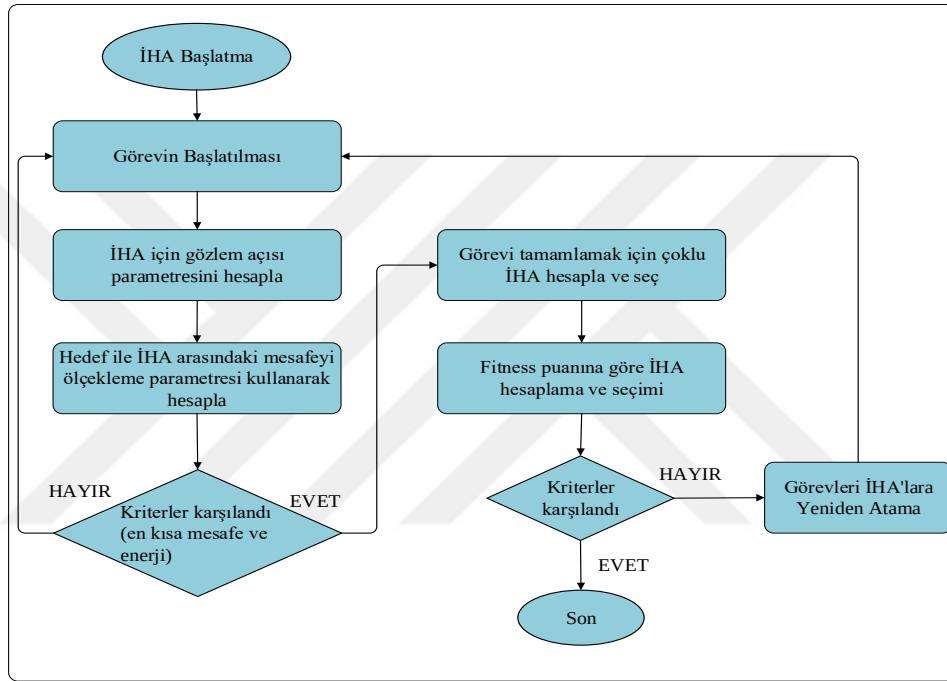
Li ve ark., yapmış oldukları çalışmada uzun menzilli İHA görev planlaması için iki seviyeli bir model kullanmıştır [27]. Bu çalışmada İHA'ların uçuş sürelerini artırmak ve karmaşık görevleri yerine getirirken yer kontrol birimlerinin koordineli bir şekilde çalışmasını sağlamak amaçlanmıştır. Dış katmanda, İHA'ların görev rotalarını belirlemek için görev sıralama ve rota planlaması yapılmıştır. İHA'ların görev sıralaması ve rotalarının belirlenmesinde başlangıç

çözümlerini oluşturmak için yakın komşu yöntemi, rastgele ortalama dağılım yöntemi ve dağıtılmış yakın komşu yöntemi gibi stratejiler kullanmıştır. Başlangıç çözümleri oluşturulduktan sonra, bu çözümleri iyileştirmek amacıyla yerel arama stratejisi uygulanmıştır. İç katmanda ise, görevlerini yerine getiren İHA'ların ihtiyaç duyduğu heterojen yer kontrol kaynaklarının (Ground Control Resources, GCR) tahsisi yapılmıştır. GCR tahsisinde başlangıç çözümünü oluşturmak amacıyla açgözlü algoritma kullanılmıştır. Bu algoritma her göreve en uygun GCR'yi atamak için görevleri başlama zamanına göre sıralamış ve maksimum kâr sağlayacak GCR'yi atamıştır. Daha sonra, GCR tahsislerini iyileştirmek amacıyla yerel arama optimizasyonu uygulanmıştır. Bu süreç, çakışan görevler arasında GCR değişimlerini gerçekleştirerek daha iyi çözümler bulmayı hedeflemiştir. Son olarak her iki katmanın çözüm süreci bi-level programlama algoritması (bi-level programming algorithm, BPA) ile yürütülmüştür. Bu iki seviyeli çözüm İHA'ların görevlerini maksimum kârla ve minimum kaynak kullanımıyla tamamlamasını sağlamak amacıyla tasarlanmıştır. Önerilen yöntem ile büyük ölçekli görev planlama problemlerinde etkili sonuçlar elde edilmiştir.

Li ve ark., yapmış oldukları çalışmada iletim hatlarının denetimi için çoklu İHA görev atama ve yol planlaması yapmıştır [28]. Çalışmada dağlık ortamlardaki rüzgar alanlarının etkisini göz önünde bulundurarak üç boyutlu bir denetim ortamı modeli oluşturulmuştur. Çoklu İHA görev atama sorununu çözmek için Bidirectional Ant Colony ve discrete Honey Badger Algorithm (BACOHBA) kullanılmıştır. Çoklu İHA yol planlaması sorununu çözmek için Honey Badger-Fruit Fly Algorithm (HBAFOA) önerilmiştir. Bu işlem için ilk olarak her İHA için bir dizi başlangıç yol oluşturulup, her bir İHA için görev sırasındaki iki bağlantılı görev noktası arasından bir çift görev noktası alınır ve başlangıç yol segmentinin başlangıç noktası olarak önceki görev noktası kullanılır. Ardından İHA hedef nokta yönüne doğru uçar. Yol noktaları son yol noktası ile hedef nokta arasındaki mesafenin bir eşik değerden küçük olduğu bir noktaya kadar sürekli olarak aranır. Yol planlaması sırasında uçuş mesafesi, uçuş zamanı, uçuş yükseklik farkı ve uçuş enerji tüketimi gibi maliyet göstergeleri dikkate alınır. Maliyet fonksiyonu tüm İHA'ların uçuş yolu üzerindeki küçük yol segmentleri arasındaki maliyetlerin toplamına eşittir. Enerji tüketimi maliyeti rüzgar alanının etkisini göz önüne almadan, genellikle uçuş mesafesine ve uçuş süresine orantılıdır. Ancak rüzgar alanı düşünüldüğünde İHA'nın uçuş yönü ve rüzgar yönü arasındaki açıya dayalı olarak enerji tüketimi maliyeti hesaplanır.

İHA sürüleri, farklı yeteneklere sahip araçlardan oluşur ve görevlerin bu araçlara etkin bir şekilde dağıtılması karmaşık bir optimizasyon problemidir. Manaswitha ve ark., yaptıkları çalışmada heterojen İHA sürülerinde görev atama problemini çözmek için Şekil 1.4'te gösterildiği gibi Kızıl Tilki Algoritması (Red Fox Algorithm, RFA) kullanmıştır [29]. Tilkiler avlarını sessizce izler avın yerini tespit eden en yüksek puanlı tilki diğer üyeleri yönlendirir. Bu algoritma her tilkinin bir uyum puanına göre seçildiği ve en düşük puanlıların elendiği bir popülasyon dinamiği üzerine kuruludur. Çalışma ile İHA'ların çoklu hedeflere dayalı kaynak kısıtlarını dikkate alarak görev atamalarını

optimize etmeyi hedeflemektedir. RFA tilkilerin doğadaki avlanma davranışlarını taklit eden bir meta-sezgisel bir algoritmadır. Algoritmada öncelikle İHA'lar rastgele bir konuma yerleştirilir ve görevler Euclidean mesafe ve enerji kriterlerine göre atanır. En uygun İHA enerji ve mesafe gibi kriterlerine göre seçilir. RFA ile her bir iterasyonda İHA'ların en iyi pozisyona doğru hareket ettirilmesiyle görev atamaları optimize edilir. Eğer İHA yeni pozisyonunda daha iyi bir uyum puanı elde ederse orada kalır, aksi halde eski pozisyonuna döner. Yapılan çalışmada RFA'nın PSO ile karşılaştırıldığında daha az enerji tükettiği ve daha kısa mesafe kat ettiği görülmüştür.



Şekil 1.4. İHA sürülerinde görev atama için Kıvılcık Tilki Algoritması [29].

İHA'lar keşif, arama kurtarma ve riskli ortamlarda görev yapma gibi alanlarda kullanılmaktadır. Ancak genellikle bu tür çalışmalarda donanım üzerinde odaklanılırken Aydın ve ark., yapmış oldukları çalışmada özellikle yazılım geliştirmeye odaklanmaktadır [30]. Çalışmanın temel amacı İHA'lar için rota planlaması ve simülasyon ortamının geliştirilmesidir. Rota planlama literatürde NP-Zor problemler sınıfına giren maliyetli bir hesaplama süreçlerini içerir. Bu nedenle önerilen çalışmada metasezgisel algoritma yaklaşımlarından Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA) ve PSO kullanılarak rota planlaması yapılmıştır. Yapılan çalışmada kullanılan metasezgisel algoritmaların kullanımı ile işlem süresini azaltılmakta ve maliyet verimliliği artırılmaktadır. Yapılan çalışmada birden fazla metasezgisel algoritma yöntemi kullanılarak rota planlaması gerçekleştirilmiş ve bu planlama sırasında görev yapılacak saha yapısı, engeller ve tehlikeli bölgeler dikkate alınmıştır. Çalışmada temel hedef güvenli ve en kısa mesafeli rotanın hesaplanmasıdır.

Chen ve ark., yaptıkları çalışmada heterojen İHA'lar için işbirliği tabanlı görev atama problemi ele alınmış ve özellikle düşman hava savunma operasyonlarının bağlamında inceleme yapılmıştır [31]. Görev atama problemini bir kısıtlı çok amaçlı optimizasyon problemi her bir hedef için sıralı olarak keşif, saldırı ve doğrulama olmak üzere üç tür görev gerçekleştirilmektedir. Çalışmada çok amaçlı karınca kolonisi optimizasyonu algoritması önerilmiştir. Algoritma bireysel amaçları optimize etmeye odaklanan tek hedefli karınca kolonileri ve çok amaçlı karınca kolonileri olmak üzere iki tür karınca kolonisini içermektedir. Algoritma tekrarlayan bir şekilde çözümler oluşturur. Bu işlem yapılırken feromon matrislerini güncellenir. Çalışmada arama verimliliğini ve çözüm çeşitliliğini artırmak için yeni bir feromon güncelleme mekanizması önerilmiştir.

Ye ve ark., yapmış oldukları çalışmada kooperatif çoklu görev atama problemi (The Cooperative Multiple Task Assignment Problem, CMTAP) üzerine odaklanmıştır [32]. CMTAP çoklu heterojen sabit kanatlı İHA'ların birden fazla sabit hedefe yönelik bir düşman hava savunma görevini gerçekleştirmek üzere atanmasını içermektedir. Problemi çözmek için heterojen İHA'lar ve görev bağlantı kısıtlamaları varsayımları altında Adaptif Genetik Algoritma (AGA) önerilmiştir. Algoritmada ilk olarak çoklu tip gen kromozom kodlama şeması, İHA'ların heterojenliğini ve görev bağlantı kısıtlamalarını karşılayan geçerli kromozomları oluşturmak için tasarlanmıştır. Daha sonra AGA, İHA yol formasyonunu simüle etmek için Dubins modelini tanıtmakta ve her kromozomun fitness değerini türetmektedir. Çoklu tip gen kodlama stratejisine uyum sağlamak için uygun çaprazlama ve mutasyon operatörleri tasarlanmıştır. Önerilen mutasyon operatörleri durum geçiş şeması ile stokastik arama yeteneğini artırmaktadır. AGA, simülasyon parametrelerinin subjektif seçimini önlemek için çaprazlama ve mutasyon popülasyonlarının sayısını dinamik olarak ayarlamaktadır. Çalışmanın sonuçları ile önerilen AGA'nın rastgele arama yöntemi, genetik algoritma, ACO yöntemi ve parçacık arama optimizasyon yöntemi ile karşılaştırıldığında daha iyi bir optimizasyon yeteneğine ve yakınsama etkisine sahip olduğu doğrulanmıştır.

Tang ve ark., yapmış oldukları çalışmada keşif görevlerinde etkin görev dağılımı yapabilmek için olasılıksal zincirlerle desteklenmiş paralel bir genetik algoritma geliştirmiştir [33]. Keşif görevlerinde İHA'ların görevleri zamanında ve verimli bir şekilde yerine getirebilmesi için görev atama büyük önem taşır. Genetik algoritmalar bu tür optimizasyon problemlerinde oldukça yaygın bir kullanımı vardır. Ancak klasik Genetik Algoritmalar (GA), büyük ve karmaşık görev atama problemlerinde yeterince hızlı ve etkili olamayabilirler. Bu çalışmada GA performansını artırmak için olasılıksal zincirle geliştirilmiş paralel genetik algoritma önerilmiştir. Bu yöntem genetik algoritmaların evrimsel süreçlere dayanan optimizasyon kapasitesinden faydalanmaktadır. Ayrıca bu yöntem olasılıksal zincirlerle algoritmayı destekleyerek çözümlerin kalitesini artırmayı amaçlamaktadır. Algoritmanın önemli bir yanı adaptif çaprazlama operatörü ile yerel optimumlardan kaçınmayı sağlayan bir mekanizma kullanmasıdır. Çaprazlama işlemlerinde olasılıksal zincirler kullanılarak düğüm noktalarının kombinasyonları belirlenir ve mutasyon

süreçleri buna göre şekillenir. Ayrıca GA parametrelerinin optimize edilmesi için Bayes ağları ile iyileştirmeler gerçekleştirilmiştir. Bu sayede önerilen algoritmanın performansı artırılmıştır. Önerilen bu yöntem ile paralel genetik algoritmaların hesaplama gücünden faydalanarak hızlandırılmış ve görev dağılımında daha verimli sonuçlar elde edilmiştir. Geleneksel yöntemlere kıyasla hem zaman açısından hem de görev başarımı açısından üstünlük göstermektedir.

Birden fazla etmeden oluşan sistemlerde kontrol problemi zordur. Zhao ve ark., yapmış oldukları çalışmada dağıtılmış model tahmine dayalı kontrol yapısı önermiştir [34]. Bu yaklaşımda genel kontrol yapısı hedefini bir alt sisteme ayırıştırır. Her alt sistem bağımsız bir model tahmin denetleyicisine sahiptir. Böylelikle her bir alt sistem en uygun kontrol komutunu oluşturur ve toplu hareketin ortaya çıkmasını sağlar. Optimizasyon problemini çözmek için PSO algoritması kullanılmıştır. Her İHA mevcut konumuna göre komşu İHA ile koordinasyon halindedir. Farklı rollere sahip İHA'lar koordinasyon stratejisine dayalı olarak geçerli komşularını belirler. Daha sonra hesaplama için koordinasyon sonuç bilgisini üretir. Üretilen bilgilere karşılık gelen geçerli komşu belirlenir ve bilgi aktarılır. İHA, İHA modeli ve rol tabanlı maliyet fonksiyonları ile en uygun kontrol dizisini üretir. Daha sonra İHA'nın durumu güncellenir. Bu çalışma, birden fazla etmeden oluşan sistemlerde kontrol problemini ele almak için önerilmiştir. Bu yaklaşım, genel kontrol yapısını her bir alt sistem için ayrı ayrı ele alır. Her bir alt sistem, bağımsız bir model tahmin denetleyicisine sahiptir. Bu da her alt sistemin en uygun kontrol komutunu oluşturmaya ve toplu hareketin koordinasyonunu sağlamaktadır. Sonuç olarak, bu yaklaşım İHA'ların karmaşık çoklu etmenli sistemlerde koordinasyon halinde hareket etmelerini sağlar ve her bir İHA'nın en uygun kontrol komutlarını hesaplamasına yardımcı olur. Bu dağıtılmış sistemlerde kontrol probleminin çözümü için oldukça önemlidir.

Deng ve ark., yapmış olduğu çalışmada heterojen İHA sürüsü için dağıtılmış bir görev tahsisi algoritması önermiştir [35]. Önerilen yöntem arama alanını azaltmak için sürünün yetenek üstünlüğünü değerlendirerek görevlere öncelik verir. Yetenek üstünlüğü ise görevlerin uzamsal yoğunluğu ve kullanılabilirliği ile temsil edilmektedir. Keşif görevlerinde riski azaltmak için zaman koordinasyon mekanizması ve caydırıcı manevra stratejisi kullanılmıştır. Keşif görevlerinde öncelikle İHA'ların düşman üzerindeki üstünlük derecesine göre görev riskini değerlendirir, görev riskinin derecesini ve görev tamamlama süresini en aza indirme hedeflenerek görev ataması gerçekleştirilir. Her İHA her görevin önceliğini analiz ettikten sonra yerel bir görev tahsisi ve zaman koordinasyon planı oluşturmak için GA kullanır ve çatışmaları gidermek için komşularla koordinasyon sağlar. İHA'ların tamamen dağıtık bir şekilde çalışabilmesi için dağıtık görev atama müzakere mekanizması kullanılmıştır. Dağıtık yapı merkezi GA ile karşılaştırıldığında, önerilen yöntem problem arama alanını azaltır, optimizasyon hızını ve çözümün kalitesini artırır. Ayrıca dağıtılmış çerçeve sürünün ölçeklenebilirliğini ve güvenilirliğini artırır. Bu çalışmada önerilen

heterojen İHA sürüsü için dağıtılmış bir görev tahsisi algoritması ile İHA görev tahsisi problemi daha verimli bir şekilde çözülmektedir.

Uçar ve ark., yaptıkları çalışmada İHA filosu kullanılarak, hareket halindeki hedefleri etkisiz hale getirmek için sezgisel algoritmaya dayalı bir çözüm yaklaşımı önermiştir [36]. Bu çalışma özellikle farklı görevlerin eş zamanlı bir şekilde gerçekleştirilmesinde doğru hedeflere yönlendirmek için oldukça önemlidir. Önerilen yöntemde analitik hiyerarşik proses yöntemi kullanılarak hedef ve vurucuların önceliklendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşım ile hedeflerin minimum sayıda araç kullanılarak kısa bir sürede etkisiz hale getirilip, İHA'ların gereksiz kullanımı azaltılarak maliyet azaltılmıştır. Bu çalışma filo halinde hareket eden İHA'larını kullanarak hareket halindeki hedeflere karşı etkili bir çözüm sunmaktadır. Ayrıca farklı görevlerin aynı anda gerçekleştirilmesi gereken senaryolarda hedeflerin doğru bir şekilde yönlendirilmesini sağlama açısından büyük öneme sahiptir. Çalışma filo halindeki İHA'ların karmaşık görevlerde etkili bir şekilde koordine edilmesine ve yönlendirilmesine yönelik yeni bir yaklaşım sunmaktadır.

Chen ve ark., yaptıkları çalışmada İHA'lar için çoklu bölge sistemlerinde kapsama yolu planlama problemi ele alınmıştır [37]. Bu problem, farklı görev gereksinimlerine ve yeteneklere sahip İHA'ların belirli coğrafi bölgeleri etkili bir şekilde tarayıp kapsama alanı oluşturmasını hedeflemektedir. Çalışmada İHA'ların farklı hız ve sensör performanslarına sahip olduğu bir senaryoda, tüm bölgelerin etkili bir şekilde taranmasını hedeflemektedir. Bunun için ilk olarak İHA'ların ve bölgelerin modelleri oluşturulup karma tamsayılı doğrusal programlama tabanlı bir yaklaşım sunulmuştur. Bu yapı ile tüm bölgelerin tamamen kapsanarak, tüm İHA'lar için maksimum zaman maliyetini minimize etmeyi amaçlamaktadır. İHA'ların hem bölgelerdeki tarama süresini hem de bölgeler arası uçuş sürelerini göz önünde bulunduran bir sezgisel algoritma önerilmiştir. Bu sezgisel yöntem İHA'ların bölgelerin atanmasını ve görev sıralarının belirlenmesini sağlamıştır. Önerilen yöntem ile çoklu bölge kapsama problemlerinde etkili ve verimli çözüm sunulmuştur.

Yu ve ark., yaptıkları çalışmada İHA sürülerinin toplam görev gecikme sürelerini en aza indirmeyi hedeflemektedir [38]. Önerilen yöntem ile İHA'lar arasında görev yükü dağılımı ve İHA'ların uçuş rotaları optimize edilmiştir. Bu yöntemde uçuş rotaları çok ajanlı derin pekiştirmeli öğrenme algoritması ile optimize edilmektedir. Her bir İHA çevresiyle etkileşimde bulunarak en uygun rotayı belirler. Yük devretme kararları ise hafif İHA'ların gelişmiş İHA'lara olan uzaklıkları ve hesaplama kapasiteleri dikkate alınarak belirlenir. Yöntemde önerilen "QMIXDM" algoritması, çok ajanlı derin pekiştirmeli öğrenme yaklaşımıyla entegre edilmiştir. QMIXDM algoritması ile İHA'ların hareketleri koordine ederek gereksiz örtüşmeyi en aza indirir ve görev devretme hızını artırır. Ayrıca bu algoritma her bir İHA'nın uçuş rotasının yanı sıra görev devretme stratejilerini optimize ederken enerji tüketimini azaltır ve toplam görev gecikmesini minimize eder.

İHA'lar arasında işbirliği gerektiren bir sistemde her bir İHA kendi çevresine dayalı olarak bağımsız kararlar alır. Ancak bu kararlar sürüdeki diğer İHA'ların kararları ile etkileşim halindedir. Bu nedenle İHA'lar hem birbirleriyle koordineli çalışmaları hem de görevleri en kısa sürede ve minimum enerji tüketimi ile tamamlamaları hedeflenir. Yang ve ark., yaptıkları çalışmada heterojen İHA sürülerinin dinamik senaryolardaki işbirlikçi karar alma süreçlerindeki zorlukları ele alarak, AM-Qmix algoritmasını sunmaktadır [39]. QMIX tabanlı derin pekiştirmeli öğrenme algoritması bu karar alma süreçlerini koordine etmek için kullanılır. Her bir İHA'nın kendi yerel durumuna dayalı olarak en uygun aksiyonu belirlemesi sağlanır ve bu kararlar ortak bir hedefe yönelik olarak optimize edilir. Önerilen yöntem ile İHA sürülerinin işbirliği içinde çalışarak görevlerini daha hızlı ve enerji açısından verimli bir şekilde tamamlayabildiğini göstermiştir. QMIX algoritması ile İHA'ların birbirleriyle etkili bir şekilde koordine olmasını sağlanarak sistem performansını önemli ölçüde artırılmıştır.

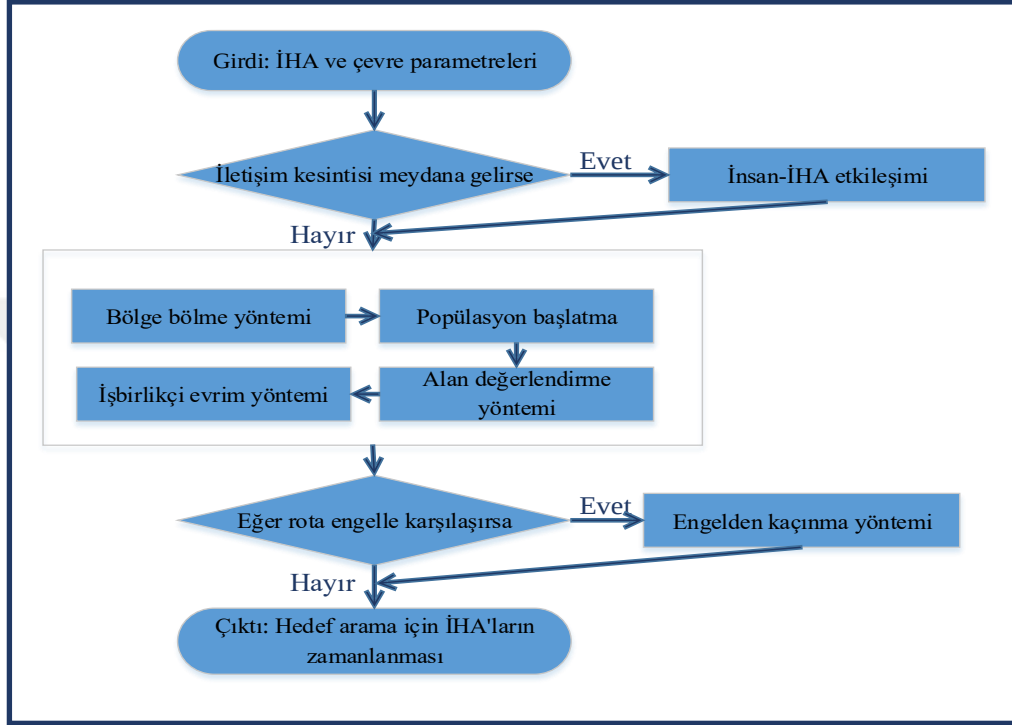
Bişkin ve ark., yaptıkları çalışmada İHA'ların artan askeri ve sivil kullanımıyla birlikte İHA rotalama problemlerine odaklanmıştır [40]. Yapılan çalışmada iki amaç fonksiyonu kullanılmıştır; birincisi İHA'ların toplam kat ettikleri mesafenin minimuma indirgenmesi, ikincisi ise ziyaret edilen hedeflerin toplam önem düzeyinin maksimize edilmesidir. Problemin çözümü için matematiksel model ve GA yaklaşımları kullanılmıştır. Her iki yöntemden de çözümler, karar vericilere sunulmak üzere farklı bölgelerdeki amaç uzayından elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre GA kullanılarak elde edilen sonuçların çok daha kısa sürede bulunabildiği gözlemlenmiştir. Bu çalışma, İHA'ların etkili bir şekilde rota planlama ve tahsis edilmesi gereken durumlarda önemli bir katkı sağlamaktadır. Bu çalışmanın dikkate değer yönlerinden biri, İHA rotalama problemlerine yönelik matematiksel bir model ve genetik algoritma tabanlı bir yaklaşımın birleştirilmesidir. İki farklı yaklaşımın kullanılması, problemi çözmede esneklik ve etkinlik sağlar. Ayrıca, bu çalışmanın sonuçları, İHA rotalama probleminin çözümünde GA'nın, daha hızlı ve etkili çözümler üretmek açısından matematiksel modele göre avantajlı olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak yapılan çalışma; İHA'ların optimizasyon tabanlı rotalama problemleri için kullanıldığı senaryolarda etkili bir şekilde görevlendirilmesine katkı sağlayarak, askeri ve sivil alanlardaki İHA uygulamaları için değerli bir araştırma sunmaktadır.

İHA'lar uygulamalarının hızlı, güvenilir ve esnek yapı gibi sağladığı avantajlarından dolayı afet müdahalelerinde tercih edilmektedir. Değirmen ve ark., yaptıkları çalışmada insansız hava araçlarının afet operasyonlarında kullanımına odaklanmıştır [41]. Bu çalışma ile afet bölgelerine yer araçlarıyla ulaşmanın mümkün olmadığı durumlarda, İHA'ların kullanımıyla afet bölgelerinin durum tespiti amaçlanmıştır. Çalışmada İHA'ların rota planlaması için kümeleme ve matematiksel programlama tabanlı bir yaklaşım önerilmiştir. Kümeleme işlemi K-ortalamlar algoritması kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Küme sayısı hata değerlerinin ani düşüş yaptığı ilk nokta dikkate alınarak belirlenmiştir. Çalışmada küme sayısı 4 olarak belirlenmiştir. K-ortalamlar algoritmasıyla

elde edilen kümeleme sonucu, İHA'ların rota planlaması için kullanılacak olan gezgin satıcı problemi modelinin girdisi olarak kullanılmıştır. Bu çalışma, afet bölgelerinde hızlı ve etkili durum tespiti için İHA'ların kullanımını optimize etmek amacıyla önerilen stratejisi ile dikkat çekmektedir. İHA'ların afet müdahale operasyonlarındaki rolünü geliştirmek ve bu zorlu görevlerde daha etkin bir şekilde kullanmalarını sağlamak için değerli bir yaklaşım sunmaktadır. İHA sürüleri, koordineli iletişim gereksinimleri taşıyan hava araçlarıdır ve bu sürülerin en zayıf noktası iletişim alt yapısıdır. İletişim alt yapısı dış müdahalelere açık sistemlerdir. Kılınç ve ark., yaptıkları çalışmada İHA sürüleri için güvenli ve gizli iletişim sağlamak amacıyla Blockchain teknolojisinin kullanmıştır [42]. Gerçekleştirilen senaryoda, her İHA kendine özgü konum bilgisine sahiptir ve bu bilgiler birbirleriyle paylaşılarak onaylanmış bir konumu ortaklaşa takip etmektedir. Blockchain teknolojisi İHA'lar arasında güvenli ve gizli iletişimi sağlamak için oldukça önemlidir. Bu teknoloji ile dış müdahaleler engellenir ve konum verileri güvence altına alınır. Blockchain aynı zamanda onaylanmış lokasyonların toplu olarak tüm İHA'lar tarafından takip edilmesini sağlamaktadır. Bu işlem için her İHA yeni bir blok oluşturur, ağa gönderir ve bu bilgiyi güvenli bir şekilde diğer İHA'larla paylaşabilir. Böylelikle İHA konumları güvence altına alınır ve dış tehditlere karşı korunur. Ayrıca ağ düğümler arasında güven oluşturmak için token değişimi gerçekleştirilir. Her blokta İHA'ların konum verilerini güvenli bir şekilde saklanmaktadır. Blokların oluşturulması, merkezi olmayan bir zaman damgası algoritması kullanılarak gerçekleştirilir. Bu algoritma ile işlemlerin doğruluğu ve katılımcı düğümler arasında fikir birliğine sağlanır. Bu sayede Blockchain, İHA sürülerinin güvenli iletişim ve konum takibi sağlamalarına yardımcı olur.

İletişim engelli durumlarda İHA'ların birbirleriyle ve yer istasyonlarıyla iletişim kuramaması, arama ve kurtarma gibi görevlerin koordinasyonunu zorlaştırmaktadır. Bu zorluğun üstesinden gelmek için insan operatörler ile İHA'lar arasında doğrudan bir etkileşim sağlanarak görev planlaması ve zamanlaması optimize edilmektedir. Sun ve ark., yaptıkları çalışmada iletişim engelli ortamlarda hedef arama görevlerini gerçekleştiren heterojen İHA sürüleri için insan- İHA etkileşimi destekli bir yöntem ele almıştır [43]. Çalışmada heterojen İHA'lar kullanılarak insan operatörlerin manuel müdahaleleriyle İHA sürülerinin verimli bir şekilde hedef arama görevlerini yerine getirmesi sağlanmıştır. Şekil 1.5'te önerilen yöntemin adımları gösterilmiştir. Çalışmada ilk olarak insan- İHA etkileşim mekanizması kullanılarak İHA'ların konumları kalman filtresi ile tahmin edilip zamanlama çözümleri optimize edilmiştir. İkinci olarak engellerden kaçınmak için İHA uçuş rotaları optimize edilmiştir. Ayrıca bölgesel işbirlikçi evrim algoritması (region co-evolution algorithm, RCEA) kullanılarak İHA sürüsünü zamanlamak için bir çözüm önerilmiştir. Bu yöntem ile toplam görev bölgesini daha küçük alt bölgelere ayırarak, her bir bölgenin İHA kaynaklarını paylaşmasına olanak tanıyarak bölgesel işbirliği ile görevlerin daha hızlı ve düşük riskle tamamlanması sağlanmıştır. RCEA'nın temel yaklaşımı İHA'ların görev yapacağı alanı hedeflere

göre alt bölgelere bölmektir. Bu bölgeleme işlemi İHA'ların uçuş süresini ve hedefler arasındaki mesafeyi minimize etmek amacıyla genetik algoritmalarla optimize edilmiştir. RCEA bölgesel kaynakları paylaştığı ve İHA'ların işbirliği içinde çalıştığı için hem görev süresini kısaltmakta hem de hedefe yönelik riskleri minimize ederek genel performansı artırmaktadır.



Şekil 1.5. İHA sürü planlamasının akış şeması [43].

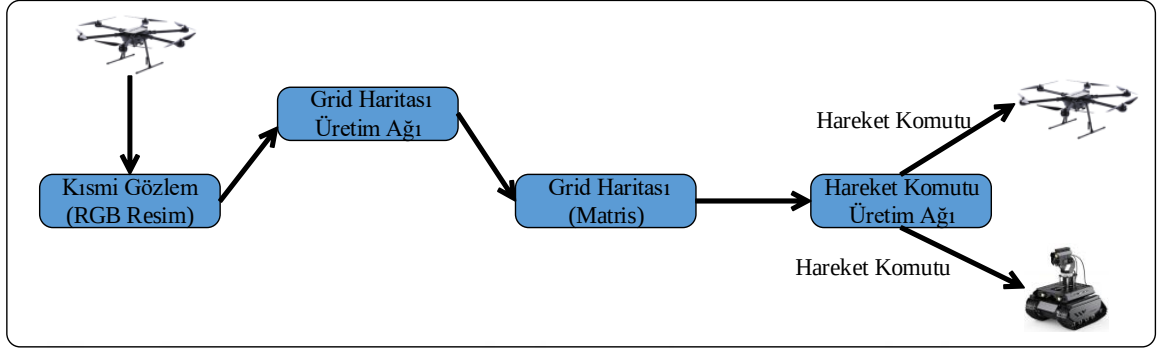
Han ve ark., yaptıkları çalışmada deprem sonrası arama kurtarma operasyonları için İHA kullanarak etkili bir yardım dağıtımını sağlamak amacıyla bir görev dağılım modeli önerilmiştir [44]. Çalışmadaki amaç minimum sayıda İHA'nın kullanılarak kurtarma maliyetlerinin azaltılmasını ve operasyon süresinin kısaltılmasıdır. Bunun için PSO ve Gri Kurt Optimizasyonu (Grey Wolf Optimizer, GWO) algoritmalarını birleştirerek PSOGWO adlı hibrit bir algoritma geliştirilmiştir. PSOGWO algoritması ile her bir İHA'ya görevleri optimal şekilde dağıtılarak İHA'ların kurtarma sürecindeki verimliliğini artırmak amaçlanmıştır. PSO'nun küresel arama yetenekleri GWO'nun yerel iyileştirme aşamasına entegre edilmiştir. Böylece algoritmanın yerel minimuma sıkışmasını önlenerek çözümün global optimuma ulaşması sağlanmıştır. Önerilen bu yaklaşım operasyonel maliyetleri düşürürken arama kurtarma operasyonlarında başarı oranını artırmaktadır.

İşbirlikçi görevleri hızlı ve etkili bir şekilde tamamlamak için heterojen insansız platformlarda dinamik işbirlikçi görev tahsisi araştırma konusu oldukça önemlidir. Heterojen çoklu insansız platformun dinamik işbirlikçi yaklaşımında görev tahsisi, görevleri en düşük maliyetle tamamlamayı amaçlayan ve bu görevleri ilgili insansız platformlara dağıtan bir süreçtir. Bu

görevler kısıtlı bir zamanda ve kısıtlı kaynaklara sahip olan karmaşık ve dinamik bir ortamda gerçekleştirildiğinden, bu çoklu insansız platform için görev planlama, eylem koordinasyonu ve çatışma çözümü gibi sorunların çözülmesi gerekmektedir. Zhao ve Li heterojen çoklu insansız platformda işbirlikçi görevlerin dinamik olarak tahsis edilmesi için dinamik bir işbirlikçi görev tahsisi modeli oluşturmuştur [45]. Gerekli olan çoklu görev hedeflerinin verimli ve makul tahsisi sayesinde, görev tahsisi hızı iyileştirilerek, genel sistem verimliliği artırılmıştır. Bu model, heterojen insansız platformlar arasında işbirliğini ve görev tahsisini daha verimli hale getirmektedir. İşbirlikçi görev tahsis modelini desteklemek için ayrıca bir sözleşme ağı algoritması tasarlanmıştır. Bu algoritma görev tahsisinin daha iyi koordine edilmesine ve çatışmaların çözülmesine yardımcı olur. Böylelikle heterojen insansız platformların işbirlikçi görevleri daha etkili bir şekilde tamamlanır. Bu nedenle bu çalışma, dinamik işbirlikçi görev tahsisi alanında önemli bir adım olarak öne çıkmaktadır.

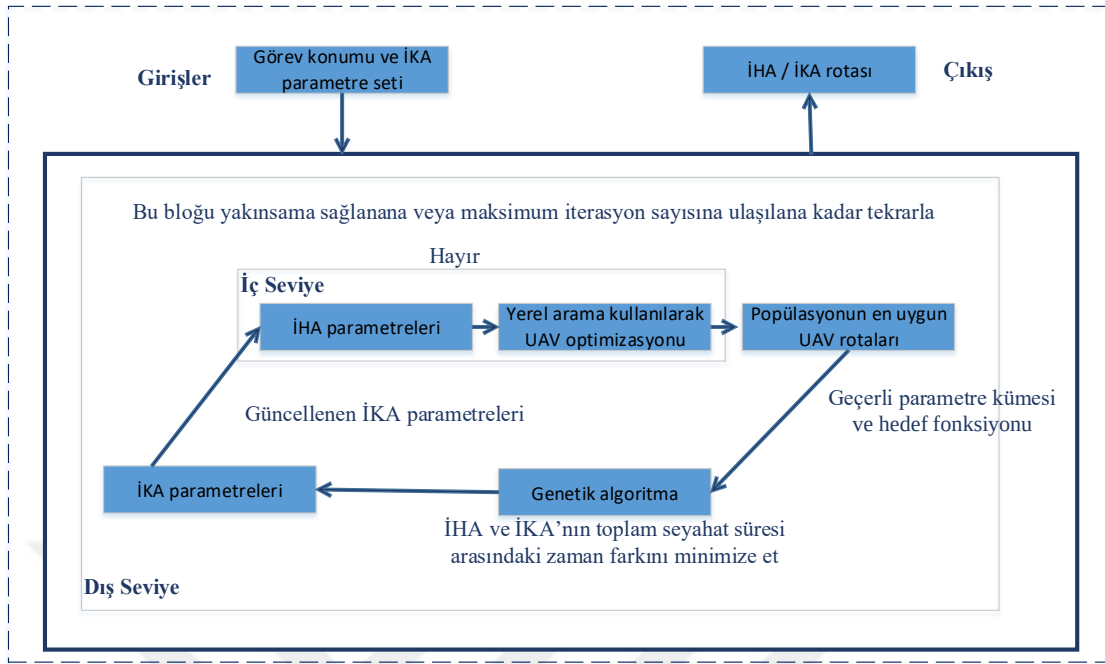
İHA'lar ve İKA'lardan oluşan heterojen insansız sistemlerde İHA'lar uçuş yüksekliği ve geniş gözlem avantajlarına sahipken, İKA'lar yer nesneleri üzerinde hassas çalışma yeteneğine sahiptir. İHA'lar ve İKA'lar arasındaki işbirliği, görev yürütme verimliliğini önemli ölçüde arttırmaktadır. İHA'ların yukarıdan sağladığı görüntü sayesinde İKA'lar etrafındaki engelleri daha doğru algılayabilir. Bu işbirliği özellikle doğal afetler veya savaş bölgelerinde İKA'lara gökyüzünde göz görevi gören İHA'ların çevreyi keşfederek gerçek zamanlı bir şekilde yönlendiren yörüngeler sağlamaktadır. Chen ve ark., yaptıkları çalışmada küresel haritaların yeniden yapılandırılmasına ihtiyaç duyulmadan İHA'dan kısmi gözlem altındaki heterojen insansız sistemler için bir hareket planlama algoritması önermiştir [46]. Bu çalışmada, heterojen insansız sistemlerin hedef bulma amacı güdülmüştür. Hedef konum kameranın görüş alanında görünmüyorsa, İHA ve İKA eşzamanlı olarak hareket eder. Hedef kameranın görüş alanında görünüyorsa İHA havada asılı kalacaktır ve İKA hedefe ulaşacaktır. Algoritmanın girdileri İHA'da bulunan kamera tarafından alınan görüntülerdir. Çıktılar ise İHA ve İKA'ların ayırık kontrollerini yukarı, aşağı, sol ve sağ kontrol komutlarıdır. Şekil 1.6'da gösterilen algoritma iki bölümden oluşmaktadır. Grid Map Generation Network (GMGN) için girişler, kamera tarafından yakalanan RGB görüntülerinden oluşur. Çıkışlar, matrislerle temsil edilen ızgara haritalarıdır. Hareket komutu oluşturma ağı (Motion Command Generation Network, MCGN) için girişler ızgara haritalarıdır ve çıkışlar ayırık hareket kontrol komutlarıdır. Heterojen insansız sistemlerde İHA'lar ve İKA'lar arasındaki işbirliği, bu sistemlerin görev yürütme verimliliğini artırmada kritik bir rol oynamaktadır. İHA'lar yüksek uçuş yüksekliği ve geniş gözlem avantajlarına sahipken, İKA'lar yer nesneleri üzerinde hassas çalışma yeteneğine sahiptir. Bu işbirliği, İKA'ların etrafındaki engelleri daha doğru bir şekilde algılamalarını ve görevlerini daha etkili bir şekilde yerine getirmelerini sağlar. Bu çalışma, heterojen insansız sistemlerde görev yürütme sırasında hareket planlamasının verimliliğini artırmak için oldukça önemlidir. Algoritma özellikle, küresel haritaların yeniden yapılandırılmasına ihtiyaç

duymadan İHA ve İKA'ların işbirliği yaparak hedefleri daha etkili bir şekilde bulmalarını sağlar. Bu insansız sistemlerin özellikle acil durumlar ve gözetim alanlarında uygulaması için büyük önem taşımaktadır.



Şekil 1.6. Önerilen hareket planlama algoritması [46].

Ramasamy ve ark., yaptıkları çalışmada heterojen insansız araç sistemlerinin yönlendirilme problemi ele almıştır [47]. Bu problemlerde farklı yeteneklere ve özelliklere sahip araçların belirli bir coğrafi bölgede çeşitli görevleri yerine getirmek için rotalanır. Bu tür problemler zaman ve kaynak optimizasyonu açısından zordur. Makalede heterojen araç gruplarının iş birliği yaparak geniş alanlarda görev yapması hedeflenmiştir. Çalışmada hızlı ama enerji tüketimi yüksek İHA'ların İKA'lar üzerinde şarj olabilmesi ve bu iki araç türünün verimli bir şekilde görev yapabilmesi amacıyla bir yol planlama problemi ele alınmıştır. Şekil 1.7'de gösterildiği gibi problemin çözümü için iki seviyeli bir optimizasyon yaklaşımı geliştirilmiştir. Dış seviyede İKA rotaları belirlenmiş ve İHA'ların şarj olabilmesi için bekleme süreleri planlanmıştır. İç seviyede ise İHA rotası, kapasite kısıtlamaları, zaman pencereleri ve bazı görevlerin iptal edilmesi gibi durumlar dikkate alınarak çözülmüştür. Parametrelerinin optimize edilmesi için GA ve asenkron çoklu ajan mimarisi (A-teams) kullanılmıştır. A-teams yaklaşımı, iş birliği yapan birden fazla otonom ajanın, her birinin farklı uzmanlıklara sahip olduğu bir ortamda asenkron olarak çalışmasını temel alır. Bu mimari her ajanın bağımsız bir şekilde çözüm üreterek çözümü geliştirmesine veya mevcut çözümleri değiştirmesine olanak tanır. Ajanlar birbirlerinden bağımsız hareket edebilmelerine rağmen genel amaca ulaşmak için ortak bir bilgi havuzunu kullanır. Böylece sistemin geneli için daha iyi çözümler üretilir. Önerilen mimari paralel ve asenkron bir yapıya sahip olduğundan çözümleri daha hızlı bir şekilde optimize edebilmektedir. Yapılan çalışmada önerilen A-teams mimarisi GA'ya benzer çözümler üretmektedir. Ancak hesaplama süresini 2-3 kat oranında kısaltarak, özellikle gerçek zamanlı ve büyük ölçekli problemler için uygun bir yöntem olduğunu göstermektedir.

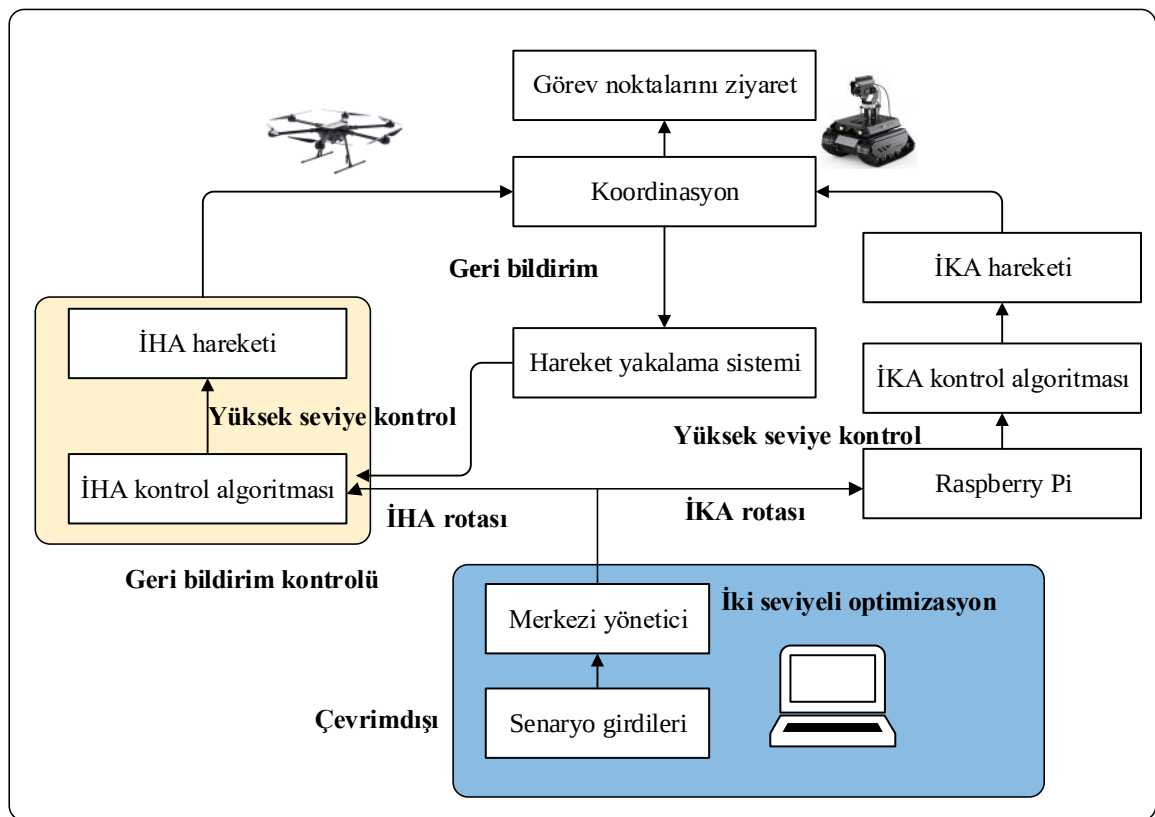


Şekil 1.7. İki seviyeli optimizasyon algoritmasına genel bakış [47].

Khadrawy ve ark., yaptıkları çalışmada İHA ve İKA sistemlerinin işbirliği içinde zorlu arazi keşfi gerçekleştirmesi için bir meta-sezgisel yöntem önerilmektedir [48]. Zorlu arazi koşulları, arazi şekilleri ve çeşitli engeller gibi faktörler geleneksel yöntemlerle keşfi zorlaştırmaktadır. Bu çalışmada İHA ve İKA'nın heterojen bir sistem olarak bir arada çalışmasını sağlayarak keşif sürecini optimize etmeyi amaçlar. Çalışmada bu keşif için meta-sezgisel yöntem kullanılarak İHA ve İKA sistemleri arasında koordinasyonu sağlanmıştır. Bu sistemde İHA'lar geniş alanları hızlı bir şekilde tarar ve İKA'lara güvenli geçiş rotaları sağlar. İKA'lar elde edilen bu veriler doğrultusunda engelli veya karmaşık bölgelerde ayrıntılı keşif ve analiz yapar. Meta-sezgisel yöntem ile arazi koşullarına göre dinamik olarak güncellenen keşif rotaları oluşturulur. Böylece hem İHA hem de İKA'lar arasında gerçek zamanlı veri paylaşımı ve uyumlu hareket sağlanır. İHA'ların havadan elde ettiği verilerle İKA'lar engellerin etrafından dolanarak ya da alternatif yollar bulmaktadır. Böylece güvenli ve verimli keşif görevleri gerçekleştirilmektedir.

Mondal ve ark., yaptıkları çalışmada yakıt kısıtlamaları altında İHA ve İKA ile geniş alanların etkin taranması için iki seviyeli bir planlama yöntemi geliştirmiştir [49]. Önerilen yöntem Şekil 1.8'de gösterilmiştir. İHA'nın sınırlı yakıt kapasitesine rağmen geniş alanlarda etkin bir şekilde görev yapabilmesi için İKA'nın hareketli bir yakıt ikmal istasyonu olarak kullanılması öngörülmüştür. Dış seviye planlama aşamasında, İKA'nın rotası "1 İKA, 2 İHA" yöntemi ile belirlenir. İKA'nın rotası oluşturulduktan sonra, minimum set cover algoritması kullanılarak İHA'lar için uygun yakıt ikmal noktaları seçilir. Bu algoritma en az sayıda yakıt ikmal noktasını belirlemek amacıyla görev

noktalarını kapsayacak optimize edilmiştir. Minimum set cover problemi için hem ağgözlü yöntem hem de kısıt programlama yöntemi uygulanmıştır. Kısıt programlama yaklaşımı çoklu optimal çözümler üretebildiği için ağgözlü yöntemden daha üstün bir performans göstermiştir. İç seviye planlama aşamasında ise İHA rotası İKA rotasına dayalı olarak alt problemlere ayrılır. Görev noktaları İKA'nın yakıt ikmal noktalarına yakınlıklarına göre alt problemlere tahsis edilir. Her alt problem İHA'nın yakıt tüketimini ve zaman pencerelerini göz önünde bulundurarak optimize edilir. Yapılan çalışma ile bu iki seviyeli optimizasyon yönteminin, yakıt kısıtlamaları altında geniş ölçekli görevlerde İHA ve İKA iş birliğini optimize ettiğini ve görev tamamlama süresini ve yakıt tüketimini minimize ettiği gösterilmiştir.



Şekil 1.8. İHA ve İKA için iki seviyeli bir planlama yöntemi [49].

Liang ve ark., yaptıkları çalışmada İHA ve İKA çalıştığı heterojen bir sistem için insan-döngüde (Human-in-the-Loop, HiTL) ve insan-makine işbirliğine dayalı sistem (human motion recognition system, HMRS) kontrollü bir strateji sunmaktadır [50]. Çalışmanın temel amacı heterojen İHA-İKA sistemlerinde belirlenen görevlerin başarıyla tamamlanmasını sağlarken, insan müdahalesi gerektiren durumlarda kullanıcı dostu bir kontrol mekanizması sağlamaktır. Önerilen yöntem ile İHA ve İKA'ların belirlenen görevleri yerine getirirken çevresel engeller ve iletişim kesintileri gibi zorlukları çözmesine olanak tanır. HMRS temelli bir lider takip sistemi kullanarak insan

hareketleriyle sistem kontrolünü sağlar. İnsan hareketleri aracılığıyla lider aracın rotası gerçek zamanlı olarak değiştirilebilir ve bu durum takipçi araçların davranışlarını doğrudan etkiler. HiTL stratejisi, insanın sistemle doğrudan etkileşime girdiği ve gerekli durumlarda İHA-İKA sistemlerinin insan tarafından kontrol edilmesini sağlar. HMRS tabanlı HiTL stratejisi, insanın gerektiğinde sistemle doğrudan etkileşime geçmesine olanak tanırken, sistemin hata toleransı ve çeviklik gibi performans kriterlerini de artırmaktadır.

Zhou ve ark., yaptıkları çalışmada heterojen sürü sistemleri içinde İHA ve İKA'ların zamanla değişen formasyon takibi problemi ele almıştır [51]. İHA ve İKA'lardan oluşan sürülerin belirli bir lider aracı takip ederek dinamik bir formasyonu korumasını sağlamıştır. Bu yöntemde ilk olarak takipçilerin liderin durum bilgisine erişebilmesi için komşu bilgilerinden yararlanan dağıtılmış bir gözlemci tasarlanmıştır. Takipçilerin liderin bilgisine doğrudan erişemediği durumlarda komşulardan alınan verilere dayanarak liderin durumu tahmin edilmiştir. Bu gözlemcinin yakınsaması parça parça Lyapunov teorisi ile kanıtlanmış ve her bir topolojinin ne kadar süre aktif kalması gerektiğini belirleyen bir bekleme süresi eşiği türetilmiştir. Daha sonra bu gözlemciye dayalı olarak her bir takipçinin liderin rotasını senkronize bir şekilde takip edebilmesi için bir formasyon takip kontrol protokolü geliştirilmiştir. Ayrıca kontrol parametrelerinin seçimi için bir algoritma sunulmuş ve bu parametrelerin belirlenmesiyle sistemin kararlılığı sağlanmıştır. Gözlemci ve kontrol protokolü kullanılarak yapılan analizlerde formasyon takip hatalarının sifıra yakınsadığı ve değişen topolojilerde formasyonun korunduğu gösterilmiştir. Önerilen yöntem ile heterojen İHA-İKA sürü sistemlerinin dinamik ve değişen koşullar altında başarılı bir şekilde formasyon takibi gerçekleştirmesini sağlamıştır.

Shi ve ark., yaptıkları çalışmada heterojen İHA ve İKA sistemlerinin, yönlendirilmiş topolojiler kullanılarak formasyon takibi yapması amaçlamıştır [52]. Çalışmanın temel amacı bu iki farklı araç türünün koordineli bir şekilde belirlenen bir hedefi takip etmelerini sağlamak için dinamik bir formasyon kontrolü yöntemini geliştirmektir. İHA ve İKA arasında formasyon takibi sağlamak amacıyla yönlendirilmiş geçişken topolojiler kullanılarak bir kontrol yöntemi geliştirilmiştir. Yönlendirilmiş geçişken topolojiler ile İHA'lar ve İKA arasındaki iletişim zamana bağlı olarak değişen grafikler ile tanımlanmıştır. Bu topolojiler araçlar arasındaki yönlendirilmiş yolların değişken olduğu senaryoları kapsamakta ve her bir İHA'nın İKA'dan bilgi almasını sağlayacak şekildedir. Bu iletişim yapısında İKA kök düğümdür ve İHA'lara bilgi aktarmaktadır. Çalışmada, formasyon takibi problemini çözmek için bir kontrol protokolü tasarlanmıştır. Bu protokol her İHA'nın konum ve hız bilgilerini kullanarak formasyondaki pozisyonunu dinamik olarak ayarlamasını sağlar. Bu kontrol yasası ile İHA'ların formasyonu koruyarak İKA'yı takip etmelerini güvence altına alır. Önerilen yöntem ile İHA ve İKA'nın geçişken topolojiler altında kararlı bir şekilde formasyon takibi sağlanmıştır. Ayrıca bu yöntem heterojen sistemlerin arama-kurtarma,

keşif ve gözetim gibi uygulamalarda koordineli çalışmasını sağlamak için önemli bir katkı sağlamaktadır.

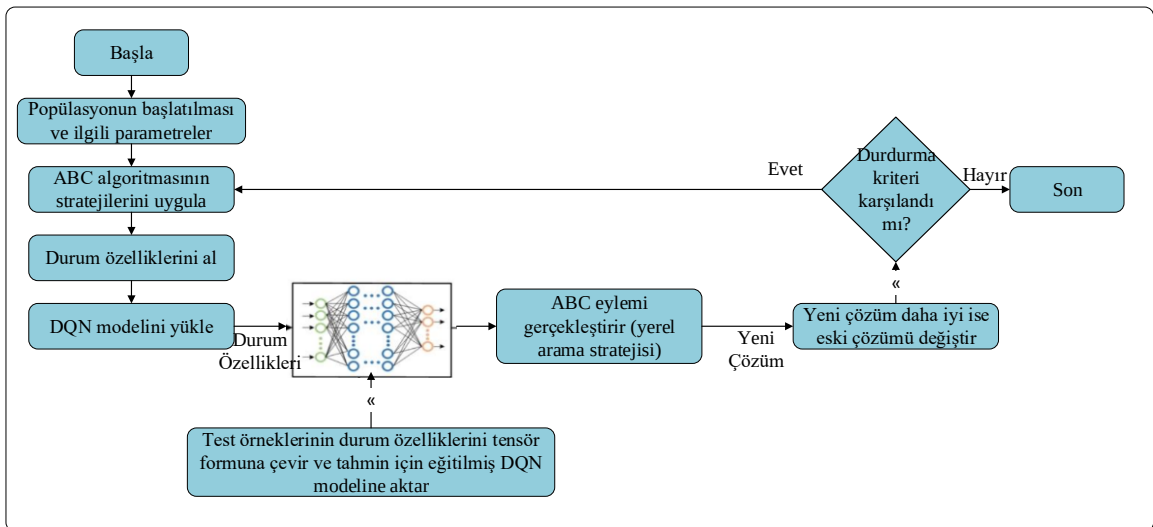
Tang ark., yaptıkları çalışmada heterojen İHA ve İKA sistemleri için hizmet dışı bırakma (denial of service, DoS) saldırılarına karşı bir olay tetiklemeli dağıtık model öngörülü kontrol (Model Predictive Control, MPC) yöntemi geliştirmiştir [53]. Bu yöntem İHA ve İKA'ların bir arada çalıştığı ve merkezi olmayan bir yapıda kontrol edildiği sistemlerde, iletişim ağlarını hedef alan DoS saldırılarına karşı dayanıklılık sağlamak amacıyla tasarlanmıştır. Önerilen yöntemde kontrol işlemleri olay tetiklemeli bir mekanizma ile yürütülür ve belirli koşullar sağlandığında kontrol komutlarını güncellenir. Böylece sistemin sürekli olarak iletişim kurmasına gerek kalmaz. Bu stratejinin bir parçası olarak Komşu Çıktı Dizisi Tahmin Mekanizması kullanılmıştır. Bu yapı DoS saldırıları nedeniyle yaşanan paket kayıplarını ve iletişim kopukluklarını telafi etmek için tasarlanmıştır. Bu mekanizma her bir aracın komşularının geçmiş çıktı dizilerini tahmin ederek kontrol süreçlerinde bilgi eksikliğinin olumsuz etkilerini en aza indirir. Böylece, DoS saldırıları esnasında bile sistemin kararlılığı ve takip performansı korunur.

Li ve ark., yaptıkları çalışmada İHA ve İKA sistemlerinin güvenli bir şekilde takibi ve koordinasyonu için yeni bir yöntem önermiştir [54]. Bu yöntem ile DoS saldırılarına karşı dayanıklı bir dağıtık kontrol algoritması önerilmiştir. Önerilen yöntem ile İHA-İKA sistemlerinin heterojen yapıları göz önüne alındığında, araçların farklı hareket kabiliyetlerine ve görevlerine rağmen, merkezi bir otoriteye ihtiyaç duymadan uyumlu hareket etmeleri amaçlanmıştır. İHA'lar üç boyutlu uzayda hareket ederken, İKA'lar iki boyutlu yüzeylerde hareket eder. Bu yüzden İHA'ların yüksekliklerinin kontrolü ayrı olarak yapılırken, yatay düzlemde her iki araç türü de koordineli bir şekilde hareket eder. Heterojen çoklu ajan sistemlerinde farklı hareket kabiliyetlerine sahip olan bu araçların bir araya gelerek ortak bir görevi yerine getirmelerini hedefler. Önerilen yöntemde fuzzy tabanlı bir gözlemci kullanarak İHA-İKA sistemlerinin dış etkenlere karşı dayanıklılığını artırmakta ve modeldeki belirsizlikleri hesaba katarak uyarlamalı bir kontrol stratejisi uygulamaktadır. Önerilen yöntemde heterojen çoklu ajan sistemleri içindeki İHA ve İKA'ların farklı dinamiklerine rağmen uyumlu bir şekilde çalışabilmesi ve DoS saldırılarına karşı dirençli sabit süreli takip kontrol stratejisinin geliştirilmesini ele almaktadır.

Lappas ark., yaptıkları çalışmada askeri alanlarda savunma uygulamalarında heterojen sürüler kullanmıştır [55]. Bu çalışma ile insansız araçlarda uygulanabilecek yeni algoritmalar sunulmuştur. Bu algoritmalar tasarlanırken küçük hesaplama gücü, esnek yapı, yeniden yapılandırılabilirlik ve çok çeşitli insansız araçlarda (hava ve kara) uygulanabilecek şekilde tasarlanmış ve optimize edilmiştir. Sürü kontrolü için açgözlü bir dışlama algoritması geliştirilmiştir. Yeni geliştirilen algoritmada başlangıçta tüm görevler her ajana atanır. Her adımda yeni algoritma ödül işlevi, her görevin tüm alt görevlerini "hariç tutarak" azaltır ve ardından en küçük ödül işlevine sahip görev hariç tutulur. Bu işlem tüm görevlerin her biri tek bir aracıya atanana kadar tekrarlanır. Açgözlü

dışlama algoritması ile görev tahsis algoritmasının hesaplama yükü hafifletilmiştir. Görev tahsis algoritmaları askeri alanlarda kullanıldığı için hızla değişen ortamlar için gerçek zamanlı olarak çalıştırılması gerekir. Ancak bu durumda çok sayıda görev oluşacağından, hesaplama yükü önemli ölçüde artar. Bu nedenle düşük hesaplama yükü oldukça önemli bir hal alır. Önerilen görev tahsis algoritmasında, hesaplama yükü açgözlü bir dışlama algoritması kullanılarak azaltılmıştır. Bu durum, özellikle askeri alanlarda hızla değişen ve gerçek zamanlı olarak çalıştırılması gereken ortamlarda oldukça önemlidir. Çünkü bu tür ortamlarda birçok görev söz konusudur ve durumunda hesaplama yükü ciddi şekilde artabilir. Bu nedenle düşük hesaplama yüküne sahip bir görev tahsis algoritması, askeri uygulamalarda büyük bir avantaj sağlamaktadır. Bu çalışma heterojen sürülerin etkili bir şekilde koordine edilmesi ve görev tahsisinin verimli bir şekilde yapılması için önemli bir katkı sunmaktadır.

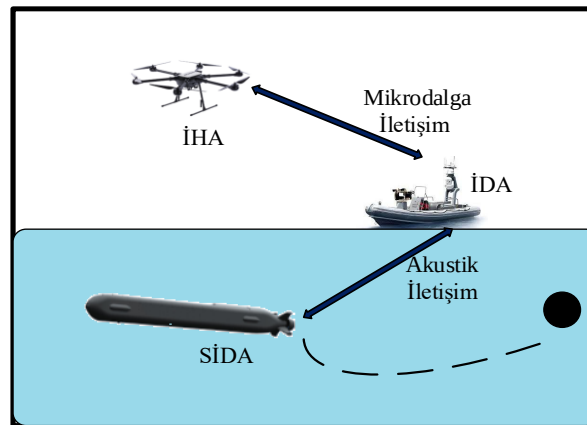
Yu ve ark., yaptıkları çalışmada çok amaçlı heterojen İDA görev planlaması için doğrusal ve derin Q-ağları (Deep Q-Network, DQN) destekli sürü zekası yöntemleri geliştirmiştir [56]. Şekil 1.9’da bu yöntemin adımları gösterilmiştir. Geliştirilen yöntemde A* algoritması ve yapay arı kolonisi (Artificial Bee Colony, ABC) algoritması DQN ile birleştirilmiştir. Öncelikle İDA’ların görevler arasındaki yolunu belirlerken engellerden kaçınmak için A* algoritması kullanılmıştır. Ardından görevlerin planlanmasını iyileştirmek amacıyla ABC algoritması kullanılmıştır. Bu çalışmada altı yeni kural kullanarak başlangıç popülasyonunu iyileştirilmiş ve beş farklı yerel arama stratejisi ile çözüm kalitesi artırılmıştır. DQN algoritması ise ABC’nin iterasyonları sırasında uygun yerel arama stratejilerini seçmek için kullanılmış ve böylece çözüm sürecinin daha hızlı ve verimli bir şekilde gerçekleşmesini sağlamıştır. Önerilen yöntem ile İDA’lar için görevler etkili bir şekilde planlanarak kaynaklar optimize edilmiştir.



Şekil 1.9 Önerilen DQN destekli sürü zekası yöntemi [56].

Cimiega ve ark., yaptıkları çalışmada, heterojen SİDA sürüşü için sualtı nesnelerinin keşfi ve incelenmesine yönelik işbirlikçi bir navigasyon sistemi ele almıştır [57]. Çalışmadaki amaç farklı sensör ve hareket yeteneklerine sahip heterojen SİDA'ların, görevlerini birlikte yürüterek daha verimli bir keşif yapmasını sağlamaktır. İki farklı SİDA türü AT1 ve AT2 olarak tanımlanmıştır. AT1 geniş alanları taramak için yüksek menzilli sensörleri kullanarak nesneleri hızlı bir şekilde tespit eder ve konumlarını AT2'ye iletir. AT2 ise kısa menzilli ve yüksek hassasiyetli sensörlerle bu nesneleri daha yakından inceleyerek detaylı analiz yapar. AT1'in ilettiği kesin konum bilgisi kullanılarak AT2 aracı kendi konumunu belirler ve görevi tamamlar. Nesne tanıma işlemleri için iki farklı özellik çıkarma yöntemi olan döngüye duyarlı histogramlar (rotation-invariant histogram of gradients, Ri-HOG) ve yapay sinir ağlarını (Artificial Neural Network, ANN) karşılaştırır. Ri-HOG, parametrisasyon ve sonuçları bakımından deterministik bir yöntemdir ve görüntülerdeki nesneleri döngüden bağımsız olarak tanımlamak için kullanılır. ANN ise, görüntü işleme görevlerinde daha üstün sonuçlar verdiği için tercih edilir. Çalışmada ANN'nin nesne tanıma performansında Ri-HOG'a göre daha iyi sonuçlar verdiği gösterilmiştir.

Karmaşık bir görevi yerine getirmek için insansız araçlarla işbirliği önemli avantaj sağlamaktadır. Wu ve ark., yaptıkları çalışmada bir sualtı hedefi için bir arama ve izleme gerçekleştirmiştir [58]. Şekil 1.10'da gösterildiği gibi bu görev bir İHA, İDA ve SİDA ile gerçekleştirilmektedir. İşbirlikçi yol planlama modelinin amaçları arama uzayını maksimize etmek ve terminal hatasını minimize etmektir. Arama ve izleme görevinde bir İHA, bir İDA ve bir SİDA su altı hedefini aramak için işbirliği içinde çalışır. Hedef araçlardan biri tarafından tespit edildiğinde arama aşaması tamamlanmış olur. Daha sonra hedef konum bilgisi otonom sualtı aracına gönderilerek otonom sualtı aracı hedefin izlenmesinden sorumlu olur. Otonom sualtı aracı ile hedef arasındaki mesafe bir eşikten daha küçük olana kadar görev devam eder. Önerilen yaklaşım ile karmaşık görevlerin etkili bir şekilde yerine getirilmiş ve insansız araçların işbirliği ile arama ve izleme görevlerinin daha verimli bir şekilde gerçekleştirilmesine katkı sağlamıştır.



Şekil 1.10. Sualtı hedefini arayan ve izleyen heterojen sistem [58].

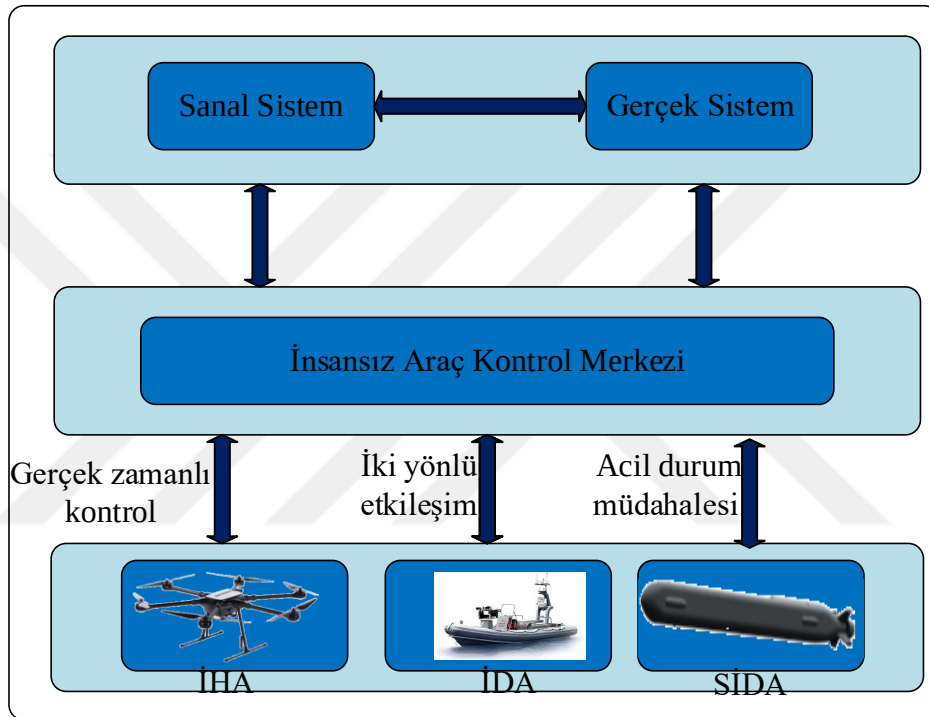
İnsansız sistemlerin kullanıldığı başka bir alan ise sel arama kurtarma operasyonlarıdır. Ajith ve ark., selde mahsur kalan mağdurların kurtarılması ve bölgedeki görevlerin etkili bir şekilde planlanması için bir çalışma gerçekleştirmiştir [59]. Çalışmada İHA'lar ve İDA'lar; hasarlı bölgeleri tarama, İHA sayısını optimize etme, arama sürecini hızlandırma ve hayatta kalanları kurtarma görevleri dahil olmak üzere çok sayıda görevi yerine getirmek için işbirliği yapmaktadır. Makalede İHA'lar otopilot sistemleri ve optimize edilmiş kontrolörler kullanarak belirli görevleri yerine getirme kabiliyetine sahiptir. Görev planlaması, çoklu İHA operasyonlarında hayati bir öneme sahiptir ve ayrıca İHA ve İDA sistemlerinin etkili bir şekilde koordinasyonunu içerir. Mağdurların bulunduğu su izolasyonlu bölgeler, özellikle sel suları altında kalan evler olarak ele alınmıştır. Bu bölgelerde hayatta kalanları tespit etmek, kurtarmak ve görevleri planlamak için İHA'lar ve İDA'lar arasında etkileşim gereklidir. Ajanlar hayatta kalanları aramak, güvenli alanlara ulaştırmak ve görevleri yerine getirmek için etkileşimli bir şekilde çalışmalıdır. İHA'lar minimum sürede varış noktalarına yönlendirilirken, İDA'lar İHA'lar tarafından tespit edilen hayatta kalanlara ulaşmak ve onları güvenli bölgelere taşımak için yol planları geliştirir. Bu çalışma; dinamik kaynak tahsis planlaması, uygun insansız sistemlerin doğru zamanlamayla doğru görevlere atanmasını sağlamaktadır. İHA'lar ve İDA'ların bir arada kullanılması, sel arama ve kurtarma operasyonlarını daha etkili ve verimli hale getirmektedir.

İDA'ların kullanıldığı açık deniz platformlarında deniz iletişiminin performansı kritik bir zorluk teşkil etmektedir ve okyanusta İDA'lar için görev tahsisinin verimliliğini düşürmektedir. Zhang ve ark., yaptıkları çalışmada görev tahsisinin verimliliğini artırmak için akıllı okyanus Nesnelerin İnternetindeki (Internet of Things - IoT) İDA'lar için yeni bir görev tahsis şeması önermiştir [60]. İlk olarak, akıllı okyanus IoT'deki İDA'larda deniz iletişimi sağlamak için açık deniz platformu geliştirilmiştir. Bu platform, İDA'ların görevleri gerçekleştirmek için açık deniz platformlarıyla iletişim kurabilmesi ve ağ kaynakları sağlamak üzere baz istasyonları konuşlandırılır. İkinci adım ise İDA'lar ve açık deniz platformları arasındaki ağ kaynağı tahsis sürecidir. İDA'ların ve açık deniz platformlarının faydalarını en üst düzeye çıkarmak için İDA'nın optimal teklif verme stratejisi Q-öğrenme yoluyla modellenmiştir. Önerilen yöntem açık denizlerde görev yapan İDA'ların iletişim verimliliğini artırarak görev tahsisinin daha etkili bir şekilde gerçekleştirilmesine olanak sağlar.

İnsansız sistemlerde bir görevin otonom olarak atanması, müzakere edilmesi ve yürütülmesi güncel araştırma konularıdır. Shuhang ve ark., yaptıkları çalışmada İHA ve İDA'dan oluşan heterojen platform geliştirmiştir [61]. Ayırık PSO'na dayalı bir işbirlikçi görev atama yöntemi önerilmiştir. Bu yöntemde GA'daki mutasyon ve çaprazlama kullanılarak önerilen algoritmanın yerel optimal çözüme kolayca düşmesi problemi çözülmüştür. Böylece algoritmanın amaç fonksiyonunun global optimal çözümüne yakınsayabilir. Bu çalışma, İHA ve İDA'dan oluşan heterojen bir platform geliştirerek insansız sistemlerde görev atama süreçlerini ele almaktadır. Önerilen yöntem ile hava-

deniz heterojen platformlarda otonom ve işbirliği içinde görev atamaları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma hava-deniz heterojen platformlarda görevlerin otonom ve işbirliği içinde atanmasını ve yürütülmesini kolaylaştırarak insansız sistemlerin verimliliğini artırmaktadır. Ayrıca görev atama süreçlerini iyileştirerek, hava-deniz platformlarının etkili bir şekilde işbirliği yapabilmesine olanak sağlar ve daha geniş uygulama alanları için potansiyel faydalar sunar.

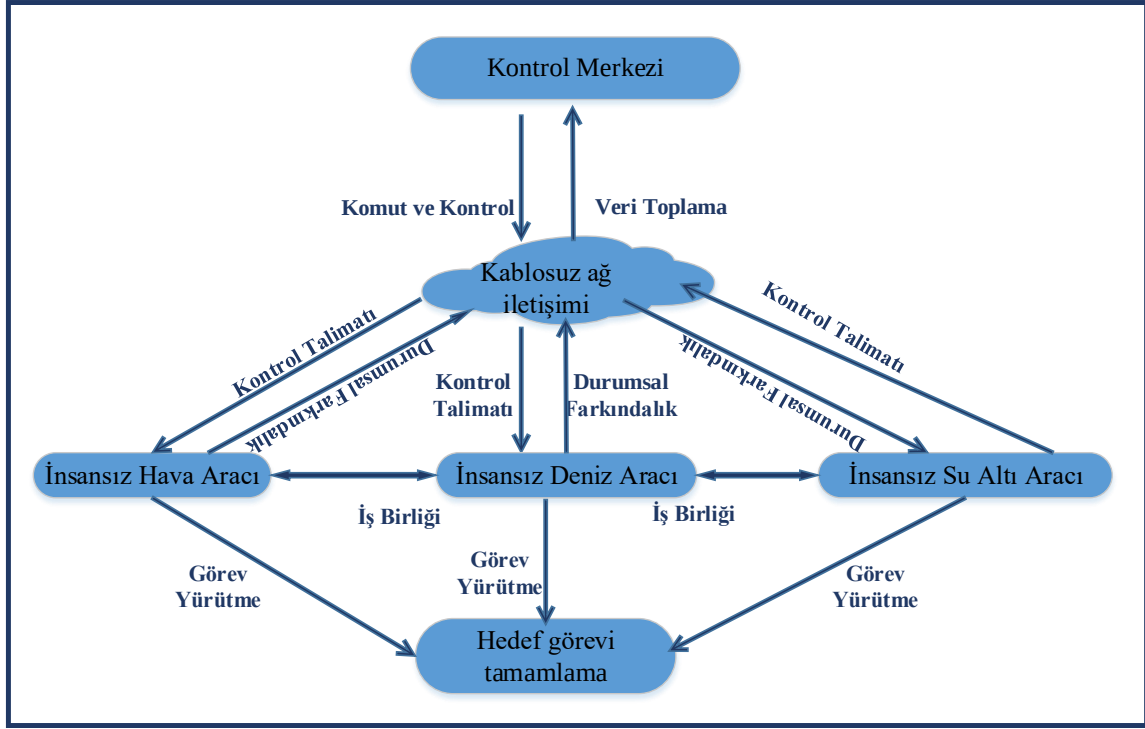
Fan ve ark., deniz ve hava araçlarından oluşan heterojen çoklu insansız araçlar için uçtan uca paralel bir kontrol stratejisi geliştirmiştir [62]. Bu yapı Şekil 1.11’de gösterilmiştir.



Şekil 1.11. Heterojen çoklu insansız araçlar için uçtan uca paralel bir kontrol stratejisi [62].

Şekil 1.12’de gösterilen çalışmadaki temel amaç İHA ve İDA’ların otonom bir şekilde birbirleriyle uyum içinde çalışmasını sağlayarak geniş alanlarda keşif, gözetleme ve kurtarma operasyonlarının etkinliğini artırmaktır. Kullanılan yöntem paralel sistem teorisine dayanır ve gerçek ve sanal sistemlerin etkileşimini içeren bir yapı sunar. Bu teoride karmaşık sistemlerin kontrolü için gerçek sistemin bir sanal karşılığı oluşturulmakta ve bu sanal sistemde bilgisayar destekli deneyler yapılarak sorunlar analiz edilmektedir. Gerçek ve sanal sistemlerin etkileşimi ile her iki sistemin de durumu gözlemlenir ve elde edilen verilerle kontrol ve yönetim stratejileri sürekli olarak optimize edilir. Çalışmada deniz ve hava araçların çevresel verilerini sensörler aracılığıyla toplayıp kontrol merkezine aktarılması sağlanmıştır. Bu merkezde toplanan gerçek zamanlı veriler ile insansız araçların deniz ve hava ortamındaki operasyonları optimize edilmiştir. Ayrıca uzaktan kontrol mekanizmaları ile bu araçların herhangi bir acil durumda manuel olarak devralınması

sağlanmıştır. Önerilen yöntem ile insansız hava, deniz yüzeyi ve su altı araçlarının iş birliğini artırarak geniş alanlarda arama, kurtarma ve keşif görevlerinin etkinliğini büyük ölçüde artırmak amaçlamaktadır.

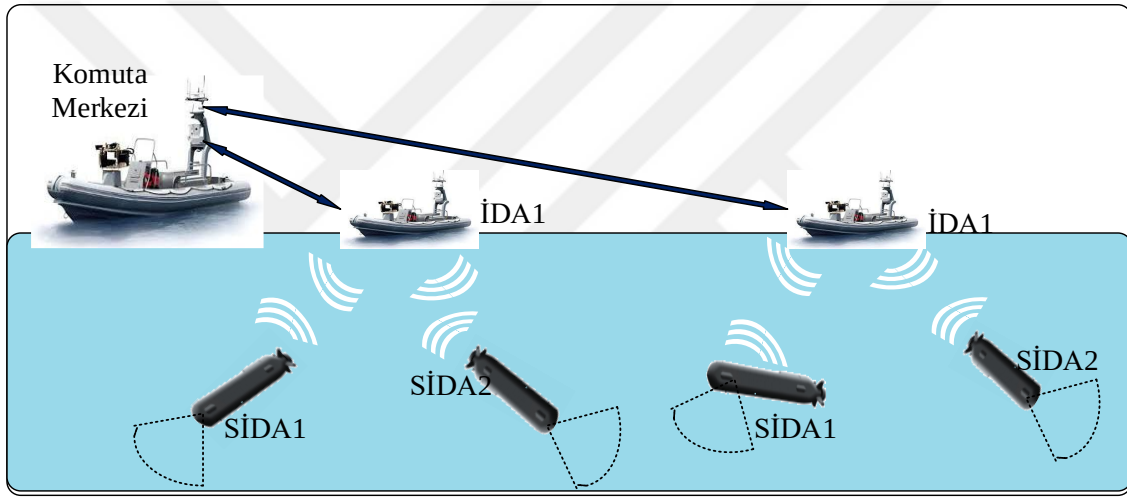


Şekil 1.12 Çoklu insansız araçlar arasında işbirlikli operasyon [62].

Qin ve ark., yaptıkları çalışmada, heterojen hava-deniz insansız sistemlerinin geniş bir bölgeyi kapsayabilen ve birden fazla hedefi hedefleyen görevler için yol planlama problemini ele alarak zamanı etkili bir şekilde kullanmayı amaçlamıştır [63]. Bu çalışmanın ilk adımı hedefleri ayırt etmek ve her bir sınıfa uygun yakıt ikmali noktalarını belirlemek için kümeleme algoritması kullanılmaktadır. Daha sonra hedeflerin yolunu planlamak ve en kısa rotayı bulmak için çift katmanlı seyahat modifiye parçacık sürü optimizasyonu algoritması kullanılmıştır. Bu yöntemin birden fazla hedefin yol planlama görevini başarıyla yerine getirebildiğini ve hem İDA'ların hem de İHA'ların hızlı ve etkili bir yol planı oluşturabildiğini göstermektedir. Ayrıca heterojen hava-deniz insansız sistemlerinin karmaşık görevlerde daha etkili bir şekilde kullanılmasına olanak tanır. Hedef tanımlama, yakıt ikmali, yol planlaması ve rotaların belirlenmesi gibi kritik bileşenlerin optimize edilmesi, bu sistemlerin performansını artırır ve çeşitli görevlerin başarıyla yerine getirilmesine katkı sağlar.

Cheng ve ark., yaptıkları çalışmada Şekil 1.13'de gösterilen heterojen SIDA ve İDA işbirlikçi arama görevlerinin planlamasını incelemek için ACO prensibi kullanmıştır [64]. Bu görev çoklu

SİDA ve İDA'nın ortak bölge kapsama ve yol planlama problemlerine ayrılmıştır. ACO, SİDA yol planlamasına odaklanarak geliştirilmiş, uyumlu bir transfer olasılık faktörü ve feromon güncelleme modeli içermektedir. Bir dizi simülasyon vakası kullanarak bu algoritmanın etkinliği doğrulanmış ve iyileştirilmiştir. SİDA ve İDA işbirlikçi görev planlaması ve performansı, enerji tüketimi, görev tamamlama süresi ve iletişim süresi açısından değerlendirilmiştir. Bu çalışma, SİDA ve İDA'nın işbirlikçi su altı hedef arama verimliliğini artırmayı hedeflemektedir. Tasarlanan ACO, işbirlikçi keşif planlama için kullanılarak bu amaç doğrultusunda geniş bir alanı kapsama yeteneği sunmaktadır. SİDA ve İDA'nın işbirlikçi görevlerle farklı gereksinimlere sahip olduğu bulunmuş ve işbirlikçi görev modunun operasyon verimliliğini artırabileceği sonucuna varılmıştır. Bu sistem, gelecekte daha karmaşık hedeflere yönelik görevler için kullanılabilir.



Şekil 1.13. Heterojen SİDA ve İDA işbirlikçi aramasının şematik diyagramı [64].

Bu bölümde incelenen algoritmaların performanslarından bazıları Tablo 1.2'de ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Tablo 1.2. Algoritma performas değerlendirilmesi

Kullanılan Araçlar	Önerilen Algoritmalar	Performans
İHA - İKA	Dinamik bir işbirlikçi görev tahsisi modeli [45]	Görev sayısı ve insansız platformlara göre deney için altı set veri tasarlanmıştır. Görev sayıları 30 -150 arsında belirlenerek; toplam insansız platform sayısı ise 30 veya 90 olarak seçilmiştir. Çalışmada çoklu insansız platform üzerinde işbirlikçi görevlerin dinamik dağılımı gerçekleştirilmiştir. Uygulamada 4 farklı algoritma performansları tamamlanan görev sayısı, entegre değerlendirme puanları tüketilen süre ve iletişim sayısı bakımından karşılaştırılmıştır. Uygulamada gerçekleştirilen sözleşme ağı algoritması (CNA), mental coefficient (MC-CNA) ve blackboard model (BM-CNA) algoritmalar arasında tamamlanan görev sayısında ve entegre değerlendirme puanında önemli bir fark yoktur. buffer pool mechanism (BPM-CNA) ve hybrid improved (Hy-CNA) algoritmalarında entegre değerlendirme puanı %12 oranında iyileştirilmiştir. BM-CNA tarafından tüketilen süre, diğer algoritmalarından daha kısadır. Bu algorithmada görev sayısı 180'e ulaştığında bu süre %20 oranında azalmaktadır. Diğer algoritmaların zaman tüketimi açısından ise anlamlı bir fark bulunmamaktadır. BM-CNA için iletişim sayısına bakıldığında %35 oranında azalma sağlanmıştır.
	Hareket planlama algoritması [46]	Çalışmada önerilen Grid Map Generation Network (GMGN) algoritması, Memory Augmented Control Networks (MACN) algoritmasına dayalı bir iyileştirmedir. Bu uygulama için farklı ölçeklerde üç görev tasarlanmıştır. Görev 1, Görev 2 ve Görev 3'te, engellerin konumu, başlangıç noktası ve hedef noktasının rastgele belirlendiği her senaryoda farklı sayıda ve farklı boyutlarda engeller eklenmiştir. Deneysel sonuçlarla önerilen yöntemin doğruluk oranını MACN'ye göre yaklaşık %14 artırdığı gözlemlenmiştir. Gözlem oranı görevin doğruluk oranını doğrudan etkilediği görülmüştür. Gözlem oranı ne kadar büyükse görevin doğruluğunun o kadar yüksek gerçekleştirilmiştir.
	Açgözlü dışlama algoritması [55]	Önerilen görev tahsis algoritmasının performansını göstermek için, 3 düşman askeri ve 2 düşman aracından oluşan hava ve kara insansız araçlarından oluşan bir sürü sisteminin simülasyonu yapılmıştır. Yeni geliştirilen Açgözlü dışlama algoritmasının hesaplama yükü açgözlü algoritmadan %40 daha küçüktür.
Heterojen çoklu İHA	Hibrit ayrık genetik alg.[24]	Önerilen hibrit ayrık genetik algoritması, rastgele arama algoritması ve genetik algorithmaya göre yakınsama doğruluğu açısından üstün bir sonuç elde edilmiştir.
	Benzetilmiş tavlama parçacık sürü opt. algoritması [25]	Geliştirilmiş benzetilmiş tavlama parçacık sürü optimizasyonu (SAPSO) algoritmasına göre İHA'ların mesafesi (22651,7 metre), PSO algoritmasına göre (23189,9 metre) daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Ancak SAPSO algoritmasının verimliliği, işlemci performansı ve iletişim gecikmesi gibi donanımsal kaynaklarla doğrudan ilişkilidir.
	Dağıtılmış bir görev tahsisi algoritması [35]	Önerilen dağıtılmış görev tahsisi algoritması, görev tahsisi probleminin arama alanını etkili bir şekilde azaltıp problem çözme hızını artırmaktadır. Her bir İHA'nın her karar için tükettiği sürenin 0,25 sn'den az olarak hesaplanmıştır. İletişim gecikmesi dikkate alınmadan, her adımın maksimum karar süresi bu iterasyonun döngüsü olarak alınırsa, 8 simülasyon adımının toplam süresi 1,02 sn olarak hesaplanmıştır.
İnsansız yüzey aracı - otonom sualtı aracı - İnsansız su üstü araçları - İHA	İşbirlikçi yol planlama modeli [58]	Önerilen İşbirlikçi yol planlama yönteminin sualtı hedef görevinin performansını göstermek için farklı durumlar altında simülasyon çalışması yapılmıştır. Sonuçlar üzerindeki etkilerini araştırmak için hedefin üç farklı başlangıç konumu dikkate alınmıştır. Her üç durumda da hedef belirlenen eşik değeri ile izlenmiştir. Durum 1'deki görevi tamamlamak için 184s ile en az zaman harcamıştır. SIDA önce hedefi tespit eder ve ardından doğrudan takip eder. Bu aşamasında araçlar arasında bilgi alışverişi olmadığı için çok zaman kazanılmıştır. Durum 2'de, İDA önce hedefi keşfeder ve konumu SIDA gönderir. 43sn'de SIDA hedefi tespit eder ve onu izlemeye başlar. Görevin tamamlanma süresi 200sn'dir. Durum 3'de İHA, yüksek uçuş hızı için Durum 1 ve 2'ye kıyasla önce hedefi daha kısa sürede bulacaktır. Ancak bu durumda, SIDA hedefi tespit etmeden önce fazladan süre harcar ve bu durum tüm görevin bitiş süresini artırır. Görevin tamamlanma süresi 298s'dir.

1.3. Tezin Amacı ve Kapsamı

Günümüzde insansız araçların kullanımının artmasıyla birlikte bu alanda yapılan çalışmalar oldukça önem kazanmıştır. Bu tez çalışması kapsamında GA tabanlı heterojen insansız sürü araç görev koordinasyonu gerçekleştirilmiştir. Çalışmada İHA ve İKA'ların güvenli ve verimli bir şekilde hedefe ulaşmasını sağlamak amacıyla GA tabanlı Pareto optimizasyonuna dayalı bir rota planlama ve engellerden kaçınma yöntemi geliştirmektedir. Yöntem, araçların çevreyi algılayarak dinamik rota güncellemeleri yapmasını ve bilgi paylaşımıyla işbirlikçi hareket etmesini sağlamaktadır. Tezde İHA, İKA ve İDA'lar için GA ve costmap tabanlı yaklaşımları entegre eden bir görev planlama ve rota optimizasyon sistemi geliştirmektedir. Sistem, farklı görev türlerine uyum sağlayarak operasyonel başarıyı artırırken çarpışma riskini azaltmıştır. Ayrıca geliştirilen Grafiksel Kullanıcı Arayüzü, kullanıcı dostu bir deneyim sunarak sistemin yönetimini kolaylaştırmıştır.

Hızla gelişen otonom sürüş teknolojileri ile birlikte İHA, İKA ve İDA ile insan müdahalesi olmaksızın hedeflerine otonom bir şekilde ulaşmalarını sağlamaktadır. Ancak bu araçların birden fazla birimle etkili bir şekilde koordinasyonunu sağlamak için yenilikçi ve verimli yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında heterojen çoklu insansız araçlar için kuantum hesaplama tabanlı işbirlikçi optimum görev tahsisi yaklaşımı önerilmiştir. Çalışma, literatürdeki diğer kuantum tabanlı yaklaşımlardan farklı olarak, yalnızca tek bir araç tipine odaklanmak yerine hava, kara ve deniz araçları gibi farklı tipteki araçların ortak görev atama problemlerini ele almaktadır. Sıralama problemleri için uygun olan Kuantumdan İlham Alan Evrimsel Algoritma (quantum-inspired evolutionary algorithm, QEA), heterojen çoklu araç görev atama problemleri için uyarlanmış ve geliştirilmiştir. Bu bağlamda, iyileştirilmiş QEA algoritmasını hibrit bir yöntemle uygulamak için kuantum-klasik hibrit bir çerçeve önerilmiştir. Çalışma ile kuantum hibrit bir yöntem sunarak farklı tipte insansız araçların görev atama problemlerini çözme konusunda öncü bir katkı sağlamayı hedeflemektedir.

Bu tez çalışması kapsamında sonuçlanan akademik yayın çalışması aşağıda verilmiştir [65].

- “Quantum Computing Based Collaborative Optimum Mission Allocation Approach for Heterogeneous Multi Unmanned Vehicles,” IEEE Access, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3498345.

1.4. Tezin Yapısı

Bu tez çalışması *giriş bölümü* ile birlikte *beş bölümden* oluşmaktadır. *Birinci bölümde*, Heterojen insansız sürü araç sistemleri, bu araçların kullanım alanları ve karşılaşılan problemlerden bahsedilmiştir. Literatürde yer alan heterojen insansız sürüler için yapılan çalışmalar incelenmiştir. Tezin amacı ve kapsamı açıklanarak bu süreçte yapılan bilimsel çalışmalar verilmiştir.

İkinci bölümde, heterojen insansız sürü araçların görev koordinasyon yaklaşımları ayrıntılı olarak incelenmiştir. Heterojen insansız sürü araçların görev atama problemleri ve çözüm yöntemleri, görev koordinasyonu algoritmaları, mevcut çalışmalarda zorluklar ve iyileştirme alanlarına yer verilmiştir.

Üçüncü bölümde, İHA ve İKA engellerle dolu bir ortamda hedefe ulaşmalarını sağlayan, enerji tüketimini minimize ederken hedefe ulaşma süresini optimize eden ve engellerden etkin şekilde kaçınmayı maksimize eden bir Pareto-optimizasyon yaklaşımı geliştirilmiştir. Enerji tüketimi, hedefe ulaşma süresi ve engel kaçınma performansı olmak üzere üç hedef GA kullanılarak optimize edilmiştir. Heterojen insansız hava, kara ve deniz araçlarının dinamik görevlerde etkin konuşlandırılması için GA ve costmap tabanlı teknikleri birleştirerek optimize edilmiş bir çözüm sunmaktadır.

Dördüncü bölümde, İHA, İKA ve İDA araçlarından oluşan heterojen sürüler için araç-görev ataması amacıyla bir kuantum-klasik hibrit sistem önerilmiştir.

Beşinci ve son bölümde ise tezde yapılan çalışmalar değerlendirilmiş ve gelecek çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

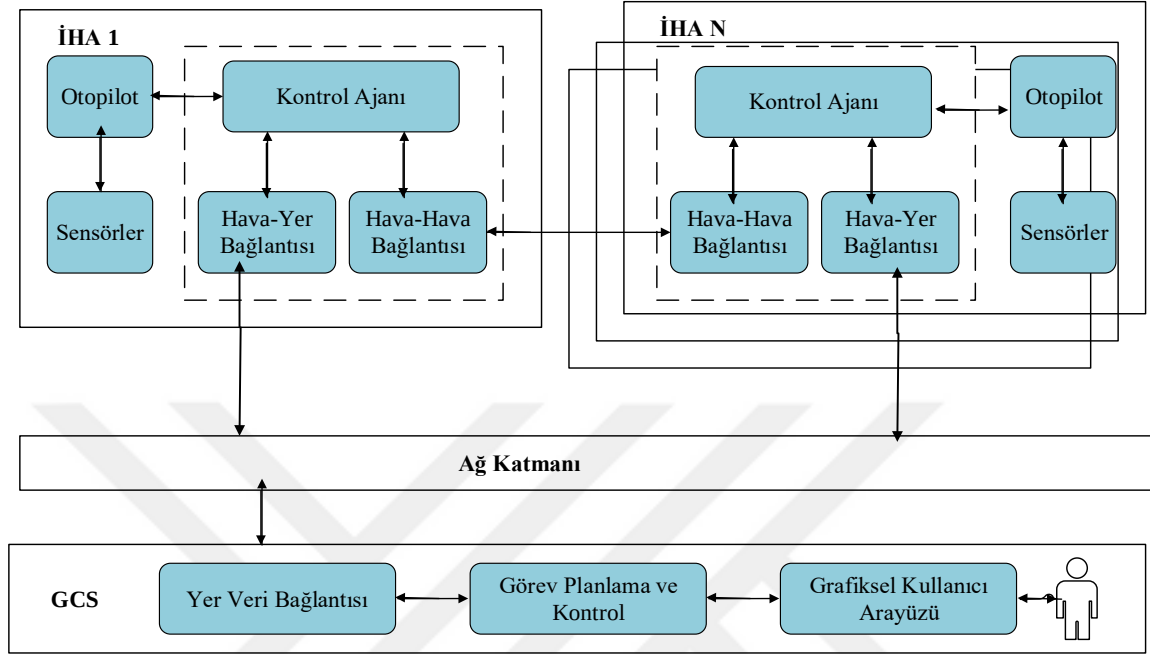
2. HETEROJEN İNSANSIZ SÜRÜ ARAÇLARIN GÖREV KOORDİNASYONU

Son yıllarda, insansız araçlar günlük yaşamın çeşitli alanlarda oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu araçların kullanımının yaygınlaşmasındaki temel etken genellikle insan müdahalesine ihtiyaç duyulmaması veya minimum müdahale ile çalışabilmesidir. Bu özellikleri sayesinde özellikle zorlu ve tehlikeli ortamlarda oldukça yaygın kullanılmaktadırlar. Bu bölümde Heterojen İnsansız Hava Araçları, İnsansız Kara Araçları, İnsansız Deniz Araçlarının görev atama problemleri ve çözüm yöntemleri, görev koordinasyonu algoritmaları alt başlıklar halinde incelenmiştir.

2.1. İnsansız Hava Araçları Görev Atama Problemleri

Silva ve ark., birden fazla İHA'nın dinamik önceliklere sahip sürekli gözetim görevlerini koordine eden bir yöntem sunmuşlardır. Şekil 2.1'de gösterilen sistem mimarisi Yer Kontrol İstasyonu (Ground Control Station, GCS), otonom quadrotor filosu ve gömülü İHA ajanları olmak üzere üç temel bölümden oluşmaktadır [66]. GCS görev planlama ve kontrol işlemlerinin tek bir operatör tarafından gerçekleştirilmesini sağlayan merkezi bir bileşendir. Bu bileşen gözetim alanını haritalama, görevlerin dinamik olarak değiştirilmesi ve İHA'ların yeniden konumlandırılması işlevlerini yerine getirmektedir. İkinci bileşen olan otonom quadrotor filosu eylemsiz navigasyon sistemi ve küresel navigasyon uydu sistemi ile donatılmış İHA'lardan oluşmaktadır. Bu İHA'lar görev sırasında birbirleriyle ve kontrol istasyonu ile iletişim içinde olarak liderlik, veri toplama ve iletişim aktarımı gibi farklı görevleri yerine getirmektedir. Üçüncü bileşen olan gömülü İHA ajanları ise görev yükünün kontrolünü ve dağıtılmış planların yürütülmesini gerçekleştirmektedir. Makalede görev planlaması için öncelik gradyan yöntemi önerilmiştir. Bu yöntemde gözetim alanı, merkez hücresinin en yüksek önceliğe sahip olduğu ve dış katmanlara doğru önceliklerin azaldığı bir gradyan yapısı olarak modellenmiştir. Bu yapıda bölgeyi kapsayan bir altıgen ızgara ile temsil edilmiştir. Böylece hücreler arası eşit mesafe avantajı sağlanmıştır. Önerilen yöntem İHA'ların stratejik konumlandırılması ve görev değişimi ile koordinasyon sağlayan çoklu ajanlara dayanmaktadır. İHA'lar, sensör aralıklarına göre farklı katmanlara atanmış ve bu katmanlar belirli bir güncelleme sıklığına göre izlenmiştir. Görev sırasında en yüksek önceliğe sahip merkez hücresi bir İHA tarafından sürekli izlenirken diğer İHA'lar çevre hücreleri dolaşır. Görev yenileme ya da öncelik gradyanı pozisyonunun değişmesi durumunda İHA'lar en yakın katman pozisyonlarına atanır. Böylelikle merkez hücre sine erişim süresi optimize edilmiştir. Önerilen yöntem ile İHA'ların görevleri etkili bir şekilde koordine edilmiş ve değişen önceliklere hızlı yanıt verilmiştir.

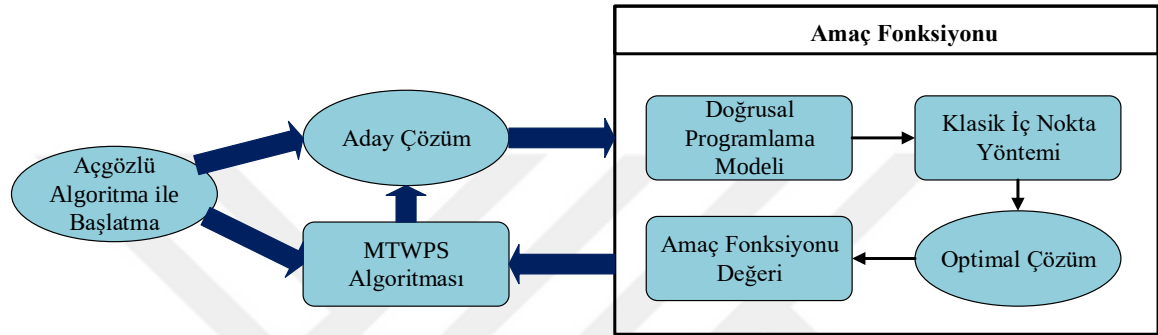
Bu da gözetim görevlerinin etkinliğinin artırılmasını ve kaynakların bir şekilde verimli kullanımı sağlanmaktadır.



Şekil 2.1. Önerilen sistem mimarisi [66].

Chen ve ark., çoklu İHA'nın işbirliği içinde görev atama problemi çözümü için iki parçalı kurt sürüsü arama (Modified Two-Part Wolf Pack Search, MTWPS) algoritması önermiştir. Şekil 2.2'de optimizasyon probleminin çözüm çerçevesi gösterilen yöntemde ilk olarak başlangıç çözümleri Greedy Algoritması kullanılarak oluşturulur [67]. Greedy algoritması ile çözüm alanı taranarak iyi bir başlangıç noktası elde edilir ve bu çözümler önerilen MTWPS algoritmasına giriş olarak kullanılır. MTWPS algoritması ile çözüm uzayı optimize edilerek ve çeşitlendirilerek aday çözümleri oluşturur. Oluşturulan aday çözümler sağlam optimizasyon çerçevesinde bir doğrusal programlama modeli ile değerlendirilir. Hedef fonksiyon ise klasik iç nokta yöntemi kullanılarak optimize edilir. Böylece en uygun çözüm hassas ve verimli bir şekilde elde edilmesi sağlanır. Elde edilen optimum çözüm MTWPS algoritmasına geri beslenerek sonraki döngülerde daha iyi çözümlere ulaşılması sağlanır. Çalışmada önerilen MTWPS algoritması iki parçalı bireysel gösterime sahip kurt sürüsü arama (Wolf Pack Search, WPS) algoritmasını kullanmaktadır. Bu yapıdaki ilk parça tüm görevlerin sıralamasını temsil eden bir şehir permütasyonudur. İkinci parça ise her bir İHA'ya atanacak görevlerin sayısıdır. Bu çift parçalı yapı ile çözüm uzayındaki gereksiz tekrarlar önlenir ve daha hızlı yakınsama sağlanır. Algoritmada öncelikle Greedy algoritması ile oluşturulan aday çözümleri kullanır. Daha sonra klasik kurt sürüsü algoritmasının yerel iyileştirme yeteneklerini geliştirmek için görev atama problemine transpozisyon ve genişletme işlemleri

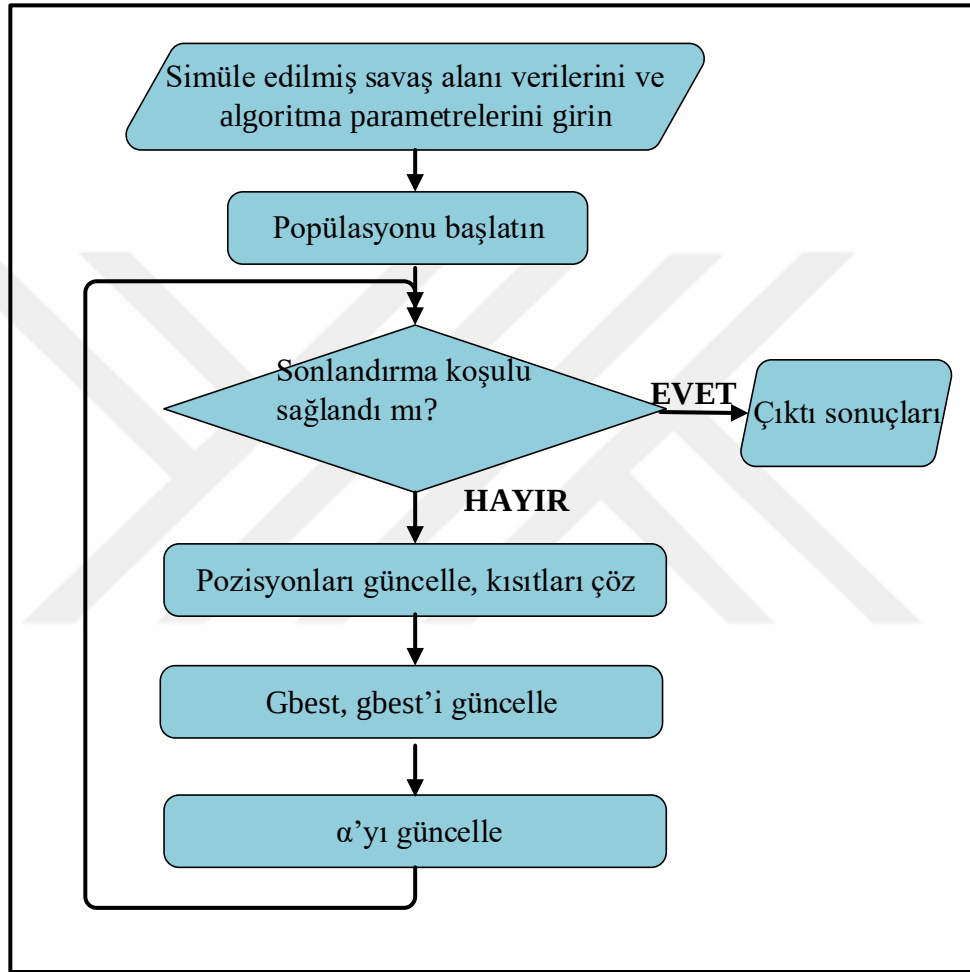
eklenmiş iki farklı modifikasyon (MTWPS1 ve MTWPS2) oluşturulmuştur. Transpozisyon işlemi ile kurt bireylerinin birinci parçasındaki elemanların sırasını ters çevirerek daha iyi çözüm yolları keşfetmek amaçlanmıştır. Genişletme işleminde ise amaç ikinci parçada yeni görev dağılımı seçenekleri üreterek arama uzayını genişletmek ve daha çeşitli çözümler oluşturmaktır. Önerilen yöntemde parametre belirsizliklerini içeren problemleri çözmek için sağlam optimizasyon stratejileri ile klasik iç nokta yöntemlerini birleştirilmiş ve böylece görev atama işlemi daha etkili ve hesaplama açısından daha verimli hale getirilmiştir.



Şekil 2.2. Optimizasyon probleminin çözüm çerçevesi [67].

Zhang ve ark., çalışmada heterojen İHA'ların karmaşık senaryolardaki görev atama problemini çözmek için iyileştirilmiş kuantum parçacık sürü optimizasyonu (Quantum Particle Swarm Optimization, QPSO) algoritması önermiştir [68]. Şekil 2.3'te algoritma adımları verilen QPSO algoritması simüle edilmiş savaş alanı verileri ve algoritma parametreleri giriş olarak alır ve optimal görev atama çözümünü çıkış olarak üretir. QPSO algoritmasında ilk olarak her parçacığın pozisyonu görev atama problemini temsil edecek şekilde kodlanır. Parçacık pozisyonları düşman hedeflerinin ve görevlerin sayısına dayalı bir dizi boyutuna sahiptir. Başlangıçta tüm parçacıklar rastgele pozisyonlarla başlatılır ve uygunluk değerleri (fitness) hesaplanır. Parçacık pozisyonları kuantum mekaniğine dayalı olarak her bir parçacığın pozisyonu, kişisel en iyi pozisyonu (pbest), küresel en iyi pozisyon (gbest) ve bu pozisyonların ortalama değeri (c) kullanılarak yeniden hesaplanır. Pozisyon güncelleme işlemi genişleme-daralma faktörü (α) ve rastgele seçilen bir değer kullanılarak parçacıklara hareket esnekliği kazandırır. Mutasyon işlemi belirli bir süre boyunca kişisel en iyi pozisyonunda değişiklik olmayan parçacıklar için uygulanır ve bu pozisyonlar rastgele değiştirilir. Yöntemde görev sırası ve zaman pencereleri gibi kısıtlar için "bekleme yolu" stratejisi uygulanmıştır. Eğer bir İHA belirli bir göreve erken ulaşırsa görevi yerine getirebilmek için uygun zaman başlayana kadar hedef çevresinde bir daire çizer. Eğer uygun olmayan pozisyonla varsa onarım yöntemleriyle düzeltilir. Her iterasyonda parçacıkların kişisel ve küresel en iyi pozisyonları güncellenir ve genişleme-daralma faktörü iterasyon sayısına bağlı olarak uyarlanır. Algoritma

belirlenen durdurma kriterine ulaştığında veya maksimum iterasyon tamamlandığında en iyi görev atama çözümünü üretir. Önerilen yöntem İHA'ların heterojen yetenekleri, görev sırası ve zaman kısıtlarını dikkate alan etkin ve kararlı bir görev atama planı sağlar. Ayrıca temel PSO algoritmasının erken yakınsamaya düşmesi kolaydır önerilen QPSO algoritması parçacıkların erken yakınsamayı önleyerek küresel optimizasyon yeteneğini artırmıştır.



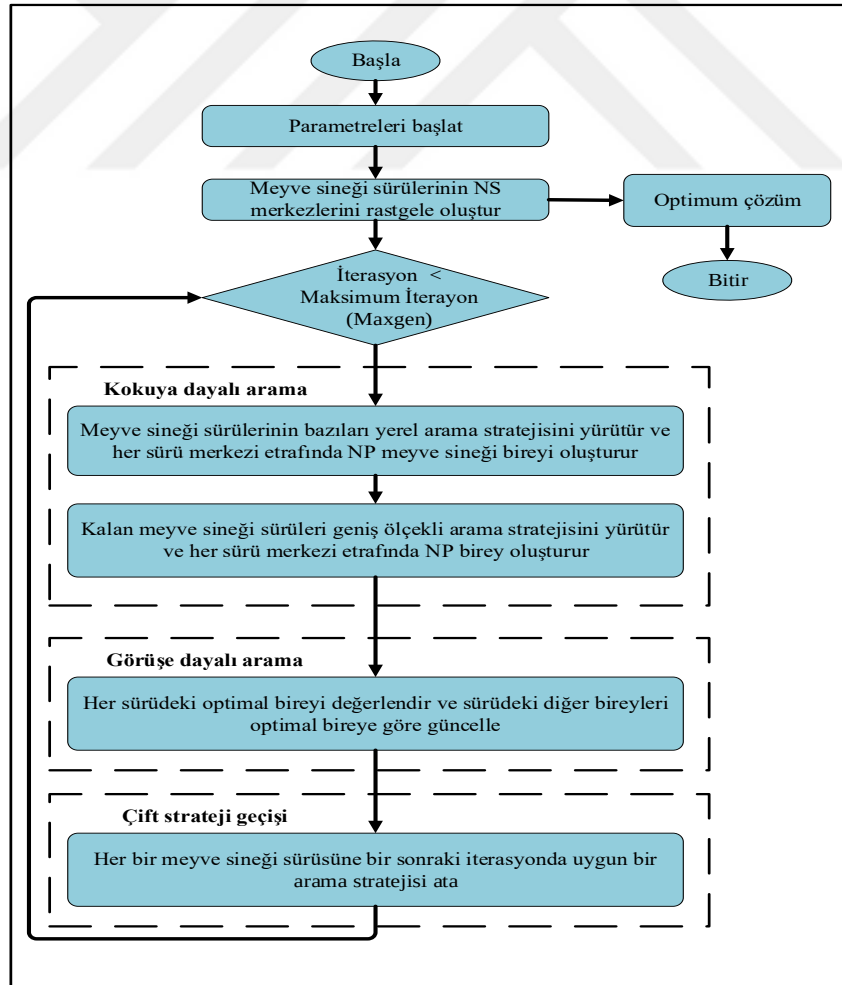
Şekil 2.3. QPSO algoritma adımları [68].

Gao ve ark., heterojen hedeflere yönelik çoklu İHA keşif görevlerini etkin bir şekilde yerine getirebilmek için Grup Tabanlı Karınca Kolonisi Optimizasyonu (Grouping Ant Colony Optimization, GACO) yöntemi geliştirmiştir [69]. GACO algoritması geleneksel ACO yönteminin bir türevi olarak tasarlanmıştır. Çoklu İHA keşif görev tahsis probleminde farklı İHA'lar farklı hedefleri keşfederler bu nedenle İHA'lar ile hedefler arasındaki tahsis problemini çözmek için karınca kolonisini alt gruplara bölünmüştür. Her İHA bir karınca alt grubuyla eşleştirilmiş ve her alt grup kendi İHA'sına uygun bir görev tahsis planı oluşturmuştur. Alt gruplar feromon yoluyla birbirleriyle etkileşimde bulunarak görev koordinasyonu sağlamıştır. ACO'da çözümün inşası

feromon birikimine bağlıdır ve pozitif bir geri bildirim mekanizmasını içermektedir. GACO algoritması ile bu yapıya negatif geri bildirim mekanizması eklenmiştir. Bu yapıda pozitif geri bildirim daha iyi çözümlerin desteklenmesini sağlarken, negatif geri bildirim, çözüm uzayında daha dengeli bir arama yapmayı mümkün kılmıştır. Her bir karınca alt grubu İHA'ların kısıtlamalarına göre değerlendirilir ve en iyi çözümler belirlenir. Ardından dizi feromonları ve üyelik feromonları formüllerle güncellenir. Üyelik feromonlarının güncellenmesi küresel ve yerel en iyi çözümlere dayanarak yapılır ve algoritmanın daha hassas bir arama yapmasını sağlar. Algoritma, belirlenen maksimum iterasyon sayısına ulaşana veya küresel en iyi çözüm bulunduğu sonlandırılır. Önerilen yöntem ile toplam İHA kullanımını ve görev yürütme süresinin ağırlıklı toplamını en aza indirilmiştir.

Luo ve ark., çok fonksiyonlu İHA'ların işbirlikçi görev planlama problemini çözmek amacıyla çoklu sürü meyve sineği optimizasyon algoritması (multi-swarm fruit fly optimization algorithm, MFOA) geliştirmiştir [70]. Önerilen MFOA yöntemi ile üç temel alt problemi çözmeye odaklanılmıştır; görev atama, görev sıralama ve üç boyutlu yol planlama. Algoritma geleneksel meyve sineği optimizasyon algoritmasından (fruit fly optimization algorithm, FOA) farklı olarak küresel arama performansını artırmak ve yerel minimuma takılmayı önlemek için iki temel yenilik sunmaktadır. Bunlar çoklu sürü mekanizması ve çift stratejili arama yöntemidir. Çoklu sürü mekanizması ile her bir sürü farklı merkezlerde çalışarak çözüm çeşitliliği artırılmış ve algoritmanın yerel optimumlara sıkışma olasılığı azaltılmıştır. Çift stratejili arama mekanizması ise kokuya dayalı arama aşamasında geniş çaplı arama ve yerel arama stratejilerini birleştirerek algoritmanın hem küresel arama kapasitesini hem de yerel çözüm iyileştirme kabiliyetini dengeler. Şekil 2.4'te çalışma yapısı gösterilen MFOA dört ana aşamadan oluşur; başlatma, kokuya dayalı arama, görüşe dayalı arama ve çift strateji geçişi. İlk aşamada, sürü merkezleri ve bireyler rastgele oluşturularak algoritma başlatılır. Kokuya dayalı arama aşamasında, her sürü çift stratejili bir yaklaşımla ya geniş çaplı arama ya da yerel arama gerçekleştirir. Görüşe dayalı arama aşamasında, her sürüdeki en iyi birey, sürünün yeni merkezi olarak belirlenir ve sonraki iterasyonlar için uygun bir strateji atanır. Son aşama olan çift strateji geçişi, her sürünün performansına göre uygun arama stratejisini belirler ve adaptif bir şekilde günceller. Bu yapı, hem küçük hem de büyük ölçekli görev planlama problemlerinde MFOA'nın etkili ve istikrarlı sonuçlar üretmesini sağlamıştır. İlk olarak algoritmanın temel parametreleri tanımlanır; sürü sayısı (NS), her sürünün birey sayısı (NP), maksimum iterasyon sayısı (Maxgen) ve yön açısı örnekleme sayısı ($N\psi$) gibi değerler başlatılır. Rastgele seçilen NS adet sürü merkezi algoritmanın başlangıç noktalarını oluşturur ve her sürüdeki bireyler problemin potansiyel çözümlerini temsil eder. Kokuya dayalı arama aşamasında sürüler iki farklı stratejiyle hareket eder; geniş çaplı arama ve yerel arama. Geniş çaplı arama, zayıf performans gösteren bireylerin mevcut pozisyonlarından uzaklaşmasını sağlayarak küresel arama yeteneğini artırır. Yerel arama ise başarılı bireylerin pozisyonlarını optimize ederek mevcut

çözümleri iyileştirir. Bu iki strateji sürülerin çeşitli bölgelerde arama yapmasını sağlayarak çözüm çeşitliliğini artırır ve yerel minimumlara sıkışmayı engeller. Görüşe dayalı arama aşamasında her meyve sineği sürüsü, her meyve sineği bireyinin koku konsantrasyonu değerini elde etmek için meyve sineği bireylerini değerlendirir. Sürülerin merkezi konumunu güncellemek amacıyla açgözlü bir seçim stratejisi kullanılır. Her sürüde en yüksek koku konsantrasyonuna sahip bireyin konumu, sürünün yeni merkezi olarak güncellenir. Ancak meyve sineği bireyinin optimum koku konsantrasyonuna sahip konumu, mevcut meyve sineği sürüsünün merkeziyle aynı ise meyve sineği sürüsünün merkezi konumunda bir güncelleme yapılmaz. Son aşama olan çift strateji geçişi sürülerin performansına bağlı olarak kokuya dayalı arama stratejilerini günceller. Tüm meyve sineği sürü merkezlerinin ortalama koku konsantrasyon değeri ile karşılaştırılır. Koku konsantrasyon değeri ortalama koku konsantrasyonundan büyük ise meyve sineği sürüsü yerel arama stratejisi atanır; aksi takdirde büyük ölçekli arama stratejisine atanır. Böylece önerilen MFOA algoritması farklı ölçeklerdeki görev planlama problemlerinde etkili ve istikrarlı sonuçlar sağlar.



Şekil 2.4. MFOA akış şeması [70].

Zhao ve ark., tarafından birden fazla İHA'nın aynı anda birden fazla veri taşıma görevini gerçekleştirmesi durumunda görev tamamlama oranını ve İHA'ların kullanım verimliliğini artırmak için Reusable Task Distribution Algorithm (RTDA) adlı bir "Çok Dalgalı" görev tahsis algoritması önerilmiştir [71]. Önerilen RTDA yöntemi görevlerin aciliyetlerine göre dalgalara ayrılmasını ve her dalgada İHA'ların yeniden kullanılmasını sağlamaktadır. Bu yöntemde görev tahsisinde "ilk gelen ilk hizmet alır" stratejisi kullanılmıştır. Önerilen yöntemde öncelikle her dalgada, görevler son tarihlerine göre gruplandırılır. Daha sonra İHA'lar görevlerini tamamlayarak bilgi merkezine en erken dönen öncelikli olacak şekilde yeniden görevlendirilir. Aynı dalga içindeki İHA'lar iş birliği içindeyken, farklı dalgalar arasındaki görevler bağımsız bir şekilde gerçekleştirilir. RTDA algoritması dalga aralıklarını belirlemek ve İHA rotalarını optimize etmek için genetik algoritmayı temel almaktadır. Sunulan optimizasyon problemi iki optimizasyon seviyesinden oluşmaktadır. Üst seviye her dalga aralığının optimizasyonunu içerirken, alt seviye İHA gücü ve görev son tarihi kısıtlamalarıyla beraber rota planlamasını içerir. Bu yöntemde her bir katmanın optimizasyonu diğerinin optimizasyonunu doğrudan etkilemektedir. Algoritmada ayrıca enerji tüketimi minimize ederek İHA'ların etkinliğini artırmaktadır. RTDA algoritması özellikle görev yükünün büyük olduğu ve İHA sayısının sınırlı olduğu durumlarda etkin bir çözüm sunmaktadır.

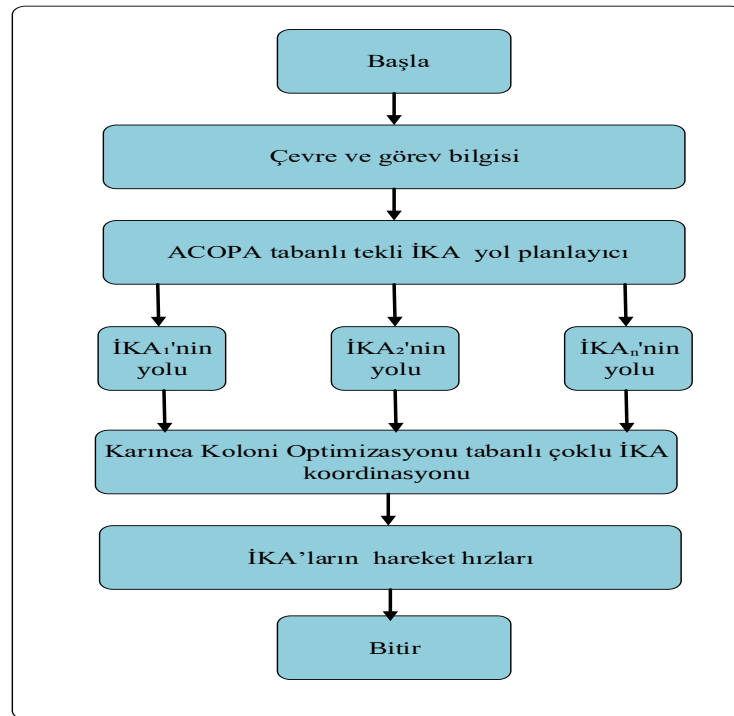
Ailon ve ark., İHA'lar için kinematik ve dinamik etkilerin iç içe geçtiği matematiksel modellerde, referans bir rotaya uyum sağlama problemine çözüm sağlamıştır [72]. Çalışmada backstepping yöntemi kullanılarak bu karmaşık modeli kontrol eden ve referans bir trajektoryaya üstel yakınsama sağlayan bir denetleyici geliştirilmiştir. İlk olarak, kinematik modelde kullanılan denetleyici ve aerodinamik kuvvetlere ek olarak kinematik ve dinamik etkileri içeren daha karmaşık bir modele genişletilmiştir. Bu denetleyici model daha sonra bir grup İHA'nın formasyon kontrolünde uygulanmıştır. Önerilen yöntemde diferansiyel düzlük teorisi ve Lyapunov tabanlı analiz ile bir İHA'nın verilen referans rotayı izlemek için gerekli kontrol sinyallerini türetmiştir. Bununla birlikte grup halinde uçan birden fazla İHA'nın sıra formasyonu ve katı bir formasyonda uçuşmasını sağlamak için geliştirilmiş bir kontrol stratejisi tasarlanmıştır. Bu kontrolör yapısı ile her bir İHA'nın bireysel hataları minimize edilmiş ve grup içindeki düzenlerini korunmuştur. Önerilen yöntem hem kinematik model hem de dinamik model üzerinde uygulanmış ve her iki durumda da formasyon başarıyla gerçekleştirilmiştir.

Cao ve ark., çoklu İHA sistemleri için iş birliğine dayalı keşif görevlerinde rota planlaması amacıyla GA dayalı bir yöntem geliştirmiştir [73]. Çalışmada, İHA'ların görevlerini daha etkin şekilde gerçekleştirebilmesi için uçuş rotaların optimize edilmiş ve keşif hedeflerinin dengeli bir şekilde dağıtılmıştır. Önerilen yöntem ile keşif hedeflerinin her bir İHA'ya etkili bir şekilde atanmasını sağlanarak uçuş rotalarını optimize edilmiştir. Ayrıca İHA'ların görev süreleri ve enerji tüketimleri minimize edilmiştir. GA'nın temel adımları olan başlangıç popülasyonunun

oluşturulması, uygunluk fonksiyonunun tanımlanması, çaprazlama ve mutasyon işlemleriyle yeni çözümlerin türetilmesi ve elitizm stratejisiyle en iyi çözümler oluşturulmuştur.

2.2. İnsansız Kara Araçları Görev Atama Problemleri

Liu ve ark., tarafından yapılan çalışmada çoklu İKA sistemleri için verimli yol planlamasını gerçekleştirmek için değiştirilmiş bir sürekli ACO algoritması önerilmiştir [74]. Önerilen Ant Colony Optimisation with a Probability-based random-walk strategy and an Adaptive waypoints-repair method (ACOPA) geliştirerek yol planlamasında daha verimli ve esnek çözümler sunmaktadır. Şekil 2.5'te akış diyagramı gösterilen yöntemin temel bileşenleri feromon güncelleme, çözüm oluşturma, olasılık tabanlı rastgele yürüyüş stratejisi, adaptif yönlendirme onarımı ve yeniden başlatma mekanizmalarından oluşmaktadır. Feromon güncelleme ile en iyi çözümleri tercih eden bir çözüm arşivi oluşturulur. Arama süreci sırasında uygulanabilir olmayan çözümler için en uygun onarım yaklaşımını uyarlamalı olarak seçmek için adaptif yönlendirme onarımı önerilmiştir. Bu işlem her çözüm için rastgele hareket etme, yukarı hareket etme ve aşağı hareket etme olmak üzere üç onarım yaklaşımı seçeneği ile sağlanmıştır. Algoritma çözümlerinin yerel optimumda sıkışmasını engellemek için yeniden başlatma mekanizması eklenmiştir. Önerilen yöntem ile hem yol uzunluğu hem de çarpışma önleme performansı açısından başarılı sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 2.5. Çoklu İKA yol planlayıcısının akış diyagramı [74].

Jo ve ark., tarafından yapılan çalışmada tarım alanlarında birden fazla İKA tarafından gerçekleştirilen heterojen görevler için bir öncelikli yol planlama algoritması önerilmiştir [75]. Önerilen yöntem, geleneksel çoklu ajan yol bulma (Multi-Agent Path Finding, MAPF) problemine robot öncelikleri entegre edilerek farklı öncelik seviyelerine sahip robotların aynı ortamda çakışmadan etkin şekilde çalışması hedeflemektedir. MAPF genellikle bir graf üzerinde tanımlanan bir ortamda, ajanların başlangıç ve hedef noktaları arasında optimal yolları belirlemek için kullanılır. Bu yapıda temel hedef tüm ajanların yollarının toplam maliyetini minimize edip çarpışmaları engellemektir. MAPF yapısı ile ajanlar arasında öncelikler belirlenir böylece daha karmaşık görevlerin gerçekleştirilebilir. Önerilen sistemde toplam maliyetini minimize etmek ve tüm ajanların hedeflerine ulaşma süresini en aza indirmek için metrikler kullanılır. MAPF probleminin çözümü için kullanılan yöntemlerden biri Conflict-Based Search (CBS) algoritmasıdır. CBS, birden fazla ajanın yollarını planlarken, oluşabilecek tespit eder ve bu çakışmaları çözmek için kısıtlama uygular. Robotların haritalama ve konumlama işlemleri LiDAR tabanlı eş zamanlı yer belirleme ve haritalama sistemleri ile gerçekleştirilmiş. Ayrıca her robot bağımsız bir navigasyon sistemi ile donatılmıştır. Önerilen yöntemde robotlar öncelik sıralamalarına dayalı hareket ederek zamanla birbirlerinin pozisyonlarını etkili bir şekilde optimize edilmiştir. Bu sayede düşük öncelikli robotların bekleme veya alternatif yollar bulma stratejileri sağlanıp genel sistem verimliliği artırılmıştır.

Wang ve ark., İKA'lar için yol ağı üzerinde sürekli gözetim (road-network persistent surveillance problem, RPSP) gerçekleştirmek amacıyla bir modelleme ve yol planlama yöntemi geliştirmiştir [76]. RPSP Problemin temel amacı belirli bir kapsama alanı içinde İKA'lar için izleme etkisiyle ilişkili bir izleme kriterini optimize edecek en uygun rotaların belirlemektir. Yol ağı düğümler (görüş noktaları) ve kenarlar (yollar) olarak modellenmiştir. Bu model, bir grafik $G = (V, E)$ şeklinde ifade edilmiştir. Burada;

V, izlenmesi gereken görüş noktalarını temsil eder.

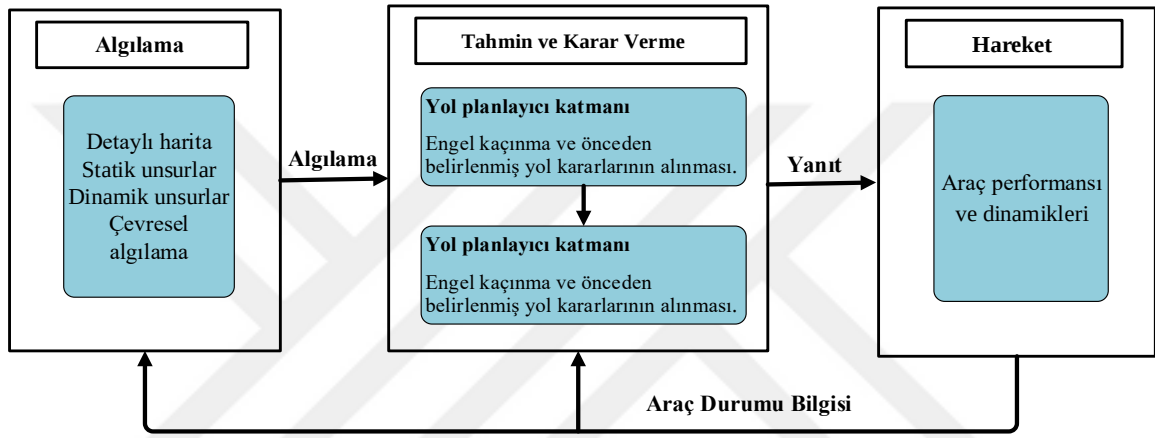
E, İKA'nın hareket edebileceği yolları ifade eder.

Kenarlardaki uzunluklar olayların en küçük etkilenme mesafesi olan "minimum olay oluşum aralığını" aşmayacak şekilde ayarlanmıştır. Bu sayede İKA bir düğümde bulunduğu anda, yakındaki kenarlarda meydana gelen olayları algılayabilmektedir. Yol ağının izleme etkisi bakış açılarının etkisi kullanılarak ifade edilir. Bakış açısının belirsizliği, bakış açısı üzerindeki izleme etkisinin ölçümü olarak kabul edilir. Bu belirsizlik, üç temel faktöre bağlı olarak hesaplanmıştır. *Sensör algılama yeteneği* İKA sensörlerinin algılama mesafesine göre hesaplanmıştır. Algılama mesafesi arttıkça belirsizlik azalır. *Algılama aralığı* bir düğümün son algılama zamanından itibaren geçen süre olarak tanımlanmıştır. Süre arttıkça belirsizlik artar. *İzleme ağırlığı* ile önemli bölgelerin daha sık izlenmesini sağlamak için farklı düğümlere ağırlık değerleri atanmıştır. Belirsizlik, bu üç faktöre bağlı olarak normalize edilerek her düğüm için hesaplanmıştır. Problemin amacı yol

ağındaki tüm düğümler için belirsizliği minimize edecek bir İKA rotası planlamaktır. RPSP'yi değerlendirmek için ortalama belirsizliği tanımlanarak optimizasyon kriteri olarak kullanılmıştır. Böylece, İKA'nın sürekli hareket ederek tüm ağ üzerinde etkin bir gözetim sağlaması hedeflenmiştir. İKA'nın karar verme süreci için, düğümler arasındaki hareketten kaynaklanan belirsizlik azalması, bir payoff değişkeni olarak tanımlanmıştır. Ödül, belirsizlik azalması ile yol maliyetinin (mesafe ve zaman) bir kombinasyonu şeklinde hesaplanmıştır. Bu İKA'nın her adımda en yüksek ödüle sahip düğüme hareket etmesini sağlamıştır. Çalışmada sezgisel algoritma ile İKA'nın sürekli hareket etmesini ve her kararda en uygun düğüme yönelmesini sağlayacak şekilde geliştirilmiştir. Algoritma ek karar kurallarıyla desteklenmiştir; Self-Adaptive Variation ile İKA'nın izleme performansı artırmak amaçlanmış ve ödül katsayısı, maksimum belirsizlik eşiğine göre otomatik olarak ayarlanmıştır. Eğer mevcut belirsizlik belirlenen eşiği aşarsa, ödül katsayısı düşürülerek İKA'nın yüksek belirsizliğe sahip bölgelere yönelmesi sağlanmıştır. Ayrıca İKA'nın hareket rotasının döngüsel hale gelmesini önlemek için döngü tespit yöntemleri kullanılmıştır. Backtracking Repression ile İKA'nın gereksiz geri dönüşlerini önlemek amaçlanmıştır. Bu yapıda geri dönüş olasılığı komşu yolların sayısına göre ayarlanmıştır. Daha fazla komşuya sahip düğümlerde geri dönüş olasılığı azaltılmıştır. Böylece İKA'nın verimli bir şekilde ilerlemesini sağlamıştır. Ayrıca tıkanıklık durumları için İKA mevcut konumuna en yakın maksimum ödüllü düğüme yönlendirilmiştir. Bu yöntemler ile İKA'nın hem modelleme hem de planlama süreçlerinde gerçekçi yol ağlarını ele alındığından sürekli gözetim kapasitesini artırmıştır.

Ren ve ark., yapmış olduğu çalışmada İKA'lar için statik ve dinamik ortamlarda hareket planlama sorunlarına yönelik yol planlama ve hız kontrol entegrasyonunu içeren bir strateji sunmaktadır [77]. Şekil 2.6'da kontrol mimarisi verilen yöntem, aracın boylamsal hızını artırmayı ve yanal yol takip hatalarını minimize etmeyi hedefleyen bir model öngörülü kontur takip kontrol yaklaşımına dayanmaktadır. Önerilen yöntem, boylamsal hız optimizasyonu ve yanal yol takip kontrolünü birleştiren bir optimizasyon problemi olarak ele alınmıştır. Optimizasyon problemi, doğrusal olmayan dinamik sistemlerin yaklaşık olarak kuadratik konveks programlama problemi şeklinde çözülebilmesi için matematiksel olarak yeniden formüle edilmiştir. Amaç, yanal hataları ve kontrol maliyetlerini minimize ederken araç ilerlemesini maksimize etmektir. Model öngörücü kontrol yapısı sistem çıktısını mevcut ve gelecekteki referans bilgilerini takip edecek şekilde tutmak için sistemin öngörülen gelecekteki davranışlarına göre çevrimiçi optimum kontrol problemini çözer. Bu optimizasyon probleminde amaç yanal hataları ve kontrol maliyetlerini minimize ederken araç ilerlemesini maksimize etmektir. Bu problemde öncelikle güvenlik sınırları belirlemek için araç ile engeller arasında güvenlik mesafesi sağlamak amacıyla, engellerin çevresinde elips şeklinde sınırlar tanımlanmıştır. Engellerin daha kesin sınırlarının tanımlanabilmesi için dikdörtgen sınırlar da kullanılmıştır. Dikdörtgenin köşe noktaları, engelin boyutlarına ve pozisyonuna bağlı olarak hesaplanmıştır. Daha sonra aracın çevresindeki engelleri algılamak için bir doluluk grid haritası

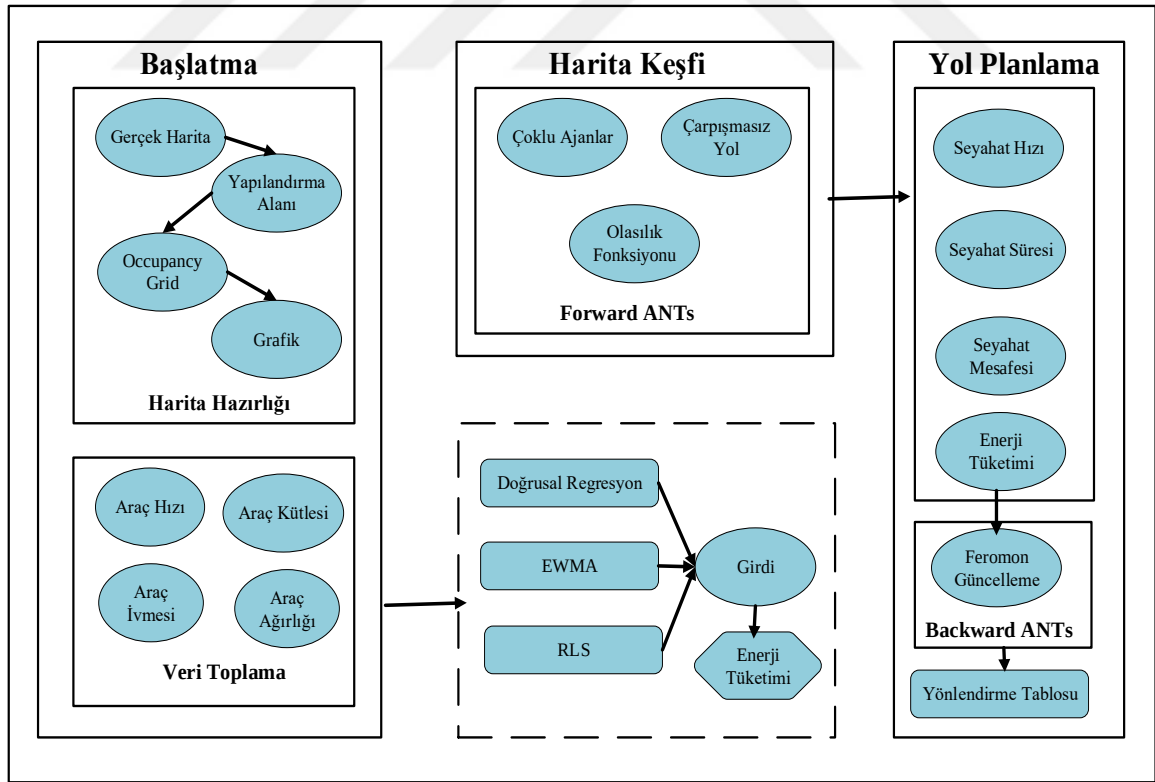
oluşturulmuştur. Bu harita, yolun potansiyel geçiş alanlarını bölerek engellerin konumlarını tespit etmeye olanak tanır. Tespit edilen engeller, aracın algoritmasına entegre edilerek, çarpışmadan kaçınma süreci başlatılır. Aracın yol sınırları içinde güvenli bir şekilde kalmasını sağlamak için, dinamik güvenlik marjı kısıtlamaları uygulanmıştır. Engel kaçınma sırasında dinamik tehdit değerlendirme modeli ile en uygun yol belirlenir. Başlangıçta konveks olmayan optimizasyon problemleri olarak ifade edilen yol planlama sorunlarını, dinamik programlama yöntemiyle dışbükey hale getirmeyi içerir. Böylece aracın engeller arasında en uygun ve güvenli rotayı izlemesi sağlanmıştır.



Şekil 2.6. Statik ve dinamik ortamlarda hareket planlama kontrol mimarisi [77].

Jabbarpour ve ark., İKA'lar için enerji tüketimini dikkate alan bir yol planlama yöntemi olan "Green Ant" (G-Ant) yöntemini önermektedir [78]. Şekil 2.7'de uygulama adımları gösterilen G-Ant algoritması geleneksel ACO algoritmasını bir enerji tüketimi tahmin modeliyle birleştirerek, İKA'ların enerji tüketimini minimize etmeyi, çarpışmasız en kısa yolu sağlamayı ve seyahat hızını optimize etmeyi amaçlar. Algoritma, dört ana aşamadan oluşur: hazırlık, harita keşfi, enerji tüketimi hesaplama ve yol planlama. Hazırlık aşamasında araç özellikleri (örneğin hız, kütle, ağırlık ve ivme) enerji tüketimini hesaplamak için toplanır ve ortam, "occupancy grid" yöntemiyle bölgelere ayrılır. Bu grid sistemi, her hücrenin engel veya engel olmayan durumunu temsil eder ve yapılandırma alanı bir grafik haline getirilir. Bu grafik başlangıç, ara ve hedef noktaları düğümler olarak temsil ederken, bu düğümler arasındaki yollar bağlantılar olarak gösterilir. Enerji tüketimi hesaplama aşaması, yöntemin ana katkılarından biridir. Bu aşamada İKA'nın enerji tüketimi, gerçek zamanlı olarak değişen yol koşulları ve araç hızına göre tahmin edilir. Enerji tüketimi, bir doğrusal regresyon modeli kullanılarak hesaplanır ve bu model, hareket süresini küçük zaman aralıklarına bölerek dinamik değişiklikleri dikkate alır. En küçük kareler tahmini kullanıldığında, regresyon modeli değişkenleri enerji tüketimindeki küçük kaymalara ve sürüklenmelere uyum

sağlayabilir. Ancak bir yol segmentinden diğerine geçiş gibi beklenmeyen bir olay meydana gelirse bu uyum yavaş olabilir. Öngörülerde oluşabilecek sapmaları kontrol etmek için Exponentially Weighted Moving Average (EWMA) yöntemi kullanılmıştır. G-Ant yönteminde, iki tür karınca kullanılmaktadır; ileri karınca (Forward ANT, FANT) ve geri karınca (Backward ANT, BANT). FANT'lar, harita keşfi aşamasında kullanılırken, BANT'lar bir sonraki aşama olan yol planlama sürecinde görev alır. İlk iki aşamada toplanan verilere dayanarak, FANT'lar başlangıç noktasına yerleştirilir ve yapılandırma alanını keşfederek çarpışmasız, en kısa ve enerji verimli bir yol bulmaya çalışır. FANT'lar, her adımda, bir sonraki hareket noktalarını seçmek için olasılıksal bir yaklaşım kullanır. Bulunan yolun "yeşil" olarak adlandırılmasının nedeni, enerji tüketiminin yol bulma sürecinde dikkate alınmasıdır. Yol planlama aşamasında, hedefe ulaşan FANT karıncaları BANT olarak geri döner ve keşfettikleri yollar üzerindeki feromon yoğunluğunu günceller. Feromon yoğunluğu, yolun seyahat süresi ve tahmin edilen enerji tüketimine dayalı olarak artırılır veya azaltılır. Bu süreç, daha verimli yolların güçlendirilmesini ve düşük kaliteli yolların elenmesini sağlar. Yöntem, her döngüde en kısa, çarpışmasız ve enerji açısından en verimli yolu seçmeyi hedefler. G-Ant yöntemi dinamik bir yapılandırma alanında, enerji tüketimini optimize ederek ve çarpışmalardan kaçınarak İKA'lar için yenilikçi bir yol planlama çözümü sunmaktadır.



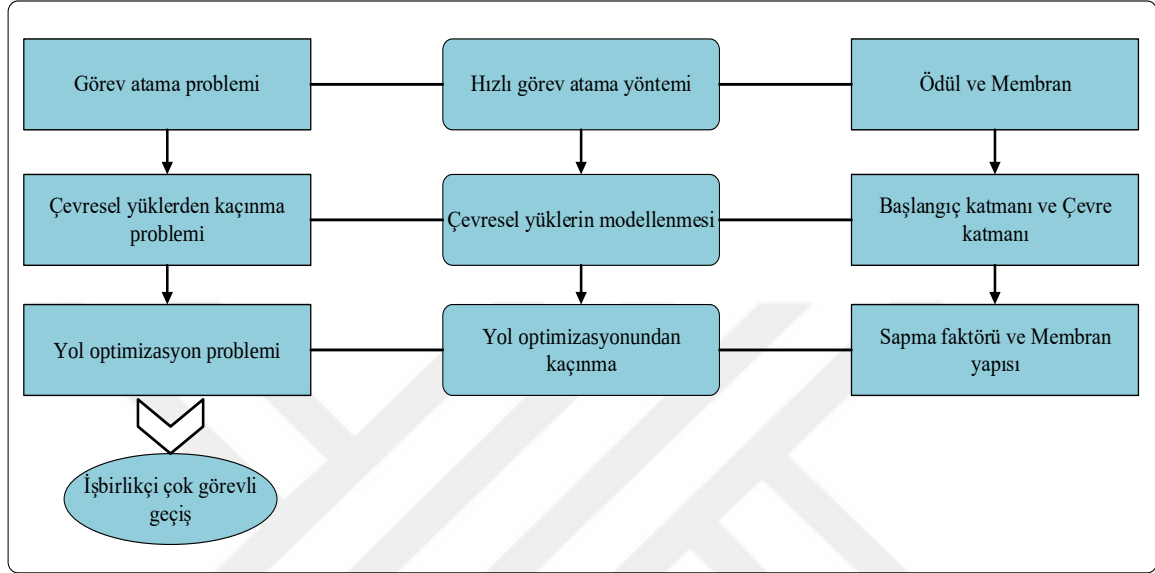
Şekil 2.7. İKA'ların yol planlamasına yönelik G-Ant çerçevesi [78].

Gao ve ark., İKA'ların karmaşık ortamlar için hedef kontrollü yol planlama problemine odaklanmıştır [79]. Bu çalışmada İKA aktör, iş birliği yapan gözlemci ve düşmanca gözlemci olmak üzere üç farklı rol tanımlanmıştır. Aktörün gerçek hedefini iş birliği yapan gözlemciye doğru yolla gösterirken, düşmanca gözlemciden ise aldatıcı bir yol kullanarak saklaması gerekmektedir. Bu durum İKA'ların hedefini ya açıkça göstereceği doğru yollar ya da gizleyeceği yanıltıcı yollar oluşturmasını gerektirir. Önerilen yöntemde öncelikle İKA'nın başlangıç noktasından hedef noktasına bir yol bulması için yol planlama gerçekleştirilmiştir. Yol planlama görev planlamanın bir alt problemidir ve genellikle bir ızgara veya bağlantılı bir grafik üzerinde gerçekleştirilir. Yol planlamasında bir diğer adım hedeflerdir. Hedef tanıma ajanların davranışlarının bir analizidir ve amaç ajanın hedefini belirlemektir. Bu süreçte hedef tanıma için iki ana yöntem vardır; planlı mesafe ölçümüne dayalı hedef tanıma ve maliyet farkına dayalı olasılıksal hedef tanıma. İKA'nın her adımında hedefin olasılıkları Bayesian kuralları ile hesaplanır. Bu hesaplamalar bir bilgi teorisi metriği kullanılarak değerlendirilir. Bu metrik yolun doğruluk ve yanıltıcılık seviyesini ölçmek için kullanılır. Doğru adımlarda, gerçek hedefin olasılığı, diğer tüm hedeflerden yüksektir. Yanıltıcı adımlarda, gerçek hedefin olasılığı, diğer hedeflerden düşüktür. İşbirlikçi gözlemciye hedefi açıkça göstermek için İKA gerçek hedefe doğru ilerlerken en doğru yolu seçer. Düşmanca gözlemciden hedefi gizlemek için İKA başlangıç noktasından belirli bir çatallanma noktasına kadar yanıltıcı adımlarla ilerler, ardından gerçek hedefe doğru ilerlemek için doğru adımlar kullanır. Hedef kontrolü sürecinde, çatallanma noktası (fork point, FP) kritik bir rol oynar. Bu nokta yanıltıcı adımlardan doğru adımlara geçiş yapılan yerdir. Yanıltıcı yol başlangıç noktasından FP'ye kadar yanıltıcı adımlardan oluşurken, FP'den hedefe kadar olan yol yalnızca doğru adımlardan oluşur. Böylece İKA'nın hedefi hem gizlemek hem de gerektiğinde işbirlikçi gözlemciye göstermek için esnek bir yol izleme stratejisi geliştirilmiştir.

2.3. İnsansız Deniz Araçları Görev Atama Problemleri

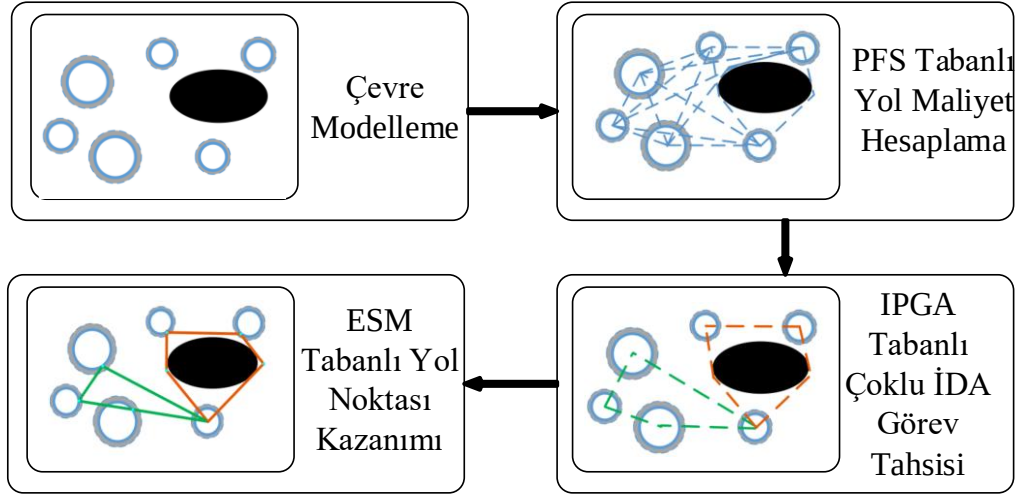
Jin ve ark., çoklu İDA'ların karmaşık deniz ortamında iş birliği içinde birden fazla görevi etkili bir şekilde yerine getirebilmek için membran hesaplamadan esinlenilmiş yeni bir görev atama ve yol optimizasyon yöntemi geliştirmiştir [80]. Yapılan çalışmada İDA'ların görev atama, yol planlaması ve engellerden kaçınma problemleri bir arada ele alınmıştır. Şekil 2.8'de bu yapının akış şeması gösterilmiştir. Bu kapsamda, görevlerin dengeli dağıtılması, toplam yol maliyetinin minimize edilmesi ve görevlerin etkin bir şekilde tamamlanması hedeflenmiştir. Görev atama süreci, GA'ların adaptasyon kapasitesini artırmak için membran mekanizması ödül mekanizmasıyla genetik algorithmaya dahil edilmiştir. Bu mekanizma öncelikli görevlerin diğerlerine göre daha erken gerçekleştirilmesini sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca membran hesaplama prensipleri ile görev atama algoritması paralel hesaplama yoluyla görev atama verimliliği artıracak şekilde optimize edilmiştir. Önerilen yöntem İDA'ların görev yönetimi ve planlama süreçlerinde

daha yüksek verimlilik, esneklik ve güvenlik sağlayarak insansız deniz araçlarının karmaşık ortamlarda daha etkin bir şekilde kullanılmasına olanak tanımaktadır. Ayrıca önerilen yöntem görev önceliğini sağlarken güvenlik ve maliyet optimizasyonu konularında önemli iyileştirmeler sunmaktadır.



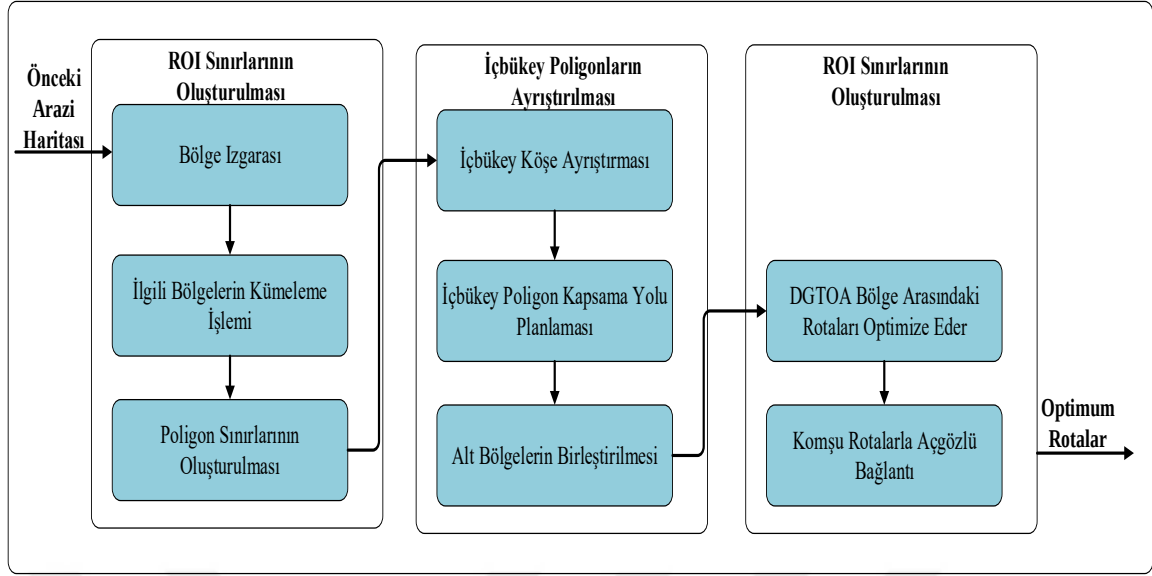
Şekil 2.8. Çoklu İDA'ların görev atama ve yol optimizasyonu için akış şeması [80].

Sun ve ark., tarafından birden fazla İDA kullanılarak deniz tabanından veri toplamak amacıyla yeni bir yol planlama yöntemi önerilmiştir [81]. Şekil 2.9'da gösterilen yöntemde görev dağılımını ve yol optimizasyonunu gerçekleştirmek için üç ana aşamadan oluşmaktadır. İlk olarak düşük seviyede, engellerle dolu deniz ortamlarında yol maliyetlerini hesaplamak için olasılıklı bir arama algoritması probabilistic focused search (PFS) geliştirilmiştir. Bu algoritma ile her hedef nokta arasındaki en uygun maliyetli yolları belirleme amaçlanmıştır. Orta seviyede, gelişmiş bir partheno-genetik algoritma (improved partheno-genetic algorithm, IPGA) kullanılarak İDA'lar arasında görev dağılımı yapılmıştır. Bu algoritma her İDA'nın iş yükünü dengelerken, toplam yol uzunluğunu da minimize etmektedir. IPGA, GA'nın seçme ve mutasyon işlemlerini koruyan, çaprazlama işlemi olmayan özel bir GA'dır. Yüksek seviyede ise her iletişim bölgesi için optimal yol noktalarını belirlemek amacıyla bir tahmini çözüm yöntemi estimated solution method (ESM) uygulanmıştır. Bu yöntem, hedef noktaların hızlı ve verimli bir şekilde erişilmesini sağlar. Önerilen yöntem geleneksel gezgin satıcı problem çözümlerinin eksikliklerini olan engellerin etkisini de hesaba katarak ve İDA'ların en uygun sıralamayla görevlerini tamamlamasını sağlamıştır. Bu yöntem ile toplam yol uzunluğunu azaltılmış ve İDA'lar arasındaki iş yükü dengesi sağlanmıştır.



Şekil 2.9. İDA ile veri toplama için yol planlama yöntemi [81].

Yang ve ark., tarafından deniz tabanı araştırmalarında birden fazla İDA'nın birlikte çalışması için yeni bir yol planlama yaklaşımı geliştirilmiştir [82]. Şekil 2.10'da gösterildiği gibi çoklu İDA kullanılarak deniz tabanının ilgi alanlarının (regions of interest, ROIs) kapsamlı bir şekilde incelenmesini hedefleyen bir kapsama yolu planlama yöntemi sunulmuştur. Yöntem, iki ana aşamadan oluşmaktadır. İlk olarak ROIs bölgeleri yoğunluk tabanlı Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise (DBSCAN) algoritması ile kümeleme yapılarak belirlenmiştir. DBSCAN algoritması gürültüye dayanıklı yapısı ve karmaşık şekilleri ayırt edebilmektedir. Böylece farklı derinlik aralıklarındaki alt bölgeleri başarılı bir şekilde gruplandırılmıştır. İkinci olarak, bu kümelerden elde edilen sınırları, α -shapes algoritması kullanılarak poligon sınırları oluşturulmuştur. Her alt bölge için poligon sınırının oluşturulduktan sonra tüm alt bölgelerdeki İDA için kapsama yollarının planlanması adımına geçilmiştir. Bu adımda, içbükey çokgenlerin yansıma yayındaki en yakın içbükey noktaları önceliklendirme yoluyla ayrıştırılmasını sağlayarak, alt bölge sayısı ve dönüş sayıları azaltılmıştır. Çalışmada çoklu İDA'ların iş birliği içinde çalışmasını sağlamak için, rotalar ve görev dağılımları, dinamik grup öğretimi optimizasyon algoritması ile optimize edilmiştir. Adaptif komşuluk yarıçapı modeli, alt bölgeler arasında hem yakın hem uzak bölgelerin seçilme olasılığını dengeler ve daha etkili bir keşif ile sömürü sağlar. Daha sonra öğrenci dizilerinin mutasyonu gerçekleştirilir. Bu aşamada alt bölgelerin sırasını değiştirmek için kaydırma, ters çevirme, değişim ve 3-opt gibi mutasyon işlemleri uygulanır. Diziler, başarılarına göre mükemmel ve normal gruplar halinde ayrılır. Mükemmel grup genel performansı optimize ederken, normal grup bireysel performansı iyileştirmeye odaklanır. Bu iki grup birleştirilir ve sonlandırma koşulu belirlenir. Bu yöntem ile alt bölgeler arasında dengeli bir görev dağılımı sağlanarak hem maksimum kapsama yolu uzunluğunu hem de toplam kapsama yolunu optimize edilmiştir.

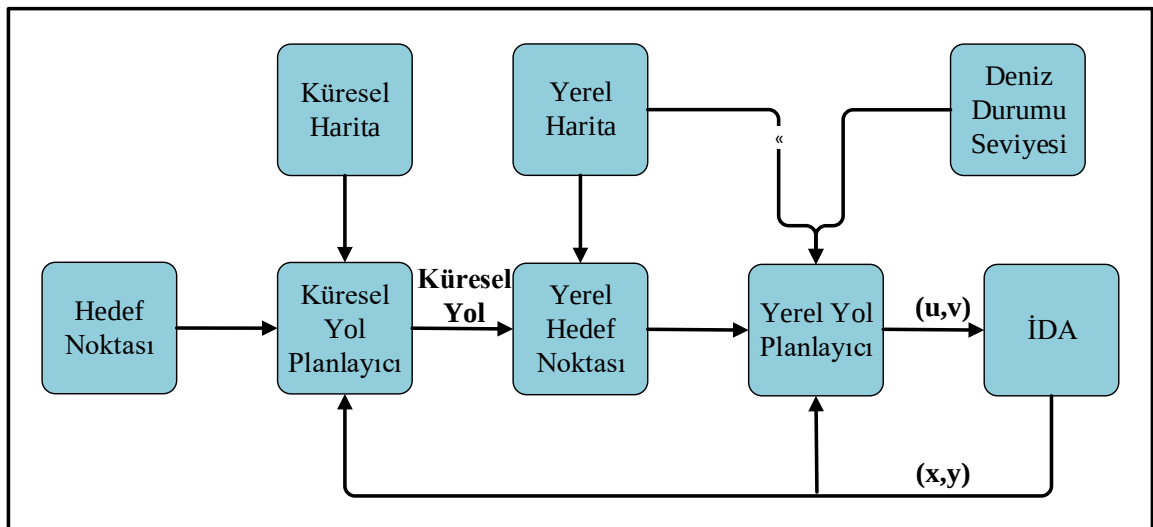


Şekil 2.10. İDA ile deniz tabanının ilgi alanlarının incelenmesine yönelik algoritma süreci [82].

Tan ve ark., yaptıkları çalışmada farklı görev türleri ve çeşitli yeteneklere sahip birden fazla İDA için görev tahsis problemini ele almıştır [83]. Bu amaçla Self-Organizing Map (SOM) algoritmasına dayalı bir yöntem önerilmiştir. SOM algoritması ile İDA'ların görev türlerine, kapasitelerine ve görev yerlerine uygun şekilde tahsisi optimize edilmiştir. Bu süreçte görev tamamlanma süresi, yakıt tüketimi ve İDA'lar arasındaki iş yükü dengesi dikkate alınmıştır. SOM yüksek boyutlu verileri düşük boyutlu bir harita üzerinde organize eden bir yapay sinir ağı algoritmasıdır. SOM, bir giriş katmanı ve bir çıkış katmanından oluşan iki katmanlı bir sinir ağı yapısına sahiptir. Çoklu görev tahsisi problemini ele almak için SOM kullanıldığında, giriş katmanındaki her düğüm atanacak her görevin konumunu belirtir. Her göreve en uygun İDA'yı belirlemek için rekabet eden nöronlardan oluşan bir çıkış katmanı ile yapılandırılmıştır. Görevleri öncelik sırasına göre düzenlenmek için Tasks Treatment List (TTL) algoritması kullanılarak sıralanmıştır. Değişken değerlere sahip görevleri yeniden dağıtmak için ACO algoritması kullanılmıştır. Önerilen yöntem yalnızca görev türlerini ve mesafeleri değil aynı zamanda enerji rezervlerini ve görevlerin zamana bağlı önemini dikkate alan bir uyum fonksiyonu içermektedir. SOM algoritması ile İDA'ların görevler arasında özelliklerine uygun olarak hızlı, dengeli ve optimal bir şekilde tahsis yapılmasını sağlanmıştır. SOM tabanlı yöntemle görev tahsisinin klasik yöntemlere kıyasla daha verimli ve görevlerin daha kısa sürede tamamlanmıştır.

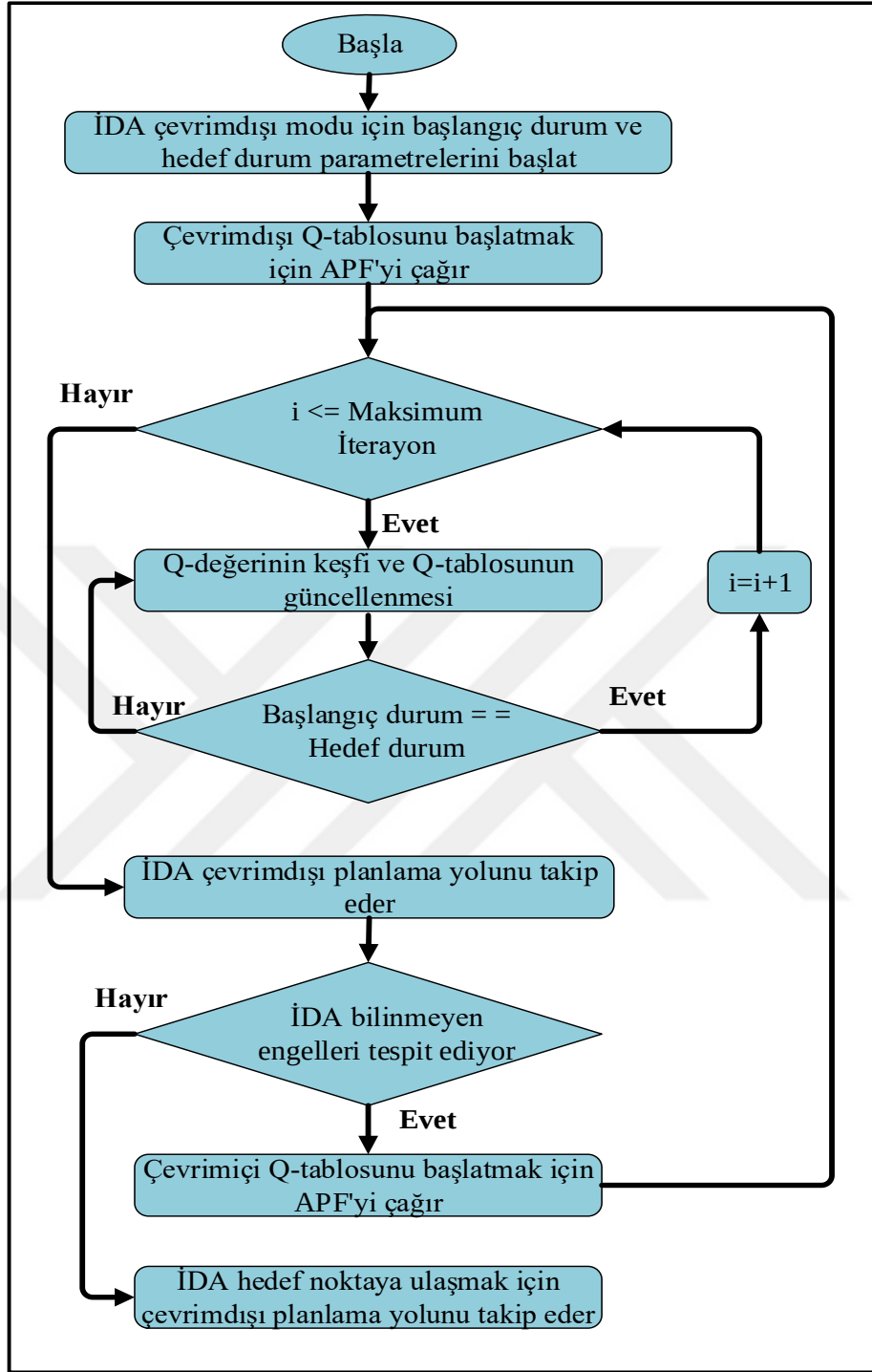
Chen ve ark., karmaşık bir çevrede dinamik engeller ve deniz durumu dikkate alınarak İDA'lar için Şekil 2.11'de adımları gösterilen bir hibrit yol planlama algoritması önermiştir [84]. Çalışmada A* algoritması, İDA'nın hedef noktaya ulaşmasını sağlamak için küresel yol planlamasında kullanılır. dinamik pencere algoritması (dynamic window algorithm, DWA), global ve lokal yol planlamasının kesiştiği nokta olan lokal hedef noktasını takip ederek, dinamik engellerden

kaçınmak ve küresel yolu takip etmek için yerel yol planlamasında kullanılır. Böylece küresel ve yerel planlamanın avantajlarını birleştirmektedir. Küresel ve yerel planlama kesişimi ile küresel harita uydu görüntüsünden grid yapısına dönüştürülmüş ve A* algoritması kullanılarak bir küresel yol oluşturulmuştur. İDA konfigürasyonunda dinamik engelleri algılamak için radar sistemi kullanılmış ve bu radar bilgileri kontrol ünitesine aktarılmıştır. Böylece çevresel bilgiler elde edilmiştir. Yerel harita radar tarafından sağlanan çevresel bilgilerle gerçek zamanlı olarak güncellenmiştir. Yerel hedef noktası küresel yolun yerel haritanın kenarıyla kesişiminden elde edilmiştir. Böylece İDA küresel optimum yolu elde ederken dinamik engellerden kaçınmasını sağlamıştır. Küresel yol planlama algoritması A* algoritmasını kullanmaktadır. Bu algoritma engelleri dikkate alarak başlangıçtan hedefe kadar bir yol oluşturmuş ve bu yol yerel planlamayı yönlendirmiştir. Yerel yol planlayıcı İDA'nın yerel hedef noktasını takip etmesi ve dinamik engellerden kaçınması için yerel yolu oluşturmak için kullanılır. Yerel yol planlama DWA'nın arama uzayı, hız ve yönelme açısı sınırlamalarına göre belirlenmiştir. Yerel yol planlamada hız arama uzayı İDA'nın mevcut hız ve ivme sınırlamaları göz önüne alınarak dinamik pencere, uygulanabilir hız ve güvenli hız hesaplanmıştır. Bu hızlar dinamik pencere ve diğer kısıtların kesişiminden elde edilen hız arama uzayında değerlendirilmiştir. Son olarak DWA'nın amaç fonksiyonu deniz durumu seviyesine duyarlı hale getirilmiştir. Deniz durumu kötüleştikçe hızın ağırlığı azaltılmış, mesafenin ağırlığı artırılmış ve İDA'nın daha güvenli bir mesafede daha yavaş seyretmesi sağlanmıştır. Böylece önerilen hibrit algoritma İDA'nın dinamik engeller ve okyanus akıntılarıyla dolu karmaşık ortamlarda küresel optimum yol elde eder ve hedef noktaya ulaşmasını sağlar.



Şekil 2.11. Hibrit yol planlama algoritması sistemi [84].

Hao ve ark., İDA'ların dinamik ve karmaşık deniz ortamlarında güvenli ve etkin yol planlamasını gerçekleştirmek için dinamik ve hızlı Q-Öğrenme (dynamic and fast Q-learning, DFQL) algoritması geliştirmiştir [85]. Önerilen yöntem geleneksel Q-öğrenme algoritmasının sınırlamalarını aşmak için yapay potansiyel alan (artificial potential field, APF) entegre edilmiştir. Ayrıca statik ve dinamik ödülleri bir arada kullanarak algoritmanın yakınsama hızı ve doğruluğu artırılmıştır. Şekil 2.12'de akış şeması verilen DFQL algoritması hem çevrimdışı hem de çevrimiçi modlarda uygulanarak İDA'nın çevresine uyum sağlamasını ve engelleri güvenli bir şekilde aşmasını sağlamaktadır. Çevrimdışı modda deniz ortamındaki başlangıç ve hedef noktaları ile engellerin konumları tamamen bilinir. Bu modda APF'nin ızgara haritasını modellemek için Coulomb yasası olarak kullanılarak, Q-tablosu bu bilgilerle önceden doldurulur. Böylece İDA çevresine dair ön bilgi edinir ve rastgele hareketlerin erken keşif aşamasında yol açtığı zaman kayıpları önlenir. Çevrimiçi modda ise İDA yalnızca başlangıç ve hedef noktalarını bilir. Sensörler aracılığıyla çevresindeki statik veya hareketli engelleri algılar ve algılanan engeller temel alınarak yol dinamik olarak yeniden planlanır. Bu adımda engellerin oluşturduğu itici kuvvet göz ardı edilir ve yalnızca hedefin çekici kuvveti dikkate alınarak Q-tablosu güncellenir. Engellerden kaçınmak ve en kısa yol uzunluğuna sahip hedef konuma ulaşmak için İDA'nın hareket edebileceği sekiz farklı yön tanımlanmıştır ve bu yönlerden birini, dinamik ve statik ödülleri dikkate alarak seçer. Algoritmadaki ödül fonksiyonu Manhattan mesafesine dayalı olarak hesaplanmıştır. İDA'nın hedefe daha hızlı ve enerji verimli bir şekilde ulaşmasını sağlamak amacıyla ödülleri hedefe yaklaştıkça artıracak şekilde tasarlanmıştır. Bu sayede İDA rastgele arama işleminin enerji tüketmesi ve yakınsamanın hızlanması önlenmektedir. Bu formüle göre İDA hedef pozisyona yaklaştıkça ödül değeri artmakta, uzaklaştıkça ise azalmaktadır. Bu yaklaşım sayesinde İDA'nın rastgele arama işlemi sırasında gereksiz enerji tüketimi ve yakınsamanın hızlanması önlenmektedir. Önerilen DFQL algoritması başlangıç konumundan hedefe doğru hareket ederken engeller algılanmadığında çevrimdışı planlanan yolu izler. Ancak sensörler yeni bir engel algıladığında, çevrimiçi moda geçer ve güvenli bir yol hesaplar. Daha sonra tekrar çevrimdışı moda döner ve bu adımları İDA hedefe ulaşana kadar tekrarlanır.



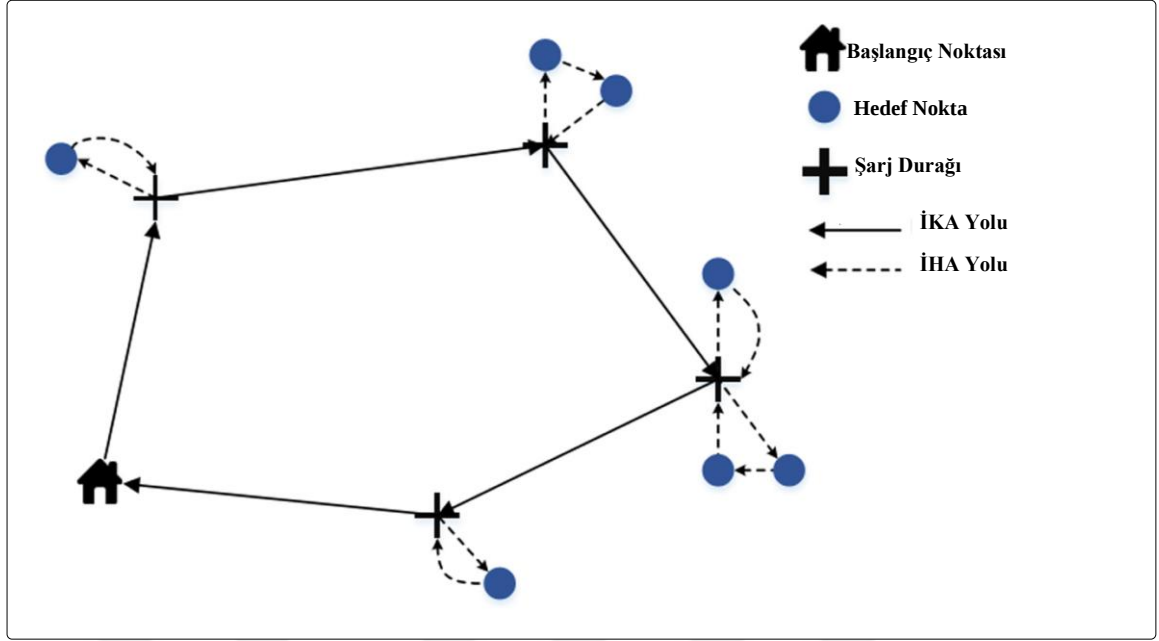
Şekil 2.12. DFQL algoritması akış şeması [85].

Yan ve Li tarafından okyanus gözlem ağı verilerinin toplanması ve optimize edilmesi amacıyla SIDA için bir yol planlama ve iletişim stratejileri geliştirilmiştir [86]. Çalışmada hem su altı düğüm noktalarının yerleşimi optimize edilmiş hem de SIDA'ların enerji tüketimi ve veri toplama süreleri azaltılmıştır. Su altı düğüm kutularının optimal yerleşimi için Voronoi diyagramı ile K-means algoritmasını birleştiren VorK-means algoritması önerilmiştir. Geleneksel K-means algoritması

başlangıç küme merkezlerini rastgele seçtiği için sonuçlar yerel optimal ile sınırlı kalabilir. Bu durum kablo yerleşiminde enerji ve maliyet verimsizliğine yol açabilmekte. VorK-means algoritması ile başlangıç küme merkezlerinin seçiminde bu hatayı ortadan kaldırmak için Voronoi diyagramının maksimum boş daire özelliğini kullanmıştır. VorK-means, VC-K-means ve VR-K-means olmak üzere iki versiyon ile geliştirilmiştir. VC-K-means, başlangıç küme merkezi olarak daha fazla Voronoi çemberi tarafından kapsanan noktaları seçer. Bu noktalar daha fazla veri noktasıyla ilişkili oldukları için küme merkezi olarak daha uygundur. VR-K-means ise başlangıç küme merkezi olarak daha büyük yarıçaplı Voronoi çemberlerinde yer alan noktaları seçer. Bu noktalar diğer veri noktalarından daha uzak oldukları için anormal bölgeleri tanımlamada daha etkilidir. Böylece kümeleme sürecinde bu bölgeler diğer kümelerden ayrılabilir. Yol planlaması problemini çözmek için, GWO algoritmasına dayanan, Levy flight and dimension Levy uçuşu ve boyut öğrenme tabanlı arama stratejilerini birleştiren LD-GWO algoritması geliştirilmiştir. Bu algoritma ile hem SİDA'ların en kısa rotaları oluşturması sağlanmıştır.

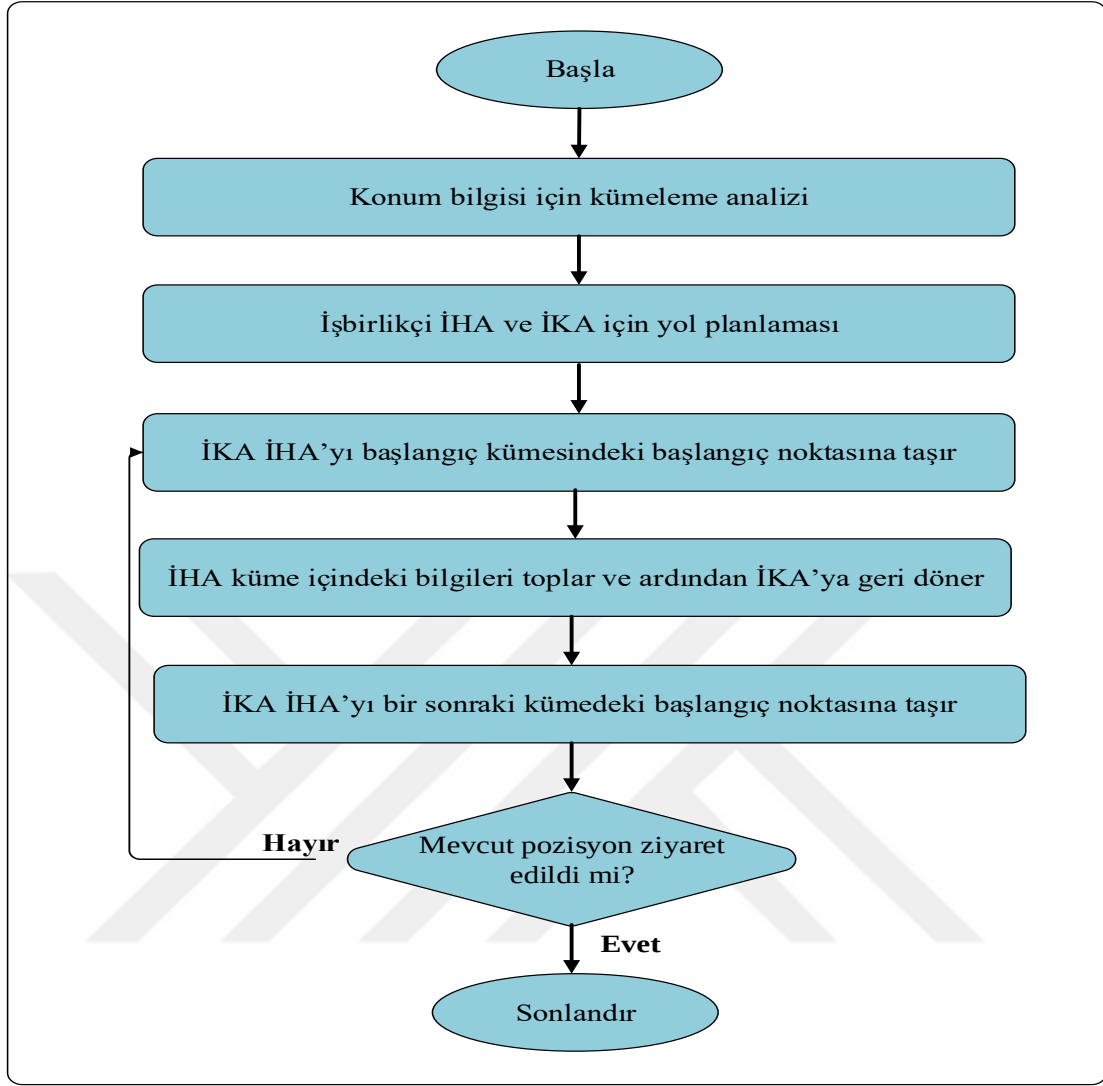
2.4. İHA-İKA Görev Atama Problemleri

Ropero ve ark., İKA ve İHA araçlarını içeren hibrit bir sistemin iş birliğini optimize eden cooperative ExploRation Routing Algorithm (TERRA) algoritması geliştirmiştir [87]. Şekil 2.13'te gösterilen bu sistemin amacı belirli hedef noktaları ziyaret ederken toplam seyahat mesafesini en aza indirmektir. Bu sistemde İKA'lar bazı hedef noktalara tek başlarına ulaşmakta zorluk çekerken, İHA'lar ise enerji sınırlamaları nedeniyle tüm hedefleri tek başlarına ziyaret edememektedir. Bu sorunu çözmek için önerilen yaklaşımda İKA hareketli bir şarj istasyonu olarak kullanılırken İHA hedef noktaları ziyaret etmekle görevlendirilmiştir. Bu sistem sayesinde İHA'nın enerji sınırlamaları ve İKA'nın işlevsellik kısıtlamaları giderilmiştir. Yöntemde öncelikli olarak Voronoi bölütleme yöntemi kullanılarak İHA'nın enerji kısıtlamalarını aşmak için uygun şarj durakları belirlenmiştir. Ardından hitting set problemi ile bu durakların sayısı en aza indirilmiştir. Bu adım sayesinde İKA ve İHA'nın yolculuk mesafesi azaltılmıştır. Daha sonra, Gravitational Optimization Algorithm (GOA) kullanılarak şarj duraklarının konumları optimize edilmiştir. Böylece İKA'nın yolculuk mesafesi daha da minimize edilmiştir. Dördüncü ve son aşamada İKA'nın rotasını optimize etmek için simetrik gezgin satıcı problemi ve GA kullanılarak en kısa yol hesaplanmıştır. Son olarak İHA için alt turlar planlanmış ve optimal operation search algorithm ile her alt turdaki mesafe ve enerji tüketimi optimize edilmiştir. Önerilen TERRA algoritması İKA ve İHA sistemlerinin birlikte çalışmasını optimize etmekte ve karmaşık keşif görevlerinde güvenilir bir çözüm sunmaktadır.



Şekil 2.13. İKA ve İHA için işbirlikçi bir rota hesaplama stratejisi [87].

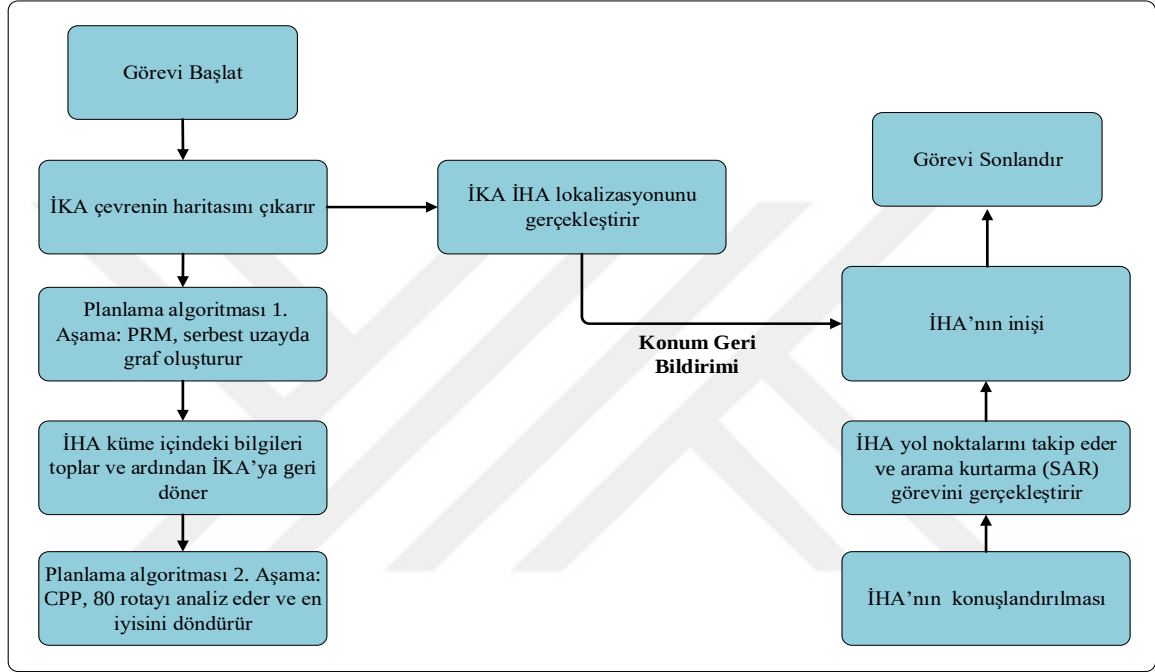
Li ve ark., tarafından yapılan çalışmada İHA ve İKA işbirliğiyle yasa dışı yapıların tespiti için bir sistem geliştirilmiştir [88]. Sistem ile İHA'ların yüksek hız ve geniş görüş açısı ve İKA'ların uzun mesafe dayanıklılığı ve yük taşıma kapasitesiyle birleştirilerek şehirlerdeki karmaşık tespit görevlerini optimize etmek amaçlanmıştır. Şekil 2.14'te algoritma adımları gösterilen bu yapıda İHA'lar yapıların hava fotoğraflarını çekerken, İKA'lar hem İHA'ları taşır hem de onlara şarj olma olanağı sağlar. Bu amacı gerçekleştirmek için gezgin satıcı problemi modellenmiştir. Şekil 2.14'te gösterildiği gibi ilk adımda, şehirdeki binalar GPS verilerine dayalı olarak K-ortalamlar gibi algoritmalarla kümelere ayrılır. Bu kümeleme işlemi ile aynı kümedeki binaların yakın, farklı kümelerdeki binaların ise uzak olması sağlanır. İkinci adımda, İHA için küme içindeki binaları hızlıca dolaşacak şekilde bir yol planlanır. İHA, uçuş sırasında her küme içindeki yapılar için en kısa yolu izleyerek tüm binaların görüntülerini toplar ve ardından şarj olmak için İKA'ya geri döner. Üçüncü adımda, İKA, İHA'yı bir kümeden diğerine taşır ve bu süreç sırasında İHA'nın şarj edilmesi sağlanır. Bu problemi çözmek için, hem düğüm hem de küme seviyelerinde görev süresini minimize eden iki seviyeli bir algoritma önerilmiştir. İHA ve İKA'nın yolları, toplam görev süresini minimize edecek şekilde optimize edilir.



Şekil 2.14. İHA-İKA sisteminin işbirlikçi model çerçevesi [88].

Petrillo ve ark., yaptıkları çalışmada yeraltı arama-kurtarma görevleri için İHA ile İKA işbirliğine dayalı bir yol noktası planlama algoritması geliştirmiştir [89]. Çalışmada planlama algoritması keşif görevlerini yerine getirirken İHA'nın lokalizasyon belirsizliğini azaltmayı hedeflemiştir. İHA'nın hareket rotası İKA'nın ürettiği 3 boyutlu harita kullanılarak belirlenmiştir. Şekil 2.15'de algoritma adımları gösterilen planlama algoritması, iki aşamalı bir yapı üzerine kurulmuştur. Planlama algoritmasının ilk aşaması, İHA'nın çarpışmasız bir şekilde keşif yapabileceği yol noktalarının belirlenmesini içerir. Olasılıklı yol haritası (probabilistic roadmap, PRM) yöntemi kullanılarak İHA'nın serbest hareket edebileceği alanlarda rastgele düğümler seçilir. Daha sonra seçilen her düğüm, en yakın beş komşu düğümle bağlantı kurar. Bu süreç sonucunda 12 düğüm ve 32 kenardan oluşan bir graf oluşturulur. Ardından, Çin Postacı Problemi (Chinese Postman Problem, CPP) çözülerek, her kenarın yalnızca bir kez ziyaret edildiği bir Euler devresi elde edilir. Graf Eulerian değilse düğümlerin derece sayılarını çift yapmak için uygun bağlantılar eklenir.

Algoritma başlangıç düğümünden hareketle kenarları tükenene kadar komşu düğümleri ekleyerek rotalar oluşturur ve bu işlem graf üzerindeki tüm kenarlar tükenene kadar devam eder. İkinci aşamada ise, oluşturulan graf üzerinde olası rotalar değerlendirilmiş ve genişletilmiş Kalman filtresi yardımıyla en uygun rota seçilir. Algoritma, PRM yöntemiyle düğümler arasındaki bağlantıları oluşturmuş ve Çin Postacı Problemi'ni çözerek her kenarın yalnızca bir kez ziyaret edildiği bir Euler devresi oluşturmuştur.

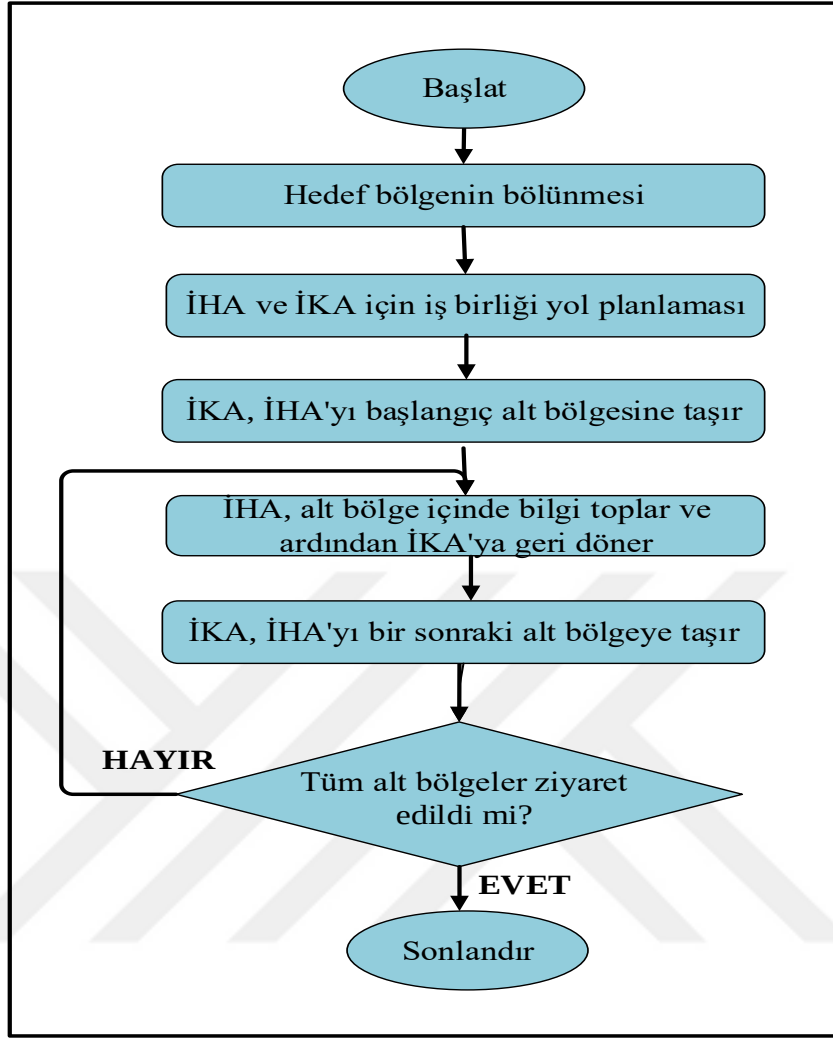


Şekil 2.15. İHA - İKA işbirliğine dayalı bir yol noktası planlama algoritması [89].

Wu ve ark., çalışmada İHA ve İKA iş birliğiyle bir yol planlama yöntemi geliştirmiştir [90]. Önerilen yöntem ile her iki araç türü için dairesel yollar oluşturularak görev süresinin minimize edilmesi hedeflenmiştir. Yol planlama problemi, aktif noktaların açık-kapalı durumlarının optimize edildiği büyük ölçekli bir 0-1 optimizasyon problemi olarak formüle edilmiştir. Sorunu çözmek için küresel arama yetenekleri güçlü olan dağılım tahmini algoritması ve yerel aramada önemli başarı sağlayan GA avantajlarını birleştiren bir hibrit algoritma geliştirilmiştir. Bu hibrit algoritma, iki alt döngüden oluşmaktadır. Dış döngüde aktif noktaların açık-kapalı durumları optimize edilirken, iç döngüde bu aktif noktaların geçiş sıraları belirlenmiştir. Bu noktalar arasında geçiş yolları A* algoritması kullanılarak hesaplanmıştır. Ayrıca görev esnasında zemin üzerindeki alanların durumundaki değişikliklere yanıt verebilmek için çevrimiçi bir yerel ayarlama stratejisi geliştirilmiştir. Bu strateji, erişilemeyen bölgeleri kapsam dışı bırakmak ve yeni eklenmiş alanları kapsamak için mevcut yolları yerel olarak günceller. Önerilen yöntem ile İHA ve İKA araç

türlerinin avantajlarından yararlanılarak, karmaşık kentsel alanlarda etkin ve sürekli bir gözetim sağlanması hedeflenmiştir.

Wang ve ark., büyük ölçekli çevresel sürekli gözetim görevlerinde İHA-İKA sisteminin yol planlama problemini çözmek için Şekil 2.16'da adımları gösterilen yenilikçi bir model ve iki katmanlı kaotik aptenodytes forsteri optimizasyon (two-layer chaotic aptenodytes forsteri optimization algorithm, Two-CAFO) algoritması önermiştir [91]. İHA'ların sınırlı dayanıklılığı nedeniyle hedef bölge alt bölgelere ayrılmıştır. İKA, İHA'yı bu alt bölgeler arasında taşıırken, İHA her alt bölgeyi belirli bir yakıt döngüsü içinde izlemekle görevlidir. Two-CAFO algoritması, hem İHA hem de İKA için toplam yol uzunluğunu en aza indirmeyi hedefleyen iki katmanlı bir optimizasyon yapısı kullanır. İlk olarak hedef bölge Centroidal Voronoi Tessellation (CVT) yöntemiyle dengeli alt bölgelere ayrılır ve bu alt bölgelerdeki gözetim noktaları belirlenir. İHA'nın kapsama alanı, uçuş yüksekliği, maksimum dayanıklılık süresi, tırmanış ve iniş hızları, kamera görüş açısı ve her yol noktasında kalma süresi gibi girdiler dikkate alınarak hedef bölge alt bölgelere bölünür. Bu süreçte amaç, İHA'nın tek bir yakıt döngüsü içinde bir alt bölgeyi tamamen kapsayabilmesini sağlamaktır. Alt bölgelerin sınırları, İHA'nın yol düğümleri ve İKA'nın taşıma düğümleri algoritma çıktıları olarak elde edilir. Bölge ayrımı algoritmasının adımları şu şekildedir: İlk adımda, hedef bölgenin boyutları, İHA'nın özellikleri ve operasyonel kısıtlamalar kullanılarak alt bölgelerin sayısı ve her bir alt bölge için İHA yol düğümlerinin sayısı hesaplanır. İkinci adımda, CVT yöntemi uygulanarak alt bölgelerin köşe noktaları ve bu bölgelerin merkez koordinatları belirlenir. Üçüncü adımda, alt bölgelerin köşe noktaları, İHA için yol planlamasında kullanılmak üzere kaydedilir. Son olarak, alt bölgelerin merkez koordinatları İKA'nın taşıma yol düğümleri olarak belirlenir. Two-CAFO algoritması İHA-İKA iş birliğini optimize etmek için iki katmanlı bir optimizasyon yöntemi olarak geliştirilmiştir. Bu algoritmanın amacı, İHA ve İKA'nın toplam yol uzunluğunu minimize ederek büyük ölçekli bir çevrenin sürekli gözetim görevini etkin bir şekilde gerçekleştirmesidir. İlk adımda, alt bölgelerin köşe noktaları, İKA'nın yol düğümleri ve İHA'nın her alt bölgedeki yol düğümleri gibi temel girdiler belirlenir. Ayrıca algoritmanın maksimum iterasyon sayısı ve popülasyon büyüklüğü gibi optimizasyon parametreleri de tanımlanır. İKA'nın alt bölgeler arasında hareketini planlamak için CAFO algoritması uygulanır ve her alt bölgedeki İHA yol düğümleri, CVT yöntemi kullanılarak hesaplanır. Daha sonra İHA'nın alt bölgedeki yol planlaması yine CAFO algoritmasıyla gerçekleştirilir. CAFO algoritması, penguenlerin çevresel sıcaklıklara adapte olma davranışından esinlenmiştir. Bu yöntem yerel minimumlardan kaçınarak hem İHA hem de İKA için en kısa yolları optimize eder. İHA İKA'dan kalkış yaparak belirlenen gözetim yolunu izler, görevini tamamladıktan sonra İKA'ya geri döner ve bir sonraki alt bölgeye taşınır. Bu süreç tüm alt bölgeler kapsanana kadar tekrarlanır. Önerilen yöntem hem İHA hem de İKA için toplam yol uzunluğunu minimize etmeyi hedeflerken, gözetim görevlerinde yüksek bir verimlilik ve hız sağlamıştır.



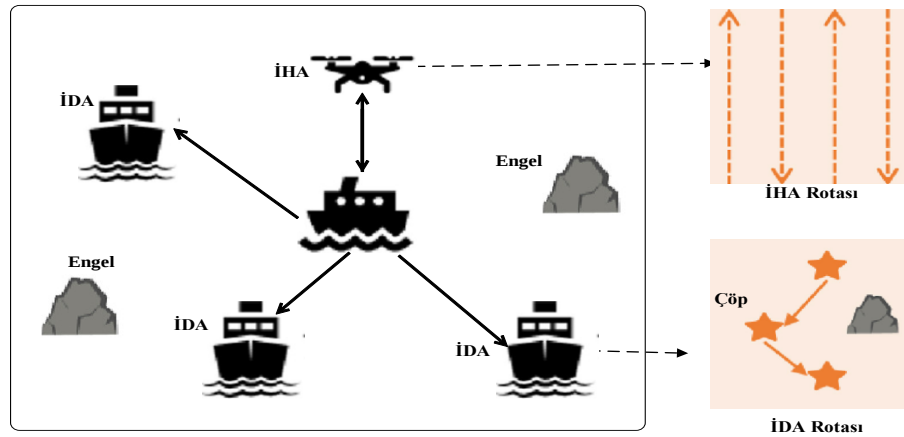
Şekil 2.16. İHA-İKA sistemi mimarisi [91].

Lee ve ark., tarafından İKA'lar için yapılandırılmamış açık alanlarda verimli yol planlaması sağlamak amacıyla bir hava tabanlı çevrimiçi haritalama sistemi geliştirilmiştir [92]. Sistem İHA'ya entegre edilmiş bir nesne algılama modülü ile birlikte çalışır. Sistemde İHA yüksekten çektiği görüntülerdeki engelleri bir nesne dedektörü aracılığıyla algılar ve bu engelleri iki boyutlu bir haritaya dönüştürerek İKA'ya iletir. Nesne algılama için YOLO tabanlı bir derin öğrenme algoritması kullanılmıştır. İHA engellerin konum ve boyut bilgilerini düşük bant genişliğine sahip kablosuz bir ağ üzerinden İKA'ya iletir. İKA bu verileri kullanarak rotasını planlar. Sistem ayrıca İHA ve İKA arasında bağlantı zayıf olsa bile bir Kalman filtresini kullanılarak engel tahminlerinin sürekliliği sağlanmıştır. Küresel engeller İHA tarafından hava görüntülerinden tespit edilen engellerden elde edilirken, yerel engeller İKA üzerindeki 2D LiDAR sensörleriyle tespit edilir. İKA'nın yol planlamasında A* algoritması ve Dinamik Pencere Yaklaşımı (Dynamic Window Approach, DWA) birlikte kullanılarak hem küresel hem de yerel düzeyde etkili bir navigasyon sağlanmıştır. A* algoritması maliyet haritası üzerinde başlangıç noktasından hedefe kadar olan en

düşük maliyetli yolu bulmak için kullanılmıştır. Bu işlem maliyet haritasında engellere yakın alanlara daha yüksek maliyetler atanarak engellerden uzak, güvenli ve optimal bir yol oluşturularak gerçekleştirmiştir. Küresel planlama sonrasında İKA'nın hareketini yönlendirmek için yerel düzeyde DWA uygulanmıştır. Önerilen sistem İKA rotasını verimli bir şekilde planmış ve engellerden kaçınma yeteneğini arttırılmıştır.

2.5. İHA-İDA Görev Atama Problemleri

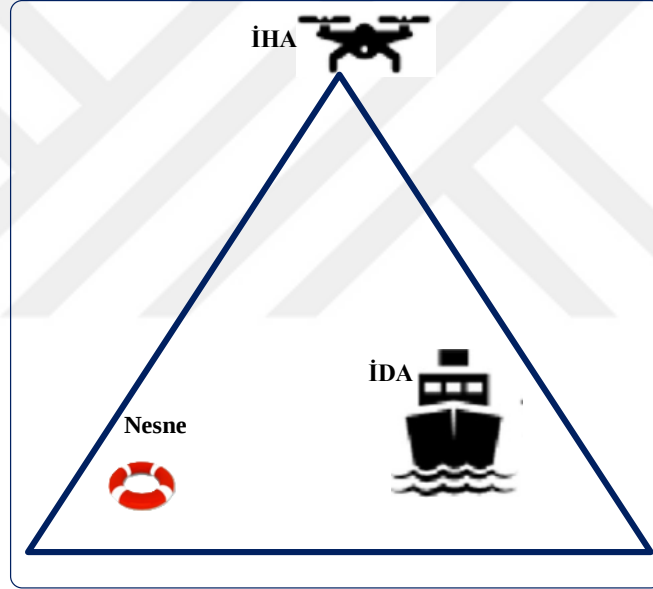
Deng ve ark., yaptıkları çalışmada Şekil 2.17'de gösterildiği gibi İHA ve İDA'ların su yüzeyindeki çöp temizliği için iş birliği yaptığı yenilikçi bir yöntem sunmuştur [93]. Problemden ilk olarak İHA'lar için yol planlama algoritması geliştirilmiştir ve daha sonra İDA'ların görev atama ve rota planlaması gerçekleştirilmiştir. İHA, belirli bir yükseklikten çevresel verileri toplayarak merkezi kontrol aracına (central control vessel, CCV) iletir. CCV atık dağılımını analiz ederek İDA'lara görev atar. İDA görev atamaları için ise PSO algoritması kullanılmıştır. Atık toplamada yolların kısa tutulması ve çarpışmaların önlenmesi amacıyla İDA'lar için mesafeye dayalı bir yol planlama ve engel kaçınma algoritması geliştirilmiştir. Çalışmada ayrıca İDA'ların otonom navigasyon kabiliyetlerini geliştirebilmek için sürü zekası algoritmalarından faydalanılarak engellerden kaçınma ve enerji tasarrufu sağlayan bir yol planlama mekanizması geliştirilmiştir. Önerilen yöntem ile temizleme süresi, enerji tüketimi ve operasyon maliyetlerini düşürülmüştür. Bu yöntem su temizleme uygulamalarında İHA ve İDA tabanlı iş birliği stratejileri için önemli bir yenilik sunmaktadır.



Şekil 2.17. İHA ve İDA'ların su yüzeyindeki çöp temizliği için iş birliği [93].

Wang ve ark., iş birliğine dayalı İDA ve İHA kullanılarak bir deniz arama kurtarma sistemi geliştirmiştir [94]. Önerilen yöntem görsel navigasyon mimarisi ve takviyeli öğrenme tabanlı bir kontrolör yapısını içermektedir. Şekil 2.18'de gösterilen sistemde olduğu gibi önerilen görsel

navigasyon mimarisi ile İHA tarafından alınan görüntülerden İDA'nın ve yüzen nesnenin konumlarını ve İDA'nın baş yönünü tahmin etmek üzere iki aşamalı bir evrimsel sinir ağı (ESA) tabanlı model kullanılır. İlk aşamada, düşük çözünürlüklü gri tonlamalı görüntüler işlenerek USV ve nesnenin konumları belirlenir. İkinci aşamada, İDA'nın baş yönü, daha yüksek çözünürlüklü kırılmış görüntülerle tahmin edilir. Bu yapıda Spatial softmax katmanları kullanılarak pozisyonel bilgiler etkili bir şekilde çıkartılmış ve işlem hızı artırılmıştır. Daha sonra İDA kontrolü için takviyeli öğrenme tabanlı bir yöntem geliştirilmiştir. İDA'nın kontrolü markov karar süreci çerçevesinde modellenmiştir. İDA'nın kontrol politikasını eğitmek için, iki eleştirmen ve bir aktörden oluşan TD3 algoritması kullanılmıştır. Bu yapı, kontrolün kararlılığını ve doğruluğunu artırmayı amaçlamaktadır. Önerilen yöntem ile İDA -İHA iş birliğine dayalı arama ve kurtarma görevlerinde güvenilir ve etkili bir yaklaşım sunulmuştur.



Şekil 2.18. Deniz arama ve kurtarma görevlerinde işbirlikçi İDA - İHA sistemi [94].

Bi ve ark., yaptıkları çalışmada İHA ve İDA'lerden oluşan hava-deniz heterojen insansız sistemlerin, okyanus çevresi bilgi izleme görevlerinde iş birliği yapabilmesi için bir görev planlama yöntemi önermiştir [95]. Çalışma izleme düğümlerinin yerleştirilmesi ve iş birliği görev ataması olmak üzere iki temel bileşenden oluşmaktadır. İlk adımda ateşböceği algoritması tabanlı parçacık sürü optimizasyon algoritması geliştirilmiştir. Bu algoritma geleneksel PSO'nun yerel ve global arama yeteneklerini iyileştiren uyarlanabilir bir ataletsel ağırlık modeli ve ateşböceği algoritmasından yararlanılmıştır. Görev atama aşamasında çok amaçlı optimizasyon problemini çözmek için iyileştirilmiş NSGA-II algoritması uygulanmıştır. Algoritmada klasik NSGA-II'nin temel prensiplerini korunurken, görev atama probleminin karmaşık gereksinimlerine uygun olarak

geliştirilmiştir. Bu yapıda kromozomlar üç segmentten oluşmaktadır. A segmenti, İHA'ların görev dağılımını, B segmenti, İDA'ların görev sıralarını, C segmenti ise İHA'ların kalkış ve iniş noktalarını optimize eder. Bu yapı ile hem hava hem de deniz görevlerinin eşzamanlı olarak planlanmıştır. Algoritmada çok amaçlı optimizasyon problemlerini ele almak için Pareto hakimiyeti ilkesi dahil edilerek klasik GA genişletilmiştir. Çaprazlama operasyonu için segmentlerin farklı genetik bilgi taşıdığı göz önüne alınarak her segment için özel çaprazlama operatörleri uygulanmıştır. Mutasyon operasyonu için rastgele mutasyon ve yer değiştirme mutasyonu gibi teknikler kullanılarak çözüm uzayının genişletilmiş ve böylece lokal optimumdan kaçınılmıştır. Ayrıca algoritmada bir elit koruma stratejisi geliştirilmiştir. Bu sayede görev tamamlama süresi, enerji tüketimi ve İHA-İDA koordinasyonunu optimize edilmiştir.



3. HETEROJEN ÇOKLU İNSANSIZ ARAÇLARDA GÖREV KOORDİNASYON YAKLAŞIMLARI

Heterojen çoklu insansız araç sistemleri, farklı tür ve özelliklere sahip hava, kara ve deniz araçlarının bir arada çalışarak karmaşık görevleri yerine getirdiği bir yaklaşımdır. Bu tür sistemlerde, araçların görev atama, rota planlama ve koordinasyon süreçleri, dinamik çevresel koşullar ve görev gereksinimlerine uyum sağlamak için optimize edilmelidir. Heterojen yapının sunduğu çeşitlilik, görevlerin daha verimli bir şekilde yerine getirilmesine olanak tanırken, bu araçların ortak bir amaç doğrultusunda etkili bir şekilde çalışmasını sağlayacak stratejik yaklaşımların geliştirilmesi oldukça önemlidir. Bu bölümde heterojen insansız araçların görev ve rota planlama süreçlerini iyileştirmek için önerilen yöntemler ve bu yöntemlerin performansını artırmaya yönelik yaklaşımlar ele alınmaktadır. Bölüm 3.1’de İHA ve İKA için Pareto tabanlı çok amaçlı rota optimizasyonu ve engel kaçınma stratejisi, Bölüm 3.2’de insansız hava, kara ve deniz araçlarının (Unmanned Vehicles, UVs) dinamik ve karmaşık görev senaryolarında etkin bir şekilde kullanılabilmesi için GA ve costmap tabanlı yol bulma tekniklerini birleştiren yenilikçi bir optimizasyon yöntemi yer almaktadır.

3.1. İnsansız Araçlar için Pareto Tabanlı Çok Amaçlı Rota Optimizasyonu ve Engel Kaçınma Stratejileri

Bu bölümde, İHA ve İKA gibi çoklu robotik sistemlerin, engellerle dolu bir ortamda koordineli hareket ederek belirlenen hedefe ulaşmalarını sağlayan bir uygulama geliştirilmiştir. Çalışma, enerji tüketimini minimize etmeyi, hedefe ulaşma süresini optimize etmeyi ve engellerden etkin bir şekilde kaçınma performansını maksimize etmeyi amaçlayan Pareto-optimizasyon yaklaşımına dayanmaktadır. Pareto optimizasyonu, birden fazla hedefi aynı anda göz önünde bulundurarak, tek bir optimal çözüm yerine hedefler arasında denge kuran bir çözüm kümesi sunar. Çalışmada enerji tüketimi, hedefe ulaşma süresi ve engel kaçınma performansı olmak üzere üç temel hedef optimize edilmiştir. Enerji tüketimi, araçların hız ve mesafelerine bağlı olarak hesaplanmış, hedefe ulaşma süresi zaman adımları üzerinden değerlendirilmiş ve engel kaçınma performansı, engellere olan mesafelere bağlı logaritmik bir fonksiyon ile modellenmiştir. İHA’lar için enerji tüketimi ve kapsama performansını optimize eden bir genetik algoritma yaklaşımı uygulanmış, İKA için ise hem enerji tüketimini hem de engellerden kaçınmayı dengeleyen bir optimizasyon yöntemi geliştirilmiştir. İHA ve İKA arasındaki veri paylaşımı, gerçek zamanlı rota optimizasyonu ve engel algılama mekanizmalarını güçlendirirken, aynı zamanda karmaşık ve değişken çevresel koşullarda görev başarısını artırmaktadır. Elde edilen sonuçlar, önerilen yöntemin karmaşık çevresel koşullarda engel kaçınma, enerji tüketimi ve görev süresi açısından dengeli bir performans

sağladığını ortaya koymaktadır. Bu sayede, hem bireysel hem de işbirlikçi araçlar daha etkin bir şekilde çalışması sağlanmıştır.

3.1.1. Giriş

Mahmoodabadi ve ark., yaptıkları çalışmada İHA'lar için adaptif dayanıklı bir geri adımlama denetleyicisinin tasarımı ve optimizasyonunu ele almıştır [96]. İHA kontrol sistemlerinde genellikle karmaşık dinamik modeller, dış bozucular ve model belirsizlikleri gibi zorluklarla karşılaşmaktadır. Yapılan çalışmada bu sorunları çözmek için dayanıklı ve adaptif bir kontrol yaklaşımı önerilmiştir. Ayrıca tasarım performans kriterlerini optimize etmek için Pareto optimizasyonunu kullanmıştır. Geri adımlama tekniği kullanılarak model belirsizliklerine adaptif bir yapı eklenmiştir. Dış bozucuların etkilerini azaltmak için dayanıklı bir kontrol stratejisi geliştirilmiştir. Çalışmada Pareto optimizasyonu farklı performans kriterleri arasında denge kuran çözümleri bulmak için kullanılmıştır. Önerilen Pareto optimizasyonu ile denetleyici tasarımında, enerji tüketimini artırmadan kararlılık da artırılarak hedeflere ulaşılmıştır. Bu yaklaşım ile farklı uygulama gereksinimlerine göre denetleyici parametrelerinin uyarlanması kolaylaştırmıştır. Ayrıca Pareto optimizasyonu tasarımın esnek yapısı farklı uygulama gereksinimlerine uyum sağlamasını kolaylaştırmaktadır.

Song ve ark., İHA ile gerçekleştirilen dağıtım sistemlerinde enerji tüketimi ve teslimat süresi gibi iki ana hedefi optimize etmek için geliştirilmiş bir yöntem sunmaktadır [97]. Çalışmada güçlendirilmiş Pareto evrimsel algoritma 2 (strength Pareto evolutionary algorithm 2, SPEA2) kullanılarak çok amaçlı bir optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Pareto optimizasyonu, birden fazla hedefin aynı anda optimize etmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem kullanılarak bir çözümü iyileştirirken başka bir çözümün kötüleşmesine yol açmadan en iyi çözümleri bulmaya yönelik bir yaklaşım benimsenir. Optimal çözümler Pareto öncelik eğrisi ile temsil edilir. Ayrıca SPEA2'nin çözüm çeşitliliğini ve etkinliğini artırmak için uyarlanabilir çaprazlama operatörü eklenmiştir. Bu operatör algoritmanın daha geniş bir çözüm uzayını keşfetmesini ve daha iyi Pareto etkin çözümler üretmesini sağlamıştır. Simülasyon sonuçları ile önerilen yöntemin mevcut sistemlere kıyasla daha yüksek enerji verimliliği ve daha iyi teslimat süresi performansı sunduğunu gösterilmiştir. Çalışma, İHA tabanlı çok amaçlı optimizasyon problemlerine yönelik geniş bir uygulama potansiyeline sahiptir.

Gomez ve ark., PX4 tabanlı İHA'lar için proportional-integral-derivative (PID) denetleyicisinin parametre ayarlarını optimize etmek amacıyla çok amaçlı bir parçacık sürü optimizasyonu (multi-objective particle swarm optimization, MOPSO) algoritmasını kullanmaktadır [98]. Bu çalışmada İHA kontrol sistemlerinde yerleşme zamanı, maksimum aşım, kararlılık ve enerji tüketimi gibi performans kriterlerini dikkate alınarak, bu kriterler arasında optimal bir denge kurma hedeflenmiştir. Önerilen MOPSO algoritması farklı kriterler arasındaki en iyi çözümleri keşfetmek

için kullanılmıştır. Ayrıca Pareto öncelik eğrisi üzerinde yer alan Pareto-optimal çözümleri belirlemiştir. Bu çözümler, performans ölçütlerinden ödün vermeden denge sağlayan en iyi denetleyici parametrelerini temsil eder. Çalışmada birden fazla kontrol performans ölçütü arasında denge kurularak Pareto-optimal çözümleri belirlemeye odaklanmıştır. Çok amaçlı parçacık sürü optimizasyonu, Pareto-optimal çözümleri keşfetmek için kullanılmıştır. Algoritma ile parçacıkların çözümler arasındaki en iyi denge sağlanmıştır. Optimizasyon süreci ile İHA kontrol sistemlerinin kararlılık ve enerji verimliliği artırılmıştır. Böylece önerilen MOPSO algoritmasının kullanımı farklı kontrol kriterleri arasında denge sağlanarak İHA performansını artırmış ve enerji tüketimini optimize etmiştir.

Ntakolia ve ark., İDA için çok amaçlı yol planlama problemi kapsamında bir bulanık mantık temelli Pareto optimizasyonu yaklaşımı önermektedir [99]. Bu yaklaşım öncelikle İDA'ların dinamik ortamlarında güvenli ve enerji verimli bir şekilde hareket edebilmesi için yol planlaması kapsamında çarpışma önlenmiş. Çalışmada rotadan sapma minimizasyonu ve enerji tüketiminin azaltılması gibi çelişkili hedefler optimize edilmiştir. Pareto optimalitesine dayalı olarak bulanık mantık yöntemleri ile farklı hedefler arasındaki çelişkiler yönetilmiş ve en uygun çözüm seti elde etmek amaçlanmıştır. Yazarlar bulanık mantığı hedeflerin göreceli önceliklerini değerlendirmek ve karar verme sürecini kolaylaştırmak için kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan bu yöntem Pareto-optimizasyonu için önemli bir rol oynamıştır. Önerilen yöntem ile hedefler arasındaki çelişkilerin etkili bir şekilde yönetilmesini sağlamıştır. Simülasyon sonuçları Pareto optimizasyonu ile dinamik çevre koşullarında güvenli ve enerji verimli yollar planladığı gösterilmiş. Elde edilen çözümler mevcut yöntemlere göre daha üstün performans sergilemiştir. Bu çalışma ile Pareto optimizasyonu yol planlamasında esneklik ve etkinlik sağlamış, bulanık mantık ile entegre edilerek daha geniş bir çözüm uzayı keşfedilmiştir.

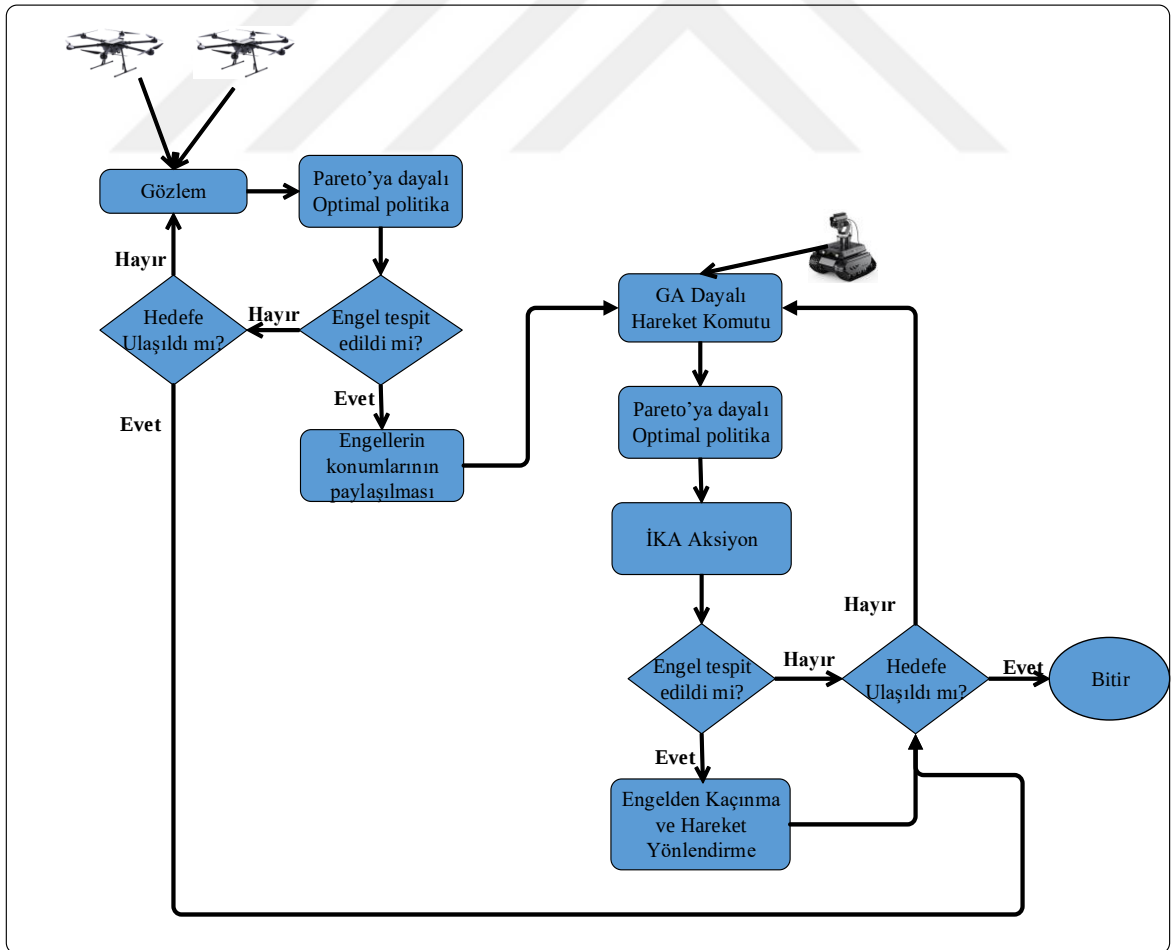
Liao ve ark., İHA'ların kablosuz veri toplama görevlerinde enerji tüketimi ve veri yaşı arasında bir denge kurmak için Pareto optimal yörünge tasarımı ele almaktadır [100]. Veri yaşı bir sistemdeki bilginin güncelliğini ölçen önemli bir metrik olup, enerji tüketimi ile çelişen bir performans ölçütüdür. Çalışmada İHA rotaları hem enerji tüketimini minimize etmek hem de veri yaşını iyileştirmek amacıyla optimize edilmiştir. Bu iki hedefin aynı anda optimize edilmesi için Pareto optimizasyonu yaklaşımı kullanılmıştır. Ayrıca enerji tüketimi ve veri yaşı için matematiksel modeller geliştirilerek, bu modeller Pareto optimizasyonuna entegre edilmiştir. Çözüm alanındaki farklı rotalar Pareto öncelik eğrisi üzerinde değerlendirilmiş ve her bir çözüm, enerji-veri yaşı dengesi açısından analiz edilmiştir. Yapılan çalışma ile kablosuz veri toplama görevleri ve çok amaçlı optimizasyon problemleri için yenilikçi bir çözüm sağlanmıştır.

Gall ve ark., İDA'lar için çevrimiçi yeniden planlama sistemlerinde gömülü Pareto kümeleri yaklaşımını ele almaktadır [101]. Çalışmada birden fazla hedefin eş zamanlı olarak optimizasyonu ile dinamik ve öngörülemez çevresel koşullarda İDA'ların güvenli, enerji verimli ve zamanında

hareket edebilmesi hedeflenmiştir. Çevrimiçi yol planlama aşamalarında Pareto-optimal çözümleri sürekli olarak güncellendiği bir algoritma geliştirilmiştir. Sistemde yer alan Pareto kümeleri çok amaçlı optimizasyon problemleri için farklı hedef noktalar arasındaki en iyi çözümleri içermektedir. Bu yapıda algoritmanın çevrimiçi olarak performans ölçütlerini değerlendirdiği ve hızlı kararlar aldığı bir sistem tasarlanmıştır. Pareto kümeleri farklı hedefler arasındaki dengeyi sağlarken optimizasyon için gerçek zamanlı karar alma süreçlerini desteklemek için sürekli güncellenmektedir. Çalışma ile değişen çevresel koşullara adaptasyon sağlanmış ve İDA'ların farklı hedefler arasında en iyi dengeleri kurduğu rotalar elde edilmiştir.

3.1.2. Pareto Tabanlı Rota Optimizasyonu ve Engel Kaçınma Süreci

Bu bölümde İHA ve İKA için tasarlanan Pareto tabanlı rota optimizasyonu ve dinamik engel kaçınma sürecinin genel hatları yer almaktadır. Şekil 3.1'de bu sürecin akışını görsel olarak sunmaktadır. Süreç, araçların hedefe güvenli ve enerji verimli bir şekilde ulaşmasını sağlamak amacıyla çok amaçlı optimizasyon ve engel algılama prensiplerini birleştiren bir yapıya sahiptir.



Şekil 3.1. Pareto tabanlı rota optimizasyonu ve dinamik engel kaçınma süreci

Pareto tabanlı rota optimizasyonu ve engel kaçınma süreci Şekil 3.1'deki akış diyagramında görüldüğü üzere aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır:

Gözlem ve Optimum Politika Belirleme

Süreç İHA'ların çevreyi gözlemlemesiyle başlar. Bu gözlemler araçların hedefe ulaşmak için en uygun hareket politikasını belirlemesini sağlar. Pareto tabanlı optimizasyon, enerji tüketimi, engel kaçınma ve hedefe ulaşma süresi gibi çoklu hedefler arasında bir denge kurarak optimum politikaları oluşturur. Eğer İHA hedefe ulaşmışsa, süreç tamamlanır. Hedefe ulaşılmadıysa, engellerin algılanıp algılanmadığı kontrol edilir.

Engel Tespiti ve Bilgi Paylaşımı

İHA'lar, çevredeki engelleri algıladığında bu bilgiyi İKA ile paylaşır. Engel tespiti sırasında engelin algılama yarıçapı içerisinde olup olmadığı kontrol edilir. Eğer bir engel algılanırsa:

- Engelin konumu ve boyut bilgileri İKA ile paylaşılır.
- Bu bilgi, İKA'nın rota planlaması için güncellenir.

Engel algılanmadığı durumlarda, araçlar hedefe ulaşmak için mevcut politikalarını sürdürür.

İKA Hareket Komutu ve Engel Kaçınma

İKA, İHA'lar tarafından sağlanan engel verileri ve GA tabanlı optimizasyon yöntemine dayalı olarak hareket komutlarını oluşturur. İKA, Pareto optimizasyonu sayesinde hedefe doğru bir rota planı oluştururken, engellerden uzaklaşmayı ve enerji verimli bir şekilde hareket etmeyi dengeler. Eğer İKA bir engel algılasa:

- Hedefe doğru ilerleme yönü güncellenir.
- Engel kaçınma yönü, engelin konumuna göre yeniden hesaplanır ve hedefe ulaşma rotası buna göre düzenlenir.

Eğer İKA hedefe ulaşmışsa, süreç tamamlanır. Ulaşılmamışsa, hareket ve kaçınma algoritmaları tekrarlanır. Pareto tabanlı rota optimizasyonu ve engel kaçınma süreci İHA ve İKA'nın karmaşık bir ortamda güvenli, enerji verimli ve hızlı bir şekilde görevlerini tamamlamalarını sağlar. Şekil 3.1'de gösterildiği gibi, süreç hem hedef yönlendirme hem de engel kaçınma prensiplerini birleştiren işbirlikçi ve çok amaçlı bir algoritma yapısına sahiptir.

3.1.3. Uygulama Modeli ve Optimizasyon Süreci

Pareto optimizasyonu, çok amaçlı problemler için, tek bir optimum çözüm yerine bir dizi çözüm sunan güçlü bir yaklaşımdır. Bu çalışmada aşağıdaki üç ana hedef fonksiyonu optimize edilmiştir:

1. **Enerji Tüketimi (C(a)):** Her aracın hareket boyunca harcadığı toplam enerjiyi minimize etmeyi hedefler. Bu, aracın hız, mesafe ve enerji katsayılarına bağlı olarak hesaplanmıştır.
2. **Hedefe Ulaşma Süresi (T(a)):** Araçların hedefe ulaşması için geçen toplam süreyi minimize etmeyi hedefler. Bu süre zaman adımları (Δt) kullanılarak simülasyon boyunca hesaplanmıştır.

3. **Engel Kaçınma Performansı (U(a)):** İKA'nın engellerden güvenli bir şekilde kaçınarak engel alanlarının dışından geçmesini sağlamayı amaçlar. Engel kaçınma performansı, logaritmik bir cezalandırma fonksiyonu ile ifade edilmiştir ve araçların engellere olan mesafesine bağlıdır.

Tanımlanan çok amaçlı optimizasyonu aşağıdaki gibi formüle edilmiştir. Enerji tüketimini temsil eden $C(a)$ fonksiyonu, İHA ve İKA'nın enerji tüketim katsayılarına bağlı olarak Denklem (3.1)'de gösterilmiştir. Denklemde (3.1)'de λ Araç için belirlenmiş enerji katsayısı, d_n bir adımda hareket edilen mesafe, N Toplam adım sayısı. Denklem (3.2)'de gösterilen hedefe ulaşma süresi her zaman adımı Δt Her iterasyonda geçen zaman adımına göre güncellenir. Denklem (3.3)'te gösterilen engel kaçınma performansı araçların engellere olan mesafelerine dayalı bir logaritmik cezalandırma fonksiyonu ile hesaplanır. Bu, engellerden güvenli bir mesafede olmayı teşvik eden bir metriği temsil eder. Denklem (3.3)'teki K Tespit edilen engel sayısı, w_k engel k için ağırlık katsayısı, d_k aracın engel k ile arasındaki mesafe.

$$C(a) = \sum_{n=1}^N \lambda \cdot d_n \quad (3.1)$$

$$T(a) = \sum_{n=1}^N \Delta t \quad (3.2)$$

$$U(a) = -\sum_{k=1}^K w_k \cdot \log\left(\frac{1}{1+d_k}\right) \quad (3.3)$$

3.1.4. İKA için Engel Kaçınma ve Hareket Yönlendirme

İHA ve İKA koordinasyonunda bir görev sırasında çevresindeki engelleri algılamasını ve onlardan güvenli bir mesafede durmasını sağlamak için kritik öneme sahiptir. Yapılan çalışmada simülasyonları gerçekleştirirken İHA'nın hedef bölgesine hareketi sırasında algıladığı engelleri İKA ile paylaşmaktadır. İKA paylaşılan bilgilerle ve Denklem (3.4) ile engellere olan mesafesi dikkate alınarak Denklem (3.5) hareket ve yönlendirme denklemleri kullanılmıştır. Denklem (3.4) te $P_T(t)$ aracın t anındaki pozisyon vektörü, P_E engel merkezinin pozisyon vektörüdür. Aracın mevcut konumu ile engel merkezi arasındaki Öklidyen mesafeyi temsil eder, R ise engel algılama yarıçapıdır. Denklem (3.4) aracın engel algılama bölgesinde olup olmadığını kontrol eder. Aracın engelle arasındaki mesafeden küçük ya da eşitse araç engeli "algılamış" olur ve kaçınma stratejileri devreye girer.

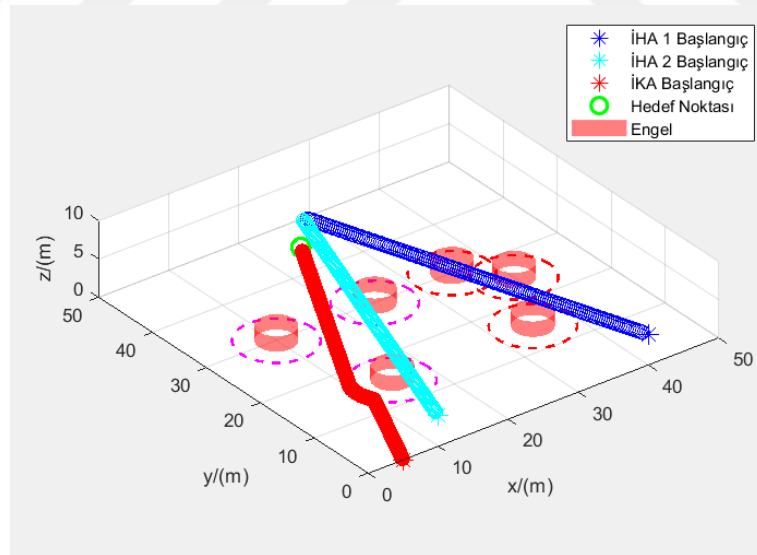
$$\|P_T(t) - P_E\| \leq R \quad (3.4)$$

Aracın hedefe doğru hareketini sağlayan temel yönlendirme denklemi Denklem (3.5)'te verilmiştir. P'_T aracın t anındaki yeni pozisyonu, $P_T(t)$ aracın mevcut pozisyonu, $\hat{d}_{new}$ hedef yönü temsil eder.

$$P'_T(t) = P_T(t) + \Delta t \cdot \hat{d}_{new} \quad (3.5)$$

3.1.5. Simülasyon Ortamının Oluşturulması

Şekil 3.2'de gösterildiği gibi İHA ve İKA'nın başlangıç ve hedef konumları belirlenmiş, engeller ise sabit bir yarıçap ve yüksekliğe sahip olacak şekilde modellenmiştir. İHA'ların 3 boyutlu bir ortamda hareket etmelerine olanak tanınırken, İKA 2 boyutlu düzlemde hareket etmektedir. Her iki sistem de belirli bir algılama yarıçapına sahip olup, bu çerçevede engelleri tespit edebilmektedir. İHA bu süreçte engelleri tespit ederken, İKA hem engelleri tespit etme hem de kaçınma manevraları gerçekleştirebilmektedir. Bu süreçte kullanılan algoritmalar, engellerin sistem performansını etkileyen faktörler olarak dikkate alınmasını sağlamıştır. Simülasyon sonucunda toplam enerji tüketimi, görev süresi ve engelden kaçınma etkinliği değerlendirilmiştir.



Şekil 3.2. Simülasyon ortamı

3.1.6. Deneysel Sonuçlar

Problem tanımı, çalışma ortamı ve araç parametreleri tanımlanmıştır:

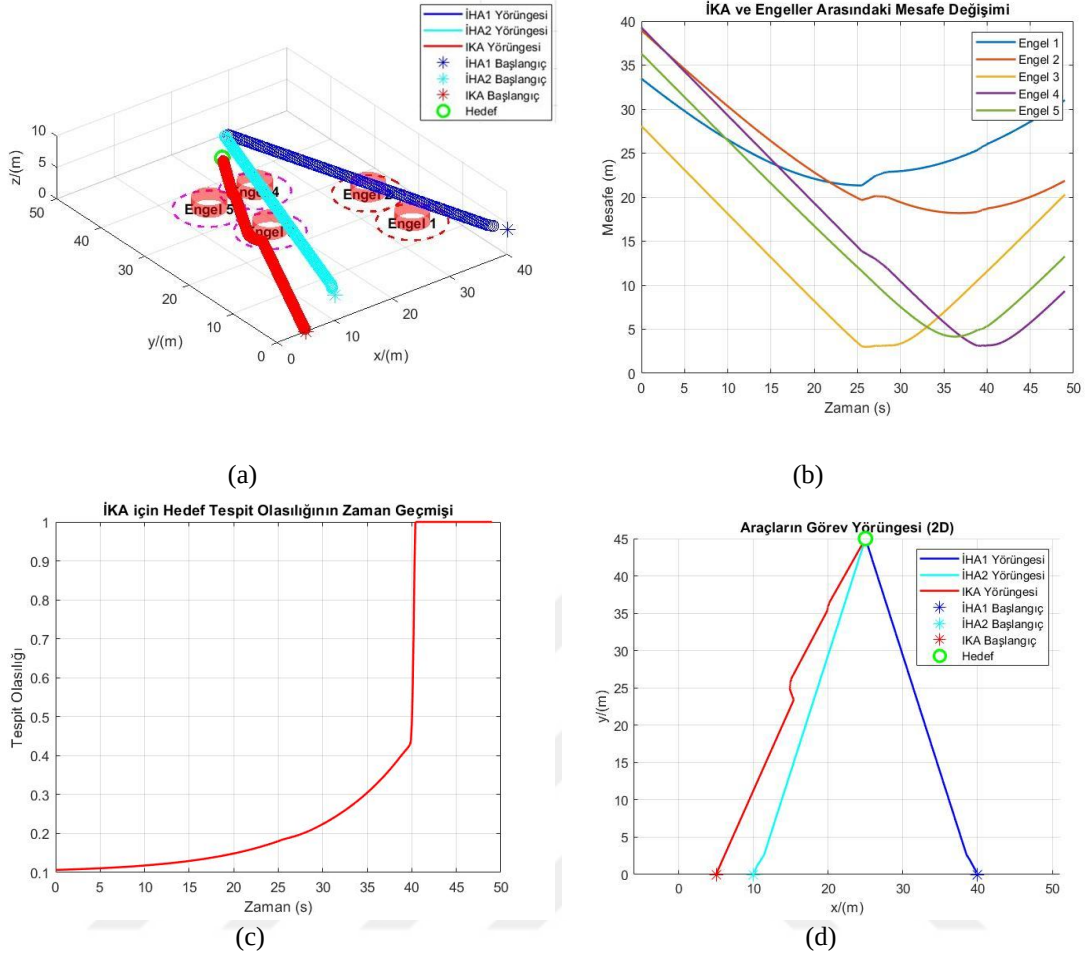
- **Araç Başlangıç Konumları:** İHA-1, İHA-2 ve İKA'nın başlangıç koordinatları tanımlanmıştır.

- **Hedef Konum:** Tüm araçların ulaşması gereken ortak hedef noktası belirlenmiştir.
- **Engel Konumları:** Ortamdaki sabit engellerin koordinatları ve özellikleri (yarıçap, yükseklik) tanımlanmıştır.
- **Hareket Parametreleri:** Araçların hızları, zaman adımı ve simülasyon süresi gibi parametreler belirlenmiştir.

Ortam, 3D bir görselleştirme ile modellenmiştir. Bu görselleştirme, araçların konumlarını, hedef noktasını ve engelleri gösteren bir grafik üzerinde gerçekleştirilmiştir. Her araç için çok amaçlı optimizasyon gerçekleştirilmiş, her iterasyonda, araçların hareketleri dinamik olarak güncellenmiştir:

- Araçların yönü, hedefe ve çevredeki engellere olan konumlarına bağlı olarak hesaplanmıştır. İKA için Denklem (3.4) ve (3.5)'deki engel kaçınma fonksiyonu uygulanmıştır.
- Araçların enerji tüketimi, toplam hareket mesafesiyle çarpılarak hesaplanmıştır.
- Engel kaçınma performansı, engellere olan mesafelerin logaritmik fonksiyonları ile değerlendirilmiştir.

Şekil 3.3'de gösterilen simülasyon sonuçları, hem İHA'ların hem de İKA'nın başarıyla hedefe ulaştığını göstermektedir. İHA'lar engellere duyarsız rotaları sayesinde daha hızlı bir şekilde hedefe ulaşırken, İKA'nın engellerden kaçınma algoritması dolayısıyla dolambaçlı bir yol izlediği gözlemlenmiştir. Şekil 3.3.b'de engellerle olan mesafeye dair elde edilen grafik, İKA'nın engellerin yakınına geldiğinde başarılı bir şekilde yön değiştirerek tehlikeden uzaklaştığını göstermektedir. Şekil 3.3.c İKA'nın hedef tespit olasılığını göstermektedir. Olasılık 1 olursa, hedef tespit edilmiş demektir. Grafikte başlangıçta algılama olasılığı oldukça düşüktür, ancak İKA hedefe yaklaştıkça bu olasılık hızlı bir şekilde artmış maksimum değere ulaşmıştır. Bu sonuç, İKA'nın görev başarısını doğrudan etkileyen bir faktördür. Hedef tespit olasılığının grafikte gözlemlendiği gibi yüksek değerlere ulaşması, İKA'nın hem engellerden kaçınarak hem de hedefi doğru bir şekilde algılayarak görevini tamamlayabildiğini göstermektedir. Pareto optimizasyonu araçların karmaşık bir ortamda koordineli bir şekilde hareket etmesini sağlamış ve bu çalışma kapsamında enerji verimliliği, süre ve engel kaçınma arasında etkili bir denge kurulmasını mümkün kılmıştır.



Şekil 3.3. (a) Pareto tabanlı rota optimizasyonu ait görev yörüngesi, (b) İKA ve engeller arasında mesafe değişimi, (c) Hedef tespit olasılığının zaman geçmişi, (d) Araç görev yörüngesi.

Bu çalışmada, İHA ve İKA için Pareto tabanlı çok amaçlı rota optimizasyonu ve engel kaçınma stratejileri geliştirilmiş ve bir simülasyon ortamında uygulanmıştır. Tablo 3.1'deki simülasyon sonuçları, önerilen optimizasyon yaklaşımının enerji tüketimi, hedefe ulaşma süresi ve engel kaçınma performansı açısından dengeli çözümler sunduğunu ortaya koymaktadır. Önerilen yöntemin, farklı senaryolarda araçların engellerden kaçınarak hedefe ulaşmasını sağladığı gözlemlenmiştir. Algoritmanın engel senaryolarına uygulanabilirliği, farklı başlangıç konumları ve engel yerleşim senaryoları üzerinde test edilerek değerlendirilmiş, sonuç olarak İHA ve İKA'nın engel konumlarına göre uygun rotalar oluşturabildiği ve belirlenen hedeflere ulaşabildiği görülmüştür. Simülasyonun doğruluğunu değerlendirmek amacıyla, farklı başlangıç koşulları ve değişen çevresel faktörler altında testler gerçekleştirilmiş, sonuçların tutarlılığı incelenerek modelin güvenilirliği doğrulanmıştır.

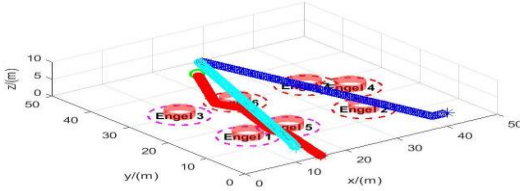
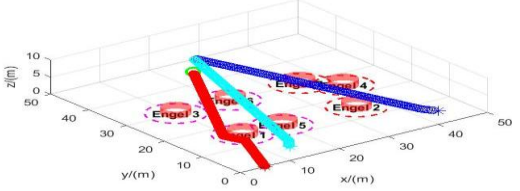
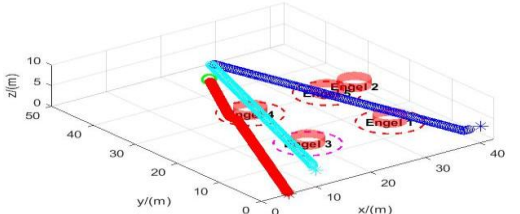
Tablo 3.1'de yer alan senaryolar şu şekildedir:

Senaryo 1 ve Senaryo 2: Engel sayısı ve konumu aynı tutulurken, İKA'nın başlangıç konumu farklı olarak belirlenmiştir.

Senaryo 2 ve Senaryo 3: İKA'nın başlangıç konumu aynı kalırken, Senaryo 2 için 7 engel ve Senaryo 3 için 5 engel yer alan farklı bir senaryo oluşturulmuştur.

Oluşturulan farklı senaryoların performansları tablo 3.1'de yer almaktadır. 1. senaryoda enerji tüketimi en düşük seviyededir, bu durum araçların görece kısa rotalar izlediğini göstermektedir. Engel kaçınma performansının -170.65 olması, İKA'nın engellere oldukça yakın mesafelerden geçtiğini ve engellerden etkili bir şekilde kaçındığını göstermektedir. Bu durum, İKA'nın kısa rotalar izleyerek hedefe daha hızlı ulaşmasını sağlarken enerji tüketimini de minimize ettiğini ortaya koymaktadır. 2. Senaryoda engel kaçınma performansının -103.54 olması, engellere daha uzak bir rota izlenerek güvenliğin artırıldığını göstermektedir. Bu durum, İKA'nın engellerden kaçınma sırasında daha karmaşık bir yol izlediğini ve bu nedenle enerji tüketiminin ve toplam sürenin arttığını göstermektedir. 3. Senaryoda engel kaçınma performansının -25.02 olması, İKA'nın engellere en uzak mesafeden geçtiğini ve güvenli bir rota izlediğini göstermektedir. Engel kaçınma performansının 2. Senaryoya kıyasla daha iyi olmasının nedeni, engel sayısının daha az olması ve İKA'nın engellere daha uzak bir rota izlemesidir. Enerji tüketimi 2. senaryoya aynı seviyede olup, toplam süre biraz daha kısadır. Bu sonuçlar, engellerden kaçınma sırasında güvenliğini sağlarken zamandan tasarruf edildiğini ve İKA'nın daha verimli bir hareket rotası izlediğini göstermektedir.

Tablo 3.1. Simülasyon senaryolarının performans karşılaştırması

No	Senaryo	Performans Ölçütleri
1		Toplam Enerji: 188.00 Toplam Süre: 47.20 saniye Engelden Kaçınma Performansı: -170.65
2		Toplam Enerji: 192.60 Toplam Süre: 49.50 saniye Engelden Kaçınma Performansı: -103.54
3		Toplam Enerji: 192.60 Toplam Süre: 48.60 saniye Engelden Kaçınma Performansı: -25.02

Tablo 3.2’de, Pareto tabanlı optimizasyon yöntemlerinin karşılaştırmalı analizi yer almaktadır. Literatürde yapılan çalışmalarda Pareto optimizasyonu genellikle tek bir araç veya sınırlı bir görev kapsamı ile uygulanmaktadır. Yapılan çalışmada literatürden farklı olarak, önerilen yöntem hem İHA hem de İKA araçlarını içeren işbirlikçi ve çok amaçlı bir Pareto optimizasyon yöntemi sunmaktadır. Bu çalışmada enerji, zaman ve performans ölçütlerini optimize edilirken, aynı zamanda engel kaçınma stratejisi gerçekleştirilir. Ayrıca, engel tespiti ve kaçınma algoritması gerçek zamanlı güncellenen bir kontrol mekanizması ile geliştirilmiş ve araçlar arasında bilgi paylaşılarak daha karmaşık bir senaryo modellenmiştir. Literatürdeki yöntemler genellikle tek bir hedefe odaklanırken, önerilen yöntem dinamik rota planlama ve gerçek zamanlı engel kaçınma süreçleri ile verimli, güvenli ve zamandan tasarruf sağlayan bir çözüm sunmaktadır.

Tablo 3.2. Pareto tabanlı optimizasyon yöntemlerinin karşılaştırmalı analizi

Referans	İHA	İKA	Çalışma Odağı
[96]	✓	-	Kararlılık, Doğruluk
[97]	✓	-	Enerji, Zaman
[98]	✓	-	Enerji, Zaman, Kararlılık
[100]	✓	-	Enerji, Veri Toplama Verimliliği, Mesafe
Önerilen Yöntem	✓	✓	Enerji, Zaman, Engellerden Kaçınma

3.1.7. Sonuç

Pareto tabanlı rota optimizasyonu ve engel kaçınma süreci İHA ve İKA için tasarlanmış dinamik ve işbirlikçi bir sistemdir. Bu süreçte, araçların hedefe enerji verimli, güvenli ve hızlı bir şekilde ulaşması amaçlanmıştır. Süreç; gözlem, engel algılama, bilgi paylaşımı, hareket komutu oluşturma ve hedef yönlendirme gibi adımları kapsamaktadır. İHA’lar çevreyi gözlemleyerek hedefe yönelik en uygun hareket politikasını belirler. Pareto tabanlı optimizasyon yöntemi, enerji tüketimi, engel kaçınma ve hedefe ulaşma süresi gibi birden fazla hedef arasında denge kurarak optimum çözümler sunar. Eğer İHA hedefe ulaşmışsa süreç tamamlanır, aksi takdirde engellerin algılanıp algılanmadığı kontrol edilir.

Engel algılama sürecinde, araçlar belirli bir algılama yarıçapı içinde engelleri tespit eder. Eğer engel tespit edilirse, engelin konumu ve boyut bilgileri paylaşılır ve rota bu bilgilere göre güncellenir. İKA, İHA’ların sağladığı engel bilgilerine dayanarak Pareto optimizasyonu ile hareket komutlarını oluşturur. Bu aşamada İKA, hedefe ilerlerken enerji tüketimini en aza indirirken engellerden güvenli bir şekilde kaçınmayı sağlar. Eğer İKA bir engel algılasa, kaçınma yönü hesaplanarak hedef yönüyle birleştirilir ve araç bu yeni rotada ilerler. Hedefe ulaşıldığında süreç tamamlanır, ulaşılmadığında ise döngü tekrarlanır.

Bu süreç dinamik bir bilgi paylaşımı ve yönlendirme algoritması içerir. İHA ve İKA, hedef yönelimli ve engelden kaçınma odaklı hareket stratejilerini işbirliği içinde yürütür. Pareto optimizasyonu, araçların enerji tüketimini, engel kaçınma performansını ve hedefe ulaşma süresini dengeleyen çok amaçlı bir yapı sunar. Böylece geleneksel tek hedefli optimizasyonların ötesine geçilmiştir. Ayrıca İHA ve İKA arasındaki engel bilgisi paylaşımı, gerçek zamanlı karar almayı iyileştirmiştir. Böylece rota ayarlamalarının verimli bir şekilde yapılmasını sağlamıştır. Yöntemin mimarisi farklı araç konfigürasyonlarına ve görev senaryolarına uyarlanabilir niteliktedir. Bu yapı sistemin esnekliğini ve ölçeklenebilirliğine katkı sağlamaktadır.

Deneysel sonuçlar, engel kaçınma metriklerinin çarpışmalardan kaçınmada ve karmaşık alanlarda güvenli seyir sağlamada yüksek bir başarı gösterdiğini ortaya koymuştur. Gelecekteki araştırmalar, daha karmaşık dinamik ortamları ve gelişmiş işbirlikçi konfigürasyonları test ederek performans metriklerini iyileştirebilir.

3.2. Genetik Algoritma Tabanlı Heterojen İnsansız Sürü Araç Görev Koordinasyonu

Bu bölümde yapılan çalışma, insansız hava, kara ve deniz araçlarının (Unmanned Vehicles, UVs) dinamik ve karmaşık görev senaryolarında etkili bir şekilde konuşlandırılmasını sağlamak için yenilikçi bir optimizasyon çerçevesi sunmaktadır. GA ve costmap tabanlı yol bulma teknikleri birleştirilerek, UV'lerin görev atama ve rota planlama süreçlerinde çok yönlü bir yaklaşım benimsenmiştir. İnsansız araçlar, askeri operasyonlardan insani yardım projelerine, çevresel araştırmalardan güvenlik uygulamalarına kadar geniş bir yelpazede önemli roller üstlenmektedir. Ancak bu araçların görevlerini en yüksek verimlilikte gerçekleştirebilmeleri, dinamik çevre koşulları, görev öncelikleri ve teknik sınırlamalar gibi faktörlerin optimize edilmesini gerektirir. Bu çalışma, bu zorlukları çözmek ve UV'lerin operasyonel etkinliğini artırmak için tasarlanmış kapsamlı bir sistem sunmaktadır.

Çalışmada, dört ana bileşene dayanan kapsamlı bir yöntem önerilmiştir. İlk olarak, genetik algoritmalar aracılığıyla UV'lerin görev uygunlukları optimize edilmiştir. Bu süreçte araçların menzile, dayanıklılık, hız, bakım maliyeti, silah türü, görev önceliği ve çevresel koşullara adaptasyon gibi teknik ve operasyonel özellikleri dikkate alınmıştır. Bu yöntem, araçların bireysel performanslarını hem de genel görev başarısını en üst düzeye çıkarmayı hedeflemiştir. İkinci olarak, engel yoğunluğu yüksek ortamlarda güvenli rota planlaması sağlamak için costmap tabanlı bir yol bulma algoritması geliştirilmiştir. Bu algoritma, enflasyon yarıçapı tekniği kullanarak engel çevresindeki risk alanlarını genişletmiş ve böylece çarpışma riskini minimize etmiştir. Bu yaklaşım, UV'lerin hem güvenli hem de verimli rotalar izlemesini sağlamıştır. Üçüncü olarak; sistem araçların özelliklerini ve görev parametrelerini gerçek zamanlı olarak yönetmek için MySQL tabanlı bir veritabanı ile entegre edilmiştir. Bu dinamik yapı görev verilerinin saklanması,

analiz edilmesi ve optimizasyon sonuçlarının değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Böylece sistem, değişen görev gereksinimlerine hızlı bir şekilde uyum sağlayabilmiştir. Dördüncü olarak, hava, kara ve deniz araçları için özelleştirilmiş fitness fonksiyonları geliştirilmiştir. Her araç türü için tasarlanan bu fonksiyonlar, görev türüne özel parametreleri optimize etmektedir. Örneğin, hava araçları için menzil ve gece görüş kabiliyeti; kara araçları için arazi uyumu ve tekerlek sayısı; deniz araçları için sonar ve radar kapasitesi gibi kriterler değerlendirilmiştir.

Gerçekleştirilen simülasyonlar, sistemin performansını ve esnekliğini çeşitli görev senaryolarında test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, önerilen çerçevenin görev başarı oranını %25 artırdığını, çarpışma riskini %30 azalttığını ve genel operasyonel verimliliği %18 oranında geliştirdiğini ortaya koymuştur. Ayrıca, heterojen araçların farklı görevlerdeki üstünlükleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Hava araçları uzun menzilli ve yüksek öncelikli görevlerde üstünlük sağlarken, kara araçları zorlu arazi koşullarında yüksek dayanıklılık göstermiştir. Deniz araçları ise radar ve sonar tabanlı denizaltı görevlerinde etkili bir şekilde görev almıştır.

3.2.1. Giriş

UV'ler, günümüz teknolojinin en dikkat çekici yeniliklerinden biri olarak askeri, sivil ve çevresel uygulamalarda geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Bu araçlar, hava, kara ve deniz ortamlarında görev yapabilme kabiliyeti ile keşif, gözetleme, lojistik destek ve acil müdahale gibi kritik operasyonlarda etkin bir şekilde kullanılmaktadır. UV'lerin operasyonel yetenekleri, insan hayatını tehlikeye atmadan tehlikeli görevleri yerine getirme, operasyonel maliyetleri düşürme ve sürekliliği sağlama avantajlarını beraberinde getirmektedir. Bununla birlikte, UV'lerin bu potansiyelinin tam anlamıyla hayata geçirilebilmesi, karmaşık görev atama ve rota planlama problemlerinin çözümünü gerektirmektedir.

Görev atama ve rota planlama süreçleri, literatürde geniş bir araştırma alanı olarak yer almaktadır. Bu bağlamda, literatürde birçok yenilikçi yaklaşım geliştirilmiştir. Örneğin, Raja ve ark., zorlu arazi koşullarında genetik algoritmaların etkili kullanımını göstererek, çok tekerlekli robotlar için yenilikçi bir yol bulma yaklaşımı önermiştir [102]. Bu çalışma, GA'ların UV'lerin karmaşık çevresel koşullara uyum sağlamasında önemli bir araç olduğunu vurgulamaktadır. Poudel ve Moh ise İHA'lar için görev atama algoritmalarını kapsamlı bir şekilde incelemiş ve farklı yöntemlerin karşılaştırmasını yapmıştır [103]. Bu yöntemlerin avantajları arasında dinamik görev koşullarına hızlı uyum sağlama ve operasyonel verimlilik yer almaktadır. Benzer şekilde, Park ve arkadaşları insansız yüzey araçları için görev planlama süreçlerinde genetik algoritmaların kullanımını değerlendirerek, bu yöntemlerin operasyonel performansı artırmadaki potansiyelini ortaya koymuştur [104].

Rota planlama ve görev atama süreçlerinde genetik algoritmalar, UV'lerin çoklu kriterlere dayalı optimizasyon problemlerini çözmedeki başarısıyla dikkat çekmektedir. Keklik ve Özcan, genetik

algoritmaların temel işleyişini ve bu süreçlerde kullanılan operatörleri detaylandırarak, bu yaklaşımın esnekliğini ve uygulanabilirliğini vurgulamıştır [105]. Liu ve ark., tarafından geliştirilen adaptif GA ve yapay arı kolonisi yöntemi, afet yönetiminde kullanılan insansız hava araçlarının görev planlama süreçlerinde çarpıcı sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır [106]. Bu yenilikçi algoritmalar, UV'lerin görev uygunluğunu optimize ederken operasyonel maliyetleri ve çarpışma risklerini önemli ölçüde azaltmaktadır.

Bu çalışma, yukarıdaki yaklaşımların avantajlarını birleştirerek insansız araçların görev atama ve rota optimizasyonunda yenilikçi bir çerçeve sunmaktadır. Çalışmanın temel amacı, UV'lerin operasyonel etkinliğini artırmak, görev başarı oranlarını yükseltmek ve değişen çevresel koşullara dinamik bir şekilde uyum sağlayabilecek bir altyapı geliştirmektir. Bu kapsamda, önerilen sistem dört temel bileşene dayanmaktadır:

- **Genetik Algoritmalar:** Görev uygunluklarının optimize edilmesi için kullanılan çok kriterli bir optimizasyon aracı [105]. GA'nın dinamik çevresel koşullara adaptasyon yeteneği, UV'lerin görev başarısını artırmada önemli bir rol oynamaktadır.
- **Costmap Tabanlı Yol Bulma:** Engellerin yoğun olduğu bölgelerde güvenli rota planlaması sağlamak için costmap tabanlı yöntemlerin kullanılması [107]. Bu yöntem, UV'lerin hem güvenli hem de verimli bir şekilde hareket etmesini sağlamaktadır.
- **Veritabanı Yönetimi:** Görev ve araç verilerinin dinamik yönetimi için MySQL tabanlı bir altyapı kullanılmıştır [108]. Bu altyapı, gerçek zamanlı görev atama ve optimizasyon sonuçlarının yönetilmesini mümkün kılmaktadır.
- **Heterojen Araç Ataması:** Hava, kara ve deniz araçları için özelleştirilmiş uygunluk (fitness) fonksiyonlarının geliştirilmesi, her araç türünün göreve uygun şekilde optimize edilmesini sağlamaktadır [104], [106].

Literatürdeki çalışmalar görev atama, rota planlama, genetik algoritmaların kullanımı ve heterojen araç sistemleri kategorileri altında ele alınmış.

a) Görev Atama Süreçleri:

Görev atama, UV'lerin en uygun göreve atanmasını sağlayarak operasyonel etkinliği ve görev başarı oranını doğrudan etkileyen kritik bir süreçtir. Literatürde görev atama süreçlerine yönelik birçok etkili çözüm önerilmiştir. Raja ve ark., yaptıkları çalışmada, zorlu arazi koşullarında 6 tekerlekli robotlar için görev planlamasına odaklanmış ve genetik algoritmaların bu tür senaryolarda etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir. Bu çalışma, araziye özgü engellerin aşılmasında önemli bir katkı sağlasa da, yalnızca kara araçlarına odaklanmıştır [102]. Poudel ve ark., İHA'lar için görev atama algoritmalarını kapsamlı bir şekilde inceleyen bu çalışma, görev sürekliliği, enerji tüketimi ve görev başarısı gibi faktörleri optimize etmeyi amaçlamıştır [103]. Ancak yalnızca İHA'lara odaklanması, çalışmanın heterojen araç sistemlerine uygulanabilirliğini sınırlamaktadır. Han. ve ark., heterojen İHA sistemlerinde görev atamasına yönelik modifiye

edilmiş bir genetik algoritma öneren bu çalışma, farklı görev tiplerinde yüksek performans sağlamayı hedeflemiştir [109]. Ancak, kara ve deniz araçlarını kapsamayan bir yapı nedeniyle sınırlı bir çözüm sunmaktadır.

Görev atama literatüründeki bu çalışmaların çoğu, belirli bir araç tipine veya sınırlı bir senaryoya odaklanmıştır. Bu tez bölümdeki çalışma ise farklı araç türlerini ve dinamik görev gereksinimlerini kapsayan entegre bir çözüm sunarak literatüre önemli bir katkı sağlamaktadır.

b) Rota Planlama ve Yol Bulma:

UV'lerin hedeflerine güvenli ve etkili bir şekilde ulaşabilmesi için rota planlama ve yol bulma süreçleri büyük önem taşımaktadır. Bu süreçlerde kullanılan costmap tabanlı yöntemler ve evrimsel algoritmalar, UV'lerin engelleri aşarak hedeflerine en kısa sürede ulaşmalarını sağlamaktadır. Noreen ve ark., optimal yol planlama problemlerine yönelik Random Tree Star (RRT*) algoritmalarının avantajlarını vurgulamıştır [107]. Özellikle hızlı ve güvenilir rota planlama sağlayan bu yöntem, UV'lerin operasyonel etkinliğini artırmaktadır. Ancak, genetik algoritmaların esnekliği ve çok kriterli optimizasyon yeteneğini içermemesi nedeniyle sınırlı bir çözüm sunmaktadır. Liu ve ark., adaptif genetik algoritma ve yapay arı kolonisi yönteminin kombinasyonu ile afet yönetiminde kullanılan İHA'ların rota planlaması optimize edilmiştir [106]. Bu çalışma, rota ve görev planlamasını birleştirerek etkili sonuçlar sağlamaktadır. Ancak yalnızca hava araçlarına odaklanması, heterojen araç sistemlerini kapsayan yaklaşımla karşılaştırıldığında daha sınırlı bir çerçeve sunmaktadır. Yuan ve ark., lojistik planlama problemlerinde genetik algoritmaların kullanımı üzerine yapılan bu çalışma, UV'lerin rota optimizasyonunda zaman ve maliyet faktörlerini dikkate alarak verimliliği artırmıştır [110]. Ancak çalışma heterojen sistemleri kapsamadığı için genel operasyonel etkinlik açısından eksiklikler taşımaktadır.

c) Genetik Algoritmaların Kullanımı:

GA'lar, UV'lerin çok kriterli optimizasyon problemlerinde yaygın olarak kullanılan güçlü bir araçtır. Literatürde, GA'ların teorik temelleri ve farklı uygulamaları üzerine birçok çalışma bulunmaktadır. Keklik ve ark., genetik algoritmaların temel işleyişini ve kullanılan operatörleri detaylandıran çalışma, bu yöntemin esnekliğini ve farklı problemlere uygulanabilirliğini göstermektedir [105]. Ancak, çalışma herhangi bir gerçek dünya uygulamasını ele almamıştır. Huang ve ark., çok kriterli optimizasyon problemlerine odaklanan bu çalışma, İHA görev planlamasında genetik algoritmaların etkinliğini ortaya koymuştur [111]. Ancak çalışma, yalnızca hava araçlarını kapsamış ve heterojen sistemler için bir çözüm sunmamıştır. Jasim ve ark., kapasiteli araç rotalama problemleri için genetik algoritma tabanlı çözümleri ele alan çalışma, lojistik odaklı bir yaklaşım benimsemiştir [108]. Çalışma lojistik dışında güvenlik, keşif ve gözetleme gibi çeşitli uygulama alanlarını kapsayarak bu çalışmaya genişletici bir katkı sağlamaktadır.

d) Heterojen Araç Sistemleri:

Farklı türde araçların eş zamanlı olarak optimize edilmesi, kompleks görev senaryolarında büyük avantaj sağlamaktadır. Ancak, literatürde heterojen araç sistemlerine yönelik çalışmalar sınırlıdır. Park ve ark., deniz araçlarına odaklanan çalışmada, genetik algoritmaların görev planlamasında etkin bir araç olduğunu göstermiştir [104]. Ancak bu çalışma, heterojen sistemlerin avantajlarını ele almamıştır. Martin ve ark., çoklu robot görev atama problemlerine yönelik bir çalışma olan bu araştırma, genetik algoritmalar ve dallanma-sınır yöntemlerini birleştirmiştir [112]. Ancak araç çeşitliliğini ele almamış ve sadece homojen sistemler üzerinde durmuştur.

Tez kapsamında yapılan çalışma heterojen araç sistemlerini kapsayan geniş bir yapı sunarak literatüre önemli bir katkı yapmaktadır. Bu yaklaşım, farklı araç türlerinin dinamik ihtiyaçlarına uygun optimize çözümler üretmektedir. Literatürde UV'lerin görev atama ve rota planlama süreçlerine yönelik birçok etkili çalışma bulunmasına rağmen, genetik algoritmaları, costmap tabanlı yöntemleri ve heterojen araç sistemlerini bir araya getiren entegre bir çözüm oldukça sınırlıdır. Tez kapsamında yapılan çalışma bu eksiklikleri gidererek, geniş bir araç yelpazesini kapsayan yenilikçi bir çerçeve sunmaktadır. Tablo 3.3'de literatürde yapılan çalışma ile önerilen yöntemin karşılaştırılması yer almaktadır.

Tablo 3.3. Önerilen yöntem ile literatür çalışmaları arasındaki karşılaştırma tablosu

Çalışma	Ana Hedef	Kullanılan Yöntemler	Önerilen GA Tabanlı Heterojen Araç Optimizasyonu	Avantajlar
[102]	Zorlu arazi koşullarında robot yol bulma	Genetik algoritma, potansiyel alan yöntemi	Zorlu arazi koşulları çalışma ile benzer. Sistem dinamik görev atamasını da kapsamaktadır.	Gerçek zamanlı görev değişiklikleri
[103]	İHA ağlarında görev atama	Çeşitli görev atama algoritmaları	UV'ler için görev optimizasyonu benzer. Önerilen yöntem tüm UV türlerini içermektedir.	Kapsamlı araç türü desteği
[104]	İDA için görev planlama	Genetik algoritma	Genetik algoritma kullanımı benzer. Önerilen yöntemi costmap ve veritabanı entegrasyonunu içermektedir.	Gelişmiş veri analitiği
[106]	Afet kurtarma için çoklu İHA optimizasyonu	Adaptif genetik algoritma, yapay arı kolonisi	Afet koşulları dikkate alınmıştır, daha fazla faktör içermektedir.	Daha fazla çevresel değişken analizi
[111]	Çok kriterli İHA görev planlama	Kısıtlı çok kriterli evrimsel algoritma	Çok kriterli analiz benzer. Önerilen yöntem kara ve deniz UV'lerini de kapsamaktadır.	Daha geniş görev senaryosu
[113]	Voronoi tabanlı İHA görev planlama	Voronoi diyagramı, genetik algoritma	Algoritma uygulama alanı benzer. Önerilen yöntem dinamik rota güncellemelerini içermektedir.	Dinamik adaptasyon mekanizması

3.2.2. Çalışmanın Ana Yapısı

İnsansız hava, kara ve deniz araçlarının etkin bir şekilde görevlerini yerine getirebilmeleri, çevresel koşullar, araç özellikleri ve görev önceliklerinin optimize edilmesi gerekir. Çalışma, bu gereklilikleri karşılamak için GA, costmap tabanlı yol bulma yöntemleri ve veritabanı yönetimi gibi yenilikçi teknikleri bir araya getirerek, çoklu kriterlere dayalı bir optimizasyon çerçevesi geliştirmektedir. Çalışmanın temel amacı, UV'lerin bireysel performanslarını optimize ederken aynı zamanda görev başarı oranlarını artırmaktır.

Genetik Algoritmalar: Genetik algoritmalar, biyolojik evrimden ilham alan ve karmaşık optimizasyon problemlerini çözmek için kullanılan bir yöntemdir. Temel prensipleri şu şekildedir:

- **Popülasyon ve Genetik Kodlama:** Genetik algoritmalar, bir problemi çözmek için olası çözümleri bir "popülasyon" olarak ifade eder. Her bir çözüm, "birey" olarak adlandırılır ve bu bireyler genellikle genetik kodlama ile temsil edilir. Genetik kodlama, çözüm uzayını daha iyi araştırmaya olanak sağlar.

- **Uygunluk Fonksiyonu (Fitness Function):** Uygunluk fonksiyonu, her bir bireyin çözüm kalitesini değerlendirir. Bu fonksiyon, problemin çözüm gereksinimlerini yansıtır ve bireylerin popülasyonda kalıp kalmayacağını belirler. İyi bir uygunluk fonksiyonu, çözüm uzayını etkili bir şekilde keşfetmeyi sağlar.

- **Genetik Operatörler:**

- **Seçim (Selection):** Popülasyondan bireylerin seçilmesi, genellikle daha yüksek uygunluk değerine sahip bireylerin tercih edilmesiyle yapılır. En sık kullanılan yöntemler arasında rulet çarkı seçimi, turnuva seçimi ve sıralı seçim bulunmaktadır.
- **Çaprazlama (Crossover):** İki ebeveyn bireyden yeni bireyler oluşturma sürecidir. Bu işlem, yeni nesillerin oluşmasını ve daha iyi çözümler üretmesini sağlar. Tek noktalı, çok noktalı veya uniform çaprazlama gibi yöntemler mevcuttur.
- **Mutasyon (Mutation):** Genetik çeşitliliği artırmak için bireylerin genetik kodlarında rastgele değişiklikler yapılır. Bu, yerel optimumlardan kaçınmayı sağlar.

İterasyon ve Sonlandırma Kriterleri: Genetik algoritma, belirli bir uygunluk seviyesine ulaşılan veya maksimum iterasyon sayısı tamamlanana kadar çalışır. Çıktı, optimize edilmiş çözüm veya çözümler setidir.

Costmap Tabanlı Yol Planlama: Costmap tabanlı yöntemler, bir haritada her bir bölgenin maliyetini temsil eden bir matris oluşturur. Bu maliyetler, rota planlama algoritmaları tarafından kullanılır.

- **Maliyet Matrisi Oluşturma:** Her bir hücreye, bir aracın bu hücreden geçiş maliyetini belirten bir değer atanır. Örneğin, engel içeriyorsa yüksek maliyet, açık ve güvenli bir yol ise düşük maliyet.

- **Enflasyon Yarıçapı (Inflation Radius):** Engellerin çevresindeki alanların maliyet değerleri, belirli bir yarıçap içinde artırılır. Bu yaklaşım, çarpışma riskini minimize eder ve güvenli rotalar oluşturur.

- **Arama Algoritmaları ile Entegrasyon:** Costmap yöntemleri genellikle A* veya Dijkstra gibi arama algoritmalarıyla birleştirilir:

- **A* Algoritması:** Her düğüm için bir Denklem (3.6) maliyet fonksiyonu ($f(n)$) hesaplanır:

$$f(n) = g(n) + h(n) \quad (3.6)$$

$g(n)$:Başlangıç noktasından mevcut düğüme kadar olan maliyet,

$h(n)$:Mevcut düğümden hedef düğüme tahmini maliyet.

- **Dijkstra Algoritması:** Tüm düğümleri eşit maliyetle değerlendirir ve en kısa yolu bulur.
- **Dinamik Güncellemeler:** Gerçek zamanlı uygulamalarda, çevresel değişiklikler costmap üzerinde sürekli güncellenir. Bu, değişen koşullara uyum sağlama yeteneğini artırır.

Dinamik Veritabanı Yönetimi: Görev verilerinin ve araç bilgilerinin yönetimi, MySQL tabanlı bir veritabanı sistemi ile gerçekleştirilmiştir. Bu sistem, görev planlama ve optimizasyon süreçlerinde dinamik veri yönetimini kolaylaştırmıştır.

- **Tablo Yapısı ve Yönetimi:**

- **Görev Bilgileri:** Görev türü, öncelik düzeyi, çevresel koşullar.
- **Araç Özellikleri:** Araç türü, menzil, hız, dayanıklılık, maliyet, silah kapasitesi.
- **Sonuç Kayıtları:** Görev atama sonuçları, rota detayları, başarı oranları.

- **Gerçek Zamanlı Veri Güncellemeleri:** Görev ve araç parametreleri, operasyon sırasında güncellenmiş ve bu güncellemeler veritabanına yansıtılmıştır.

- **Optimizasyon Sonuçlarının Analizi:** GA çıktıları ve costmap tabanlı rota planlama sonuçları, veritabanında saklanarak daha sonraki analizler için kullanılabilir hale getirilmiştir.

Heterojen Araç Atama Yaklaşımları:

Heterojen araç atama, farklı görev türlerine en uygun araçların atanmasını içerir.

- **Araçların Özelliklerinin Değerlendirilmesi:** Her araç tipi, belirli görev türlerinde farklı performans gösterebilir. Hava araçları uzun menzilli keşif görevlerinde etkilidir. Kara araçları zorlu arazi koşullarında yüksek dayanıklılık gösterir. Deniz araçları radar ve sonar yetenekleriyle denizaltı tarama görevlerinde uzmanlaşmıştır.

- **Çok Kriterli Optimizasyon:** Görev dağılımı sürecinde görev süresi, enerji verimliliği, görev başarısı kriterleri dikkate alınır

3.2.3. Önerilen Yöntem

Bu çalışmada, insansız hava, kara ve deniz araçlarının görev atama ve rota optimizasyonu problemlerine yenilikçi çözümler sunan bir yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen sistemin

performansını artırmak ve her araç türü için özelleştirilmiş çözümler üretmek için aşağıda detaylandırılan bileşenler kullanılmıştır.

Veritabanı Yönetimi

Veritabanı, görev ve araç verilerinin düzenli ve erişilebilir bir şekilde saklanması için tasarlanmıştır. Tablo 3.4, Tablo 3.7 arasında veri tabanı tabloları yer almaktadır. Veritabanı yapısı ve bağlantı işlemleri şu şekilde gerçekleştirilmiştir:

- **Bağlantı ve Yapı:** connect_db() fonksiyonu, MySQL veritabanına güvenli bir bağlantı oluşturur ve hata yönetimi mekanizması ile olası sorunları kullanıcıya bildirir. Veritabanı, görev ve araç verilerinin detaylı bir şekilde düzenlenmesini sağlamak için dört ana tablo içerir:

Tablo 3.4. Hava araçları veritabanı tablosu

Sütun Adı	Veri Tipi	Açıklama
vehicle_id	INT (PK)	Araç kimlik numarası.
range_km	FLOAT	Operasyonel menzil (km).
endurance_hr	FLOAT	Dayanıklılık süresi (saat).
altitude_m	INT	Maksimum irtifa (metre).
speed_kmh	FLOAT	Maksimum hız (km/saat).
firing_range	FLOAT	Silah menzili (km).
camera	BOOLEAN	Kamera var mı (1: Var, 0: Yok).
night_vision	BOOLEAN	Gece görüşü var mı (1: Var, 0: Yok).
position_x	FLOAT	Mevcut konumun X koordinatı.
position_y	FLOAT	Mevcut konumun Y koordinatı.

Tablo 3.5. Kara araçları veritabanı tablosu

Sütun Adı	Veri Tipi	Açıklama
vehicle_id	INT (PK)	Araç kimlik numarası.
terrain_type	VARCHAR(50)	Arazi türü (ör: toprak, asfalt, çamur).
wheels	INT	Tekerlek sayısı.
speed_kmh	FLOAT	Maksimum hız (km/saat).
endurance_hr	FLOAT	Dayanıklılık süresi (saat).
comm_type	VARCHAR(50)	İletişim türü (ör: uydu, radyo, Wi-Fi).
firing_range	FLOAT	Silah menzili (km).
position_x	FLOAT	Mevcut konumun X koordinatı.
position_y	FLOAT	Mevcut konumun Y koordinatı.

Tablo 3.6. Deniz araçları veritabanı tablosu

Sütun Adı	Veri Tipi	Açıklama
vehicle_id	INT (PK)	Araç kimlik numarası.
radar_range_km	FLOAT	Radar menzili (km).
sonar_range_km	FLOAT	Sonar menzili (km).
dive_depth_m	INT	Maksimum dalış derinliği (metre).
speed_kmh	FLOAT	Maksimum hız (km/saat).
endurance_hr	FLOAT	Dayanıklılık süresi (saat).
position_x	FLOAT	Mevcut konumun X koordinatı.
position_y	FLOAT	Mevcut konumun Y koordinatı.

Tablo 3.7. En iyi çözümler veritabanı tablosu

Sütun Adı	Veri Tipi	Açıklama
solution_id	INT (PK)	Çözüm kimlik numarası.
mission_id	INT (FK)	Görev kimlik numarası.
vehicle_id	INT (FK)	Araç kimlik numarası.
fitness	FLOAT	Çözümün fitness değeri.
timestamp	DATETIME	Çözümün oluşturulma zamanı.

- **Veritabanı Tabloları:** Tablolar, setup_tables() fonksiyonu ile SQL sorguları kullanılarak oluşturulmuştur. Bu yapı, görevlerin dinamik olarak yönetilmesine olanak tanımaktadır.

- **Veritabanı Operasyonları:**

Veritabanı, şu temel operasyonları destekleyecek şekilde tasarlanmıştır:

- **Dinamik Veri Yönetimi:** Yeni araçlar, görevler veya engel bilgileri kolayca eklenebilir ve mevcut veriler güncellenebilir. Örneğin, yeni bir hava aracı sisteme eklendiğinde, bu bilgi otomatik olarak genetik algoritmanın çözüm uzayına dahil edilir.
- **Veri Entegrasyonu:** Tablolar arasındaki ilişkiler, görev ve araç verilerinin birbiriyle ilişkilendirilmesini sağlar. Örneğin, bir görev için atanan araç bilgisi, hem araç tablosundan hem de görev tablosundan alınarak ilişkilendirilir.
- **Performans İzleme:** En iyi çözümler tablosu, GA performansını izlemek ve analiz etmek için kullanılır. Geçmiş veriler üzerinden yapılan analizler, gelecekteki görev atama süreçlerinde rehberlik eder.
- **Esneklik:** Sistem, yeni görev türleri veya araç tipleri eklendiğinde genişletilebilir yapıdadır. Örneğin, denizaltılar gibi yeni bir araç kategorisi eklenmek istendiğinde, buna uygun bir tablo kolayca oluşturulabilir.

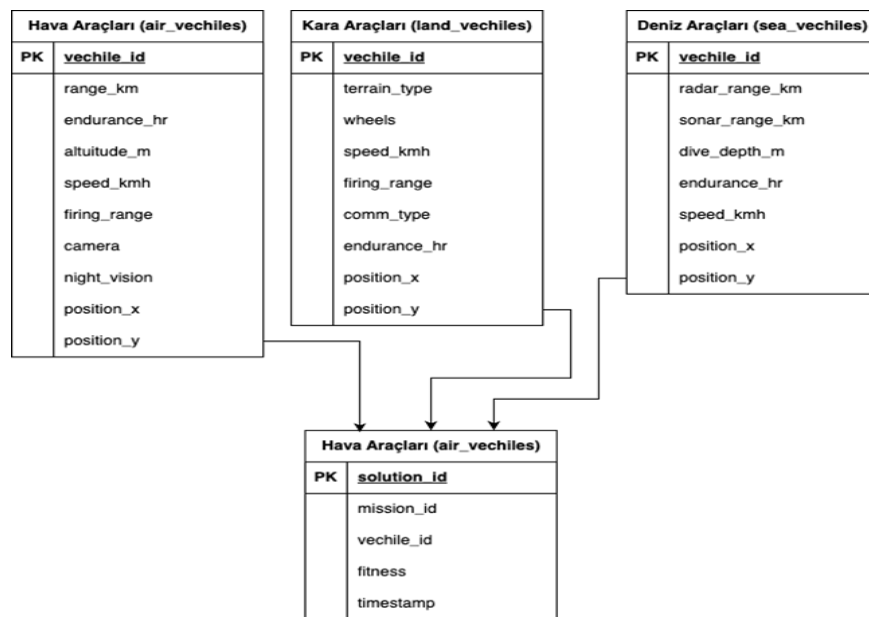
- Veritabanı Tasarım İlkeleri:

Şekil 3.4'te veri tabanı diyagramları gösterilen veritabanı tasarımı, aşağıdaki ilkeler doğrultusunda gerçekleştirilmiştir:

- **Normalizasyon:** Veri tekrarı en aza indirilmiş ve her veri grubu ayrı bir tabloya yerleştirilmiştir. Örneğin, hava, kara ve deniz araçlarının her biri ayrı tablolarda saklanır.
- **Bütünlük ve Tutarlılık:** Tablolar arasındaki ilişkiler, yabancı anahtarlar (foreign keys) kullanılarak güvence altına alınmıştır. Örneğin, bir görev için atanan aracın kimliği, ilgili aracın gerçekten sistemde kayıtlı olduğunu garanti eder.
- **Performans:** Veritabanı sorgularının hızlı çalışmasını sağlamak için indeksleme (indexing) kullanılmıştır. Görev ve araç eşleştirme gibi kritik işlemlerin performansını artırmak için gerekli optimizasyonlar yapılmıştır.

- Veritabanının Sistem Üzerindeki Avantajları:

- **Merkezi Veri Yönetimi:** Tüm görev ve araç bilgileri tek bir merkezde düzenlenmiş ve ilişkilendirilmiştir.
- **Gerçek Zamanlı İşlem:** Görevlerin ve araçların durumları anlık olarak güncellenebilir.
- **Esnek Raporlama:** Veritabanından alınan verilerle sistem performansı hakkında detaylı raporlar oluşturulabilir.
- **Esneklik:** Sistem, yeni araç tipleri, görev türleri veya diğer işlevler eklendiğinde kolayca genişletilebilir.
- **Optimizasyon ve Analiz:** En iyi çözümler tablosu üzerinden analiz yapılabilir ve sistemin gelecekteki karar alma süreçleri geliştirilebilir.



Şekil 3.4. Veritabanı diyagramı

Engel Haritası(Costmap)

Engel haritası, araçların görev bölgelerinde engellerden kaçınarak güvenli ve optimize edilmiş rotalar oluşturmasını sağlar. Engel haritası, her hücreye belirli bir maliyet değeri atayarak rota planlama algoritmalarına temel teşkil eder.

Teknik Detaylar:

- **Costmap Yapısı:** Engel haritası, 101 X 101 boyutlarında bir matris olarak modellenmiştir. Her hücreye şu şekilde maliyet değerleri atanmıştır:

Engel Hücreleri: $Maliyet = 254$ (geçilemez).

Açık Alanlar: $Maliyet = 0$.

Enflasyon Hücreleri: $Maliyet = \max(200 - (d \times 50), 50)$

Burada d , engelin merkezine olan uzaklığı ifade eder. Bu yöntem, engelin çevresindeki bölgeleri güvenlik açısından sınıflandırır.

- **A* Algoritması ile Entegrasyon:** A* algoritması, costmap'ı kullanarak başlangıç noktasından hedefe en düşük maliyetli rotayı bulur.

Heuristik Fonksiyon: $h(x,y) = |x_{goal} - x| + |y_{goal} - y|$

Hedefe olan Manhattan mesafesini ifade eder.

Toplam Maliyet: $f(n) = g(n) + h(n)$

$g(n)$, başlangıçtan mevcut düğüme kadar olan maliyeti; $h(n)$, mevcut düğümden hedefe olan tahmini maliyeti ifade eder.

A* Seçim Nedenleri:

- **Alternatiflere Göre Avantajları:** Dijkstra algoritmasından daha hızlıdır, çünkü hedef odaklıdır. Costmap ile birleşerek engellerden kaçınmayı sağlar.
- Gerçek zamanlı rota güncellemeleri için uygundur.
- **Genetik Algoritmalar ile Uyum:** A* algoritması, genetik algoritmalar tarafından üretilen çözüm kümeleri üzerinde rota optimizasyonu sağlar.

Rastgele Veri Üretimi

Sistemin farklı senaryolarda nasıl performans gösterdiğini değerlendirmek için rastgele veri üretimi kritik bir bileşen olarak kullanılmıştır. Araç özellikleri ve görev bölgelerindeki engellerin rastgele atanması, sistemin gerçek dünyadaki belirsizliklere ve çeşitliliğe uygun şekilde çalışmasını sağlar.

- **Engel Üretimi:** Engel verileri, görev bölgelerindeki fiziksel engelleri ve bu engellerin araçlar üzerindeki etkisini modellemek için rastgele oluşturulur. *Generate_random_obstacles()* fonksiyonunda görev bölgesi, x,y koordinat sisteminde temsil edilir. Her engel için *Merkez Koordinatları* (c_x, c_y), engel haritası içindeki bir rastgele konum seçilir. *Yarıçap* (r), Engel boyutu, belirli bir minimum ve maksimum değer arasında rastgele atanır. Bu engeller, engel haritasına (costmap) eklenir ve rota planlama algoritmaları tarafından dikkate alınır.

- **Araç Özelliklerinin Üretilmesi:** Her araç türü için rastgele özellikler atanır. Bu sistemin çeşitli araç özelliklerine sahip farklı görev senaryolarını test etmesine olanak tanımaktadır. *Hava*

araçlarında; menzil operasyonel mesafe (km), rastgele belirli bir aralıkta atanır, hız maksimum hız (km/saat) farklı görev gereksinimlerine uyum sağlayacak şekilde rastgele üretilir, maksimum irtifa hava aracının çıkabileceği maksimum yükseklik (metre) rastgele atanır. *Kara araçlarında*; arazi uyumu için arazi türü (ör. asfalt, çamur, toprak) farklı görev bölgelerini temsil edecek şekilde rastgele atanır, tekerlek sayısı araç türüne uygun olacak şekilde rastgele belirlenir, hız araçların hız performansı rastgele atanarak görev çeşitliliği sağlanır. *Deniz araçları*; sonar kapasitesinde sualtı algılama menzili (km) rastgele atanır, radar kapasitesi için yüzey algılama kapasitesi (km) farklı senaryolar için değişiklik gösterecek şekilde rastgele üretilir, deniz araçlarının su altında ulaşabileceği derinlik (metre) rastgele atanır.

- **Veri Çeşitliliği:** Her araç türü ve engel için belirli bir *rastgelelik aralığı* tanımlanır. Bu aralıklar sistemin makul ve gerçekçi veriler üretmesini sağlar. Rastgele veri üretimi sırasında, araç ve engel özelliklerinin mantıklı ve fiziksel olarak geçerli olması için sınırlandırmalar uygulanır.

Rastgele Veri Üretiminin Seçim Nedenleri

- **Gerçekçi Test Ortamları:** Rastgele veri üretimi, sistemin farklı görev bölgelerini ve değişen koşulları gerçek dünyaya uygun şekilde modellemesine olanak tanır. Farklı büyüklükteki engeller, çeşitli araç türleri ve karmaşık görev gereksinimleriyle sistemin esnekliği ve güvenilirliği test edilebilir. Gerçek dünyada görev bölgelerinde karşılaşılabilecek belirsizlikler ve çeşitlilikler simüle edilir.
- **Esneklik ve Çeşitlilik:** Rastgele veri üretimi, sistemin değişen koşullara hızlı uyum sağlayabilmesini ve farklı durumlarda optimum sonuçlar üretmesini test eder. Araç ve görev özelliklerindeki çeşitlilik, GA'nın geniş çözüm uzayını taramasına olanak tanır. Engel haritasındaki değişiklikler, rota planlama algoritmalarının farklı senaryolardaki başarısını ölçmek için kullanılır.
- **Performans Değerlendirme:** Rastgele veri üretimi, sistem performansını geniş bir veri seti üzerinde test etmeye olanak tanır. Bu, sistemin genel başarı oranını ve verimliliğini artırır. Rastgele veri ile yapılan testler, sistemdeki olası zayıf noktaları belirleme ve bunları geliştirme fırsatı sunar.

Rastgele Veri Üretiminin Avantajları

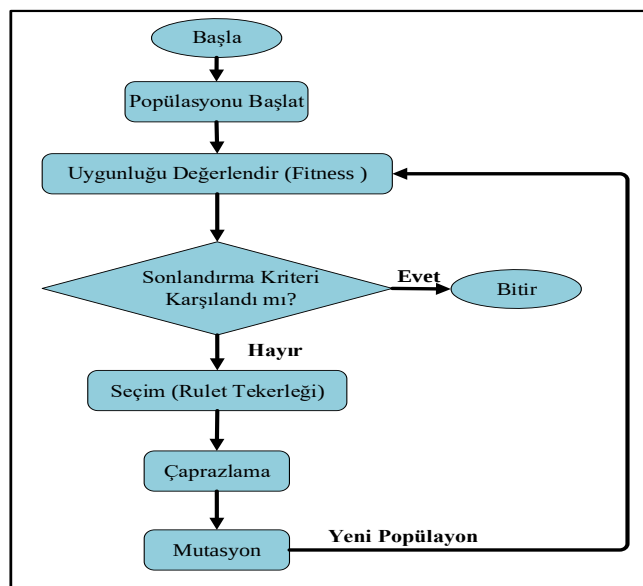
- **Kapsamlı Test Senaryoları:** Rastgele veri üretimi, sistemin farklı görev ve araç senaryolarına uygun şekilde çalışmasını sağlar. Bu yöntem, gerçek dünya operasyonlarını simüle etmenin en uygun yollarından biridir.
- **Optimize Edilmiş Çözüm Arayışı:** GA rastgele oluşturulan farklı veri setleri üzerinde çalışarak daha genel geçer çözümler üretir. Veri çeşitliliği, algoritmanın yerel optimumlara takılma ihtimalini azaltır.

- **Dinamik Veri Yönetimi:** Rastgele üretilen veriler, sistemin gerçek zamanlı olarak yeni görev ve araç özelliklerine uyum sağlayabilmesini test eder. Bu, sistemin esnekliğini artırır ve farklı durumlara hızlı yanıt verebilmesini sağlar.

Simple Genetic Algorithm (SGA):

Şekil 3.5’te adımları verilen SGA popülasyon tabanlı bir optimizasyon yöntemi olup şu adımlardan oluşur:

- **Popülasyon Başlatma:** Her birey, araçların görev eşleştirmesini temsil eden bir çözüm dizisidir. Başlangıç popülasyonu, rastgele çözümlerden oluşturulur.
- **Fitness Değerlendirme:** Her bireyin fitness değeri, belirli görev kriterlerine uygunluk açısından hesaplanır. Araçların özellikleri ve görev gereksinimleri arasındaki uyum, fitness fonksiyonları ile ölçülür.
- **Seçim (Selection):** Rulet çarkı yönteminde fitness değeri yüksek olan bireylerin seçilme olasılığı daha yüksektir. Bu yöntem, çözüm popülasyonunda daha iyi bireylerin yayılmasını sağlar.
- **Çaprazlama (Crossover):** İki birey arasındaki genetik materyalin karıştırılmasıyla yeni bireyler oluşturulur. Örneğin, hava araçlarının görev atama bilgisi bir bireyden alınırken, kara araçlarının bilgisi diğer bireyden alınır.
- **Mutasyon (Mutation):** Çeşitliliği artırmak için bireylerin genetik materyalinde küçük değişiklikler yapılır. Örneğin, bir aracın görev eşleşmesi rastgele bir başka görevle değiştirilir.
- **Sonlandırma Kriteri:** Algoritma, belirli bir fitness seviyesine ulaşıldığında veya maksimum iterasyon sayısına ulaşıldığında durdurulur.



Şekil 3.5. Genetik algoritma akış şeması

SGA'nın Seçim Nedenleri:

- **Basitlik ve Verimlilik:** SGA, optimize edilmiş ve karmaşık olmayan bir yapıya sahip olduğundan, farklı araç türleri için uygun çözüm üretme kapasitesine sahiptir.
- **Çözüm Uzayını Keşfetme Kabiliyeti:** SGA, çok boyutlu ve karmaşık problemleri geniş çözüm uzayını tarayarak etkili bir şekilde çözebilir.
- **Alternatiflere Göre Avantajları:**
 - Simulated Annealing: Tek bir çözüm üzerinde odaklanır, popülasyon tabanlı bir yapı sunmaz.
 - Tabu Search: Kısıtlı bir çözüm uzayında çalışır.
 - PSO: Daha çok süreklilik içeren problemler için uygundur.

Fitness Fonksiyonu Belirlenmesi

Fitness fonksiyonu, her aracın kendine özgü özelliklerinden ve çalışma alanı farklılıklarından dolayı bir formül üzerinden o araç türüne özgü parametreler kullanılarak formülize edilmiştir. Bunlar aşağıdaki gibidir:

- **Hava Araçları:** Hava araçları genellikle uzun menzil, yüksek hız ve belirli irtifalarda çalışma kapasitesine göre değerlendirilir. Bu özellikler, görev türüne uygunluğu belirlemek için Denklem (3.7)'deki fitness fonksiyonuna dahil edilir.

- **Uygunluk (Fitness) Fonksiyonu:**

$$\text{Fitness} = \frac{1000}{1+\Delta_{\text{firing_range}}} + \frac{500}{1+\Delta_{\text{range_km}}} + \frac{700}{1+\Delta_{\text{altitude}}} + \frac{300}{1+\Delta_{\text{speed}}} \quad (3.7)$$

$\Delta_{\text{firing_range}}$: Görevde ihtiyaç duyulan ile mevcut silah menzili arasındaki fark.

$\Delta_{\text{range_km}}$: Görev menzili ile hava aracının operasyonel menzili arasındaki fark.

Δ_{altitude} : Gereken ve mevcut irtifa arasındaki fark.

Δ_{speed} : Görevdeki minimum hız gereksinimi ile aracın hızı arasındaki fark.

- **Ek Kriterler:**

- **Gece Görüşü ve Kamera Var mı?** Bu özellikler görev türüne göre ekstra bir puan kazandırır.
- **Enerji Verimliliği:** Görev süresine göre enerji tüketimi analiz edilerek negatif bir ağırlık eklenebilir.

- **Kara Araçları:** Kara araçları için fitness fonksiyonu Denklem (3.8)'de yer aldığı gibi arazi uyumu, dayanıklılık ve hız gibi faktörlere göre değerlendirilir. Görev sırasında iletişim kabiliyeti ve silah kapasitesi gibi özellikler de önemlidir.

- **Uygunluk (Fitness) Fonksiyonu:**

$$\text{Fitness} = \frac{900}{1+\Delta_{\text{terrain_compatibility}}} + \frac{400}{1+\Delta_{\text{speed}}} + \frac{600}{1+\Delta_{\text{endurance}}} + \frac{200}{1+\Delta_{\text{comm_type}}} \quad (3.8)$$

$\Delta_{\text{terrain_compatibility}}$: Araç arazisi ile görev arazi türü arasındaki uyumsuzluk derecesi.

$\Delta speed$: Araç hızı ile görev gereksinimi arasındaki fark.

$\Delta endurance$: Dayanıklılık süresi ve görev süresi arasındaki fark.

$\Delta comm_type$: Araç iletişim türü (uydu, radyo, Wi-Fi) ve görevdeki gereksinim arasındaki uyum.

- **Ek Kriterler:**

- **Silah Kapasitesi:** Görevdeki tehdit seviyesine göre değerlendirilen bir çarpan eklenir.
- **Yakıt Tüketimi:** Görevin süresi ve yakıt tüketimi uyumluluğu negatif bir ağırlık olarak değerlendirilir.

- **Deniz Araçları:** Deniz araçları fitness fonksiyonu Denklem (3.9)'da gösterildiği gibi sonar ve radar kapasitesi gibi su altı ve yüzey görevlerine uygun özelliklere göre değerlendirilir. Ayrıca dalış derinliği ve hız gibi faktörler de önemlidir.

- **Uygunluk (Fitness) Fonksiyonu:**

$$Fitness = \frac{900}{1+\Delta sonar_range} + \frac{400}{1+\Delta radar_capability} + \frac{600}{1+\Delta speed} + \frac{200}{1+\Delta dive_depth} \quad (3.9)$$

$\Delta sonar_range$: Görevde ihtiyaç duyulan ve mevcut sonar menzili arasındaki fark.

$\Delta radar_capability$: Görevdeki radar gereksinimi ve aracın kapasitesi arasındaki fark.

$\Delta speed$: Görevdeki hız gereksinimi ile aracın hızı arasındaki fark.

$\Delta dive_depth$: Görev için gerekli maksimum dalış derinliği ve aracın kapasitesi arasındaki fark.

- **Ek Kriterler:**

- **Enerji Tüketimi:** Deniz görevlerinde enerji verimliliği kritik olduğundan, enerji tüketimi negatif bir faktör olarak değerlendirilir.
- **Silah Kapasitesi:** Görev türüne bağlı olarak ekstra bir ağırlık eklenebilir.

Uygunluk (Fitness) Fonksiyonlarının Ayrı Ayrı Tasarlanmasının Avantajları

- **Görev ve Araç Uyumu:** Her araç tipi, görev gereksinimlerine özgü kriterlerle değerlendirildiğinden, daha hassas bir optimizasyon sağlar.
- **Performans Artışı:** Her araç tipi için optimize edilmiş kriterler kullanıldığında, genel görev başarı oranı artar.
- **Genetik Algoritma Performansı:** Daha iyi tasarlanmış fitness fonksiyonları, genetik algoritmanın çözüm uzayını daha verimli bir şekilde taramasını sağlar.
- **Esneklik ve Dinamiklik:** Yeni görev türleri veya araç özellikleri eklendiğinde, her araç için fitness fonksiyonunu ayrı ayrı güncelleyerek sisteme kolayca entegre edilebilir.

Filtreleme Mantığı

Filtreleme mantığı, GA'nın çözüm uzayını optimize ederek daha verimli çalışmasını sağlar. Bu yöntemle gereksiz bireyler elenir ve algoritmanın sadece görev gereksinimlerine uygun bireyler üzerinde çalışması sağlanır. Bu süreç, algoritmanın hızını artırırken, daha isabetli sonuçlar üretmesine olanak tanır.

Filtreleme Nedenleri

- **Performans Artışı:** Gereksiz bireylerin elenmesi, algoritmanın daha az çözüm üzerinde çalışmasını sağlar ve performansını artırır.
- **Hızlı Çözüm Üretimi:** Filtreleme sayesinde algoritmanın çalışma süresi kısaltılır ve daha hızlı sonuçlar elde edilir.
- **Görev Uygunluğu:** Sadece görev gereksinimlerini karşılayan bireylerin algoritma sürecine dahil edilmesi, daha isabetli çözümler üretir.
- **Kaynak Yönetimi:** Algoritma, sistem kaynaklarını daha verimli kullanır ve gereksiz hesaplama yükünden kaçınılır.

Kullanıcı Etkileşimi ve Görselleştirme

Şekil 3.6’da Grafikselsel Kullanıcı Arayüzü (GUI) ile sistem kolayca kontrol edilebilir, görev bölgeleri inceleyebilir ve sonuçlar görselleştirebilir.

Araç Seçim Optimizasyonu - GA (Costmap + Enflation + Silah Türü & Özellikler & Parametreler)

İhtiyaç Duyulan Araç Adetleri

Hava (Air): 3 Kara (Land): 0 Deniz (Sea): 0

Rastgele Araç Oluştur (Adet x10)

Engel Ekle / Sil

cx: cy: radius: Ekle

(10,28), r=6
(15,62), r=3
(96,88), r=2
(47,100), r=7

Seçili Engeli Sil

Rastgele Engel Ekle

Engel Sayısı: 15 Maks. Yarıçap: 7 Rastgele Engel Ekle

Hedefler ve Görev Bilgileri

Hava (x,y): 20 20

Kara (x,y): 50 50

Deniz (x,y): 80 80

Mission Type: night Terrain: çamur Weather: sisli

Duration (saat): 2 Priority: Acil Rutin

Silah Türü ve Özel Özellik Seçimleri

Hava Aracı

Silah Türü: basic_gun Kamera Gece Görüşü

Kara Aracı

Silah Türü: tank_gun

Arazi Tipi: arazi Haberleşme Türü: radio

Deniz Aracı

Silah Türü: torpedo_launcher Radar Sonar

Min Parametreler (firing_range, range, endurance, vs.)

Hava -> Min Firing: 10 Min RangeKM: 100 Min Endurance: 5 Min Altitude: 2000

Kara -> Min Firing: 5 Min RangeKM: 50 Min Endurance: 2 Min Wheels: 4

Deniz -> Min Firing: 10 Min RangeKM: 100 Min Endurance: 5 Min Depth: 20

Optimize Et (GA) Harita - Air Harita - Land Harita - Sea

--- Seçilen Hava Araçları ---

ID=414 Fit=452.40
weapon_type=basic_gun, firing_range=239, range_km=1422, endurance_hrs=8.11, max_alt=10328, camera=True, night_visi
on=True, pos=(22,57)

ID=414 Fit=452.40
weapon_type=basic_gun, firing_range=239, range_km=1422, endurance_hrs=8.11, max_alt=10328, camera=True, night_visi

Şekil 3.6. Grafikselsel kullanıcı arayüzü

3.2.4. Simülasyon Ortamının Oluşturulması

Adım 1: Engel Haritası ve Gösterimi

- Görev bölgelerindeki fiziksel engeller, haritada gri tonlarla görselleştirilir.
- **Enflasyon Alanları:** Engellerin çevresindeki maliyet artışı, harita üzerinde farklı gri tonlarıyla gösterilir.

Adım 2: Araçlar ve Görev Noktaları

- **Araç Gösterimi:** Hava araçları, kara araçları ve deniz araçları, farklı renklerdeki simgelerle haritada gösterilir.
- **Görev Noktaları:** Görevlerin konumları harita üzerinde işaretlenir ve görev türüne göre farklı semboller kullanılır (ör. keşif, saldırı, lojistik).

Adım 3: Seçilen Rotalar ve Sonuçlar

- **Rota Çizimi:** Görev bölgelerine giden araç rotaları, farklı renklerdeki çizgilerle gösterilir.
- **Sonuç Görselleştirmesi:** Görevlerin tamamlanma durumu ve araç performansı detaylı bir şekilde sunulur (ör. tamamlanma süresi, başarı oranı).

Adım 4: Dinamik Güncellemeler

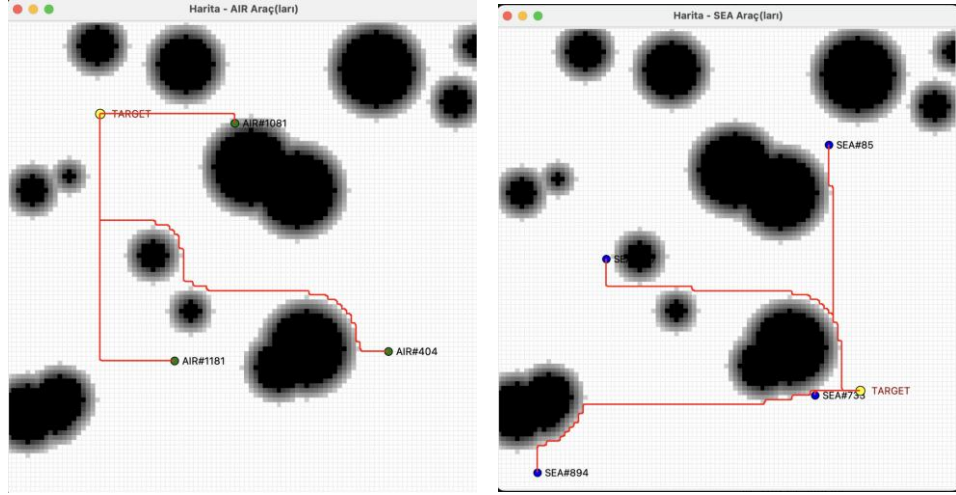
- Kullanıcılar yeni görev veya araç eklediğinde harita anında güncellenir ve ilgili bölgeler yeniden hesaplanır.

3.2.5. Deneysel Sonuçlar

Bu bölümde, GA tabanlı görev atama ve rota optimizasyon sisteminin performansını detaylı bir şekilde analiz etmek için gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sunulmuştur. Çalışmalar, sistemin etkinliğini farklı görev türlerinde, çevresel koşullarda ve araç tiplerinde değerlendirerek kapsamlı bir şekilde ortaya koymayı hedeflemiştir.

Senaryo 1: Yoğun Engel Ortamı

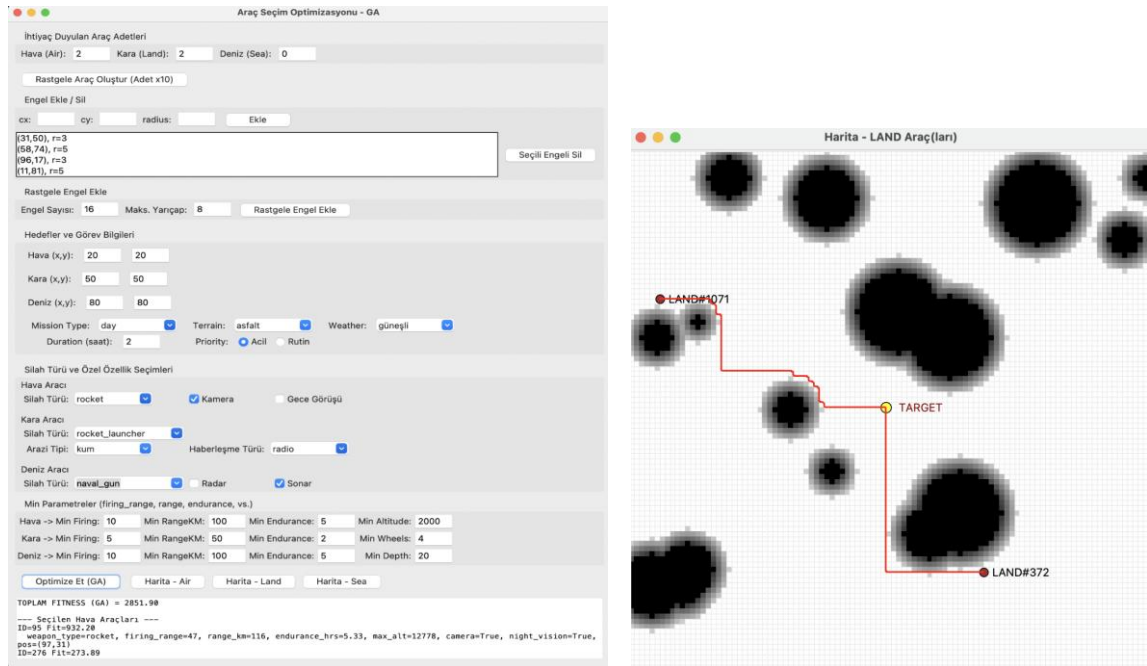
Şekil 3.7’de gösterilen çalışmanın amacı farklı araç türlerinin yoğun engel ortamında engellerden kaçınma ve güvenli rota planlama yeteneklerini değerlendirmek. Engel yoğunluğu rastgele artırıldı ve enflasyon yarıçapı genişletildi. Araçların çarpışma risklerini en aza indirmek için costmap tabanlı rota planlama algoritması kullanıldı. Hava araçlarının yüksek hız ve manevra kabiliyeti sayesinde karmaşık engel yapılarını aşmada üstünlük sağladı. Deniz araçları sonar ve radar teknolojileri, engelleri önceden algılayarak çarpışma riskini %30 oranında azalttı. Sonuç olarak engellerin yoğun olduğu ortamlarda araçların çarpışma riski başarılı bir şekilde azaltıldı ve görev süreleri optimize edildi.



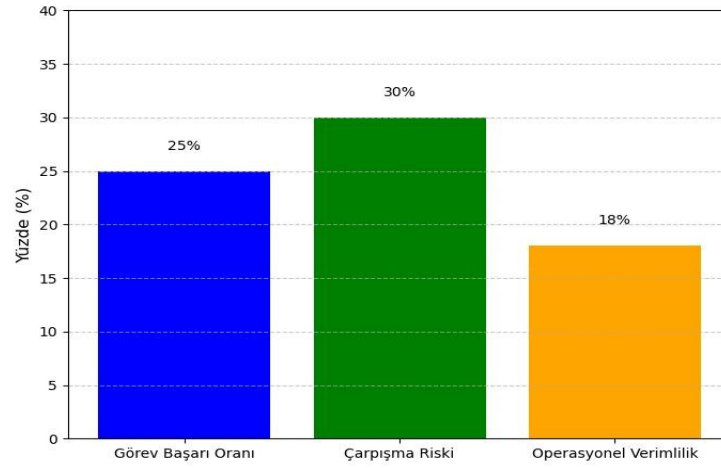
Şekil 3.7. Senaryo sonrası optimizasyonla seçilen araçların rotası ve haritalaması

Senaryo 2: Dinamik Görev Atama

Şekil 3.8’de gösterilen çalışmanın amacı görev önceliklerinin değiştiği durumlarda sistemin en uygun aracı atama kabiliyetini test etmek. Görevler arasında öncelik sıralaması rastgele değiştirildi. Sistem, değişen önceliklere göre araç tahsisini gerçek zamanlı olarak optimize etti. Hava araçları hızlı reaksiyon süresiyle acil görevlerde başarı sağladı. Kara araçları yüksek dayanıklılığı ve uzun görev süreleriyle rutin görevlerde üstün performans gösterdi. Görev başarı oranı %25 oranında artırıldı. Sistem, acil görevlerde zaman kaybını en aza indirdi.



Şekil 3.8. Parametre giriş ve optimizasyon ekranı ve optimizasyon için seçilen parametreler sonrası seçilen kara araçlarının rotası ve haritalaması



Şekil 3.9. Görev başarı oranı, çarpışma riski, operasyonel verimlilik iyileşmelerini gösteren grafik

Şekil 3.9’da gösterilen görev başarı oranındaki %25’lik artış, araçların görev türüne uygun atamalarla sağlanan yüksek uyumun bir sonucudur. Çarpışma riski, engel yoğunluğu yüksek ortamlarda %30 oranında azaltılmıştır. Bu durum, costmap tabanlı rota planlama algoritmasının etkinliğini göstermektedir. Genel operasyonel verimlilikte %18 oranında bir artış gözlemlenmiştir. Heterojen araç gruplarının etkin koordinasyonu, bu artışta önemli bir faktör olmuştur. Çarpışma riskindeki azalma, görev başarı oranındaki artış ve operasyonel verimlilikteki kazançlar, sistemin çok boyutlu performansını ortaya koymaktadır. Deneysel sonuçların ayrıntılı olarak karşılaştırılması Tablo 3.8’de yer almaktadır.

Tablo 3.8. Deneysel sonuçların tablo halinde değerlendirilmesi

Kriter	Değer	Açıklama
Görev Başarı Oranı Artışı	%25	Optimizasyon sistemi sayesinde, görev atama ve rota planlama süreçlerinde uygun araç seçimi yapılması, görevlerin başarı oranını %25 oranında artırmıştır. Bu artış araçların görev gereksinimlerine daha uygun atanmasıyla elde edilmiştir.
Çarpışma Riskinde Azalma	%30	Costmap tabanlı yol bulma algoritması, engellerin çevresindeki güvenli alanları belirleyerek, çarpışma riskini %30 oranında azaltmıştır. Enflasyon yarıçapı yöntemi, engel yoğun bölgelerde güvenliği artırmıştır.
Genel Operasyonel Verimlilik	%18	Dinamik görev atama ve rota optimizasyonu ile operasyonel süreçler daha verimli hale getirilmiştir. Bu iyileştirme, görev sürelerinin kısaltılması, kaynak kullanımının optimize edilmesi ve araç performansının artırılmasıyla sağlanmıştır.
Hava Araçlarının Performansı	Yüksek	Hava araçları, uzun menzilli keşif görevleri ve yüksek öncelikli operasyonlarda üstün performans göstermiştir. Bu araçlar, geniş operasyonel menzil ve gece görüş yetenekleriyle görev başarısına önemli katkılar sağlamıştır.
Kara Araçlarının Performansı	Dayanıklı	Kara araçları, özellikle zorlu arazi koşullarında yüksek dayanıklılık göstermiştir. Araziye uyumlu tekerlek yapısı ve uzun görev sürelerine uygun tasarımı sayesinde operasyonel zorluklar başarıyla aşılmıştır.
Deniz Araçlarının Performansı	Etkili	Deniz araçları, radar ve sonar gibi özel donanımları sayesinde su altı ve yüzey görevlerinde etkili sonuçlar elde etmiştir. Bu araçlar, yüksek hassasiyetle denizaltı tarama ve keşif operasyonlarını başarıyla gerçekleştirmiştir.

3.2.6. Sonuç

Bu çalışmada, hava, kara ve deniz araçlarının görev planlama ve rota optimizasyonu için GA tabanlı bir sistem geliştirilmiş ve çeşitli test senaryolarında sistemin performansı detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Çalışma hem teorik hem de pratik açıdan önemli katkılar sağlamıştır. Geliştirilen sistem, görev atama ve rota optimizasyonu konularında etkili bir çözüm sunmuştur. Özellikle karmaşık görev ortamlarında araçların görev gereksinimlerine uygun şekilde seçilmesi, operasyonel başarı oranını artırmıştır.

Sistem görev önceliklerinin değiştiği dinamik görev atama durumlarında araçları en uygun şekilde atayarak adaptif bir yapı sergilemiştir. Arazi ve çevresel koşullara bağlı olarak araç özellikleri optimize edilmiştir. Sistem, yoğun engel ortamlarında ve farklı çevresel koşullarda yüksek başarı göstermiştir. Costmap tabanlı algoritma, engellerin çevresindeki güvenli alanları belirleyerek çarpışma riskini minimuma indirmiştir. Çevresel koşullarda çamurlu, taşlık veya dalgalı ortamlar gibi zorlu koşullarda araçların dayanıklılığı test edilmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Kaynak sınırlı görevlerde, enerji tasarrufu sağlayarak görev sürekliliği sağlanmıştır. Bu durum, özellikle uzun süreli keşif görevlerinde sistemin etkinliğini artırmıştır. Deniz araçları, sonar ve radar teknolojileriyle enerji tasarruflu keşif yapmıştır. Hava araçları, enerji verimliliği sağlayan rota planlaması ile uzun mesafeli görevlerde başarı sağlamıştır. Böylece GA'nın çok disiplinli uygulama potansiyelini göstermiştir. Özellikle görev atama ve optimizasyon alanında yeni yaklaşımlar geliştirilmesine olanak tanımıştır. Otonom araçların savunma, lojistik ve keşif gibi alanlarda etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir. Bu hem operasyonel maliyetlerin düşürülmesi hem de güvenlik seviyesinin artırılmasında önemli bir adım olmuştur.

Geliştirilen GUI, kullanıcıların sistemi kolayca kontrol etmesini ve sonuçları görselleştirmesini sağlamıştır. Kullanıcı arayüzü üzerinden engel haritası oluşturulmuş, görev noktaları belirlenmiş ve araç rotaları görselleştirilmiştir. Farklı araç türleri ve görev türleri için optimize edilmiş sonuçlar anlık olarak analiz edilmiştir.

Sistemin daha da geliştirilmesi için gelecekteki çalışmalarda:

- Makine Öğrenimi Entegrasyonu: GA'ların yanı sıra, makine öğrenimi modelleriyle daha adaptif ve dinamik görev atama algoritmaları geliştirilebilir.
- Gerçek Zamanlı Veri Kullanımı: Simüle edilen veri yerine gerçek görev senaryolarında sistem test edilebilir ve performansı ölçülebilir.
- Heterojen Araçların İletişimi: Araçlar arası iletişim ve koordinasyon mekanizmalarının geliştirilmesi, çoklu araç operasyonlarının verimliliğini artırabilir.
- Ek Modüller: Sisteme çevresel sensör verilerinin doğrudan entegrasyonu sağlanarak, daha karmaşık ve zorlu senaryolar test edilebilir.

Bu sonuçlar, sistemin mevcut haliyle güçlü bir görev planlama ve optimizasyon aracı olduğunu ortaya koyarken, gelecekteki çalışmalar için bir rehber niteliği taşımaktadır.

4. HETEROJEN ÇOKLU İNSANSIZ ARAÇLAR İÇİN KUANTUM HESAPLAMA TABANLI İŞBİRLİKÇİ OPTİMUM GÖREV TAHSİSİ YAKLAŞIMI

Günümüzde gelişen otonom sürüş teknolojileriyle insansız araçlar İHA, İKA, İDA insan müdahalesi olmadan istenilen hedefe otonom olarak ulaşmaktadır. Ancak bu araçların çoklu olarak koordinasyonu için etkili ve verimli yöntemlerin geliştirilmesi gerekmektedir. Kuantum bilişim, doğası gereği klasik bilgisayarlardan çok daha fazla potansiyele sahiptir. Bu çalışmada, otonom ulaşım insansız araçlarının işbirlikçi ve tam otonom bir şekilde görev atayabilmesini sağlamak için bir kuantum-klasik hibrit sistem önerilmiştir. Yollarda seyreden kara araçları ile denizlerde seyreden deniz araçlarının kısıtları çalışmada dikkate alındığından, probleme literatürdeki yaygın çalışmalara göre farklı bir bakış açısıyla yaklaşmıştır. Öncelikle sıralama işlemlerinde kullanılan QEA algoritması probleme uyarlanmıştır. Uyarlanan yöntemde performansını artırmak için iyileştirmeler yapılmıştır. Daha sonra, bu yöntemi kuantum-klasik hibrit olarak çalıştırmak için bir çerçeve önerilmiştir. Önerilen kuantum-klasik hibrit yöntemine, parametreleri ve çözüm güncelleme denklemlerini öğrenmede avantajlar sunarak önemli katkılarda bulunulmuştur. Sorun, klasik GA, QEA ve önerilen yöntem kullanılarak çözülmüş ve çözüm performansları karşılaştırılmıştır. Önerilen yöntemin QEA'dan üstün olduğu ve GA tarafından üretilenlere çok yakın sonuçlar ürettiği gözlemlenmiştir. Deneysel sonuçlar önerilen yöntemin etkinliğini doğrulamıştır. Yöntemi kuantum-klasik hibrit olarak uygulamak, çözümü kuantum ortamında gerçekleştirme hedefine bir adım daha yaklaştırmıştır.

4.1. Giriş

Günümüzde otonom sürüş teknolojileriyle daha akıllı hale gelen insansız araçların kullanımı yaygınlaşmıştır [114]. Otonom araçlara görev atandığında, insan müdahalesi olmadan rotayı otomatik olarak takip ederek belirtilen yere ulaşabilmektedir [115]. Araçlar otonom olarak hareket edebilmelerine rağmen, birden fazla araç için tam otomasyonlu bir sistemde, görevlerin bir bilgisayar tarafından da atanması gerekmektedir [116], [117].

Literatürde, araç-görev optimizasyonunu sağlamak için çeşitli çalışmalar yürütülmüştür. Bu alandaki yakın tarihli bir çalışmada, depremden sonra arama ve kurtarma operasyonları için dronların koordinasyonu odak noktasıydı. PSO ve GWO'nun hibrit yaklaşımı kullanılarak bir çözüm önerildi [44]. Başka bir çalışmada, iletişimi sürdürme ve çarpışmaları önleme gibi faktörleri göz önünde bulundurarak tüm İHA'ların aynı yere ulaşması ihtiyacı ele alındı. Bu çalışmada kapsamlı öğrenme-dinamik çoklu sürü parçacık sürüşü optimizasyonu (CL-DMSPSO) yöntemi önerildi ve iyileştirmeler sağlandı [118]. Başka bir çalışmada, hava ve kara araçları arasındaki

işbirliğini inceleyerek hava araçlarının diğer araçlarla işbirliğinin önemini vurguladı [119]. Birden fazla İHA kullanılarak işbirlikli gözetleme için Q-öğrenme (Q-Learning, QL) tabanlı bir yönlendirme protokolü önerildi. Bu yöntem, enerji gereksinimlerini karşılamak için İHA takası için senaryolar uyguladı [120]. Başka bir çalışmada, İHA'ların keşif kullanımı için ızgara tabanlı bir yöntem önerilmiştir. Çalışmanın gücü, birden fazla İHA ile merkezi olmayan, işbirlikçi yürütülmesinde yatmaktadır [121]. Başka bir araştırma, ACO kullanarak birden fazla görevi idare edebilen bir İHA sürüsü için görev atama ve rota planlamasına odaklanmıştır [122].

ACO algoritmasını kullanan farklı bir çalışmada, odak insansız kara araçlarının hareket planlaması üzerineydi. Hareket planlamasının, yapay potansiyel alan algoritmasına kıyasla bir çözüme daha hızlı yakınsadığı bildirildi [123]. Başka bir çalışmada, birden fazla İHA'nın kendi kendini organize etmesi, görev tahsisi ve görev dizisi oluşturması için Q-öğrenme tabanlı ACO kullanıldı [124]. Başka bir çalışmada, çoklu İHA sistemlerinde İHA'ların dinamik görev iptali ve yeniden organizasyonu, yeni bir görev ortaya çıktığında optimize edildi. Senaryolar, İHA'ların geleneksel yöntemlere kıyasla %5,4 daha az mesafe kat ettiğini gösterdi [125]. Literatürün genel bir incelemesi, çalışmaların ağırlıklı olarak birden fazla İHA'ya odaklandığını veya tek bir araç türünü içerdiğini ve problem çözme yaklaşımlarının çalışmamızdan farklı olduğunu göstermektedir. Genel olarak, kaba kuvvet algoritmaları kullanan görev tahsisi çalışmaları $O(n \times m)$ karmaşıklık sergiler; burada n araç sayısı ve m görev sayısıdır. Bu karmaşıklık, literatürde görüldüğü gibi [126], [127], [128], [129], [130] optimizasyon algoritmalarının kullanımını teşvik eder.

Öte yandan, kuantum hesaplama yalnızca potansiyel hız avantajları sunmakla kalmaz, aynı zamanda kuantum mekaniğinin uyarlanması yoluyla klasik optimizasyon algoritmalarının geliştirilmesine de yol açar. Daha genel olarak, kuantum hesaplama ile ilgili çalışmalar üç ana gruba ayrılabilir: kuantumdan esinlenen, hibrit kuantum ve saf kuantum yöntemleri [131]. Kuantum bilgisayarlar düşük maliyetle yüksek hesaplama gücü sağlama potansiyeline sahiptir. Ancak, saf kuantum algoritmaları geliştirmek oldukça zordur çünkü özel uzmanlık gerektirir [132]. Hibrit kuantum algoritmaları bu hız avantajından yararlanmanın sınırlı bir yolunu sunar [133]. Kuantumdan esinlenen algoritmalarda, kuantum mekaniği klasik algoritmalara ilham vermiştir. Bu algoritmalar kuantum bilgisayarlarının hızından yararlanmasa da, artırılmış keşif ve yakınsama hızı gibi farklı yaklaşımlarla iyi çözümlere ulaşmada faydalı olabilirler [134]. Günümüzde, kuantum algoritmalarının kullanımı makine öğrenimi, doğal dil işleme, kriptografi ve arama optimizasyonu problemlerinde görülebilir [135], [136], [137], [138], [139].

Bu çalışmada, İHA, İKA ve İDA araçlarından oluşan heterojen sürüler, otonom araçların görev atama süreçlerini otonom olarak yönetmek üzere ele alınmıştır. Araç-görev ataması için kuantum-klasik bir hibrit sistem önerilmiştir. Önerilen sistem bir kuantum devresi içermektedir. Her araç için oluşturulan görev matrisleri, her araç için en uygun rota planlamasını üretmek üzere bu kuantum devresi aracılığıyla işlenir. Bu yaklaşım, geleneksel QEA'lardan daha hızlı, daha işbirlikçi ve daha

etkili bir sistem üretmeyi amaçlamaktadır. Ek olarak, başlangıçta sıralama için kullanılan bir QEA algoritması, araç-görev ataması problemine uyarlanmıştır. Bu uyarlanmış QEA algoritması, önerilen kuantum-klasik hibrit yaklaşımla benzer şekilde çalışacak şekilde uygulanmıştır ve GA, QEA ve önerilen yöntem arasında daha adil bir karşılaştırmayı kolaylaştırmaktadır. Ana motivasyonumuz, görev tahsisi gibi karmaşık bir optimizasyon sürecinin kuantum ortamında gerçekleştirilmesinin önünü açmaktır. Bu çalışmanın temel avantajları aşağıdaki gibi özetlenmiştir:

- Çalışma, insansız araçlar için etkili görev ataması sağlayan yeni bir kuantum-klasik hibrit yaklaşımla işbirliği sağlamaya odaklanmaktadır.
- Literatürdeki diğer kuantum tabanlı çalışmalardan farklı olarak, tek bir araç tipi yerine, birden fazla araç tipi (hava, kara ve deniz araçları) ele alınmıştır.
- Sıralama problemleri için uygun olan QEA algoritması, heterojen çoklu araç görev atama problemleri için uyarlanmış ve iyileştirilmiştir.
- İyileştirilmiş QEA'yı hibrit olarak uygulamak için kuantum-klasik hibrit bir çerçeve önerilmiştir.
- Çalışma, kuantum-hibrit bir yöntem sağlayarak kuantum ortamında farklı tipteki insansız araçların görev atama problemini çözmek için öncü bir çalışmadır.

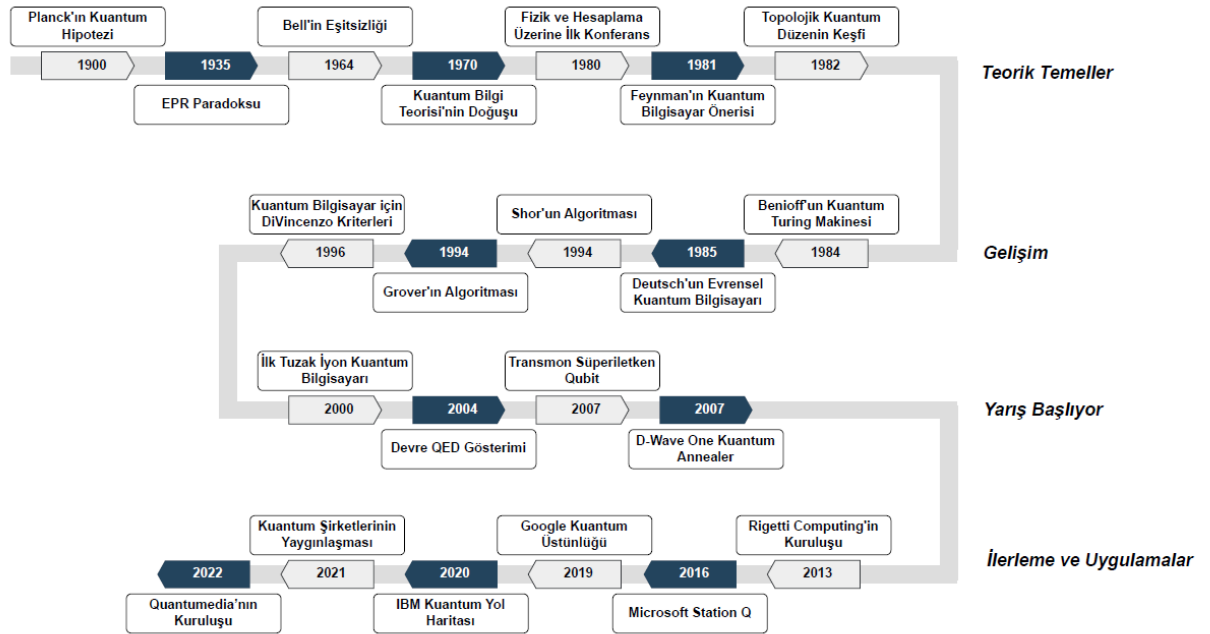
4.2. Kuantum Hesaplama

Kuantum hesaplama, süper-pozisyon ve dolanıklık gibi kuantum mekanikleri üzerine kurulu bir hesaplama biçimidir. Klasik (ikili) hesaplama göre farklı kavramlara ve olgulara sahip olan kuantum hesaplama, kendine özgü kapılara ve mantığa sahiptir. Kuantum hesaplamada, doğası gereği ve kullanılan temel kapılar nedeniyle algoritma geliştirmek için klasik hesaplamadan çok farklı bir mantık geliştirmek gereklidir. Klasik hesaplama ile kuantum hesaplama arasındaki farklar Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Klasik hesaplama ve kuantum hesaplama karşılaştırması

Ölçek	Klasik hesaplama	Kuantum hesaplama
Temel birim	Bit (0 veya 1)	Kuantum-bit (Kübit)
Veri temsili	İkili temsil (0'lar, 1'ler)	Süper-pozisyon (0, 1 veya her ikisinde)
İşletim	Sıralı işletim	Paralel işletim
İşlemler	Klasik mantık kapıları (AND, OR, NOT, vb.)	Kuantum kapılar (Hadamard, CNOT, Toffoli vb.)
Algoritma tasarımı	Deterministik algoritma	Olasılıksal algortima
Ölçüm	Deterministik ve kesin sonuç	Olasılıksal ve olasısksal sonuç
Hız	Klasik bitlerin sayısı ile sınırlı	Belirli uygulamalarda exponansiyel hız potansiyeli

Kuantum hesaplama, kuantum mekanikleri sayesinde düşük enerji kullanımı, yüksek hesaplama kapasitesi ve yüksek hız gibi potansiyel avantajlar sunmaktadır. 1980’lerde ortaya atılan kuantum hesaplama kavramı [140], 1985’li yıllarda genel amaçlı kuantum bilgisayarların geliştirilmesiyle 2000’li yıllara kadar seyrek olarak çalışmıştır [141], [142]. 2000’li yıllardan sonra kuantum hesaplama alanında çalışmalar hız kazanarak günümüzde devam etmektedir. Son yıllardaki kuantum hesaplama ile ilgili yapılan çalışmalarla hesaplama yöntemleri arasında klasik yöntemleri geride bırakacak potansiyeli olduğu ortaya çıkmıştır. Özetle kuantum hesaplama gün geçtikçe iyileşmeye ve gelişmeye dolayısıyla önem kazanmaya devam etmektedir. Kuantum hesaplamanın gelişimini bir zaman çizelgesi formatında Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Kuantum hesaplamanın gelişimi

4.2.1. Kuantum Hesaplamanın Avantajları Dezavantajları

Bu başlık altında kuantum hesaplamanın avantajları ve dezavantajları belirtilmiştir.

Avantajlar:

- **Paralel İşlem:** Çalıştırılan kuantum algoritmanın paralel işlem yeteneğine göre tasarlanmasıyla, problemlerin daha hızlı bir şekilde çözüme ulaştırılması sağlanır.
- **Geniş Uygulama Alanı:** Kuantum hesaplama, sunduğu avantajlar sayesinde birçok alanda potansiyel olarak kullanılabilir. Günümüzdeki akademik çalışmalarda ilaç, sağlık, finans, karar-alma gibi birçok alanda kullanılabilir uygulamalar önerilmektedir.

- **Kübitler:** Klasik bitlerin aksine kübitler daha fazla bilgi depolayabilir ve daha fazla hesaplama için kullanılabilir. Bu sayede bitlerin daha fazla olarak bellek ve zaman tasarrufu sağlar.

Dezavantajlar:

- **Sınırlı Sayıda Kübit:** Günümüzdeki kuantum bilgisayar sınırlı kübit sayılarına sahiptir. Bu sebeple bazı gerçek dünya problemleri için yeterli olmayabilir.
- **Kübit Dekoheransı:** Kübitler çevrelerine karşı son derece hassastır ve küçük bir işlem hatası bile kübit özelliklerini kaybetmelerine neden olabilir. Bu durum kübitte bulunan bilginin bozulmasına sebep olur.
- **Yüksek Hata Olasılığı:** Günümüzdeki kuantum bilgisayarlar Noisy-intermediate scale (NISQ) seviyesindedir. Bu bilgisayarlar kullanılan kübit sayısı ve devre derinliğine bağlı olarak hata olasılıkları artar. Günümüz NISQ makinelerinin gürültülü olmalarından kaynaklı olarak büyük bir dezavantaj olarak görülmektedir.

4.2.2. Kuantum Hesaplamanın Temel Kavramları

Kübitler

Klasik hesaplama bit kavramı, kuantum hesaplama karşılığı kuantum-bit(kübit) olarak adlandırılmaktadır. Klasik hesaplama doğası gereği deterministiktir ve bu nedenle kesin olarak 0 değerinde veya kesin olarak 1 değerinde bulunabilir. Kübitlerde ise kuantum hesaplamanın olasılıksal doğası gereği kesin olarak 0 veya 1’de bulunmaz. Belirli ihtimallerde 0 veya 1 değerinde bulunabilir. Kübitlerin temsili için bra-ket (Dirac) notasyonu veya bloch spere notasyonu kullanılmaktadır [143] .

Bra-ket(Dirac) Notasyonu

Bra-ket notasyonu, 1939 yılında Paul Dirac [144] tarafından kübitlerin gösterimi için önerilmiştir. Bu gösterimde kübitler olasılıksal olmaları sebebiyle sonsuz boyuttaki Hilbert ikili uzayında gösterilir [145]. Bu notasyonda $|0\rangle$ ve $|1\rangle$ kübitlerinin gösterimi Denklem (4.1)’de, herhangi bir kübit olan $|\psi\rangle$ kübitinin gösterimi Denklem (4.2)’de verilmiştir.

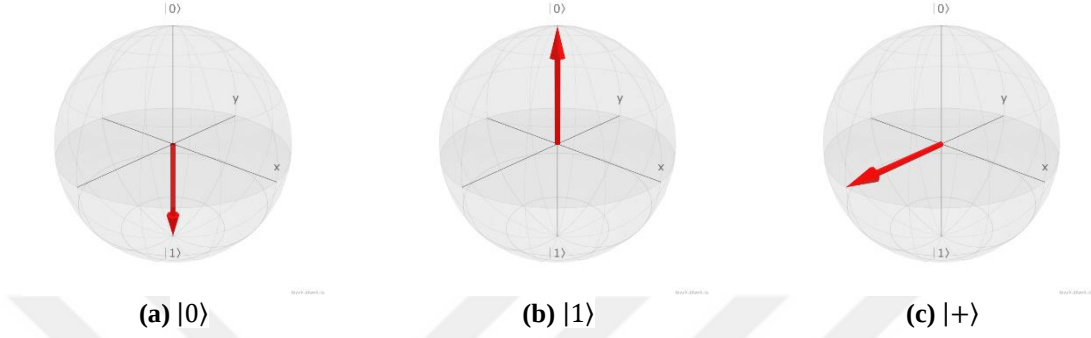
$$\begin{aligned} |0\rangle &= 1|0\rangle + 0|1\rangle \rightarrow \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \\ |1\rangle &= 0|0\rangle + 1|1\rangle \rightarrow \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (4.1)$$

$$|\psi\rangle = \begin{bmatrix} c_0 \\ c_1 \end{bmatrix}, |0\rangle = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}, |1\rangle = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

$$|\psi\rangle = c_0 \cdot |0\rangle + c_1 \cdot |1\rangle, \text{ burada } c_0^2 + c_1^2 = 1$$

Bloch Küresi Notasyonu

Bu notasyon ile kubitlerin kuantum durumları matematiksel olarak gösterimidir. Kuantum durum küre içerisinde görsel olarak görülebilir. $|0\rangle$, $|1\rangle$ ve $|+\rangle$ kubitlerinin bloch küresi notasyonu ile gösterimi Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. Bloch küresi notasyonu gösterimi

Süper-pozisyon

Kuantum hesaplamada kubitlerin süper-pozisyon özelliği mevcuttur. Bu özellik sayesinde kubitler herhangi bir değerde bulunabilir. Klasik hesaplamada n -bitlik bir sistemde 2^n ’lik bir kombinasyonel uzaydaki tek bir değere sahip olabilir. Kuantum hesaplamada ise n -kubitlik bir sistemde sonsuz bir uzaydaki herhangi bir değere sahip olabilirken, sadece kubitlerin çökme durumunda 2^n ’lik bir kombinasyonel uzaydaki tek bir değere sahip olur. Kuantum algoritma ve devrelerde bir kübiti süper-pozisyon durumuna geçirmek için Hadamard kapısı kullanılır. Başlangıç değeri 0 olan bir kubitin Hadamard kapısı uygulandığı devre Şekil 4.3.(a)’da, kubitin bloch küresi gösterimi Şekil 4.3. (b)’de gösterilmiştir. Bu işlemin bra-ket notasyonu ile gösterimi Denklem (4.3)’te verilmiştir.



Şekil 4.3. Süper-pozisyon, (a)bir kübiti süper-pozisyona geçiren devre, (b) süper-pozisyon durumundaki kubitin bloch küresi gösterimi

$$|\psi\rangle = H|0\rangle = H \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \xrightarrow{\text{bra-ket}} \frac{|0\rangle + |1\rangle}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + |1\rangle) \quad (4.3)$$

Dolanıklık

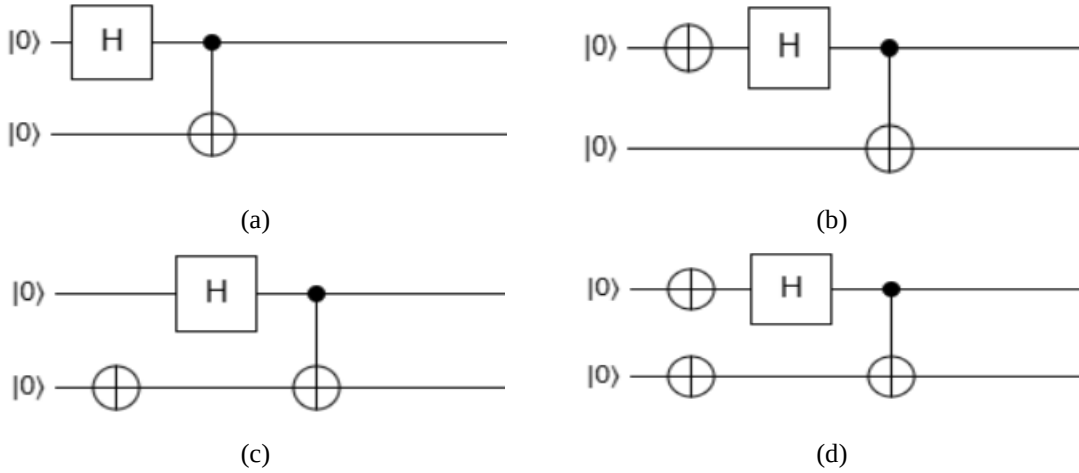
Klasik hesaplamada bir bitin değeri başka bir bitin değerinden farklı olarak değişebilir, bir bit başka bir bitin durumundan etkilenmez. Kuantum hesaplamada kubitler, birbirlerinin durumundan etkilenebilir. Bir kubitin kuantum durumu, başka bir kubitin kuantum durum olasılığını değiştirebilir. Dolanıklık durumu [146], [147] en az 2 kubitte gerçekleştirilebilir. Kubitlerin dolanık hale getirilebilmesi için en az 1 tanesinin süper-pozisyon durumunda olması gerekmektedir. 2-kubitlik bir sistemde dolanık özellikler gösteren ve ayrılabilir durumlar halinde yazılamayan belirli durumlar vardır. Bu durumlar Denklem (4.4)'ten Denklem (4.7)'ye kadar verildiği gibidir. Bu denklemlerin devre karşılıkları Şekil 4.4'te verilmiştir.

$$|\phi^+\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle) \quad (4.4)$$

$$|\phi^-\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle - |11\rangle) \quad (4.5)$$

$$|\psi^+\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle + |10\rangle) \quad (4.6)$$

$$|\psi^-\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle - |10\rangle) \quad (4.7)$$



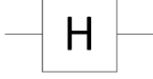
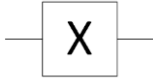
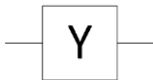
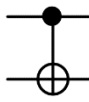
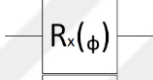
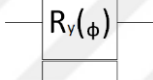
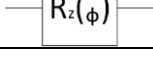
Şekil 4.4. İki-kübitlik dolanık kuantum sistemler (bell durumları), (a) $|\phi^+\rangle$ durumu, (b) $|\phi^-\rangle$ durumu, (c) $|\psi^+\rangle$ durumu, (d) $|\psi^-\rangle$ durumu

Kuantum Kapılar

Bir kuantum devre veya algoritma geliştirilirken, klasik hesaplamada kullanılan mantık kapılarına benzer olarak kuantum kapılar kullanılmaktadır. Bu kuantum kapıların arka planında birer matematiksel matris karşılığı vardır. Bir kuantum kapı, bir kubitin vektör temsiliyle veya başka bir

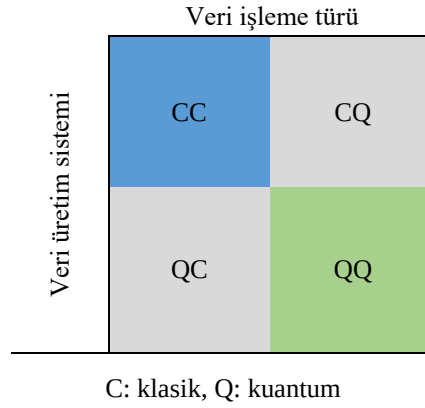
kapının matris temsiliyle çarpılarak etkileşime girer. Kuantum hesaplamada kullanılan temel kuantum kapılar Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2. Temel kuantum kapılar

Gate Name	Symbol	Matrix Form
Hadamard		$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$
Pauli-X (NOT)		$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$
Pauli-Y		$\begin{bmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{bmatrix}$
Pauli-Z		$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$
CNOT		$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$
Rotate-X (R_x)		$\begin{bmatrix} \cos(\varphi/2) & -i \sin(\varphi/2) \\ -i \sin(\varphi/2) & \cos(\varphi/2) \end{bmatrix}$
Rotate-Y (R_y)		$\begin{bmatrix} \cos(\varphi/2) & -\sin(\varphi/2) \\ \sin(\varphi/2) & \cos(\varphi/2) \end{bmatrix}$
Rotate-Z (R_z)		$\begin{bmatrix} e^{-i\varphi/2} & 0 \\ 0 & e^{i\varphi/2} \end{bmatrix}$

4.2.3. Kuantum Algoritmalar

Kuantum algoritmalar, klasik algoritmaların aksine olasılıksal ve paralel çalışma mantığına sahip olarak geliştirilmelidir. Klasik algoritmalar, klasik hesaplamaların doğası gereği deterministiktir, kesin sonuç üretirler ve komutlar sıralı şekilde çalışırlar. Kuantum algoritmalar, kuantum hesaplamaların doğası gereği olasılıksaldır, olasılıksal sonuç üretirler ve paralel şekilde çalışırlar. Günümüzde kuantum algoritmalar üçe ayrılmaktadır: kuantumdan esinlenen algoritmalar, kuantum-klasik hibrit algoritmalar ve saf kuantum algoritmalar. Bu algoritmalar işledikleri veri türüne ve veri üretim sistemlerine göre sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma Şekil 4.5’de verilmiştir.



Şekil 4.5. Kuantum algoritma türleri

Kuantumdan İlham Alan Algoritmalar

Kuantumdan ilham alan algoritmalar, süper-pozisyon ve dolanıklık gibi kavramların klasik algoritmalarla uyarlanmasıyla gerçekleştirilir [148]. Bu algoritmalar kalite kontrol ve evrimsel optimizasyon programlama stratejileri arasındaki etkileşime dayanarak oluşturulmuştur [134], [149].

Kuantum-Klasik Hibrit Algoritmalar

Kuantum-Klasik hibrit algoritmalar birden fazla çeşide sahiptir. Bu algoritmalar içerisinde kuantum hesaplama ve klasik hesaplamayı kullanan algoritmalar, klasik veri türü-kuantum işleme türü veya kuantum veri türü-klasik işleme türü bulunmaktadır.

Saf Kuantum Algoritmalar

Saf kuantum algoritmalar tamamen kuantum doğası ve mantığına göre geliştirilmiş algoritmalarlardır. Bu algoritmalarda herhangi bir klasik bileşen türü bulunmaz. Süper-pozisyon, dolanıklık ve paralellik gibi tüm kuantum avantajlarını kullanan algoritmalarlardır.

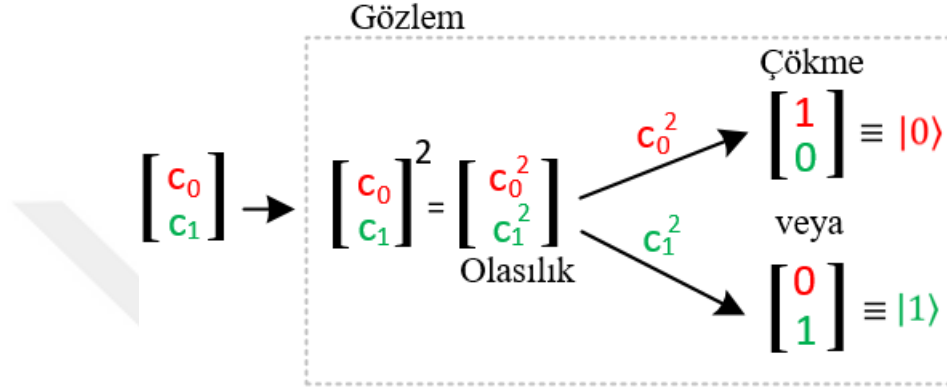
4.3. Kuantumdan İlham Alan Evrimsel Algoritma (QEA) Tabanlı Yaklaşım

Kuantumdan ilham alan algoritmalar, süper-pozisyon ve dolanıklık gibi kavramların klasik algoritmalarla uyarlanmasıyla gerçekleştirilir [150]. Kuantum hesaplamada, kübitler Dirac (braket) gösterimi kullanılarak temsil edilir [148]. 0 ve 1 durumlarının Dirac gösterimindeki temsili (4.8)'de verilmiştir. Burada, c_0 0 durumunu temsil eden katsayıdır ve c_1 1 durumunu temsil eden katsayıdır. Süper-pozisyonlu bir kübitin durumu, gözlemlenene kadar bilinmezliğini korur.

$$|\psi\rangle = \begin{bmatrix} c_0 \\ c_1 \end{bmatrix}, |0\rangle = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}, |1\rangle = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

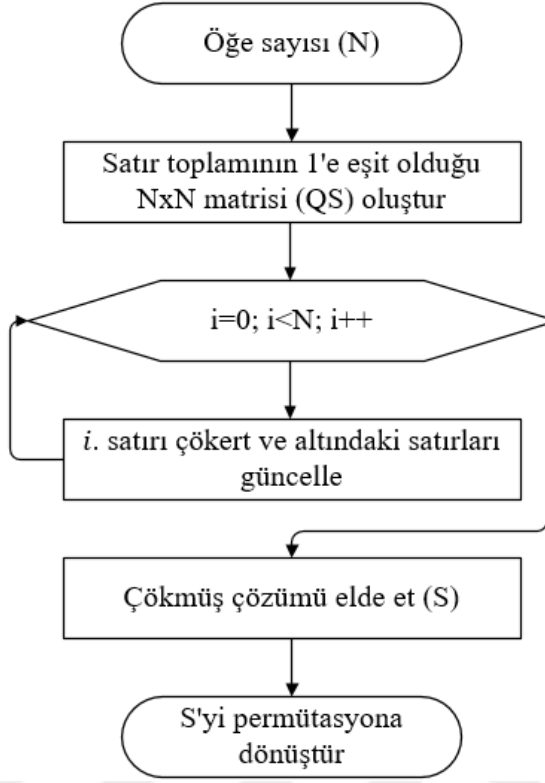
$$|\psi\rangle = c_0 \cdot |0\rangle + c_1 \cdot |1\rangle, \text{ burada } c_0^2 + c_1^2 = 1$$

Kübitlerin değerlerini ölçmek için bir gözlem süreci gerçekleştirilmelidir. Gözlem gerçekleştiğinde, kübit çöker ve sonuç olarak 0 veya 1 değerini alır [151]. Kübit durumuna bağlı olarak 0 veya 1'e çökme olasılıkları, Şekil 4.6'da gösterildiği gibi durum vektörünün genliğinin karesi alınarak hesaplanır. Kuantumdan esinlenen algoritmalarda, çökme süreci rastgele oluşturulmuş bir sayıya göre yürütülür. Rastgele oluşturulmuş sayı c_0^2 'den küçükse, kübitin 0'a çöktüğü kabul edilir; büyükse, kübit 1'e çöker.



Şekil 4.6. Gözlem sonucunda bir kübitin çöküşü

Kuantum tabanlı algoritmalarda, çözümler genellikle bitler yerine kübitler olarak temsil edilir ve gözlem süreci uygulanır. Bu, ikili kodlu GA'lar [152] gibi ikili kodlu yöntemlerle kolay entegrasyona olanak tanır. Ancak, permütasyonlarla uğraşırken, ortaya çıkan değer tekrarlanan çöküş yoluyla yeniden üretilmemelidir. Bu sorunu ele almak için permütasyon tabanlı yöntemler kullanılır. Tezin bu bölümünde, permütasyon tabanlı bir QEA algoritması geliştirilmiştir. Gözlem ve çöküş süreçleri yoluyla orijinal QEA'yı uygulamak için genel adımlar Şekil 4.7'de gösterilmektedir [151].



Şekil 4.7. QEA'nın genel akış diyagramı [151].

Permütasyon tabanlı yöntemlerde, N eleman varsa, $N \times N$ kuantum matrisi oluşturulur [153]. Kuantum matrisinde gözlemeleme satır satır yapılır. Bu nedenle, her satırdaki elemanların karelerinin toplamı 1'e eşit olmalıdır. Her satır diziyi temsil ederken, sütunlar N farklı durumu temsil eder. Örneğin, 4 elemanın permütasyonunu göz önünde bulundururken, $\{3,1,2,4\}$ sırasını veren çözüm (4.9)'da gösterilmiştir. Burada, ilk satırdaki durum vektörü $([0 \ 0 \ 1 \ 0])$ 3'ü temsil eder, bu nedenle '3' sıranın ilk konumuna yerleştirilir.

$$S = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \rightarrow sıra = \{3,1,2,4\} \quad (4.9)$$

(4.9)'da verilen çözümün çökmüş hali, çökme yardımıyla Kuantum Çözümünden (QS) türetilir. QS'nin gösterimi, (4.10)'da verildiği gibi kuantum çözümünü belirtir, burada q_{ij} kuantum durumlarını temsil eder.

$$QS = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & q_{13} & q_{14} \\ q_{21} & q_{22} & q_{23} & q_{24} \\ q_{31} & q_{32} & q_{33} & q_{34} \\ q_{41} & q_{42} & q_{43} & q_{44} \end{bmatrix} \quad (4.10)$$

QS', QS'nin ilk satırının çökmesiyle elde edilir. Bu bağlamda, güncellenmiş kuantum olasılıkları $q'_{11}, q'_{12} \dots q'_{44}$ (4.11)'de gösterilmiştir. Benzer şekilde, QS'' ikinci satırın çökmesinden elde edilen matrisi belirtir ve QS''' çalışmanın sonraki aşamalarında üçüncü satırın çökmesinden elde edilen matrisi temsil eder.

$$QS' = \begin{bmatrix} q'_{11} & q'_{12} & q'_{13} & q'_{14} \\ q'_{21} & q'_{22} & q'_{23} & q'_{24} \\ q'_{31} & q'_{32} & q'_{33} & q'_{34} \\ q'_{41} & q'_{42} & q'_{43} & q'_{44} \end{bmatrix} \quad (4.11)$$

(4.11)'in ilk satırının q'_{13} durumuna çöktüğünü varsayarsak, karşılık gelen değer matrisi (4.12)'de gösterildiği gibi olur. Bu denklemde, q'_{13} 1'e karşılık gelir. Diğer satırlardaki kuantum olasılıkları (4.12)'e göre güncellenmeli ve çökmüş sütunlar için kuantum olasılıklarının 0 olarak ayarlandığından emin olunmalıdır.

$$QS' = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ \frac{q_{21}}{(1-q_{23})} & \frac{q_{22}}{(1-q_{23})} & 0 & \frac{q_{24}}{(1-q_{23})} \\ \frac{q_{31}}{(1-q_{33})} & \frac{q_{32}}{(1-q_{33})} & 0 & \frac{q_{34}}{(1-q_{33})} \\ \frac{q_{41}}{(1-q_{43})} & \frac{q_{42}}{(1-q_{43})} & 0 & \frac{q_{44}}{(1-q_{43})} \end{bmatrix} \quad (4.12)$$

İlk satırın çöküşünden sonra, kalan satırların çöküşü için işlemler gerçekleştirilir. QS'' için kalan kuantum olasılıkları hesaplanırken, QS' değerleri kullanılmalıdır. Benzer şekilde, QS''' için, QS'' değerleri kullanılır. Çökme işleminin geri kalanı, (4.13) ve (4.14)'de gösterildiği gibi satır satır gerçekleştirilir. (4.14)'de verilen son kuantum olasılığı, $q'''_{44} = \frac{q'_{44}}{(1-q'_{42})}$, 1'e eşit olacaktır. Bu nedenle, çözüm (S), (4.15)'de verildiği gibi elde edilecektir ve $\{3,2,1,4\}$ sırasına karşılık gelir.

$$QS'' = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \frac{q'_{31}}{(1-q'_{32})} & 0 & 0 & \frac{q'_{34}}{(1-q'_{32})} \\ \frac{q'_{41}}{(1-q'_{42})} & 0 & 0 & \frac{q'_{44}}{(1-q'_{42})} \end{bmatrix} \quad (4.13)$$

$$QS''' = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{q''_{44}}{(1-q''_{42})} \end{bmatrix} \quad (4.14)$$

$$S = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \rightarrow \text{sıra} = \{3,2,1,4\} \quad (4.15)$$

Kuantum olasılıkları çöktükten ve çözüm elde edildikten sonra, bir sonraki yineleme için QS güncellemesi gerçekleştirilir. Çözüm güncellemesi, bir ölçekleme faktörü e kullanılarak elde edilir. QS'nin güncelleme fonksiyonu (4.16)'da verilmiştir. Burada, QS hiçbir satırın çökmediği ilk kuantum çözümünü temsil eder ve S , tüm satırların çökmesinden elde edilen ikili çözümü temsil eder. Çözüm maliyeti S , en iyi maliyetten (şimdiye kadarki en düşük maliyet) büyükse parametre e 0'dır. Parametre e 'yi hesaplamak için kullanılan fonksiyon (4.17)'de verilmiştir.

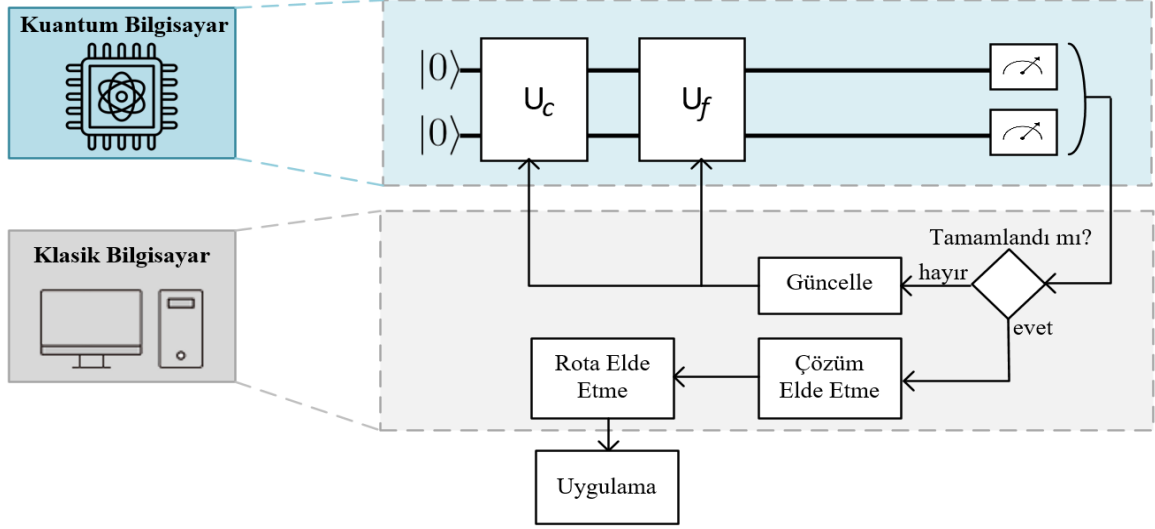
$$QS_{new} = (1 - e) * QS + e * S \quad (4.16)$$

$$e = \begin{cases} Cost^{best} < Cost^n : 0 \\ other : (Cost^n - Cost^{best})/Cost^n \end{cases} \quad (4.17)$$

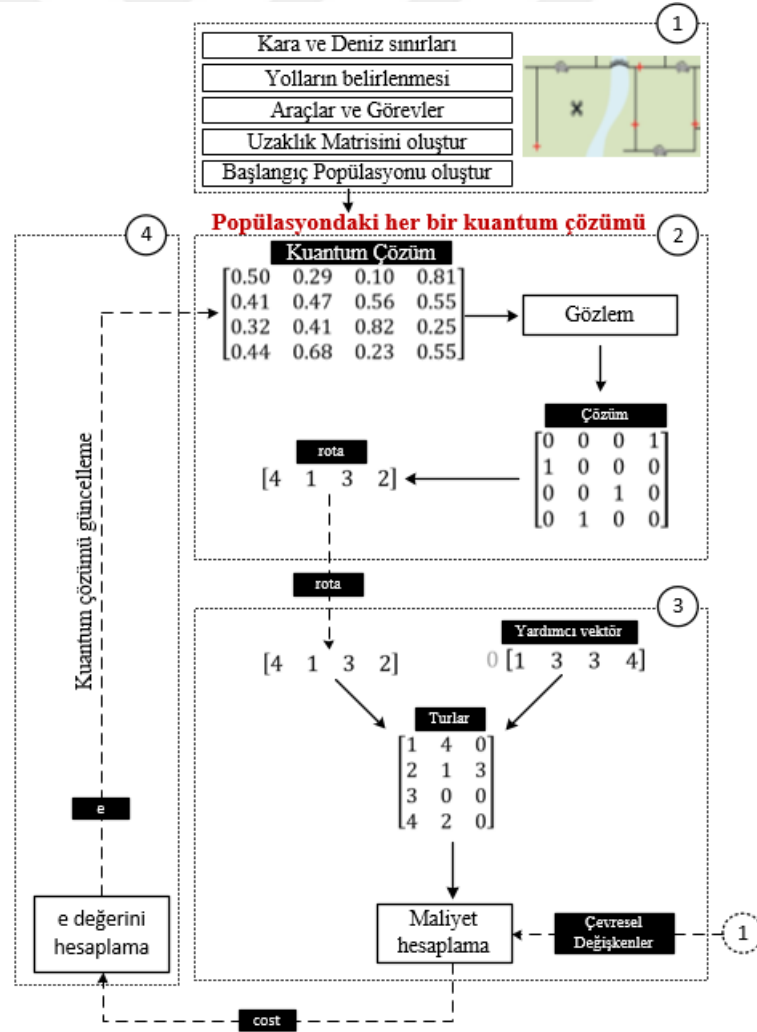
Yukarıda açıklanan yöntem, başlangıçta görevleri sıralamak için tasarlanmış bir QEA'ya dayanmaktadır. Bu algoritma, heterojen çok araçlı görev atama sorununu ele almak için uyarlanmıştır. Bu uyarlamada, sıralamaya dayalı QEA yöntemi, adım (4.10)'dan adım (4.15)'e kadar sorundaki her araca uygulanacaktır. Adım (4.15)'de elde edilen 'sıra', bu sorun için 'rota'yı temsil edecek ve böylece her araç için en uygun görev dizisi elde edilecektir. Bu sürecin daha fazla ayrıntısı Bölüm 4.4'te verilmiştir.

4.4. Kuantum-Klasik Hibrit Tabanlı Yaklaşım

Bu çalışmada, insansız kara, hava ve deniz araçlarının farklı görev lokasyonlarına farklı lokasyonlardan çeşitli araçlar tarafından tamamlanabilecek optimum görev tahsisi ve rota planlaması için kuantum hesaplama tabanlı bir yaklaşım önerilmiştir. Problemi çözme yaklaşımı, kara ve denizden oluşan bir ortamın bilgisayarda modellenmesini içerir. Kara alanındaki insansız kara araçları için yollar bu ortama dahil edilir. İnsansız kara, hava ve deniz araçları, farklı konumlarda bulunan hedeflerle birlikte bu ortama dahil edilir. Simülasyon başladığında her aracın gideceği hedef dizisini içeren bir matris oluşturmak amacıyla, her araç için kuantum özelliklerine uygun bir üniter matris rastgele oluşturulur. Bu kuantum üniter matrisi, kuantum devresine giriş olarak verilir ve Bölüm 4.3'de açıklanan QEA'nın aksine, çöküş, bir araç için hedef dizisini belirlemek üzere sütun boyunca uygulanır. Bu işlem her araç için tekrarlanır ve her araç için hedef dizisini içeren bir rota matrisi oluşturulur. İşlem, Şekil 4.8'deki blok diyagramda gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Rota matrisinin hesaplanmasında kullanılan yöntemin blok diyagramı, U_c 'nin oluşturulacak matrisin sütun indeksi, U_f 'nin ise matrisin oluşumunun her aşamasındaki durumu olduğu şekilde gösterilmektedir.



Şekil 4.9. Önerilen yaklaşımın genel blok diyagramı

Ek olarak, her aracın kaç hedefi ziyaret edeceğini gösteren bir vektör rastgele oluşturulur. Daha sonra, rotaları ve hedefleri optimize etmek için maliyetler bu matris ve vektöre göre hesaplanır. Şekil 4.9’da verilen bu genel yaklaşımın blok diyagramı 4 ana adımı içerir:

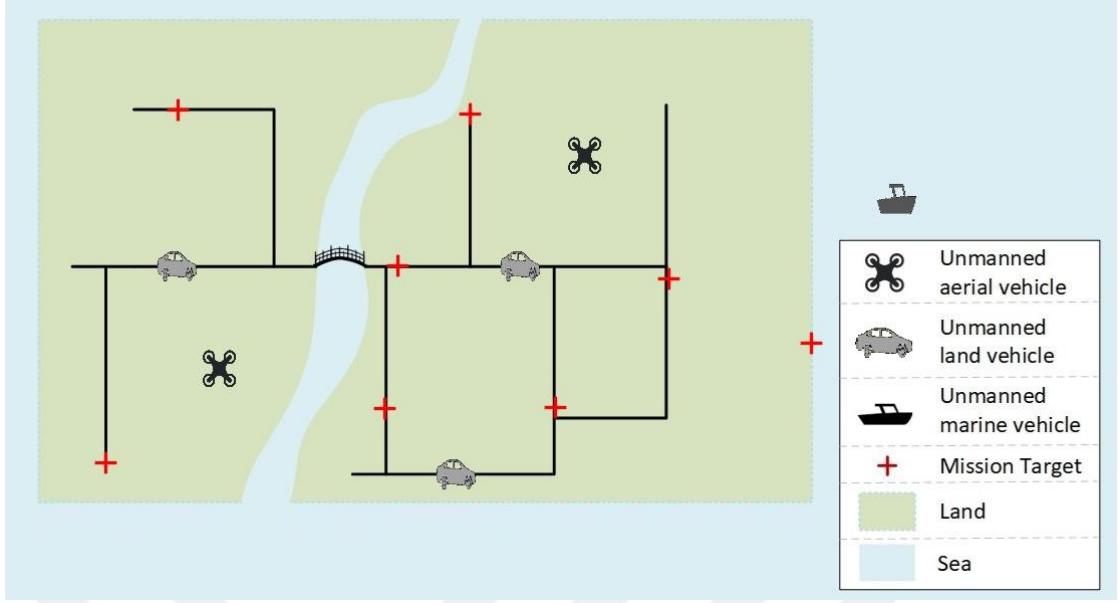
1. Simülasyon ortamının oluşturulması
2. Kuantum çözümünün gözlemlenmesi
3. Rotalardan turların hesaplanması
4. Kuantum çözümünün güncellenmesi

4.4.1. Simülasyon Ortamının Oluşturulması

Yöntemin gerçekçi senaryolardaki performansını gözlemlemek için bir simülasyon ortamı hazırlanmıştır. Simülasyon ortamında, farklı lokasyonlara toplam 8 görev atanmıştır. Tüm görevlere dronlar ile erişilebilir. Araçlar yalnızca yollar boyunca bulunan görevlere gidebilir. Deniz aracı kıyıda bulunan görevlere ulaşabilir. Deniz ve hava araçlarının doğrudan görevlerine gidebileceği varsayılmıştır. Bu araçlardan görevlere olan mesafeler koordinat farkları kullanılarak hesaplanır. Mesafeler piksel değerlerine eşdeğer birimlerde hesaplanır. Hava ve deniz araçları için mesafe hesaplaması (4.18)’de gösterildiği gibi Öklid mesafesi kullanılarak yapılır.

$$uzaklık = \begin{cases} \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}, & \text{gidebiliyorsa} \\ \infty, & \text{aksi durumda} \end{cases} \quad (4.18)$$

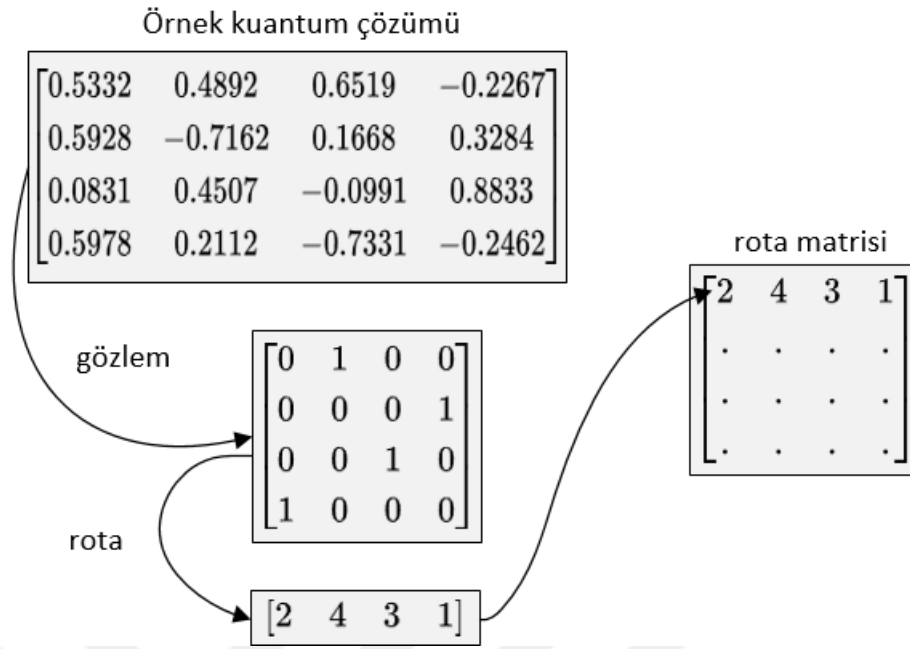
Kara taşıtları için süreç farklıdır çünkü önceden tanımlanmış yollar boyunca seyahat etmeleri gerekir. Bu amaçla Dijkstra algoritması kullanılmıştır. Başlangıçta, tüm bitişik yol köşeleri ve görevler arasındaki mesafeler Öklid mesafe metriği kullanılarak hesaplanır. Daha sonra, Dijkstra algoritmasının yardımıyla, araçların görevlere ardışık olarak ulaşması için en uygun yol ve bununla ilişkili maliyet belirlenir. Bu hesaplanan değerlere dayalı bir mesafe matrisi oluşturulur. Oluşturulan simülasyon ortamı Şekil 4.10’da gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Simülasyon Ortamı

4.4.2. Kuantum Çözümün Gözlemlenmesi

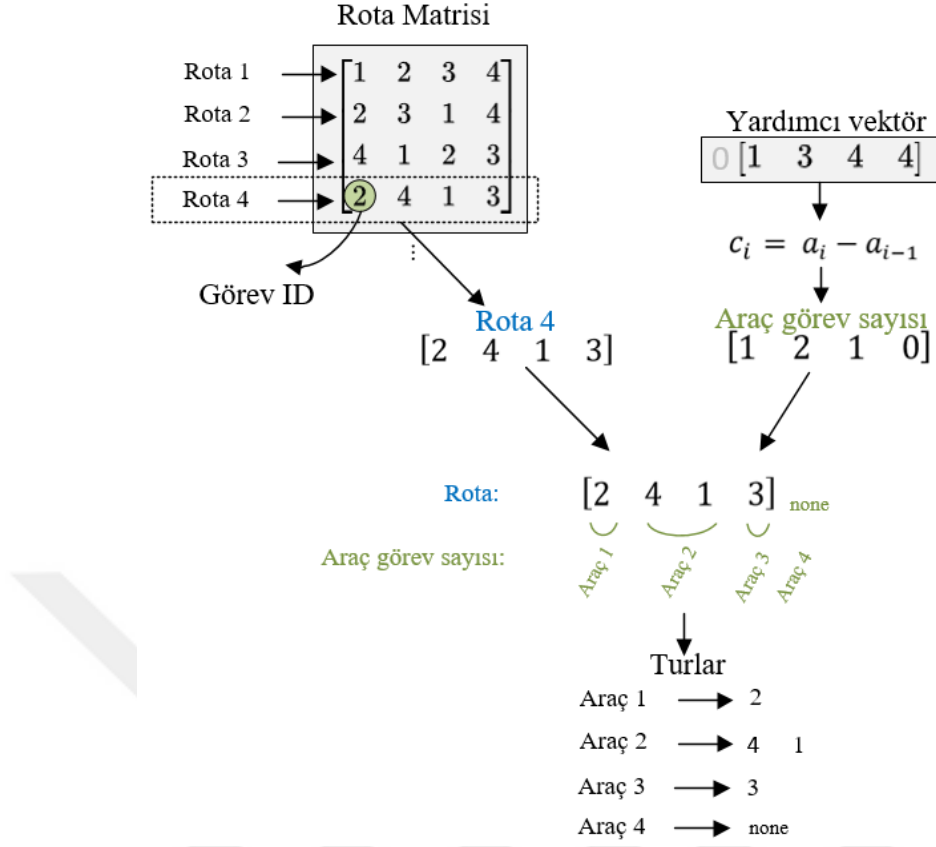
Önerilen kuantum-klasik hibrit yaklaşımda, QS matrisinin oluşturulması ve optimizasyonu kuantum tarafında gerçekleştirilir. Görev sayısının belirlendiği yardımcı vektör klasik tarafta gerçekleştirilir. Yardımcı vektörün klasik tarafta oluşturulması, araç sayısına eşit uzunlukta bir vektörün sürekli olarak rastgele oluşturulmasını ve ardından QS matrisine göre optimum görev sayısının belirlenmesini içerir. Her araç için görevleri QS matrisiyle sıralamak için, $N \times N$ boyutlu bir kuantum üniter yapıya sahip bir başlangıç çözümü oluşturulur; burada N görev sayısıdır. Rotadaki ilk hedef, bu çözümün ilk satırı daraltılarak hesaplanır ve bu işlem tüm satırlar için tekrarlanır. 4 araç ve 4 göreve sahip bir sistemde bir QS için bu işlemin hesaplanması Şekil 4.11’de gösterilmiştir. Popülasyondaki elemanlar Şekil 4.11’de gösterildiği gibi rotalara dönüştürülür ve maliyet hesaplaması mesafe matrisleri aracılığıyla yapılır.



Şekil 4.11. QS'den S'in, S'den rotanın elde edilmesi

4.4.3. Rotalardan Turların Hesaplanması

Problemi modellemede, görevleri ve araçların bu görevlere ulaşmak için izleyeceği rotaları takip etmek için iki birincil değişken kullanılır. Bu değişkenler, yinelemedeki tüm rotaları temsil etmek için matris biçiminde yapılandırılmıştır. 4 araç, 4 hedef ve 4 rota içeren bir sistemin model diyagramı Şekil 4.12'de gösterilmiştir. Burada, bir örnek, QS'nin çöküşünden elde edilen S matrisinden hesaplanan rotaları içeren matrisi kullanarak rotaları turlara dönüştürme sürecini göstermektedir. Bir tur, rota matrisindeki hedefleri ayrıştırarak, -1 dizinindeki ögenin 0 olduğu ve son ögenin araç sayısına eşit olması gerektiği varsayılan bir yardımcı vektör kullanılarak türetilir.



Şekil 4.12. Rota ve yardımcı vektörlerinden turların hesaplanması

4.4.4. Kuantum Çözümün Güncellenmesi

Literatürdeki QEA'nın aksine, üretilen QS matrisinin optimizasyonu iki ayrı kritere dayalı işlemleri içerir. İlk işlem, daha fazla kararlılık için kuantum matrisinin çöküş sonucunu işleyen çökmüş matrise (S) doğru yakınsamayı amaçlar. İkinci işlem, en iyi bulunan QS matrisine (QS_{best}) doğru yakınsamaya odaklanır. (4.19), kuantum çözümünü güncellemek için kullanılır. Buradaki temel motivasyonumuz, çözümün hem lokal en iyiye hem de global en iyiye yakınsamasıdır. Bu şekilde, yinelemede olası daha iyi çözümlerin gözden kaçırılmasının önlenmesi amaçlanmaktadır.

$$QS_{new} = \sqrt{\frac{((1-e) * .995 * QS)^2 + ((1-e) * .005 * S) + (e * .995 * QS_{best}) + (e * .005 * S_{best})}{2}} \quad (4.19)$$

(4.19)'de belirtilen katsayı e , en iyi bulunan QS matrisine doğru yaklaşmak için kullanılır. Burada, QS_{new} yeni yinelemedeki kuantum çözümünü, QS mevcut yinelemedeki kuantum çözümünü, S mevcut yinelemedeki QS matrisinin çökmüş formunu, QS_{best} tüm yinelemelerdeki en iyi kuantum çözümünü ve S_{best} tüm yinelemelerdeki en iyi S matrisini temsil eder. (4.20), (4.19)'deki çözümü iyileştirmek için katsayı e 'yi hesaplamak için kullanılır.

$$e = \begin{cases} \frac{cost_{min} - cost_{gmin}}{cost_{min}}, & cost_{gmin} < cost_{min} \\ 0, & \text{aksi durumda} \end{cases} \quad (4.20)$$

(4.20)'teki $cost_{min}$ terimi, lokal mesafeyi temsil ederken, $cost_{gmin}$ global minimum mesafeyi temsil eder.

Önerilen yaklaşımın ve diğer yaklaşımların maliyetini hesaplamak için tasarlanan maliyet fonksiyonu, sistemdeki her aracın toplam mesafeyi artırmadan daha kısa mesafeler kat etmesini sağlamayı amaçlar. Maliyet fonksiyonu, sistem içinde en uzun mesafeyi kat eden aracın kat ettiği maliyeti ve tüm sistem tarafından kat edilen toplam mesafe maliyetini kapsayacak şekilde yapılandırılmıştır. Bu maliyet fonksiyonu sayesinde, sistemdeki her araç, kendi ve diğerlerinin mesafeleri dahil olmak üzere sistemdeki tüm araçların kat ettiği toplam mesafeleri artırmadan optimum rota ve görev tahsisi elde eder. Maliyet fonksiyonu, (4.21)'te sağlandığı şekilde formüle edilmiştir.

$$Cost = \max(dist_v) + 1^{-10} * \sum(dist_v) \quad (4.21)$$

(4.21)'teki $dist_v$, araçların kat ettiği toplam mesafeleri tutan bir vektördür.

4.5. Deneysel Sonuçlar

Önerilen yaklaşım, performansını doğrulamak için Windows 11, AMD Ryzen 9 7940HS işlemci ve 64 GB RAM'e sahip bir bilgisayarda Matlab 2023a kullanılarak simüle edildi. Optimizasyon algoritmaları kesin olmadığından, önerilen yaklaşım ve diğer karşılaştırılan yöntemler 100 kez çalıştırıldı ve sonuçların ortalamaları alındı. Önerilen yaklaşım ve karşılaştırılan yöntemler için oluşturulan simülasyon ortamında, farklı araçlar tarafından tamamlanabilen 8 görevle birlikte 3 İKA, 2 İHA ve 1 İDA bulunmaktadır. Özellikle, bu görevlerden 7'sine İKA'lar ve İHA'lar tarafından ulaşılabilirken, bir görev İHA'lar ve İDA tarafından tamamlanabilmektedir. Tüm yaklaşımlar için kullanılan simülasyon ortamı daha önce Şekil 4.10'da sunulmuştur.

Problem tanımı, araçları ve görevleri kapsayan bir mesafe matrisinin oluşturulmasıyla başlar. Bu mesafe matrisi, araçlar ve görevler arasındaki mesafeleri ve ayrıca farklı görevler arasındaki mesafeleri yakalar. Mesafeleri/maliyetleri hesaplamak ve bir aracın bir göreve ulaşım sağlayacağını belirlemek için bir araç görevi görür. Mesafe matrisini hesaplamada:

- İKA'lar için, simülasyon ortamının yolları ve Dijkstra algoritması kullanılır.
- İHA'lar için, havada hiçbir engel olmadığı varsayılır ve Öklid mesafe formülü kullanılır.
- İDA'lar için, kara ile kesişmeler konusunda ayrımlar yapılır ve Öklid mesafe formülü benzer şekilde uygulanır.

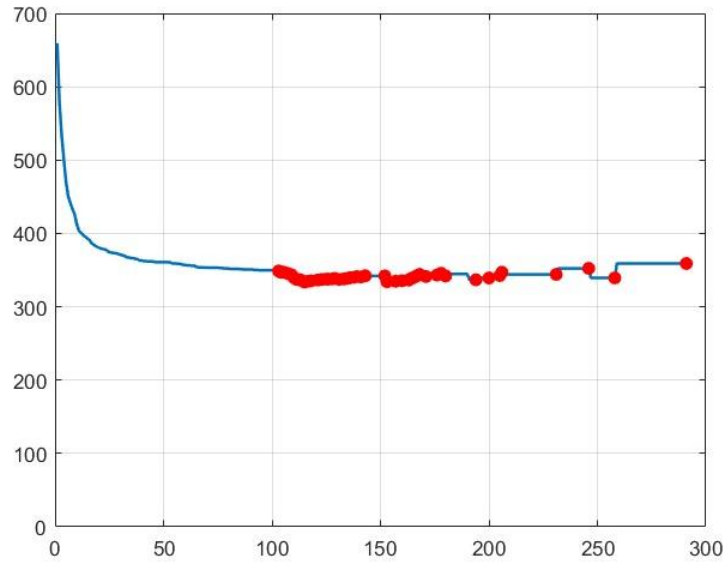
Bu hesaplamalar, mesafelerin simüle edilen ortamda her araç tipinin operasyonel yeteneklerini ve kısıtlamalarını doğru bir şekilde yansıtmalarını sağlar.

Önerilen yaklaşım ile diğer yöntemler arasında adil bir karşılaştırma sağlamak için aynı parametreler kullanıldı. Bu parametreler, Tablo 4.3’de ayrıntılı olarak açıklandığı gibi simülasyon ortamı parametreleri ve genetik algoritma parametrelerini içerir.

Simülasyon, klasik bir genetik algoritma, önerilen kuantum-klasik hibrit genetik algoritma ve Silveira ve diğerleri tarafından önerilen yöntem kullanılarak yürütüldü [153]. Bu yöntemlerden elde edilen sonuçlar ayrı ayrı grafiklerde sunulmakta ve tartışılmaktadır.

Tablo 4.3. Çalışmada kullanılan parametreler

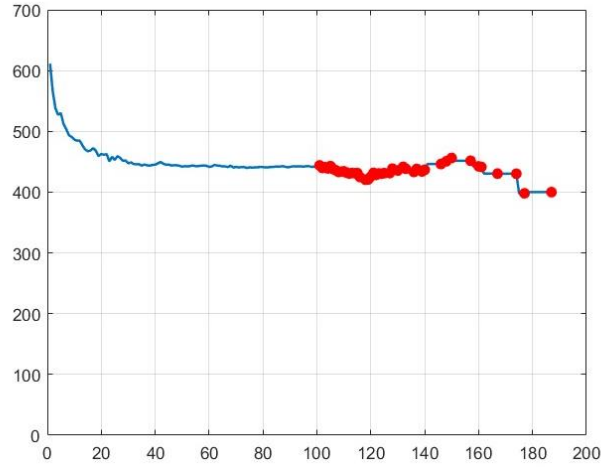
Parametre Adı	Parametre Değeri
İKA Sayısı	3
İHA Sayısı	2
İDA sayısı	1
İKA&İHA için görev sayısı	7
İHA&İDA için görev sayısı	1
Popülasyon boyutu	96
Tekrarlama (iyileştirme olmaksızın)	100
Popülasyon grubu	16
Popülasyon gruplama metodu	Rastgele



Şekil 4.13. Klasik GA performansı

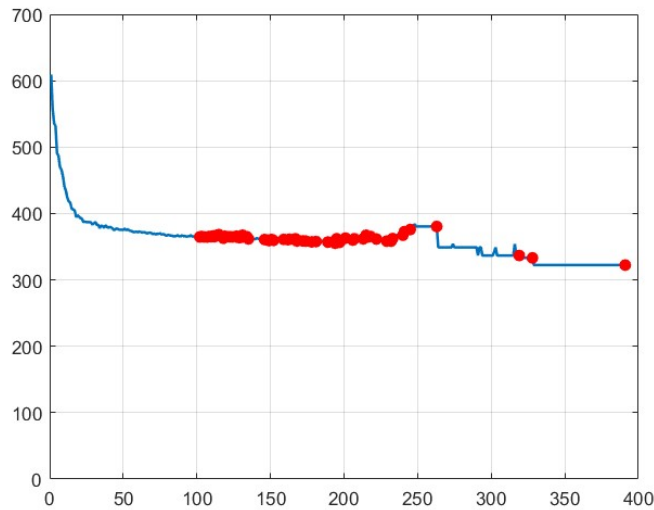
Klasik genetik algoritma kullanılarak yapılan simülasyon sonuçları Şekil 4.13’de gösterilmiştir. Sağlanan grafikte, X eksen yinelenme sayısını, Y eksen maliyeti ve kırmızı noktalar çözümlerin

bulunduğu yinelemeleri göstermektedir. Toplam 100 simülasyon çalışmasından 77'si 100-150 yineleme aralığında, 17'si 150-200 yineleme aralığında ve 6'sı 200-291 yineleme aralığında sonuçlanmıştır. En sık 100-150 yineleme aralığında sonuçlanan simülasyonlara odaklanıldığında, sonuçlar 349,87'lik maksimum maliyet, 340,43'lük ortalama maliyet ve 333,75'lik minimum maliyet göstermektedir.



Şekil 4.14. Silveira vd.[153]'nin Uyarlanmış QEA tabanlı önerilen yaklaşımın performansı

Şekil 4.14, [153] tarafından belirtilen yaklaşımın sonuçlarını gösteren grafiği tasvir etmektedir. Şekilde, eksenler önceki grafiğe benzer şekilde temsil edilmektedir. Toplam 100 simülasyon çalışmasından 88'i 100-140 yineleme aralığında ve 12'si 140-391 yineleme aralığında sonuçlandı. En sık 100-250 yineleme aralığında sonuçlanan simülasyonlara odaklanıldığında, sonuçlar 444,02'lik maksimum maliyet, 433,71'lik ortalama maliyet ve 420,43'lük minimum maliyet göstermektedir.



Şekil 4.15. Önerilen yaklaşımın performansı

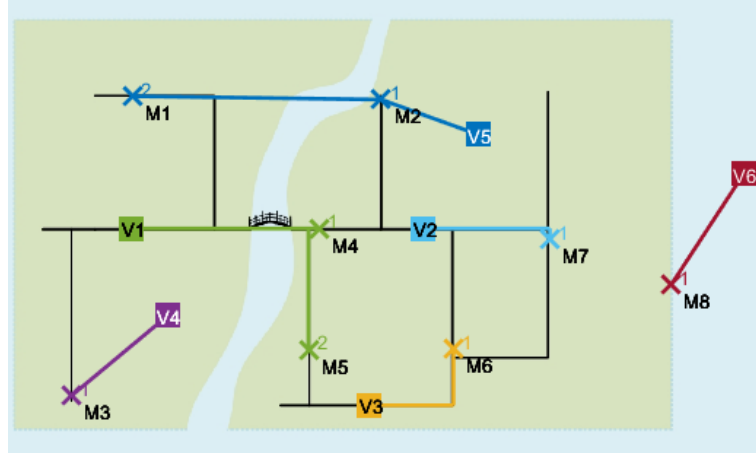
Önerilen yöntem kullanılarak yapılan simülasyon sonuçları Şekil 4.15’de gösterilmiştir. Şekilde, eksenler önceki grafiğe benzer şekilde temsil edilmiştir. Toplam 100 simülasyon çalışmasından 96’sı 100-250 yineleme aralığında ve 4’ü 250-391 yineleme aralığında sonuçlandı. En sık 100-250 yineleme aralığında sonuçlanan simülasyonlara odaklanıldığında, sonuçlar maksimum maliyetin 384,18, ortalama maliyetin 362,96 ve minimum maliyetin 355,12 olduğunu göstermektedir.

Bu grafikleri kapsamlı bir şekilde yorumlarsak, maliyette azalma gösteren yaklaşımların etkili olduğu görülür. Klasik yaklaşım, kuantum yaklaşımlarına kıyasla daha yumuşak bir düşüş sergiler; bu muhtemelen kuantum yaklaşımlarında kübit çöküşü sırasında aynı sonuca ulaşamamasından kaynaklanır. Klasik genetik algoritmanın daha az yinelemede maksimum, ortalama ve minimum maliyetlerin daha düşük değerlerine ulaştığı rahatlıkla söylenebilir. Ek olarak, önerilen yaklaşım Silveira ve arkadaşları tarafından önerilen yaklaşımdan daha üstün görünmektedir [153]. Genel olarak, kuantum yaklaşımları, dağıtım hakim olmayan yinelemelerde minimum maliyetlerine ulaşmıştır. Bu nedenle, kuantum yaklaşımlarının yerel minimumlarla ilgili sorunlarla karşılaşabileceği düşünülmektedir.

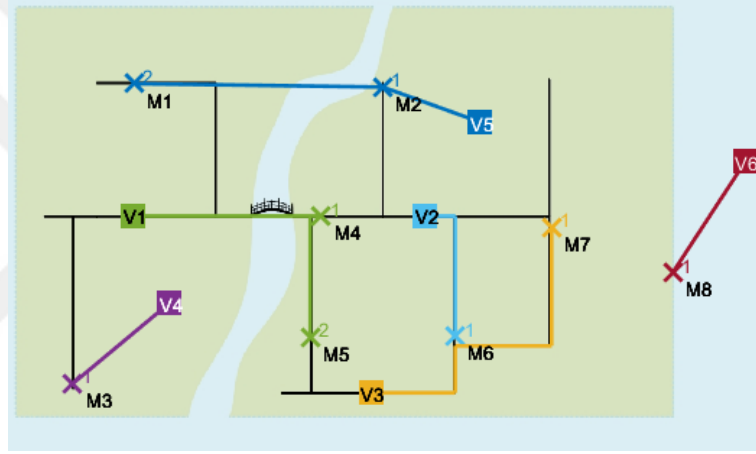
Tablo 4.4. Senaryo 1 için detaylı simülasyon sonuçları

	Klasik Genetik	[153]’den Uyarlanmış QEA Önerilen Yaklaşım	Önerilen Hibrit Yaklaşım
Minimum iterasyon	103	101	102
Maksimum iterasyon	291	187	391
Minimum maliyet	319.69	322.13	322.13
Ortalama maliyet	346.88	382.68	359.71
Maksimum maliyet	518.0	525.0	503.39
Min. toplam maliyet	1135.27	1153.68	1153.68
Ort. toplam maliyet	1159.56	1260.21	1222.39
Maks. toplam maliyet	1382.93	1424.73	1384.66

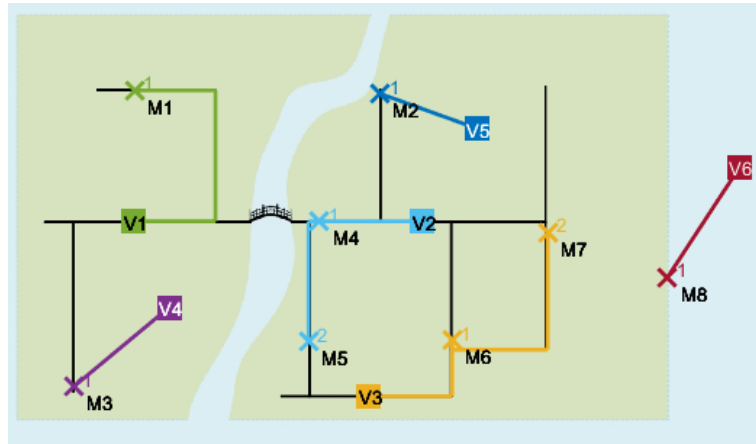
Üç farklı senaryonun her birinde 100 simülasyon çalıştırılarak elde edilen sonuçlar, Tablo 4.4’de sunulduğu gibi, 100 örneğin tamamında değerlendirilmiştir. Oluşturulan rotalar Şekil 4.16’da verilmiştir. Grafiklerden görülebileceği gibi, bulunan çözümler toplam rotanın maliyeti veya maksimum uzunluktaki rotanın maliyeti olarak alındığında farklılık gösterebilir. Örnek olarak, V2 ve V3 araçları Şekil 4.16 (a) ve (b)’de verilebilir. Şekil 4.16.(a)’da en uygun olanı verilmiş olsa da, maksimum rota maliyetine dayanarak, maliyeti en uzun turun altında olan turların optimizasyonunda eksiklikler olabilir. Öte yandan, maliyet fonksiyonu toplam mesafe olarak seçildiğinde, araçların görev dağılımı daha düzensiz olabilir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.16. Elde edilen örnek rotalar. a) Toplam mesafeleri (1135.27) kullanarak klasik GA için en iyi rota, b) Maksimum araç mesafesini (319.69) kullanarak klasik GA için en iyi rota, c) Maksimum araç mesafesini (322.13) kullanarak QEA ve önerilen yöntem için en iyi rota

Üç farklı yaklaşım için yürütülen simülasyonlardan elde edilen ayrıntılı sonuçlar Tablo 4.4’de sunulmuştur. Bu sonuçlar grafiklerde gösterildiği gibi 100 çalışmanın ortalama sonuçlarını doğrulamaktadır. Klasik GA’nın kuantum yaklaşımlarından daha iyi performans gösterdiği açık olsa da, önerilen kuantum yaklaşımı minimum ve ortalama maliyetler açısından klasik yaklaşımın sonuçlarına oldukça yakındır. Kuantum yaklaşımlarında kubitlerin çökmesi nedeniyle aynı sonuçların elde edilememesi, bu kubitlerin değerlerini ayarlamanın ve en iyi sonucun elde edilmesini sağlamanın bu farkı kabul edilebilir kılan iki çaba olduğunu düşündürmektedir. Başka bir kuantum yaklaşımı olan Silveira ve arkadaşları tarafından önerilen yaklaşım [153], esasen bu problemde sıralama işlemini gerçekleştirir; ancak, doğrudan kullanım bu problem için yeterli olmayabilir. Bu yaklaşım, önerilen yaklaşımın elde ettiği maliyetlere minimum maliyetle ulaşabilse de, ortalama olarak oldukça yüksektir. Ayrıca, maliyeti düşürememe çok sınırlı sayıda yinelemeye neden olmuştur. Bu yaklaşımın yerel minimumu geçemediği görülmüştür.

Daha detaylı analiz için, farklı görevler ve araç sayıları için 7 farklı senaryo belirlenerek testler genişletildi. Maksimum rota ve toplam maliyet olarak hesaplanan maliyetlere göre, 100 kez çalıştırılarak ortalama maliyetler hesaplandı. Sonuçlar Tablo 4.5’te verilmiştir. Tablodaki araç sayısı, senaryoya her araç türünden kaç tane dahil edildiğini gösterir. Mevcut görev sayısı, her araç türünün gerçekleştirebileceği görevleri temsil eder. Tüm görevler tüm senaryolarda ziyaret edildi ve diğer sütunlarda 100 çalıştırma için minimum maliyetlerin ortalamaları verilmiştir.

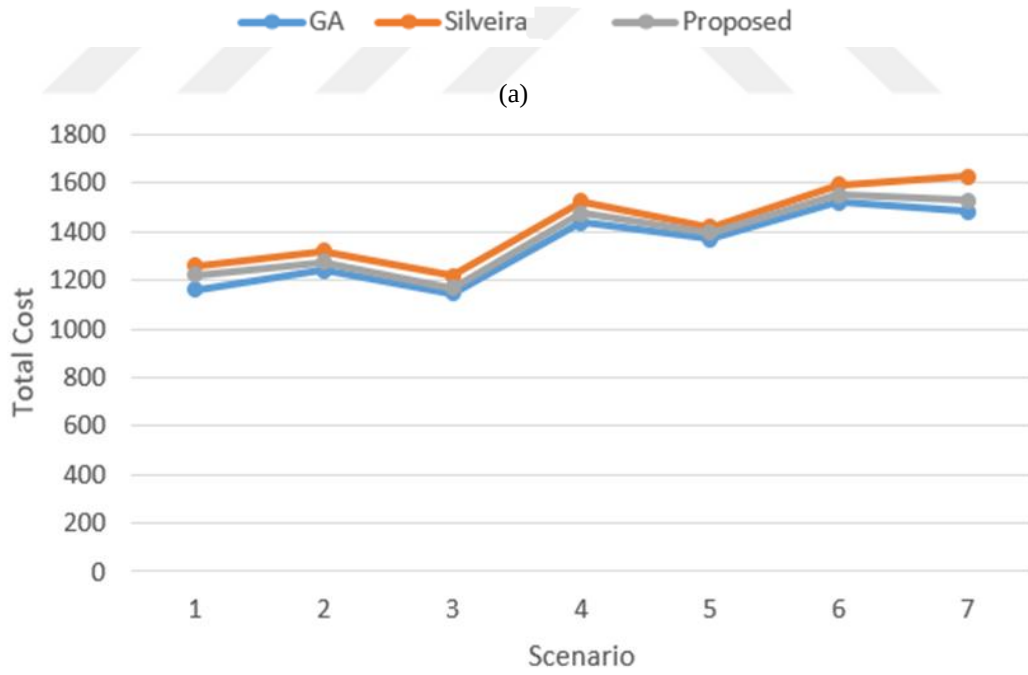
Tablo 4.5. Senaryolara göre maksimum rota ve toplam maliyet

Senaryo	Araç Sayısı			Uygun Görev Sayısı				Maksimum rota mesafelerine göre hesaplanan ortalama maliyetler			Toplam mesafelere göre hesaplanan ortalama maliyetler		
	İHA	İKA	İDA	İHA	İKA	İDA	Total	GA	Silveira [153]	Önerilen	GA	Silveira [153]	Önerilen
1	3	2	1	8	7	1	8	346	382	359	1160	1260	1222
2	2	2	2	10	5	3	10	369	425	384	1240	1321	1275
3	4	2	0	12	8	-	12	298	321	304	1146	1219	1168
4	0	3	3	-	8	4	12	482	544	501	1437	1524	1477
5	3	0	3	12	-	4	12	402	427	413	1371	1420	1398
6	0	4	2	-	8	4	12	421	452	437	1522	1592	1551
7	2	4	0	12	8	-	12	327	385	341	1485	1627	1527

Burada iki farklı maliyet fonksiyonu kullanıldığından, maksimum rota mesafeleri sütununa göre hesaplanan Ortalama maliyetler en çok seyahat eden aracın maliyetine, toplam mesafeler sütununa göre hesaplanan Ortalama maliyetler ise tüm araçların maliyetine dayanmaktadır. Tablodaki ilk satır, daha önce Tablo 4.4’de ayrıntılı olarak verilen senaryo 1’in özetidir.

Daha ayrıntılı incelemek amacıyla, maksimum tur maliyetine ve toplam maliyete göre elde edilen sonuçlar grafiklendirilmiş ve Şekil 4.17’de verilmiştir. Grafikten görülebileceği gibi, GA’nın her iki maliyet hesaplamasında da ortalama olarak 100 çalışmanın ortalaması üzerinde daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Ancak önerilen yöntemle, problemin kuantum-klasik hibrit

çözümü elde edilmiş ve kuantumdan esinlenen yöntemle göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Bazı senaryolarda en iyi sonuçlar aynı olsa da, tüm çalışmaların ortalaması alındığında yöntemler arasındaki farklar daha iyi ortaya çıkmaktadır.



Şekil 4.17. Farklı senaryolar için ortalama maliyetler. a) Maksimum rota mesafelerine göre hesaplanan maliyetler, b) Toplam mesafelere göre hesaplanan maliyetler

4.6. Sonuç

İnsansız teknolojiler her geçen gün daha da popüler hale gelmektedir. İnsansız araçların tek başlarına sergilediği özerklik, birbirleriyle işbirliği yaptıklarında da kritik öneme sahip olmaktadır. Bu çalışma, birden fazla heterojen araç için bir işbirliği çerçevesi içinde görev atama problemini ele almaktadır. Genellikle, literatürdeki çalışmalar birden fazla homojen araca odaklanmıştır. Heterojen araç problemlerinde, her aracın kendine özgü kısıtlamaları vardır. Bu çalışma için üç farklı araç türü seçilmiştir: İHA'lar, İKA'lar ve İDA'lar. İKA'lar belirlenmiş yollarını takip etmelidir. Benzer şekilde, İDA'lar yalnızca kıyı şeritleri boyunca görev yapabilir. İHA'lar bu konuda en esnek olanıdır ve kısıtlı uçuş bölgeleri hariç, haritadaki herhangi bir yere gidebilir. Ancak, İHA'ların yük limitleri ve uçuş süreleri göz önüne alındığında, çeşitli kısıtlamalar da devreye girmektedir. Problem tanımında, sonuçları haritada daha iyi gözlemlemek için belirli kısıtlamalar göz ardı edilmiştir. Önerilen yöntemde kısıtlamaların uygulanması, maliyet fonksiyonunu değiştirerek ve küçük ayarlamalar yaparak mümkündür. Bu şekilde örneğin dronelerin yük kapasitesi veya kalan yakıtı izlenebilir. Bu çalışmanın temel amacı, birden fazla insansız aracın görev planlamasında kuantum tabanlı bir algoritmanın uygulanabilirliğini göstermektir. Deneysel çalışmalara göre önerilen yaklaşımın klasik GA ile elde edilenlere çok yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Öte yandan önerilen yöntem QEA'ya göre üstünlük göstermektedir. Bu bulgu, kuantum bilgisayarlarının bu problem için potansiyel uygulanabilirliğini artırmaktadır. Klasik GA'larla çözülmesi uzun zaman alacak daha fazla kaynak, hedef ve kısıtlama içeren benzer problemlerin kuantum bilgisayarları kullanılarak daha hızlı çözülebileceği gösterilmiştir.

Ayrıca, önerilen yaklaşım, günümüz kuantum bilgisayarlarındaki kübit sayısındaki mevcut sınırlamalar nedeniyle zorluklarla karşı karşıyadır. Bu zorluklar, şu anda kullanılan kübit kodlama yöntemleriyle ele alınabilir ve gelecekte kuantum bilgisayarlarının kübit kapasitesi arttıkça bunların azalması beklenmektedir.

Gelecekteki çalışmalarda, kübit kodlama yöntemleri kullanılarak oluşturulan kuantum-klasik hibrit yaklaşımdaki kuantum devresindeki kübit sayısı azaltılmaya çalışılacak ve ölçeklenebilirliği artırılmış bir sistem sunulmaya çalışılacaktır. Ayrıca, heterojen çok araçlı görev tahsis problemini kuantum bilgisayarlarda tamamen çözmek için yeni yöntemler araştırılacak ve geliştirilecektir. Genel olarak, gelecekteki çalışmalar, kuantum bilgisayarların avantajlarını daha fazla keşfetmek için algoritmayı tamamen bir kuantum hesaplama ortamına aktarmayı içerecektir.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen çalışmalar ve belirlenen ana çerçevenin sonuçları sunulmaktadır. Elde edilen bulgular doğrultusunda gelecekteki çalışmalar için yapabileceklerimiz tartışılmaktadır.

Günümüzde İHA, İKA ve İDA gibi insansız araçların, insan müdahalesine gerek kalmadan belirlenen hedefe güvenli ve verimli bir şekilde ulaşabilmesini mümkün kılmaktadır. Ancak bununla birlikte bu araçların birden fazla türünün aynı sistem içinde koordinasyonunu sağlamak, görev atama ve rota planlama gibi karmaşık optimizasyon problemlerini de beraberinde getirmektedir. Geliştirilen rota optimizasyonu ve engellerden kaçınma strateji yöntemi araçların enerji tüketimini minimize ederken hedefe ulaşma süresini optimize etmeyi ve engellerden güvenli bir şekilde kaçınmayı amaçlamaktadır. Önerilen yaklaşım GA tabanlı Pareto optimizasyonuna dayalı olarak rota planlamasını gerçekleştirirken, araçların hedefe ilerlerken çevredeki engelleri algılayarak rotalarını dinamik olarak güncellemelerini sağlamaktadır. Pareto optimizasyonu, birden fazla hedefi eşzamanlı olarak değerlendirerek, tek bir optimal çözüm yerine bu hedefler arasında denge sağlayan bir çözüm kümesi oluşturur. Bu yöntem, enerji tüketimi, engel kaçınma ve hedefe ulaşma süresi gibi birden çok faktörü optimize ederek araçlar için en uygun rotaları sunar. Pareto tabanlı optimizasyon yaklaşımı, enerji tüketimi, hedefe ulaşma süresi ve engel kaçınma performansı arasında bir denge kurarak optimum rotalar oluşturulmasını sağlamıştır. Önerilen yöntem araçların çevreyi gözlemlemesi, engelleri algılayarak bilgi paylaşımında bulunması, GA tabanlı optimizasyon ile hareket komutlarını belirlemesi ve hedefe ulaşmak için dinamik yönlendirme gerçekleştirmesi adımlarından oluşmaktadır. Bu süreçte, İHA ve İKA arasında sürekli bilgi paylaşımı sağlanmış ve bu işbirlikçi yaklaşım, tüm araçların güvenli ve verimli bir şekilde hedefe ulaşmasını mümkün kılmıştır. Özellikle Pareto optimizasyonu, enerji tüketimi, hedefe ulaşma süresi ve engel kaçınma gibi birden fazla hedefi dengeleyerek araçların karmaşık ortamlarda etkili bir şekilde hareket etmesini sağlamış ve çok amaçlı problemlerin çözümünde güçlü bir araç olduğu kanıtlamıştır. Simülasyon sonuçlarında, araçların yüksek engel yoğunluğu altında güvenli bir şekilde hareket edebildiğini, ancak engellerden kaçınma sürecinin enerji tüketimini artırıp hareket süresini uzattığını göstermiştir. Bu durum araçların engellerle etkileşime girmediği bir senaryoda daha kısa sürede ve daha az enerji harcayarak hedefe ulaştığını ifade etmektedir.

Çalışmada kullanılan Öklidyen mesafe tabanlı engel algılama yöntemi, hesaplama açısından hızlı ve basit olması nedeniyle düşük işlem gücüne sahip sistemlerde dahi gerçek zamanlı çalışabilme avantajı sağlamaktadır. İHA'nın engelleri algılanması ve anlık olarak işlenmesi, İKA'nın dinamik ortamlarda engellerden kaçınarak ilerlemesini mümkün kılmaktadır. Ayrıca İHA ve İKA arasında bu bilgi paylaşım mekanizması, otonom sistemlerin iş birliği içinde çalışmasını kolaylaştırarak daha güvenilir ve etkili bir hareket stratejisi sunmaktadır. Gelecekteki çalışmalarda yöntem, farklı

çevresel koşullar, çoklu araç koordinasyonu ve gerçek zamanlı uygulamalar gibi alanlarda daha da geliştirilmesi hedeflenmektedir. Bu çalışmada kullanılan simülasyon ortamı, statik ve belirli bir harita üzerinde tanımlanmış engellerle test edilmiştir. Bu sistemin gerçek dünya koşullarında uygulanabilirliğini artırmak için heterojen insansız araç sürülerinin dinamik görev atama süreçlerini optimize eden, çevresel değişkenlere uyum sağlayan ve operasyonel verimliliği artıran GA ve costmap tabanlı ikinci bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

İkinci uygulamda insansız hava, kara ve deniz araçlarının görev planlama ve rota optimizasyonu için GA ve costmap tabanlı yaklaşımlar entegre edilerek yenilikçi bir sistem geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntemde hava, kara ve deniz araçlarının operasyonel gereksinimlere uygun olarak seçilir ve engellerden kaçınarak hedef bölgelere en verimli şekilde ulaşmasını sağlamaktadır. Geleneksel kural tabanlı veya sezgisel yöntemlerle karşılaştırıldığında, önerilen sistemin daha geniş arama alanında optimum çözümler bulabildiği, hesaplama sürecinde verimliliği artırdığı ve dinamik senaryolara kolayca adapte olabildiği gözlemlenmiştir. Sistem yapısında kullanılan GA, büyük çözüm uzaylarında yüksek performans göstererek, görev kriterlerine en uygun araç kombinasyonunu belirleme konusunda önemli avantajlar sağlamaktadır. Algoritmanın temelindeki evrimsel süreçler ile araçların menzil, yakıt tüketimi, yük kapasitesi ve hava koşullarına dayanıklılık gibi çok boyutlu kriterlere göre değerlendirilmesi mümkün kılınmıştır. Ayrıca A* algoritması yapısına entegre edilen maliyet haritası (costmap) modeli sayesinde, seçilen araçların en uygun rotaları dinamik olarak belirlenebilmiş ve görev süreleri optimize edilmiştir.

Sistem, farklı görev türleri ve araç özelliklerine uygun bir şekilde optimize edilerek operasyonel başarı oranını artırmış ve çarpışma riskini azaltmıştır. Yapılan simülasyonlar, önerilen yöntemin zorlu çevresel koşullarda ve dinamik görev senaryolarında yüksek performans sergilediğini göstermiştir. Özellikle, enerji tasarrufu, çevresel adaptasyon ve görev atama süreçlerinde sağlanan iyileştirmeler, sistemin çok yönlü uygulanabilirliğini kanıtlamıştır. Sistem, görev önceliklerinin değiştiği senaryolarda araçları en uygun şekilde atayarak adaptif bir yapı sergilemiştir. Ayrıca çevresel koşullara göre araç seçim sürecini dinamik olarak optimize edilmiştir. Arazi yapısı, hava koşulları ve engel yoğunluğu gibi faktörler göz önünde bulundurularak araçların yetenekleri en uygun şekilde değerlendirilmiş ve görev başarısını artıran bir yapı oluşturulmuştur. Sistem için geliştirilen GUI ile kullanıcıların sistemi etkin bir şekilde kontrol etmesini ve elde edilen sonuçları görselleştirmesini sağlamıştır. Arayüz üzerinden engel haritası oluşturularak görev noktaları belirlenmiş ve araç rotaları dinamik olarak görselleştirilmiştir. Farklı araç ve görev türleri için optimize edilmiş çözümler anlık analiz edilerek sistemin etkileşimli ve kolay kullanımlı bir yapı sergilemesi sağlanmıştır. Böylece sistemin kolayca yönetilmesini ve sonuçların görselleştirilmesini sağlamıştır.

Gerçek dünyada insansız hava, kara ve deniz araçlarının görev koordinasyonunda karşılaşılan en büyük kısıtlardan biri, dinamik çevresel koşullara adaptasyon ve gerçek zamanlı karar verme

süreçleridir. Bu kısıtları daha etkili bir şekilde aşmak ve sistemin çevresel değişkenlere daha hızlı uyum sağlamasını sağlamak amacıyla, gelecekteki çalışmalarda sistemin daha adaptif ve dinamik bir yapıya kavuşması için makine öğrenimi teknikleriyle geliştirilmesi hedeflenmektedir. Ayrıca, simülasyon verileri yerine gerçek görev senaryolarında sistemin performansını test ederek daha gerçekçi sonuçlar elde etmek mümkün olacaktır. Bunun yanı sıra, çevresel sensörlerden alınan gerçek zamanlı verilerin entegrasyonu sağlanarak daha karmaşık ve dinamik senaryolar için çözüm üretebilen bir yapı oluşturulabilir. Bu tür geliştirmeler, sistemin gerçek dünya uygulamalarında çok yönlü kullanımını ve operasyonel etkinliğini artıracaktır.

Tez kapsamında yapılan üçüncü çalışmada insansız hava, kara ve deniz araçlarının iş birliği içinde görev atama ve rota planlama problemini çözmek için yenilikçi bir kuantum-klasik hibrit algoritma önerilmiştir. Çalışmanın temel hedefi, otonom insansız araçların farklı yetenek ve kısıtlarını göz önünde bulundurarak görev dağılımını en etkin şekilde optimize etmek ve bu süreçte kuantum hesaplamaların potansiyelinden faydalanmaktır. Önerilen yöntem, hem klasik GA hem de QEA ile kıyaslanmış ve kapsamlı simülasyonlarla test edilmiştir. Simülasyonlarda, farklı türde insansız araçların tanımlanan görevleri tamamladığı bir ortamda, algoritmaların performansı 100 farklı koşulda değerlendirilmiştir. Önerilen kuantum-klasik hibrit yöntem, QEA'ya kıyasla belirgin bir üstünlük gösterirken, klasik GA ile benzer sonuçlar elde etmiştir. Özellikle, maksimum mesafe ve toplam mesafe bazında yapılan maliyet hesaplamalarında dengeli ve verimli çözümler sunmuştur. Yöntem kara, hava ve deniz araçlarının farklı kısıtlarını (örneğin, kara araçlarının yol güzergahlarına bağlı hareket etmesi veya deniz araçlarının yalnızca kıyılarda görev yapabilmesi gibi) dikkate alarak, bu araçların görev dağılımını optimize edebilmiştir. Bu yapı sisteme esneklik ve uyum sağlamaktadır. Çalışmada Klasik GA'larla çözülmesi uzun zaman alabilecek, daha fazla kaynak, hedef ve kısıtlama içeren benzer problemlerin, kuantum bilgisayarlarının sağladığı hız avantajıyla çok daha kısa sürede çözülebileceği ortaya konulmuştur. Bununla birlikte önerilen yaklaşım, mevcut kuantum bilgisayarların sınırlı kübit kapasitesi nedeniyle bazı zorluklarla karşılaşmaktadır. Ancak bu zorluklar, mevcut kübit kodlama yöntemleriyle büyük ölçüde giderilebilir ve gelecekte kuantum bilgisayarlarının kübit kapasitelerindeki artışla birlikte bu sorunların daha da azalması beklenmektedir.

Gelecekteki çalışmalarda kuantum-klasik hibrit yaklaşımda kullanılan kuantum devresindeki kübit sayısını azaltmak için kübit kodlama yöntemlerinden yararlanılarak daha ölçeklenebilir bir sistem geliştirilmesi hedeflenmektedir. Bunun yanı sıra, heterojen çok araçlı görev atama probleminin tamamen kuantum bilgisayarlar kullanılarak çözülebilmesi için yeni yaklaşımlar keşfedilecek ve yenilikçi yöntemler geliştirilecektir. Genel olarak gelecekteki çalışmalar, kuantum bilgisayarların avantajlarını daha kapsamlı bir şekilde keşfetmek için algoritmanın tamamen kuantum hesaplama ortamına aktarılmasına odaklanacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] D. H. Stolfi, M. R. Brust, G. Danoy, and P. Bouvry, "UAV-UGV-UMV Multi-Swarms for Cooperative Surveillance," *Front. Robot. AI*, vol. 8, 2021, doi: 10.3389/frobt.2021.616950.
- [2] F. Bolat and Ö. Koşaner, "İnsansız Gemilerin Güncel Statüleri," *Eur. J. Sci. Technol.*, 2021, doi: 10.31590/ejosat.870875.
- [3] D. Giordan, M. S. Adams, I. Aicardi, M. Alicandro, P. Allasia, M. Baldo, P. De Berardinis, D. Dominici, D. Godone, P. Hobbs, V. Lechner, T. Niedzielski, M. Piras, M. Rotilio, R. Salvini, V. Segor, B. Sotier, and F. Troilo, "The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for engineering geology applications," *Bull. Eng. Geol. Environ.*, vol. 79, no. 7, pp. 3437–3481, 2020, doi: 10.1007/s10064-020-01766-2.
- [4] A. Topal and T. Yiğit, "İnsansız Kara Araçları İçin LİDAR Teknolojisi Kullanarak 3B Ortam Haritalama Sistemi," *Journal*, vol. 5, no. 2, pp. 171–186, 2021, [Online]. Available: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1853664>
- [5] Z. Akbari and R. Unland, "A Novel Heterogeneous Swarm Reinforcement Learning Method for Sequential Decision Making Problems," *Mach. Learn. Knowl. Extr.*, vol. 1, no. 2, pp. 590–610, 2019, doi: 10.3390/make1020035.
- [6] M. Schranz, M. Umlauf, M. Sende, and W. Elmenreich, "Swarm Robotic Behaviors and Current Applications," *Front. Robot. AI*, vol. 7, 2020, doi: 10.3389/frobt.2020.00036.
- [7] F. Ducatelle, G. A. Di Caro, and L. M. Gambardella, "Cooperative self-organization in a heterogeneous swarm robotic system," *Proc. 12th Annu. Genet. Evol. Comput. Conf. GECCO '10*, pp. 87–94, 2010, doi: 10.1145/1830483.1830501.
- [8] M. Brambilla, E. Ferrante, M. Birattari, and M. Dorigo, "Swarm robotics: A review from the swarm engineering perspective," *Swarm Intell.*, vol. 7, no. 1, pp. 1–41, 2013, doi: 10.1007/s11721-012-0075-2.
- [9] E. Sahin, "Swarm Robotics: From Sources of Inspiration to Domains of Application," *Lect. Notes Comput. Sci.*, vol. 3342, no. October, pp. 1–9, 2005, [Online]. Available: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?db=pubmed&cmd=Retrieve&dopt=AbstractPlus&list_uids=000228181500001
- [10] P. G. Faria Dias, M. C. Silva, G. P. Rocha Filho, P. A. Vargas, L. P. Cota, and G. Pessin, "Swarm robotics: A perspective on the latest reviewed concepts and applications," *Sensors*, vol. 21, no. 6, pp. 1–30, 2021, doi: 10.3390/s21062062.
- [11] P. Bouvry, S. Chaumette, G. Danoy, G. Guerrini, G. Jurquet, and A. Kuwertz, "Using heterogeneous multilevel swarms of UAVs and high-level data fusion to support situation management in surveillance scenarios," *IEEE Int. Conf. Multisens. Fusion Integr. Intell. Syst.*, vol. 0, pp. 424–429, 2016, doi: 10.1109/MFI.2016.7849525.

- [12] L. Vitkova, V. Desnitsky, A. Chechulin, and I. Kotenko, "Approach to organizing of a heterogeneous swarm of cyber-physical devices to detect intruders," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 52, no. 13, pp. 945–950, 2019, doi: 10.1016/j.ifacol.2019.11.316.
- [13] J. Wu, Y. Yu, J. Ma, J. Wu, G. Han, J. Shi, and L. Gao, "Autonomous Cooperative Flocking for Heterogeneous Unmanned Aerial Vehicle Group," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 70, no. 12, pp. 12477–12490, 2021, doi: 10.1109/TVT.2021.3124898.
- [14] P. Zhuang, T. Xu, S. Wang, and Q. Peng, "A Software-defined Modular Architecture for Heterogeneous Unmanned System," *Proc. 2021 IEEE Int. Conf. Unmanned Syst. ICUS 2021*, pp. 730–734, 2021, doi: 10.1109/ICUS52573.2021.9641067.
- [15] X. Pan, Y. Jin, Z. Wang, and F. Li, "A Pairing-free Heterogeneous Signcryption Scheme for Unmanned Aerial Vehicles," *IEEE Internet Things J.*, 2022, doi: 10.1109/JIOT.2022.3167102.
- [16] J. Wang, Y. Liu, S. Niu, W. Jing, and H. Song, "Throughput Optimization in Heterogeneous Swarms of Unmanned Aircraft Systems for Advanced Aerial Mobility," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 23, no. 3, pp. 2752–2761, 2022, doi: 10.1109/TITS.2021.3082512.
- [17] M. G. Seo and A. Tsourdos, "Strategic deconfliction of heterogeneous multiple unmanned aerial vehicles using direct trajectory optimization," *AIAA/IEEE Digit. Avion. Syst. Conf. - Proc.*, vol. 2020-Octob, 2020, doi: 10.1109/DASC50938.2020.9256652.
- [18] K. A. Ghamry, Y. Dong, M. A. Kamel, and Y. Zhang, "Real-time autonomous take-off, tracking and landing of UAV on a moving UGV platform," *24th Mediterr. Conf. Control Autom. MED 2016*, pp. 1236–1241, 2016, doi: 10.1109/MED.2016.7535886.
- [19] Y. Bergeon, R. Doskočil, V. Křivánek, J. Motsch, and A. Štefek, "UAV assisted landing on moving UGV," *ICMT 2015 - Int. Conf. Mil. Technol. 2015*, 2015, doi: 10.1109/MILTECHS.2015.7153646.
- [20] V. P. Bacheti, A. S. Brandao, and M. Sarcinelli-Filho, "Path-Following with a UGV-UAV Formation Considering that the UAV Lands on the UGV," *2020 Int. Conf. Unmanned Aircr. Syst. ICUAS 2020*, pp. 488–497, 2020, doi: 10.1109/ICUAS48674.2020.9213918.
- [21] H. Cheng, Y. Chen, X. Li, and W. W. Shing, "Autonomous takeoff, tracking and landing of a UAV on a moving UGV using onboard monocular vision," *Chinese Control Conf. CCC*, pp. 5895–5901, 2013.
- [22] P. Shu, Y. Hu, Y. Hua, X. Dong, and Z. Ren, "Output Formation Tracking Control for Heterogeneous Multi-Agent Systems with Application to Unmanned Aerial and Ground Vehicles," *Chinese Control Conf. CCC*, vol. 2022-July, pp. 5038–5043, 2022, doi: 10.23919/CCC55666.2022.9902210.
- [23] J. Lin, J. Yan, X. Yang, and X. Luo, "Cross-domain Monitoring of Underwater Targets Based on Q-learning for Heterogeneous Unmanned Vehicles," *Chinese Control Conf. CCC*,

- vol. 2022-July, pp. 4299–4304, 2022, doi: 10.23919/CCC55666.2022.9901702.
- [24] H. Zheng, J. Guo, X. Yu, and P. Yan, “Heterogeneous multiple unmanned air vehicles collaborative mission planning with complex constraints,” *Proc. 2020 3rd Int. Conf. Unmanned Syst. ICUS 2020*, pp. 917–922, 2020, doi: 10.1109/ICUS50048.2020.9274991.
 - [25] J. Zhang, P. Wen, and A. Xiong, “Multi-task Assignment Research for Heterogeneous UAVs based on Improved Simulated Annealing Particle Swarm Optimization Algorithm,” *Proc. - 2022 Int. Conf. Cyber-Enabled Distrib. Comput. Knowl. Discov. CyberC 2022*, pp. 284–288, 2022, doi: 10.1109/CyberC55534.2022.00054.
 - [26] Y. Wang, X. Wei, H. Wang, Y. Hu, K. Zhao, and J. Fan, “Distributed matching theory-based task re-allocating for heterogeneous multi-UAV edge computing,” *China Commun.*, vol. 21, no. 1, pp. 260–278, 2024, doi: 10.23919/JCC.fa.2022-0247.202401.
 - [27] K. Li, C. Zhu, X. Pan, L. Xu, and K. Liu, “A Mission Planning Method for Long-Endurance Unmanned Aerial Vehicles: Integrating Heterogeneous Ground Control Resource Allocation,” *Drones*, vol. 8, no. 8, 2024, doi: 10.3390/drones8080385.
 - [28] K. Li, X. Yan, and Y. Han, “Multi-mechanism swarm optimization for multi-UAV task assignment and path planning in transmission line inspection under multi-wind field,” *Appl. Soft Comput.*, vol. 150, 2024, doi: 10.1016/j.asoc.2023.111033.
 - [29] K. Manaswitha, T. Issac, S. Silas, and J. S. Terance, “Investigation of Red Fox Algorithm for Solving Task Assignment Problem in Heterogeneous Unmanned Aerial Vehicle Swarm,” *2024 3rd Int. Conf. Artif. Intell. Internet Things, AIIoT 2024*, 2024, doi: 10.1109/AIIoT58432.2024.10574748.
 - [30] İ. Aydın and G. Altun, “Hesapsal Zekâ Yöntemleri ile İnsansız Hava Araçları için Rota Planlaması,” *DÜMF Mühendislik Derg.*, pp. 37–45, 2021, doi: 10.24012/dumf.860192.
 - [31] L. Chen, W. L. Liu, and J. Zhong, “An efficient multi-objective ant colony optimization for task allocation of heterogeneous unmanned aerial vehicles,” *J. Comput. Sci.*, vol. 58, 2022, doi: 10.1016/j.jocs.2021.101545.
 - [32] F. Ye, J. Chen, Y. Tian, and T. Jiang, “Cooperative task assignment of a heterogeneous multi-UAV system using an adaptive genetic algorithm,” *Electron.*, vol. 9, no. 4, 2020, doi: 10.3390/electronics9040687.
 - [33] J. Tang, D. Liu, Q. Wang, J. Li, and J. Sun, “Probabilistic Chain-Enhanced Parallel Genetic Algorithm for UAV Reconnaissance Task Assignment,” *Drones*, vol. 8, no. 6, 2024, doi: 10.3390/drones8060213.
 - [34] J. Zhao, J. Sun, Z. Cai, Y. Wang, and K. Wu, “Distributed coordinated control scheme of UAV swarm based on heterogeneous roles,” *Chinese J. Aeronaut.*, vol. 35, no. 1, pp. 81–97, 2022, doi: 10.1016/j.cja.2021.01.014.
 - [35] H. Deng, J. Huang, Q. Liu, T. Zhao, C. Zhou, and J. Gao, “A Distributed Collaborative

- Allocation Method of Reconnaissance and Strike Tasks for Heterogeneous UAVs,” *Drones*, vol. 7, no. 2, 2023, doi: 10.3390/drones7020138.
- [36] U. Ü. Uçar and S. K. İşleyen, “Hareketli Hedefli - Heterojen Filolu İHA Rotalama Problemi İçin Yeni Bir Çözüm Yaklaşımı,” *Politek. Derg.*, vol. 22, no. 4, pp. 999–1016, 2019, doi: 10.2339/politeknik.466393.
- [37] J. Chen, C. Du, X. Lu, and K. Chen, “Multi-region coverage path planning for heterogeneous unmanned aerial vehicles systems,” *Proc. - 13th IEEE Int. Conf. Serv. Syst. Eng. SOSE 2019, 10th Int. Work. Jt. Cloud Comput. JCC 2019 2019 IEEE Int. Work. Cloud Comput. Robot. Syst. CCRS 2019*, pp. 356–361, 2019, doi: 10.1109/SOSE.2019.00060.
- [38] H. Yu, S. Leng, and F. Wu, “Joint Cooperative Computation Offloading and Trajectory Optimization in Heterogeneous UAV-Swarm-Enabled Aerial Edge Computing Networks,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 11, no. 10, pp. 17700–17711, 2024, doi: 10.1109/JIOT.2024.3362321.
- [39] F. Yang, Z. Li, and J. Fu, “Collaborative Decision-making in Heterogeneous UAV Swarms based on Multi-agent Deep Reinforcement Learning,” *Proc. - 2024 39th Youth Acad. Annu. Conf. Chinese Assoc. Autom. YAC 2024*, pp. 2127–2134, 2024, doi: 10.1109/YAC63405.2024.10598528.
- [40] B. Bişkin, D. Tezcaner Öztürk, and C. Tuncer Şakar, “İki amaçlı İHA filosu rota planlaması: Kesin ve sezgisel yöntemler,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimar. Fakültesi Derg.*, vol. 38, no. 4, pp. 2167–2178, 2023, doi: 10.17341/gazimmfd.990791.
- [41] S. Değirmen, F. Çavdur, and A. Sebatlı, “Afet Operasyonları Yönetiminde İnsansız Hava Araçlarının Kullanımı: Gözetleme Operasyonları İçin Rota Planlama,” *Uludağ Univ. J. Fac. Eng.*, vol. 23, no. 4, pp. 11–26, 2018, doi: 10.17482/uumfd.455146.
- [42] D. Kilinc and H. Celik, “Blockchain-Based Data Sharing within Unmanned Aerial Vehicles Swarm,” *Proc. 10th Int. Conf. Recent Adv. Air Sp. Technol. RAST 2023*, 2023, doi: 10.1109/RAST57548.2023.10197989.
- [43] L. Sun, J. Wang, L. Wan, K. Li, X. Wang, and Y. Lin, “Human-UAV Interaction Assisted Heterogeneous UAV Swarm Scheduling for Target Searching in Communication Denial Environment,” *IEEE Trans. Autom. Sci. Eng.*, 2024, doi: 10.1109/TASE.2024.3412005.
- [44] D. Han, H. Jiang, L. Wang, X. Zhu, Y. Chen, and Q. Yu, “Collaborative Task Allocation and Optimization Solution for Unmanned Aerial Vehicles in Search and Rescue,” *Drones*, vol. 8, no. 4, 2024, doi: 10.3390/drones8040138.
- [45] M. Zhao and D. Li, “Collaborative Task Allocation of Heterogeneous Multi-Unmanned Platform Based on a Hybrid Improved Contract Net Algorithm,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 78936–78946, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3084238.
- [46] C. Chen, Y. Wan, B. Li, C. Wang, G. Xie, and H. Jiang, “Motion planning for heterogeneous

- unmanned systems under partial observation from UAV,” *IEEE Int. Conf. Intell. Robot. Syst.*, pp. 1474–1479, 2020, doi: 10.1109/IROS45743.2020.9341326.
- [47] S. Ramasamy, M. S. Mondal, J. P. F. Reddinger, J. M. Dotterweich, J. D. Humann, M. A. Childers, and P. A. Bhounsule, “Solving Vehicle Routing Problem for Unmanned Heterogeneous Vehicle Systems using Asynchronous Multi-Agent Architecture (A-teams),” *2023 Int. Conf. Unmanned Aircr. Syst. ICUAS 2023*, pp. 95–102, 2023, doi: 10.1109/ICUAS57906.2023.10156585.
- [48] M. A. El Khadrawy, M. B. Emara, Y. A. Abdalla, C. M. Elias, and O. M. Shehata, “A Meta-heuristic Approach for Exploring Rough Terrain using UAV/UGV Heterogeneous System,” *NILES 2022 - 4th Nov. Intell. Lead. Emerg. Sci. Conf. Proc.*, pp. 50–55, 2022, doi: 10.1109/NILES56402.2022.9942386.
- [49] M. S. Mondal, S. Ramasamy, J. D. Humann, J. P. F. Reddinger, J. M. Dotterweich, M. A. Childers, and P. Bhounsule, “Optimizing Fuel-Constrained UAV-UGV Routes for Large Scale Coverage: Bilevel Planning in Heterogeneous Multi-Agent Systems,” *2023 Int. Symp. Multi-Robot Multi-Agent Syst. MRS 2023*, pp. 114–120, 2023, doi: 10.1109/MRS60187.2023.10416777.
- [50] H. Liang, S. Yang, T. Li, and H. Zhang, “Distributed Adaptive Cooperative Control for Human-in-the-Loop Heterogeneous UAV-UGV Systems with Prescribed Performance,” *IEEE Trans. Intell. Veh.*, 2024, doi: 10.1109/TIV.2024.3391176.
- [51] S. Zhou, X. Dong, Q. Li, and Z. Ren, “Time-varying formation tracking control for UAV-UGV heterogeneous swarm systems with switching directed topologies,” *IEEE Int. Conf. Control Autom. ICCA*, vol. 2020-Octob, pp. 1068–1073, 2020, doi: 10.1109/ICCA51439.2020.9264359.
- [52] J. L. Shi, B. Hu, L. Chen, D. X. Zhang, D. X. He, J. Huang, and Z. H. Guan, “Formation tracking of heterogeneous ugv-uav systems with switching directed topologies,” *2019 4th IEEE Int. Conf. Adv. Robot. Mechatronics, ICARM 2019*, pp. 970–975, 2019, doi: 10.1109/ICARM.2019.8833772.
- [53] H. Tang and Y. Chen, “Dynamic Event-Triggered Distributed MPC for Heterogeneous UAVs-UGVs Against DoS Attacks,” *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, 2024, doi: 10.1109/TAES.2024.3422158.
- [54] Y. Y. Li and Y. X. Li, “Resilient Distributed Fixed-Time Tracking of Heterogeneous UAVs-UGVs Systems Against DoS Attacks,” *IEEE Trans. Syst. Man, Cybern. Syst.*, 2024, doi: 10.1109/TSMC.2024.3408410.
- [55] V. Lappas, H. S. Shin, A. Tsourdos, D. Lindgren, S. Bertrand, J. Marzat, H. Piet-Lahanier, Y. Daramouskas, and V. Kostopoulos, “Autonomous Unmanned Heterogeneous Vehicles for Persistent Monitoring,” *Drones*, vol. 6, no. 4, 2022, doi: 10.3390/drones6040094.

- [56] H. Yu, K. Gao, Z. Ma, and L. Wang, "Exact and Deep Q-Network Assisted Swarm Intelligence Methods for Scheduling Multi-Objective Heterogeneous Unmanned Surface Vehicles," *IEEE Trans. Evol. Comput.*, 2024, doi: 10.1109/TEVC.2024.3415368.
- [57] T. Cimiega and S. Badri-Hoeher, "A Cooperative Sensor-Based Navigational Concept for Heterogeneous AUV Swarms," *Ocean. Conf. Rec.*, vol. 2021-Septe, 2021, doi: 10.23919/OCEANS44145.2021.9705893.
- [58] Y. Wu, K. H. Low, and C. Lv, "Cooperative Path Planning for Heterogeneous Unmanned Vehicles in a Search-and-Track Mission Aiming at an Underwater Target," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 69, no. 6, pp. 6782–6787, 2020, doi: 10.1109/TVT.2020.2991983.
- [59] S. V. Ajith, J. Kg, and K. Vidhya, "Intelligent Task Scheduling in Multi UAVs During the Flood Relief Operation," *2023 Int. Conf. IoT, Commun. Autom. Technol. ICICAT 2023*, 2023, doi: 10.1109/ICICAT57735.2023.10263709.
- [60] J. Zhang, M. Dai, and Z. Su, "Task Allocation with Unmanned Surface Vehicles in Smart Ocean IoT," *IEEE Internet Things J.*, vol. 7, no. 10, pp. 9702–9713, 2020, doi: 10.1109/JIOT.2020.2991578.
- [61] L. Shuhang, X. Chenglong, W. Xiande, and W. Donghui, "Task Cooperative Assignment for Heterogeneous Platforms Composed of UAV and USV," *Lect. Notes Electr. Eng.*, vol. 1010 LNEE, pp. 2823–2832, 2023, doi: 10.1007/978-981-99-0479-2_261.
- [62] Y. Fan, Z. Du, H. Liu, and G. Wang, "Integrated Control of End-to-End Parallel Sea and Air Heterogeneous Multi-Unmanned Vehicles," *Proc. 34th Chinese Control Decis. Conf. CCDC 2022*, pp. 4731–4736, 2022, doi: 10.1109/CCDC55256.2022.10033756.
- [63] S. Qin, X. Yang, W. Zhang, M. Sun, X. Liu, and Z. Zhen, "Multi-target Cooperative Path Planning for Air-Sea Heterogeneous Unmanned System," *2023 6th Int. Symp. Auton. Syst. ISAS 2023*, 2023, doi: 10.1109/ISAS59543.2023.10164371.
- [64] S. Cheng, H. Wang, S. Huang, Y. Chen, C. He, and S. Niu, "Research on Coordinated Task Planning Method of Large-Scale Regional Search and Exploration for UUV and USV," *Chinese Control Conf. CCC*, vol. 2023-July, pp. 2086–2091, 2023, doi: 10.23919/CCC58697.2023.10241168.
- [65] N. F. Bar, H. Yetiş, N. Özbey, and M. Karaköse, "Quantum Computing Based Collaborative Optimum Mission Allocation Approach for Heterogeneous Multi Unmanned Vehicles," *IEEE Access*, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3498345.
- [66] L. C. B. Da Silva, R. M. Bernardo, H. A. De Oliveira, and P. F. F. Rosa, "Multi-UAV agent-based coordination for persistent surveillance with dynamic priorities," *ICMT 2017 - 6th Int. Conf. Mil. Technol.*, pp. 765–771, 2017, doi: 10.1109/MILTECHS.2017.7988859.
- [67] Y. Chen, D. Yang, and J. Yu, "Multi-UAV Task Assignment with Parameter and Time-Sensitive Uncertainties Using Modified Two-Part Wolf Pack Search Algorithm," *IEEE*

- Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, vol. 54, no. 6, pp. 2853–2872, 2018, doi: 10.1109/TAES.2018.2831138.
- [68] J. Zhang, P. Wen, and A. Xiong, “Application of Improved Quantum Particle Swarm Optimization Algorithm to Multi-Task Assignment for Heterogeneous UAVs,” *Proc. 2022 6th Asian Conf. Artif. Intell. Technol. ACAIT 2022*, 2022, doi: 10.1109/ACAIT56212.2022.10137945.
- [69] S. Gao, J. Wu, and J. Ai, “Multi-UAV reconnaissance task allocation for heterogeneous targets using grouping ant colony optimization algorithm,” *Soft Comput.*, vol. 25, no. 10, pp. 7155–7167, 2021, doi: 10.1007/s00500-021-05675-8.
- [70] R. Luo, H. Zheng, and J. Guo, “Solving the multi-functional heterogeneous uav cooperative mission planning problem using multi-swarm fruit fly optimization algorithm,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 20, no. 18, pp. 1–22, 2020, doi: 10.3390/s20185026.
- [71] J. Zhao, W. Zhao, C. Liu, A. Li, and Z. Liu, “A Method of Multi-UAV Collaborative Task Assignment Based on Multiplexing,” *2021 7th Int. Conf. Comput. Commun. ICC3 2021*, pp. 1078–1086, 2021, doi: 10.1109/ICCC54389.2021.9674590.
- [72] A. Ailon, I. Zohar, and H. Guterman, “Trajectory tracking and formation controls for a UAV model that incorporates dynamic effects,” *Proc. - 2016 2nd Int. Conf. Control. Autom. Robot. ICCAR 2016*, pp. 219–224, 2016, doi: 10.1109/ICCAR.2016.7486729.
- [73] Y. Cao, W. Wei, Y. Bai, and H. Qiao, “Multi-base multi-UAV cooperative reconnaissance path planning with genetic algorithm,” *Cluster Comput.*, vol. 22, pp. 5175–5184, 2019, doi: 10.1007/s10586-017-1132-9.
- [74] J. Liu, S. Anavatti, M. Garratt, and H. A. Abbass, “Modified continuous Ant Colony Optimisation for multiple Unmanned Ground Vehicle path planning,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 196, 2022, doi: 10.1016/j.eswa.2022.116605.
- [75] Y. Jo and H. Il Son, “Field Evaluation of a Prioritized Path-Planning Algorithm for Heterogeneous Agricultural Tasks of Multi-UGVs,” *Proc. - IEEE Int. Conf. Robot. Autom.*, pp. 11891–11897, 2024, doi: 10.1109/ICRA57147.2024.10610857.
- [76] T. Wang, P. Huang, and G. Dong, “Modeling and Path Planning for Persistent Surveillance by Unmanned Ground Vehicle,” *IEEE Trans. Autom. Sci. Eng.*, vol. 18, no. 4, pp. 1615–1625, 2020, doi: 10.1109/TASE.2020.3013288.
- [77] H. Ren, S. Chen, L. Yang, and Y. Zhao, “Optimal Path Planning and Speed Control Integration Strategy for UGVs in Static and Dynamic Environments,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 69, no. 10, pp. 10619–10629, 2020, doi: 10.1109/TVT.2020.3015582.
- [78] M. R. Jabbarpour, H. Zarrabi, J. J. Jung, and P. Kim, “A green ant-based method for path planning of unmanned ground vehicles,” *IEEE Access*, vol. 5, pp. 1820–1832, 2017, doi: 10.1109/ACCESS.2017.2656999.

- [79] W. Gao, J. Luo, W. Zhang, and F. Xiang, “Goal Control for UGV Path Planning in Complex Environment,” *Proc. - 2019 Chinese Autom. Congr. CAC 2019*, pp. 5318–5322, 2019, doi: 10.1109/CAC48633.2019.8996747.
- [80] X. Jin, G. Zhang, M. Yang, X. Peng, and B. Shi, “Cooperative multi-task traversing with complex marine environment for multiple unmanned surface vehicles inspired by membrane computing,” *Ocean Eng.*, vol. 266, 2022, doi: 10.1016/j.oceaneng.2022.112586.
- [81] X. Sun, L. Zhang, D. Song, and Q. M. J. Wu, “A novel path planning method for multiple USVs to collect seabed-based data,” *Ocean Eng.*, vol. 269, 2023, doi: 10.1016/j.oceaneng.2022.113510.
- [82] S. Yang, J. Huang, X. Xiang, J. Li, and Y. Liu, “Cooperative survey of seabed ROIs using multiple USVs with coverage path planning,” *Ocean Eng.*, vol. 268, 2023, doi: 10.1016/j.oceaneng.2022.113308.
- [83] G. Tan, J. Zhuang, J. Zou, and L. Wan, “Multi-type task allocation for multiple heterogeneous unmanned surface vehicles (USVs) based on the self-organizing map,” *Appl. Ocean Res.*, vol. 126, 2022, doi: 10.1016/j.apor.2022.103262.
- [84] Z. Chen, Y. Zhang, Y. Zhang, Y. Nie, J. Tang, and S. Zhu, “A Hybrid Path Planning Algorithm for Unmanned Surface Vehicles in Complex Environment with Dynamic Obstacles,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 126439–126449, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2936689.
- [85] B. Hao, H. Du, and Z. Yan, “A path planning approach for unmanned surface vehicles based on dynamic and fast Q-learning,” *Ocean Eng.*, vol. 270, 2023, doi: 10.1016/j.oceaneng.2023.113632.
- [86] Z. Yan and Y. Li, “Data collection optimization of ocean observation network based on AUV path planning and communication,” *Ocean Eng.*, vol. 282, 2023, doi: 10.1016/j.oceaneng.2023.114912.
- [87] F. Roperio, P. Muñoz, and M. D. R-Moreno, “TERRA: A path planning algorithm for cooperative UGV–UAV exploration,” *Eng. Appl. Artif. Intell.*, vol. 78, pp. 260–272, 2019, doi: 10.1016/j.engappai.2018.11.008.
- [88] J. Li, T. Sun, X. Huang, L. Ma, Q. Lin, J. Chen, and V. C. Leung, “A Memetic Path Planning Algorithm for Unmanned Air/Ground Vehicle Cooperative Detection Systems,” *IEEE Trans. Autom. Sci. Eng.*, vol. 19, no. 4, pp. 2724–2737, 2022, doi: 10.1109/TASE.2021.3061870.
- [89] M. De Petrillo, J. Beard, Y. Gu, and J. N. Gross, “Search Planning of a UAV/UGV Team with Localization Uncertainty in a Subterranean Environment,” *IEEE Aerosp. Electron. Syst. Mag.*, vol. 36, no. 6, pp. 6–16, 2021, doi: 10.1109/MAES.2021.3065041.
- [90] Y. Wu, S. Wu, and X. Hu, “Cooperative Path Planning of UAVs UGVs for a Persistent

- Surveillance Task in Urban Environments,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 8, no. 6, pp. 4906–4919, 2021, doi: 10.1109/JIOT.2020.3030240.
- [91] J. Wang, K. Yang, B. Wu, and J. Wang, “Cooperative Path Planning for Persistent Surveillance in Large-Scale Environment with UAV-UGV System,” *IEEE Trans. Electr. Electron. Eng.*, 2024, doi: 10.1002/tee.24157.
- [92] J. Lee, J. Lim, S. Pyo, and J. Lee, “Aerial online mapping on-board system by real-time object detection for UGV path generation in unstructured outdoor environments,” *J. F. Robot.*, vol. 40, no. 7, pp. 1754–1765, 2023, doi: 10.1002/rob.22213.
- [93] T. Deng, X. Xu, Z. Ding, X. Xiao, M. Zhu, and K. Peng, “Automatic collaborative water surface coverage and cleaning strategy of UAV and USVs,” *Digit. Commun. Networks*, 2022, doi: 10.1016/j.dcan.2022.12.014.
- [94] Y. Wang, W. Liu, J. Liu, and C. Sun, “Cooperative USV–UAV marine search and rescue with visual navigation and reinforcement learning-based control,” *ISA Trans.*, vol. 137, pp. 222–235, 2023, doi: 10.1016/j.isatra.2023.01.007.
- [95] W. Bi, M. Zhang, H. Chen, and A. Zhang, “Cooperative task allocation method for air-sea heterogeneous unmanned system with an application to ocean environment information monitoring,” *Ocean Eng.*, vol. 309, 2024, doi: 10.1016/j.oceaneng.2024.118496.
- [96] M. J. Mahmoodabadi and N. R. Babak, “Pareto optimum design of an adaptive robust backstepping controller for an unmanned aerial vehicle,” *Asian J. Control*, vol. 25, no. 1, pp. 201–212, 2023, doi: 10.1002/asjc.2764.
- [97] Y. Song and X. Fang, “An Improved Strength Pareto Evolutionary Algorithm 2 with Adaptive Crossover Operator for Bi-Objective Distributed Unmanned Aerial Vehicle Delivery,” *Mathematics*, vol. 11, no. 15, 2023, doi: 10.3390/math11153327.
- [98] V. Gomez, N. Gomez, J. Rodas, E. Paiva, M. Saad, and R. Gregor, “Pareto optimal PID tuning for Px4-based unmanned aerial vehicles by using a multi-objective particle swarm optimization algorithm,” *Aerospace*, vol. 7, no. 6, 2020, doi: 10.3390/AEROSPACE7060071.
- [99] C. Ntakolia, G. P. Kladis, and D. V. Lyridis, “A Fuzzy Logic Approach of Pareto Optimality for Multi-objective Path Planning in case of Unmanned Surface Vehicle,” *J. Intell. Robot. Syst. Theory Appl.*, vol. 109, no. 1, 2023, doi: 10.1007/s10846-023-01945-9.
- [100] Y. Liao and V. Friderikos, “Energy and Age Pareto Optimal Trajectories in UAV-Assisted Wireless Data Collection,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 71, no. 8, pp. 9101–9106, 2022, doi: 10.1109/TVT.2022.3175318.
- [101] K. Le Gall, L. Lemarchand, and C. Dezan, “Online USV Re-planning with Embedded Pareto Sets,” *2024 13th Mediterr. Conf. Embed. Comput. MECO 2024*, 2024, doi: 10.1109/MECO62516.2024.10577957.

- [102] R. Raja, A. Dutta, and K. S. Venkatesh, “New potential field method for rough terrain path planning using genetic algorithm for a 6-wheel rover,” *Rob. Auton. Syst.*, vol. 72, pp. 295–306, 2015, doi: 10.1016/j.robot.2015.06.002.
- [103] S. Poudel and S. Moh, “Task assignment algorithms for unmanned aerial vehicle networks: A comprehensive survey,” *Veh. Commun.*, vol. 35, 2022, doi: 10.1016/j.vehcom.2022.100469.
- [104] J. Park, S. Kim, G. Noh, H. Kim, D. Lee, and I. Lee, “Mission planning and performance verification of an unmanned surface vehicle using a genetic algorithm,” *Int. J. Nav. Archit. Ocean Eng.*, vol. 13, pp. 575–584, 2021, doi: 10.1016/j.ijnaoe.2021.07.002.
- [105] G. Keklik and B. D. Özcan, “Genetik Algoritmaların İşleyişi ve Genetik Algoritma Uygulamalarında Kullanılan Operatörler,” *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Derg.*, vol. 6, no. 1, pp. 1052–1066, 2023, doi: 10.47495/okufbed.1161413.
- [106] H. Liu, J. Ge, Y. Wang, J. Li, K. Ding, Z. Zhang, Z. Guo, W. Li, and J. Lan, “Multi-UAV Optimal Mission Assignment and Path Planning for Disaster Rescue Using Adaptive Genetic Algorithm and Improved Artificial Bee Colony Method,” *Actuators*, vol. 11, no. 1, 2022, doi: 10.3390/act11010004.
- [107] I. Noreen, A. Khan, and Z. Habib, “Optimal Path Planning using RRT* based Approaches: A Survey and Future Directions,” *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 7, no. 11, 2016, doi: 10.14569/ijacsa.2016.071114.
- [108] A. N. Jasim and L. C. Fourati, “Guided Genetic Algorithm for Solving Capacitated Vehicle Routing Problem with Unmanned-Aerial-Vehicles,” *IEEE Access*, vol. 12, pp. 106333–106358, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3438079.
- [109] S. Han, C. Fan, X. Li, X. Luo, and Z. Liu, “A modified genetic algorithm for task assignment of heterogeneous unmanned aerial vehicle system,” *Meas. Control (United Kingdom)*, vol. 54, no. 5–6, pp. 994–1014, 2021, doi: 10.1177/00202940211002235.
- [110] X. Yuan, J. Zhu, Y. Li, H. Huang, and M. Wu, “An enhanced genetic algorithm for unmanned aerial vehicle logistics scheduling,” *IET Commun.*, vol. 15, no. 10, pp. 1402–1411, 2021, doi: 10.1049/cmu2.12106.
- [111] G. Huang, M. Hu, X. Yang, X. Wang, Y. Wang, and F. Huang, “A Review of Constrained Multi-Objective Evolutionary Algorithm-Based Unmanned Aerial Vehicle Mission Planning: Key Techniques and Challenges,” *Drones*, vol. 8, no. 7, 2024, doi: 10.3390/drones8070316.
- [112] J. G. Martin, J. R. D. Frejo, R. A. García, and E. F. Camacho, “Multi-robot task allocation problem with multiple nonlinear criteria using branch and bound and genetic algorithms,” *Intell. Serv. Robot.*, vol. 14, no. 5, pp. 707–727, 2021, doi: 10.1007/s11370-021-00393-4.
- [113] W. Tan, Y. J. Hu, Y. F. Zhao, W. G. Li, X. M. Zhang, and Y. K. Li, “Mission Planning for

- Unmanned Aerial Vehicles Based on Voronoi Diagram-Tabu Genetic Algorithm,” *Wirel. Commun. Mob. Comput.*, vol. 2021, 2021, doi: 10.1155/2021/4154787.
- [114] J. Song, K. Zhao, and Y. Liu, “Survey on Mission Planning of Multiple Unmanned Aerial Vehicles,” *Aerospace*, vol. 10, no. 3, 2023, doi: 10.3390/aerospace10030208.
- [115] S. Teng, X. Hu, P. Deng, B. Li, Y. Li, Y. Ai, D. Yang, L. Li, Z. Xuanyuan, F. Zhu, and L. Chen, “Motion Planning for Autonomous Driving: The State of the Art and Future Perspectives,” *IEEE Trans. Intell. Veh.*, vol. 8, no. 6, pp. 3692–3711, 2023, doi: 10.1109/TIV.2023.3274536.
- [116] N. F. Bar and M. Karakose, “Collaborative approach for swarm robot systems based on distributed DRL,” *Eng. Sci. Technol. an Int. J.*, vol. 53, 2024, doi: 10.1016/j.jestch.2024.101701.
- [117] A. A. Laghari, A. K. Jumani, R. A. Laghari, and H. Nawaz, “Unmanned aerial vehicles: A review,” *Cogn. Robot.*, vol. 3, pp. 8–22, 2023, doi: 10.1016/j.cogr.2022.12.004.
- [118] L. Xu, X. Cao, W. Du, and Y. Li, “Cooperative path planning optimization for multiple UAVs with communication constraints,” *Knowledge-Based Syst.*, vol. 260, 2023, doi: 10.1016/j.knosys.2022.110164.
- [119] R. Chai, Y. Guo, Z. Zuo, K. Chen, H. S. Shin, and A. Tsourdos, “Cooperative motion planning and control for aerial-ground autonomous systems: Methods and applications,” *Prog. Aerosp. Sci.*, vol. 146, 2024, doi: 10.1016/j.paerosci.2024.101005.
- [120] M. M. Alam and S. Moh, “Q-learning-based routing inspired by adaptive flocking control for collaborative unmanned aerial vehicle swarms,” *Veh. Commun.*, vol. 40, 2023, doi: 10.1016/j.vehcom.2023.100572.
- [121] B. Zhou, H. Xu, and S. Shen, “RACER: Rapid Collaborative Exploration With a Decentralized Multi-UAV System,” *IEEE Trans. Robot.*, vol. 39, no. 3, pp. 1816–1835, 2023, doi: 10.1109/TRO.2023.3236945.
- [122] X. Dong, C. Shi, W. Wen, and J. Zhou, “Multi-Mission Oriented Joint Optimization of Task Assignment and Flight Path Planning for Heterogeneous UAV Cluster,” *Remote Sens.*, vol. 15, no. 22, 2023, doi: 10.3390/rs15225315.
- [123] S. Su, X. Ju, C. Xu, and Y. Dai, “Collaborative Motion Planning Based on the Improved Ant Colony Algorithm for Multiple Autonomous Vehicles,” *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 25, no. 3, pp. 2792–2802, 2024, doi: 10.1109/TITS.2023.3250756.
- [124] Z. Liang, Q. Li, and G. Fu, “Multi-UAV Collaborative Search and Attack Mission Decision-Making in Unknown Environments,” *Sensors*, vol. 23, no. 17, 2023, doi: 10.3390/s23177398.
- [125] Q. Lu, Y. Qiu, C. Guan, H. Wang, M. Zhu, B. Xu, W. Li, and Z. Fan, “Coordinated Multi-UAV Reconnaissance Scheme for Multiple Targets,” *Appl. Sci.*, vol. 13, no. 19, 2023, doi:

10.3390/app131910920.

- [126] Z. Zhang, J. Jiang, H. Xu, and W. A. Zhang, “Distributed dynamic task allocation for unmanned aerial vehicle swarm systems: A networked evolutionary game-theoretic approach,” *Chinese J. Aeronaut.*, vol. 37, no. 6, pp. 182–204, 2024, doi: 10.1016/j.cja.2023.12.027.
- [127] D. Han, Q. Yu, H. Jiang, Y. Chen, X. Zhu, and L. Wang, “Three-Dimensional Path Planning for Post-Disaster Rescue UAV by Integrating Improved Grey Wolf Optimizer and Artificial Potential Field Method,” *Appl. Sci.*, vol. 14, no. 11, 2024, doi: 10.3390/app14114461.
- [128] Y. Yan, Z. Sun, Y. Hou, B. Zhang, Z. Yuan, and G. Zhang, “UAV Swarm Mission Planning and Load Sensitivity Analysis Based on Clustering and Optimization Algorithms,” *Appl. Sci.*, vol. 13, no. 22, 2023, doi: 10.3390/app132212438.
- [129] V. U. Castrillo, D. Pascarella, G. Pigliasco, I. Iudice, and A. Vozella, “Learning-in-Games Approach for the Mission Planning of Autonomous Multi-Drone Spatio-Temporal Sensing,” *IEEE Access*, vol. 12, pp. 77586–77604, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3406133.
- [130] S. Shao, H. Li, Y. Zhao, and X. Wu, “A New Method for Multi-UAV Cooperative Mission Planning Under Fault,” *IEEE Access*, vol. 11, pp. 52653–52667, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3280224.
- [131] H. L. Huang, X.Y. Xu, C. Guo, G. Tian, S.-J. Wei, X. Sun, W.-S. Bao, and G.L. Long, “Near-term quantum computing techniques: Variational quantum algorithms, error mitigation, circuit compilation, benchmarking and classical simulation,” *Sci. China Physics, Mech. Astron.*, vol. 66, no. 5, 2023, doi: 10.1007/s11433-022-2057-y.
- [132] H. Yetiş and M. Karaköse, “Variational quantum circuits for convolution and window-based image processing applications,” *Quantum Sci. Technol.*, vol. 8, no. 4, 2023, doi: 10.1088/2058-9565/ace378.
- [133] N. F. Bar, H. Yetis, and M. Karakose, “An efficient and scalable variational quantum circuits approach for deep reinforcement learning,” *Quantum Inf. Process.*, vol. 22, no. 8, 2023, doi: 10.1007/s11128-023-04051-9.
- [134] F. S. Gharehchopogh, “Quantum-inspired metaheuristic algorithms: comprehensive survey and classification,” *Artif. Intell. Rev.*, vol. 56, no. 6, pp. 5479–5543, 2023, doi: 10.1007/s10462-022-10280-8.
- [135] H. Yetiş and M. Karaköse, “A New Framework Containing Convolution and Pooling Circuits for Image Processing and Deep Learning Applications with Quantum Computing Implementation,” *Trait. du Signal*, vol. 39, no. 2, pp. 501–512, 2022, doi: 10.18280/ts.390212.
- [136] Z. Yang, M. Zolanvari, and R. Jain, “A Survey of Important Issues in Quantum Computing

- and Communications,” *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 25, no. 2, pp. 1059–1094, 2023, doi: 10.1109/COMST.2023.3254481.
- [137] S. Pandey, N. J. Basisth, T. Sachan, N. Kumari, and P. Pakray, “Quantum machine learning for natural language processing application,” *Phys. A Stat. Mech. its Appl.*, vol. 627, 2023, doi: 10.1016/j.physa.2023.129123.
- [138] R. Renner and R. Wolf, “Quantum Advantage in Cryptography,” *AIAA J.*, vol. 61, no. 5, pp. 1895–1910, 2023, doi: 10.2514/1.J062267.
- [139] S. Subramani, M. Selvi, A. Kannan, and S. Santhosh Kumar, “Review of Security Methods Based on Classical Cryptography and Quantum Cryptography,” *Cybern. Syst.*, 2023, doi: 10.1080/01969722.2023.2166261.
- [140] P. Benioff, “The computer as a physical system: A microscopic quantum mechanical Hamiltonian model of computers as represented by Turing machines,” *J. Stat. Phys.*, vol. 22, no. 5, pp. 563–591, 1980, doi: 10.1007/BF01011339.
- [141] R. P. Feynman, “Quantum mechanical computers,” *Found. Phys.*, vol. 16, no. 6, pp. 507–531, 1986, doi: 10.1007/BF01886518.
- [142] Deutsch D, “Quantum Theory, the Church-Turing Principle and the Universal Quantum Computer,” *Proc. R. Soc. Lond. A. Math. Phys. Sci.*, pp. 97–117, 1985.
- [143] M. A. Shafique, A. Munir, and I. Latif, “Quantum Computing: Circuits, Algorithms, and Applications,” *IEEE Access*, vol. 12, pp. 22296–22314, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3362955.
- [144] P. A. M. Dirac, “A new notation for quantum mechanics,” *Math. Proc. Cambridge Philos. Soc.*, vol. 35, no. 3, pp. 416–418, 1939, doi: 10.1017/S0305004100021162.
- [145] B. Schumacher, “Quantum coding,” *Phys. Rev. A*, vol. 51, pp. 2738–2747, 1995, doi: 10.1103/PhysRevA.51.2738.
- [146] V. Vedral, M.B. Plenio, “Basics of Quantum Computation,” *Prog. Quantum Electron.*, vol. 22, pp. 1–39, 1998.
- [147] A. Steane, “Quantum computing,” *Reports Prog. Phys.*, vol. 61, pp. 117–173, 1998.
- [148] B. G. Englert, “Lectures on quantum mechanics,” *Simple Syst. World Sci.*, vol. 2, 2024.
- [149] L. Huynh, J. Hong, A. Mian, H. Suzuki, Y. Wu, and S. Camtepe, “Quantum-Inspired Machine Learning: a Survey,” 2023, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2308.11269>
- [150] S. Hakemi, M. Houshmand, E. KheirKhah, and S. A. Hosseini, “A review of recent advances in quantum-inspired metaheuristics,” *Evol. Intell.*, vol. 17, no. 2, pp. 627–642, 2024, doi: 10.1007/s12065-022-00783-2.
- [151] H. Yetis and M. Karakose, “Optimization of Mass Customization Process using Quantum-inspired Evolutionary Algorithm in Industry 4.0,” *ISSE 2020 - 6th IEEE Int. Symp. Syst. Eng. Proc.*, 2020, doi: 10.1109/ISSE49799.2020.9272247.

- [152] A. Banerjee, “Robust Density-Based Data Clustering Using a Quantum-Inspired Genetic Algorithm,” 2023 *IEEE Congr. Evol. Comput. CEC 2023*, 2023, doi: 10.1109/CEC53210.2023.10253967.
- [153] L. R. da Silveira, R. Tanscheit, and M. M. B. R. Vellasco, “Quantum inspired evolutionary algorithm for ordering problems,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 67, pp. 71–83, 2017, doi: 10.1016/j.eswa.2016.08.067.



ÖZGEÇMİŞ

Nigar ÖZBEY

[illegible]

■ _____

[illegible]

AKADEMİK FAALİYETLER

Makaleler:

1. N. F. Bar, H. Yetiş, N. Özbey, and M. Karaköse, "Quantum Computing Based Collaborative Optimum Mission Allocation Approach for Heterogeneous Multi Unmanned Vehicles," IEEE Access, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3498345.

Projeler:

- 1.** 121E439 Nolu TÜBİTAK 1001 Araştırma Projesi