




SÜRÜ İHA SİSTEMLERİ

Modern Harp İçin Bir Gelecek Öngörüsü



İşbu eserde yer alan veriler/bilgiler, yalnızca bilgi amaçlı olup, bu eserde bulunan veriler/bilgiler tavsiye, reklam ya da iş geliştirme amacına yönelik değildir. STM Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret A.Ş. işbu eserde sunulan verilerin/ bilgilerin içeriği, güncelliği ya da doğruluğu konusunda herhangi bir taahhüde girmemekte, kullanıcı veya üçüncü kişilerin bu eserde yer alan verilere/bilgilere dayanarak gerçekleştirecekleri eylemlerden ötürü sorumluluk kabul etmemektedir. Bu eserde yer alan bilgilerin her türlü hakkı STM Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret A.Ş.'ye aittir. Yazılı izin olmaksızın işbu eserde yer alan bilgi, yazı, ifadenin bir kısmı veya tamamı, herhangi bir ortamda hiçbir şekilde yayımlanamaz, çoğaltılamaz, işlenemez.

 Gülgün KADERLİ

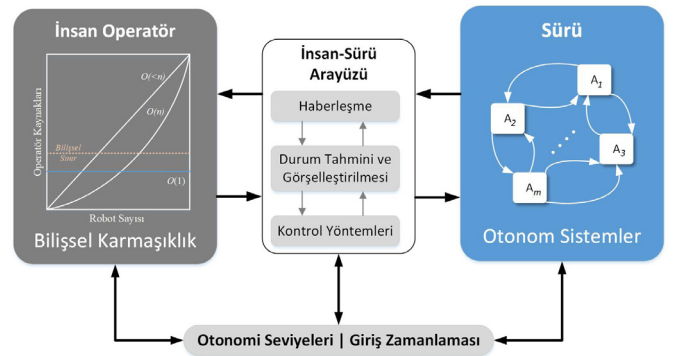
1. GİRİŞ: SÜRÜ İHA SİSTEMLERİ

Bugün hızla yol alan teknolojik gelişmeler (sensörler, işlemciler, haberleşme birimleri vb.) daha küçük İnsansız Hava Araçlarının (İHA) daha büyük İHA'larla aynı işlevleri başarabilmelerine imkân sağlamaktadır. Verilen bir görevi yerine getirmek üzere tek bir İHA yerine çoklu İHA'ların kullanımı uzun yıllardır ilgi alanı olmuştur. Bununla birlikte, tek bir İHA'nın bir takım kısıtlar sebebiyle (havada kalış süresi, taşıyabileceği faydalı yük ve uzun mesafe haberleşme bant genişliği vb.) kabiliyetlerinin yetersiz kaldığı çok sayıda senaryo bulunmaktadır. Ancak son yıllarda, özellikle de çarpışmadan kaçınma ve rota bulma alanındaki gelişmelerin ardından, çoklu İHA kullanımı mümkün hale gelmiştir^[1].

Sürü İHA, **belirli bir işi/görevi gerçekleştirmek** üzere işbirliği yapan çok sayıda İHA'dan oluşur. Operatör tarafından kontrol edilir, otonom ya da yarı-otonom olarak çalışır. Şekil 1'de İnsan-Sürü etkileşimi ve kontrolünün temel bileşenleri verilmiştir^[2].

Sürü İHA Yapıları

Çoklu İHA'ların sensör (faydalı yük) karakteristikleri, otomasyon seviyeleri, hatta platform konfigürasyonları aynı



Şekil 1: İnsan-Sürü Etkileşimi ve Kontrolünün Temel Bileşenleri^[2]

ya da farklı olabilir. Bu temelde İHA sürüleri genellikle **homojen** ya da **heterojen** sürüler olarak sınıflandırılır.

Her iki yaklaşımın da avantaj ve dezavantajları vardır. Birbiriyle aynı olan İHA'ların kullanımı durumunda sistemin yapısı daha az karmaşık olur, ancak faydalı yük, bilgi işlem kapasitesi ve esneklik gibi kabiliyetleri daha kısıtlı kalır. Birbirinden farklı özelliklere sahip İHA'ların

Okura Not: Dokümanda çeşitli kaynaklardan Sürü İHA Sistemleri hakkında edinilen bilgiler derlenmiştir. Kaynaklardan yapılan alıntılarda orijinal dokümanlara sadık kalınmıştır. Bu yüzden de dokümanda Sürü İHA Sistemleri yerine; Sürü İHA, İHA sürüsü, sürü sistemler, drone sürüsü, robot sürüsü, çoklu İHA, çoklu-robotlar vb. ifadelere rastlamak mümkündür. Bu ifadelerle anlatılmaya çalışılan sistemler, Sürü İHA Sistemlerinin bir parçası ya da alt kümesi olarak değerlendirilmelidir.

Kapsam: Dokümanda öncelikli olarak, Sürü İHA Sistemlerinin yapıları, kontrol mimarileri, konuşlanma şekilleri, İHA'lar arası etkileşim gibi temel kavramlar aktarılmış, ardından kullanım avantaj/dezavantajları, kullanım alanları/durumları örneklenmiş ve dünyada ve ülkemizde sürü İHA geliştirme çalışmaları ele alınmıştır. İşin teknolojik boyutunda ise, sürü sistemlerinin ayrılmaz bir parçası olduğu düşünülen otonomi ve yapay zekâ konuları incelenmiştir. İnsansız ve akıllı sistemler sektör stratejisinde sürü sistemlerinin yeri ve modern harp için bir gelecek öngörüsüyle çalışma tamamlanmıştır.

Özellik	Uygulaması Daha Zor ABD Savunma Bakanlığı "sürü" çalışmalarının çoğu	Uygulaması Daha Kolay Doğal örnekler
Çeşitlilik	Heterojen Örnek: karışık kara-yer platformları	Homojen Örnek: standart platform, belki modüler faydalı yüklerle
"Zekâ"	Yüksek Örnek: karmaşık muhakeme	Asgari Örnek: basit önceden tanımlı kural setleri
Komuta-kontrol/karar alma	Karmaşık Örnek: çok etkileşimli kararlar	Asgari Örnek: içkin (implicit) komuta kontrol
Haberleşme bant genişliği	Yüksek Örnek: ayrıntılı sürü içi-dışı güncellemeler sağlamak için	Düşük Örnek: stigmerji (çevresel işaretleme)
İnsan etkileşiminin karmaşıklığı	Yüksek Örnek: gelişmiş insan-makine arayüzü gerektirebilir	Asgari Örnek: insan tarafından "başla" komutunun verilmesiyle sınırlı

Tablo 1: Robot Sürülerinin Yapı ve Özellikleri^[3]

oluşturduğu grup (heterojen sürü) ise daha karmaşık bir sisteme sahiptir ancak İHA kabiliyetlerindeki çeşitliliğin hayati önem taşıdığı koşullarda çok daha faydalı olur. Örneğin; yüksek seviyede sensör kabiliyeti ya da farklı tipte sensörler gerektiren, ancak bu büyüklükteki sensörlerin yük kapasitesi kısıtı yüzünden tek bir İHA tarafından taşınmadığı durumlarda kullanılır^[1]. Tablo 1'de robot sürülerinin yapı ve özellikleri görülüyor^[3].

SÜRÜ İHA'LARDA KONTROL MİMARİLERİ

Çoklu İHA sistemlerinin kontrolü (rota planlama ve görev paylaşımı) konusunda literatürde çok çeşitli yaklaşımları içeren kapsamlı çalışmalar vardır. Bu yaklaşımlar temel olarak merkezi (centralized) ve merkezi olmayan/dağıtık (decentralized) mimarilere dayanır.

Aşağıda bu kontrol mimarilerinden kısaca bahsedilmiştir^[1].

Merkezi Kontrol Mimarisi

Merkezi kontrol yaklaşımında, İHA sistemi düşük seviyeli bir otonomiye sahiptir ve İHA'lar arasında karşılıklı iletişim yoktur. Operatör(ler) her bir İHA sisteminden bilgi alır, koordine eder ve her bir İHA sistemi için görev atamalarını önceden tanımlar.

Bu yaklaşım, düşük seviyeli otonomi yüzünden daha basit ve kolay optimize edilebilir olmakla birlikte, yedeklilik daha azdır ve İHA'da ya da haberleşmede oluşan hatalara karşı daha az dayanıklıdır.

Merkezi Olmayan Kontrol Mimarisi

Merkezi olmayan (dağıtık) kontrol yaklaşımı, İHA sisteminde yüksek seviyeli bir otonomiye ve İHA'lar arasında karşılıklı haberleşmeye ihtiyaç duyar. Her bir İHA haberleşebilmeli, bilgi alıp paylaşabilmeli ve gerekli kararları verebilmelidir; böylece operatörün rolü daha üst yönetsel

bir seviyeye çıkar. Merkezi olmayan sistemler, gerek daha karmaşık yapıda olmaları gerekse yüksek seviyeli otonomiye ihtiyaç duymaları sebebiyle son yıllara kadar kullanılamamıştır. Merkezi olmayan yaklaşımın önemi; görev ve bilgiler İHA'lar arasında dağıtıldığı için sistemin daha dayanıklı ve esnek olması ve daha fazla yedeklilik içermesinden gelir. Ayrıca sistemin bütünsel davranışı İHA'lar arasındaki yerel işbirlikleri üzerine inşa edildiği için, İHA'lar dinamik ortama daha kolay uyum sağlar. Ayrıca, bu yaklaşım sistem işbirliğine dayandığı için, bireysel olarak İHA'larda oluşan geçici ya da kalıcı hatalara karşı daha dayanıklıdır.

SÜRÜ İHA'LARDA KONUŞLANMA

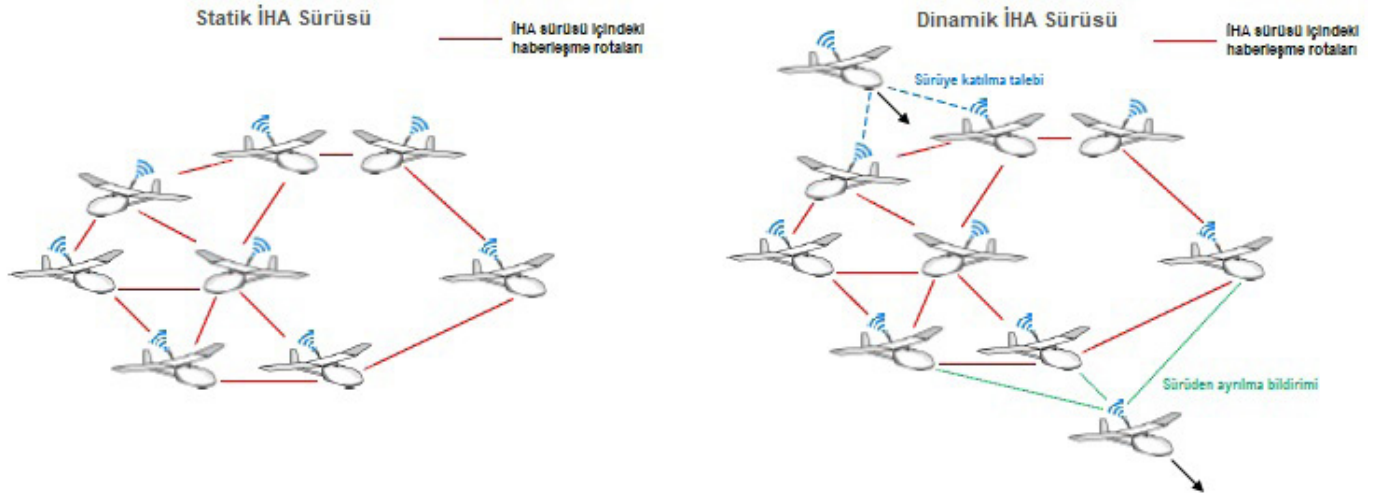
Drone sürüleri hedef ortama ve duruma bağlı olarak genellikle üç türde konuşlanırlar^[4]. Bunlar statik sürü, dinamik sürü ve hibrit sürülerdir.

Statik Sürü

En temel sürü tipi statik sürüdür. Bu formasyonda sürünün elemanları önceden, daha ön görevlendirme aşamasında seçilir. Görev başlangıç noktasında gruba katılım engellendiği için uçuş boyunca yeni üyeler sürüye giremez. Yerdeki uçuş kontrol sistemi tarafından güvenli iletişim, karşılıklı güven ve işbirliği oluşturulur. Uçuş sırasında her bir drone sürüye aittir, eğer sürüye ait değilse, sürü dışında bir varlık gibi davranılır.

Dinamik Sürü

Statik sürünün tersine dinamik sürü, elemanların herhangi bir zamanda (görev öncesinde/görev sırasında) sürüden ayrılmasına ve yeni üyelerin sürüye dahil olmasına açıktır. **Kapalı-dinamik** bir sürü sadece aynı organizasyondan yeni drone'ların sürüye katılmasına müsaade eder, **açık-dinamik** bir sürü ise herhangi destekleyici



Şekil 2: Statik ve Dinamik Sürü Yapısı^[4]

(third party) bir organizasyona ait drone'ların sürüye katılmasına müsaade eder. Her iki durum da güvenli iletişim, karşılıklı güven ve işbirliği oluşturma zorlukları içerir. Şekil 2'de statik ve dinamik sürü yapısı görülüyor.

Hibrit Sürü

Bu sürü türü hem statik hem de dinamik sürüleri birlikte çalışan tek bir bütün haline getirir. Bu sürünün çekirdeğinde tüm operasyonlarda tek bir sürü gibi davranan bir statik sürü bulunur. Bu statik sürü diğer drone'ların sürüye katılmasına müsaade eder, böylece dinamik sürü gibi davranan genişletilmiş bir sürü oluşturur. Not edilmesi gereken bir konu; herhangi bir işbirlikli öğrenme, değerlendirme ve karar verme işlemi gündeme geldiğinde merkezdeki sürünün yüksek öncelik aldığıdır. Genişletilmiş sürüde, çekirdek (statik) sürüye katılan drone'ların adil bir değiş tokuş karşılığında bu sürüye servis sağladığı

düşünülebilir. Genişletilmiş sürünün üyeleri gruptan diledikleri zaman ayrılabilir. Şekil 3'te hibrit sürü yapısı görülüyor.

İHA'LAR ARASI ETKİLEŞİM

Bu bölümde İHA iletişim stratejilerini analiz ve optimize etmek amacıyla İHA'lar arası iletişim modelleri ele alınmaktadır.

Çoklu elemanlı sürülerde problem çözmenin anahtarı çoklu koordinasyonu sağlamaktır. Hangi aksiyonların alınacağına karar vermek için gereken bilgiye ulaşmak açısından sürüdeki elemanların düzgün bir koordinasyon içinde haberleşmesi çok önemlidir. İHA'lar hızlı ve esnek bir şekilde hareket ettikleri için telli yapılar üzerinden haberleşmeleri zordur. Uçuş davranış ve hızları düşünüldüğünde İHA'ların telsiz araçları kullanmaları daha uygun görünmektedir. Bu yüzden, haberleşme; bir sürü kontrol sistemi geliştirilirken, eleman seviyesinde dikkatle düşünülmesi gereken bir konudur.

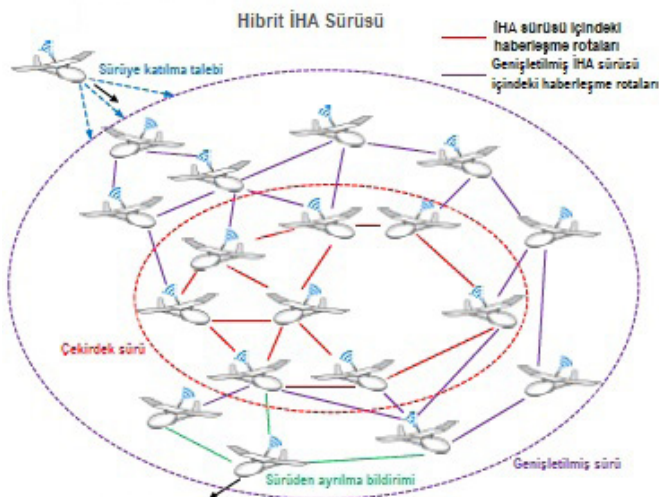
Telsiz sinyal kapsamı açısından bakıldığında; sürü elemanları arası iletişimde, sinyal gecikmesi, kapsama alanı ve harcanan güç açısından 2 tip haberleşme söz konusu olabilir^[16]:

Doğrudan (Direct) Haberleşme

İHA'lar kısıtlı bir kapsama alanında tek bir merkezden, baz istasyonu olmaksızın doğrudan haberleşirler. Örneğin, WiFi, Bluetooth ve ZigBee gibi. Bunların avantajı düşük güç tüketimi, daha az gecikmeli ve düşük maliyetli olmalarıdır.

Doğrudan Olmayan (Indirect) Haberleşme

İHA'lar mesafe kısıtlaması olmaksızın, yer destekli baz istasyonları ya da hareket eden araçlarla desteklenmiş baz istasyonları aracılığıyla haberleşir. Uzun mesafeli



Şekil 3: Hibrit Sürü Yapısı^[4]

doğrudan olmayan haberleşmede (örneğin GSM ve uydu gibi) kapsama alanı genişledikçe harcanan güç, maliyet ve gecikme artar.

Uygulama seviyesinde ise üç farklı haberleşme tipinden bahsetmek mümkündür:

- **Yayın (Broadcast):** Grup elemanı, mevcut durumunu gruptaki diğer elemanlarla paylaşır.
- **Sorgulama (Query):** Grup elemanı, gruptaki diğer elemanlara mevcut durumlarını bildirmelerini isteyen bir mesaj gönderir.
- **Senkronizasyon (Sync):** Grup elemanı (grup lideri), gruptaki diğer elemanlara senkronizasyon (sync) isteğini içeren bir mesaj gönderir, ardından bu isteği alan tüm elemanlar mevcut durumlarını gruptaki diğer elemanlara yayınlamaya başlar (broadcast).

Bütün bunların ışığında, kontrol mekanizmaları tasarımcısı mesajları iletmek üzere doğrudan ya da doğrudan olmayan haberleşme araçlarını uygun bir şekilde seçerek tasarım ilkelerini belirleyebilir. Örneğin doğrudan haberleşme cihazının kapsama alanı içinde bulunan İHA'ların durumlarını öğrenmek üzere, doğrudan haberleşme yolu üzerinde bulunan tüm İHA'lara sadece bir sorgulama (query) mesajı gönderilmesine ihtiyaç olacak ve mevcutta doğrudan haberleşme kapsama alanı içinde bulunan İHA'lar da bu mesajı alacak ve durumlarını bildirecektir.

ÇOKLU/TEKLİ ROBOT - AVANTAJ/DEZAVANTAJLAR

Çoklu-robot (multi-robot) sistemleri özellikleri/kabiliyetleri itibarıyla sürü sistemlerinin bir alt kümesi olarak düşünülebilir. Bu doğrultuda, tekli-robot (single-robot) sistemlerine kıyasla çoklu-robot sistemlerinin aşağıda verilen avantaj ve dezavantajları^[8] sürü sistemleri için de geçerlidir.

Avantajlar

İyileştirilmiş performans: Eğer görevler ayrıştırılır ve paralel hale getirilirse, grup olarak bu görevler daha etkin bir şekilde gerçekleştirilebilir.

Görev etkinleştirme: Aynen doğal sistemlerde olduğu gibi tek bir robot tarafından gerçekleştirilemeyen bazı görevler, robot grupları tarafından başarılabılır.

Dağıtık algılama: Bir robot grubunun bir "sensör şebekesi" oluşturarak toplayacağı bilgi tek bir robotun kapsama alanından elde edeceği bilgiden çok daha kapsamlı olacaktır.

Dağıtık eylem: Çok sayıda eşzamanlı ortaklaşa eylem, aynı anda farklı yerlerde gerçekleştirilebilir.

Hata toleransı: Bir grup içindeki tek bir robotun arızalanması verilen görevin gerçekleştirilmesine engel teşkil etmez.

Dezavantajlar/Zorluklar

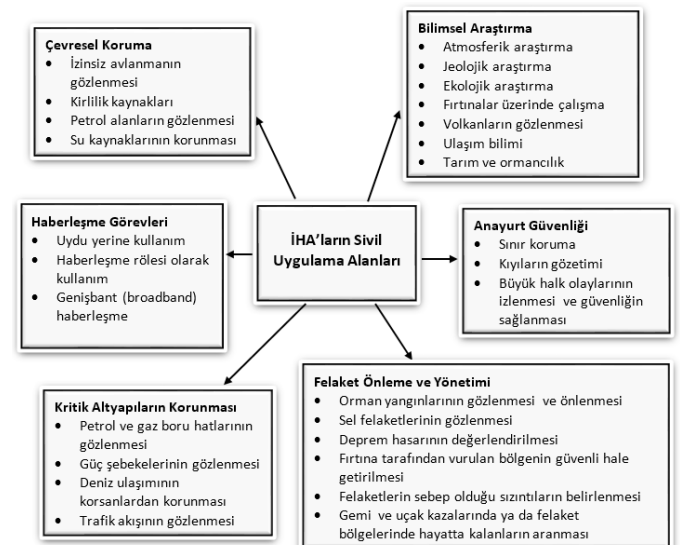
Girişim: Bir grupta yer alan bireysel robotların eylemleri (hatta "koordine" olanların) karşılıklı olarak birbirlerinden etkilenebilir (çarpışmalardan, iletişim kaybindan vb.).

Diğer robotların niyetleriyle ilgili belirsizlik: Koordinasyon; her bir robotun diğer robotların ne yaptığını ve diğer (yakındaki) robotların ne yapmasını beklediğini tam olarak anlamasını gerektirir. Belirsizlik durumunda (veya eşik seviyesinin "netlik" den daha düşük olduğu durumda) ise robotlar işbirliği yapmak yerine rekabet edebilir.

Genel sistem maliyeti: Tekli robot sistemler tipik olarak daha "karmaşık" ve aynı zamanda daha pahalı iken, bireysel olarak daha az karmaşık robotların sürüsü, tekli robot sistemlerinden daha düşük maliyetlidir.

2. SÜRÜ İHA KULLANIM ALANLARI

Birden fazla sayıda hava aracından oluşan sürü belirli bir düzende içinde uçarak pek çok askeri ve sivil görevi yerine getirebilir. Örneğin; belirli bir bölgedeki arama çalışmalarında, orman yangınlarının takibinde ve orman yangınlarıyla mücadelede, binaların, köprülerin, erişilmesi güç yerlerin (yapının durumu, çatlaklar vb.) gözlenmesi ve kontrol edilmesinde, sınır kontrolünde, özel veya askeri bir alanın izinsiz girişler için gözlenmesinde, hava fotoğraflarının çekilmesinde, sel baskını, deprem gibi doğal afetler sonrası arama-kurtarma çalışmalarında ve bu afetler sırasında kopan iletişimin yeniden kurulmasında, zirai ilaçlamada, tarladaki ürünlerin gelişiminin takibinde vb. kullanılabilir. Şekil 4'de İHA'ların sivil uygulama alanları görülmüyor^[5].



Şekil 4: İHA'ların Sivil Uygulama Alanları^[5]

Şekilde İHA'lar için verilen uygulama alanları sürü sistemleri için de kullanılmaktadır. Aşağıda kullanım durumu (use case) örnekleri verilmiştir.

SÜRÜ İHA KULLANIM DURUMLARI

Bu bölümde sürü zekâsına sahip sistemler için üç farklı kullanım durumu sunulmuştur^[4].

Uzak Alanda Kurtarma Operasyonu

Sürü, uzak alanda değişik türden kurtarma operasyonlarında, örneğin deprem gibi bir olayın acil yardım ekiplerinin belli bir bölgeye erişimini zorlaştırdığı ve tehlikeli hale getirdiği durumlarda kullanılabilir. Sürü aynı zamanda, acil yardım ekiplerinin bilgi değiş tokuşu için bir haberleşme ağı kurulmasını ya da genel kullanımdaki ağı (3G/4G) iyileştirilerek afet bölgesindeki insanların acil durum ekipleri ya da aileleriyle haberleşmesini sağlar.

İHA'lar geniş bir alan üzerinde hızla durumsal farkındalık sağlayabilir ve yaralı veya kayıpların bulunma ve kurtarılmasında çalışanların sayısını ve zamanını azaltarak arama ve kurtarma çalışmalarının maliyet ve risklerini önemli ölçüde düşürür. Ayrıca felaketin verdiği zararları görüntüleyerek arama ve kurtarma çabalarının önceliklendirilmesine katkıda bulunurlar. Kamu güvenliğinin sağlanmasına çok çeşitli şekillerde yardımcı olurlar. Bunların yanı sıra çığ altında kalan bir bölgedeki hayat belirtilerinin araştırılması ya da bir gemi kazasında hayatta kalanların deniz üzerinde aranması/taranması gibi kurtarma operasyonlarında kullanılabilirler. Bu tür olaylarda sürü İHA'larla konvansiyonel araçlara (helikopter, uçak ya da gemi vb.) kıyasla daha geniş alanlar kapsanabilir.

Tesis Gözetimi ve Hata Tespiti

İHA'lar geniş alanda olağandışı olayların gözetimi için kullanılabilir. Örneğin, çoklu sensörler (termal kamera, gündüz kamerası vb.) ile geniş alana yayılan park ve ormanlarda yangın tespit edilmesi gibi. Ayrıca yüksek güvenlik gerektiren binalar ya da geniş altyapı tesislerinde,

izinsiz giriş ya da bozulmalara karşı ek bir güvenlik seviyesi sunarlar. Sınır güvenliği için kullanıldıklarında, insanlı devriyeye ya da duvar inşasına gerek bırakmayarak maliyet etkinliği sağlarlar.

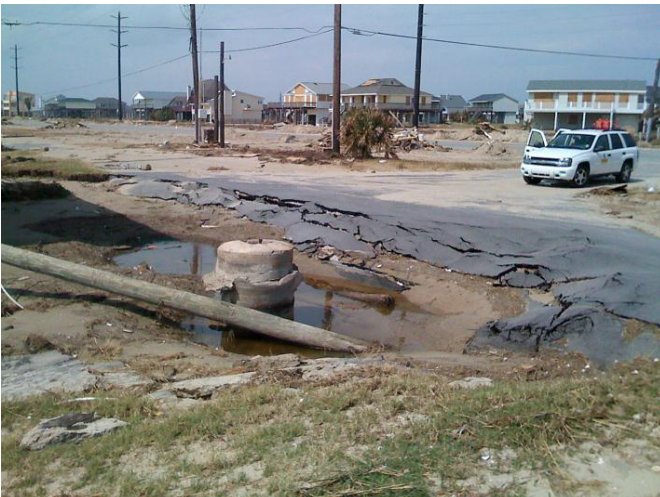
Veri Toplama

Bir felaket ya da olay insan yaşamını ve geçim kaynaklarını tehdit ettiğinde, acil durum müdahalecileri daha iyi kararlar almak ve zaman kazanmak için bilgiye ve gerçek zamanlı görüntülere ihtiyaç duyar. Bu gibi durumlarda veri toplama için kullanılan en temel ve en yaygın kullanım senaryosu drone sürüsünün çeşitli amaçlar için yer görüntülerini toplamasıdır. Örneğin; felaketlerin gözlenmesi (nükleer kazalar, yapı yangınları, gemi çarpışmaları, uçak ve tren kazaları, motorlu taşıt kazaları, terörizm faaliyetleri), doğal afetlerin gözlenmesi (toprak kaymaları, deprem ve tsunamiler, yangınlar, volkanik patlamalar, sel, fırtınalar, kasırgalar, çığlar ve hortumlar), askeri hedeflerin gözlenmesi (düşmanın konumunun belirlenmesi) ve tarım alanlarının gözlenmesi (sulandırmaya ihtiyaç duyan alanların ya da yayılmakta olan bir hastalığa karşı bakım ihtiyacının belirlenmesi).

3. DÜNYADA SÜRÜ İHA GELİŞTİRME ÇALIŞMALARI

Son yıllarda, İHA sistemlerinin sahaya yayılım ve bakım maliyetlerinin düşmesi ve pilotlar için girilmesi mümkün olmayan ve tehlikeli alanlarda da çalışabilmeleri sayesinde, İHA'lar hem sivil hem de askeri alanda giderek daha çok dikkat çekiyor. Örneğin hayatta kalma işaretlerinin aranması, çoklu hedef izleme ve takibi gibi karmaşık görevlerin üstesinden gelmek için İHA sürülerinin kullanılması öngörülebiliyor. Bu sürüler daha gelişmiş kontrol, haberleşme ve koordinasyon mekanizmalarına ihtiyaç duyar. Bununla birlikte, bu mekanizmaları dinamik uçuş koşullarında test ve analiz etmek zordur.

Afet yönetiminde ve yardım operasyonlarında İHA'ların kullanımı şu anda çeşitli araştırma projelerinde



Şekil 5: Ike Kasırgası Sonrasında Hasar Araştırması Yapan Araçlar İçin Kısıtlı Erişim (Texas)^[10]



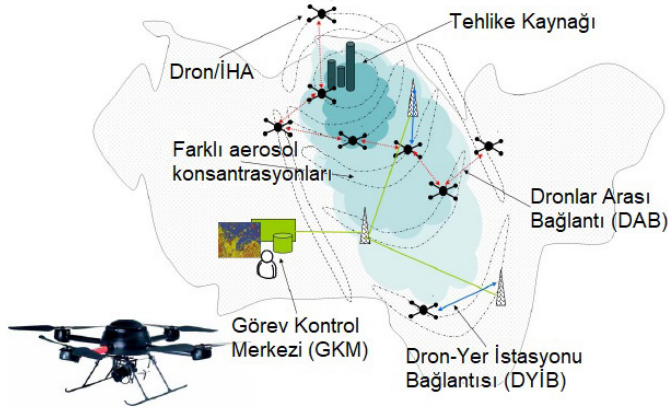
Şekil 6: Duman Yayılımını Gösteren Bir Kullanım Durumu^[14]

incelenmekte ve tartışılmakta olan bir konudur. Bu kapsamda Alman Federal Eğitim ve Araştırma Bakanlığı (BMBF) Temmuz 2008'de **AirShield** (Airborne Remote Sensing for Hazard Inspection by Network Enabled Lightweight Drones – Ağ Yetenekli Hafif Drone'larla Tehlike Denetimi için Havadan Uzaktan Algılama) projesini başlatmıştır. Projede küçük ve hafif sensörleri olan otonom mobil hava robotları kullanılarak tehlikeli bir durumla ilgili havadan veri toplayan bir sistem geliştirilmektedir^[15]. Bu sistemle örneğin kırsal bölgedeki bir yangın belirlenip bu yangının yol açabileceği tehdit tahmin edilebilmektedir^[14].

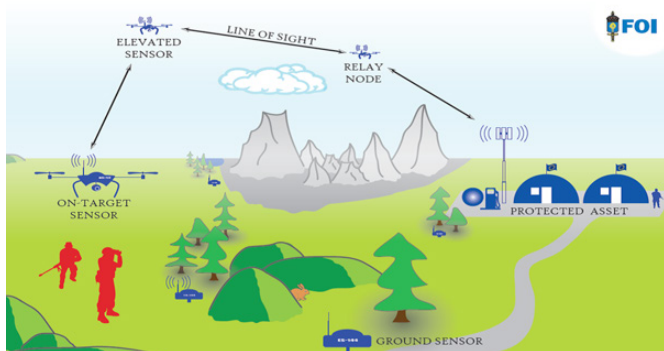
Amaç, bu insansız sistemleri kullanarak havadan toplanan bilgileri kamu yetkilileri ve diğer organizasyonlara sunarak onların karar verme kabiliyetlerini desteklemektir. Almanya'nın yanı sıra Amerika, İngiltere, Güney Kore ve Fransa gibi ülkeler de afet yönetimi için insansız keşif sistemlerinin geliştirilmesiyle ilgilenmektedir.

Cranfield Üniversitesi koordinatörlüğündeki bir konsorsiyum tarafından heterojen İHA'ların askeri ortamda bir sürü olarak çalışmasını sağlamak üzere bir teknoloji geliştirilmektedir. **EuroSWARM** adlı bu proje kapsamında geliştirilen tekniklerin platformlara entegrasyonu yapılmış, benzetim çalışmaları ve küçük ölçekli deneylerden elde edilen bilgiler kullanılarak sistem test edilmiş ve doğrulamaları gerçekleştirilmiştir.

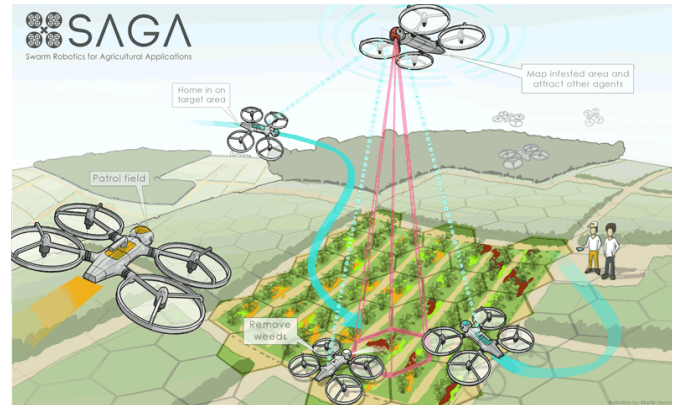
Çalışmanın temel amacı; hareketli bir yapıda görev atamasının ve bilgi füzyonunun (davranış gözleme) yapılması ve sürü teknolojisinin geliştirilebileceğinin



Şekil 7: AirShield Saha Yayılımı^[15]



Şekil 8: EuroSWARM Projesi Bir Senaryo Gösterimi^[7]



Şekil 9: SAGA Projesi Temsili Gösterimi^[18]

gösterilmesidir. Konsorsiyum ortaklarının işbirliğiyle; gösterim senaryoları, sistem/alt sistem gereksinimleri, projede geliştirilecek çözümler için yenilikler ve performans metrikleri tanımlanmıştır. Yapılan teknik gözden geçirme önerilen yenilikleri başarmanın zorlayıcı olacağını göstermiştir. Bununla birlikte; başlangıç aşamasında yapılan bir fizibilite çalışması önerilen yaklaşımla söz konusu yeniliklerin gerçekleştirilebileceğini ve bunun askeri alana şu önemli etkilerinin olacağını doğrulamıştır^[7]:

- Temas sağlanmadan önce gerçek zamanlı ve ihtiyaçlara uygun durumsal farkındalık bilgisinin elde edilmesi,
- Komutanlara uygun kararlar vermede yardımcı olacak bilgilerin sağlanması,
- Görev ve operasyon riskinin azaltılması.

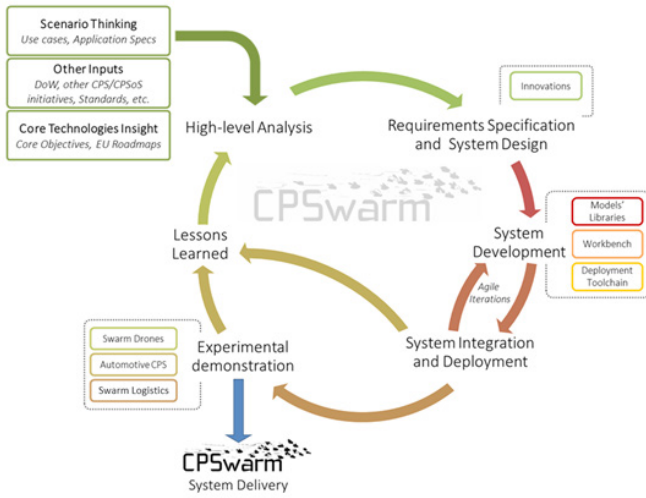
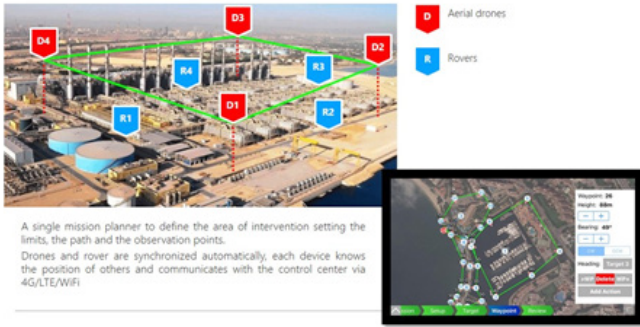
Tarım uygulamaları için geliştirilen **SAGA** (Swarm Robotics for Agricultural Applications – Tarımsal Uygulamalar için Sürü Robotik) Projesi ile tarım alanına yayılan robot sürüleriyle tarım ürünlerinin gelişmelerinin izlenmesi, yabancı ot oluşumunun belirlenmesi, yerlerinin tespit edilmesi, haritalandırılması, ayrıca ayıklanması planlanmaktadır. Bu sayede maliyetin azaltılarak ürünün miktarı ve kalitesinin artırılması hedefleniyor^[18].

Yapay zekâ ve sürü teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte meteorolojik olayların tahmininde yeni gelişmeler beklenmektedir. Örneğin, TrueWeather firmasının geliştirmekte olduğu drone'lar sayesinde, bölgesel çözünürlüğü çok daha artırılmış, doğru ve kesin (neredeyse cadde cadde) hava tahminleri yapılabileceği ve bu bilgiler kullanılarak alınan kararlarla da müşterinin üretkenlik ve operasyonel sonuçlarının iyileştirilebileceği düşünülüyor^[20].

CPSwarm isimli geniş katımlı bir Avrupa Birliği projesi ise yer robotları/gezgin araçlar ve İHA'lardan oluşan heterojen sürülerle endüstriyel tesisler ve elektrik santralleri gibi kritik altyapılarının gözetiminin yapılması ve arama-kurtarma gibi görevlerin yerine getirilmesi amaçlanıyor^[17]. Şekil 10'da projenin işleyiş senaryosu ve geliştirme metodolojisi yer alıyor.

Ekim 2018'de Airbus firması gelecekteki hava muharebe sistemleri (**Future Air Combat System**) için

OPERATING SCENARIO



Şekil 10: CPSwarm Projesi Senaryo Gösterimi ve Geliştirme Metodolojisi^[17]

insanlı-insansız ekip oluşturmaya yönelik test uçuş kampanyalarını başarıyla gerçekleştirmiştir. Kampanyalarda, beş adet Airbus yapımı Do-DT25 hedef drone’u kullanılarak insanlı uçaklardan insansız sistemleri kontrol etme yeteneği sergilenmiştir. Almanya’nın Baltık Denizi bölgesinde bir test alanında yapılan uçuş testlerinde drone’lar insanlı komuta ve kontrol uçağındaki görev grup komutanı tarafından kontrol edilmiştir.

Yapılan deneme uçuşlarında; sistemler arası bağlantı, insan-makine arayüzü gibi unsurlar ve takım zekâsı gibi kavramların doğrulaması yapılmıştır. Başarılı test uçuşlarını destekleyen önemli bir unsur da insansız hava araçları için geliştirilmiş ileri düzey uçuş kontrol ve uçuş yönetim sistemidir. Airbus tarafından geliştirilen sistem, tam otomatik yönlendirme, navigasyon ve kontrol özelliklerini akıllı sürü kabiliyetleriyle birleştiriyor. Sensörlerle donatılan insansız sistemler, insanlı bir uçakta güvenli bir mesafede bulunan bir görev grubu komutanına durumsal farkındalık sağlıyor. Bu çalışmalarda kazanılan uzmanlıktan, Avrupa için Gelecek Hava Muharebe Sistemi (Future Air Combat System for Europe) geliştirmede yararlanılacak^[21].

Çin, İHA kullanımını son yıllarda hızla geliştirmiştir; bu sayede bir yandan oldukça güvenilir ve kapsamlı veri toplarken, diğer yandan da zaman ve para tasarrufu sağlamıştır. Üstelik grup halinde çalışan çoklu İHA’lar, yeni operasyonel paradigma için de bir fırsat sunmaktadır^[16].



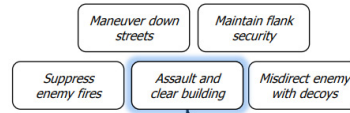
Şekil 11: Airbus Firmasının Gelecekteki Hava Muharebe Sistemleri İçin İnsanlı-İnsansız Ekip Oluşturmaya Yönelik Çalışmalarından Bir Kesit^[21]

Son gelişmeler, halihazırda, sürü davranışı teknolojisi, insan-makine etkileşimi ve makine-makine etkileşimi kabiliyetlerinin denizlerde, kıyı ve su altı sahalarında yayılmakta olduğunu gösteriyor. Dahası, yapay zekâyla birlikte çalıştığında robot ve sürü teknolojileri, insansız sistemlerin çok-etki-alanlı olarak kullanılmasını mümkün kılıyor. Örneğin, insansız hava araçlarının yine insansız su üstü ya da su altı platformlardan fırlatılması gibi, farklı etki alanlarında faaliyet gösteren sistemlerin birlikte kullanılmasına gelecekte daha sık rastlanması bekleniyor.

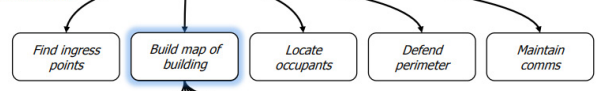
Meskûn mahallerde operasyonlara katılan küçük birliklerin muharebe etkinliklerinin artırılması maksadıyla; DARPA tarafından 2016 yılında **OFFSET** (OFFensive Swarm-Enabled Tactics – Sürü Kabiliyetli Taarruz Taktikleri) programı başlatıldı. OFFSET programının hedefi; 100’ün üzerindeki insansız hava ve/veya kara robotunun etkin bir şekilde kullanılabilmesi, 100’den fazla operasyonel sürü taktiklerinin geliştirilmesidir. İnsansız sistemlerin sürü taktikleri ile kullanımı, dost unsurların korunma derecesini, ateş gücünü, hedeflerin hassas şekilde imha edilmesini, istihbarat, gözlem ve keşif imkân ve kabiliyetlerini önemli ölçüde artıracaktır.

Mission: Seize a block or group of buildings

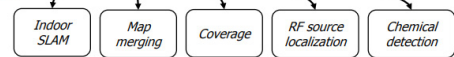
Tactics:



Primitives:



Algorithms:



Şekil 12: OFFSET Taktiklerinden Bir Temsili Gösterim^[22]



Şekil 13: ALPAGU, KARGU ve TOGAN Sistemleri

4. TÜRKİYE'DE SÜRÜ İHA GELİŞTİRME ÇALIŞMALARI

STM, sürü zekâsının ilk milli örneğini teşkil etmek üzere kendisi tarafından geliştirilmiş olan Türkiye'nin ilk milli kamikaze drone'ları KARGU ve ALPAGU ile gözetleme drone'u TOGAN'ı gruplar halinde çoklu drone hareketi yapacak şekilde kullanmayı planlanmaktadır^[11].

STM, otonom hareket edebilen, öğrenebilen, karar verebilen ve sürü olarak verilen görevi yerine getirebilen sistem çözümleri geliştirmektedir. Bu çözümler; derin öğrenme tabanlı bilgisayarlı görüş teknikleri marifetiyle gerçek zamanlı nesne tespit, teşhis, takip ve sınıflandırması gibi gelişmiş işlevleri içeriyor.

STM'nin geliştirmekte olduğu sürü İHA projesi, başta STM bünyesinde geliştirilen insansız hava araçları olmak üzere, farklı döner ve sabit kanat platformlarla çoklu koordineli hareket ve sürü zekâsına yönelik geliştirme çalışmaları, mevcut ürün ve teknolojilerin denenmesi ve uyarlanması, yeni algoritmaların geliştirilmesi gibi Ar-Ge ve ürünleştirme faaliyetlerini kapsıyor.

5. MODERN DÖNÜŞTÜRÜCÜ TEKNOLOJİLER VE SÜRÜ SİSTEMLER

Sürü teknolojisinin en önemli özelliği "kendi-kendine organizasyon" (self-organization) davranışına dayanmasıdır. Kendi-kendine organizasyon, "bir gruptaki bileşenlerin kendi aralarında ve çevreleriyle olan doğrusal olmayan etkileşimlerinden makro düzeyde davranışlar ortaya çıkması" olarak tanımlanır. Doğada çok sayıda örneğine rastlamak mümkündür: Kuş sürüleri, arılar, karınca kolonileri ve bakteri kolonileri ileri seviyeli sürü davranışları sergiler. Gelecekte, öldürücü robotların birbirlerine karşı ağ merkezli taktik konseptleri kullanan organize düzenlerde savaştığı bir harp sahnesinin ancak kendi-kendini organize eden sürü davranışıyla mümkün olabileceği gözden kaçırılmamalıdır. Bu tür sistemlerin sürü davranışı sergileyen organizmaların evrimsel biyolojik köklerinden esinlenerek gerçekleştirilebileceği gözden kaçırılmamalıdır. Belirtilen nedenlerden, gelecek on yıllarda disiplinler arası araştırma ve geliştirmenin hayati önemi daha da artacaktır. Şekil 14'de solda doğal sürü davranışı örneği olarak bir kuş sürüsü, sağda ise Amerika Birleşik Devletleri Savunma Bakanlığı ve Deniz Kuvvetleri Hava Sistemleri Komutanlığı tarafından gerçekleştirilen mikro-İHA sürü davranışı testinin video gösteriminden bir kesit görülüyor^[19]. 2017 yılında başarıyla gerçekleştirilen söz konusu teste, bir F-18'den fırlatılan 103 adet küçük drone, havada bir sürü gibi bir araya gelerek, kendilerine verilen görevi başarıyla yerine getiriyor. Drone'lara ne yapacakları söylenmiş, ancak nasıl yapacakları söylenmemiştir. Bu drone'lar tek başlarına değil, bir bütün halinde düşünmekte, birlikte karar almakta, uyarlanabilir düzende uçmakta ve kendi-kendini düzeltebilmektedir.

Drone sürüleri ileride istihbarat toplamak, düşman iletişim sistemlerini karıştırmak ve engellemek, geniş çaplı bir uçuş iletişim ağı oluşturmak, büyük bir uçak gibi hareket ederek düşman radarlarını aldatmak gibi amaçlarla kullanılabilir.



Şekil 14: Solda; Doğal Sürü Davranışı, Sağda Mikro-İHA Sürü Davranışı^[19]



Şekil 15: Farklı Çalışma ve Raporlarda Belirtilen Çekirdek Yenilikler/Teknolojiler^[13]

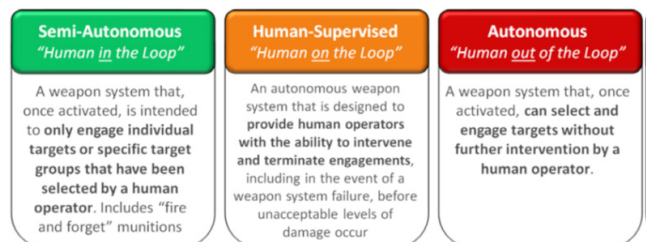
Başarılı sürü davranışının en önemli değişkenleri dumsal farkındalık üstünlüğü, uzun menzilli kabiliyetler, anlaşılması güç şekilde hareket etme, eşzamanlılık ve kuşatma olarak sıralanmaktadır^[13].

Santa Fe Enstitüsü ve Massachusetts Institute of Technology (MIT) araştırmacılarının geçtiğimiz yıllarda yayımlanan bir çalışmada, 62 farklı teknolojik alanda çok hızlı bir gelişme temposu öngörülüyor. Dahası, mevcut ilerleme sinerjiktir. Çeşitli teknolojik alanlarda gerçekleşen buluşlar birbirleriyle bağlantılı bir şekilde genel ilerlemeyi mümkün kılmaktadır.

Şekil 15'de Amerika Birleşik Devletleri'nde yayımlanan çeşitli raporlarda adı geçen modern "dönüştürücü" teknolojiler sıralanıyor. Ortadaki liste söz konusu yayınların ortak olarak vurguladığı teknolojileri belirtiyor^[13]. Bunlar arasında yer alan robotlar, sürüler, otonomi, yapay zekâ, insan-sistem işbirliği vb. teknolojiler sürü teknolojileriyle doğrudan ilişkili ve destekleyici alanlar olarak öne çıkıyor.

İNSANSIZ SİSTEMLER VE OTONOMİ

Askeri sistemlerde otonomi, sürekli ya da çok sık insan kontrolüne ihtiyaç duyan ve uzaktan kontrol edilen platformlardan, çevrelerini algılayıp analiz edebilen, dahası çevreleriyle etkileşime girip angajman kararı verebilen tam otonom sistemlere kadar geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır. Otonomi konusunda karmaşıklığı azaltılabilmek için, söz konusu sistemlerin kullanımında insan/operatör kontrolünün derecesine göre bir sınıflandırma yapılmaktadır^[13].



Şekil 16: DoD 3000.09'da Belirtilen Otonomi Seviyeleri^[6]

		2017	2029	2042
		NEAR-TERM	MID-TERM	FAR-TERM
AUTONOMY	Artificial Intelligence/ Machine Learning	- Private Sector Collaboration - Cloud Technologies	- Augmented Reality - Virtual Reality	- Persistent Sensing - Highly Autonomous
	Increased Efficiency and Effectiveness	- Increased Safety & Efficiency	- Unmanned Tasks, Ops - Leader-Follower	- Swarming
	Trust	- Tasking Guidance and Validation, Ethical Requirements for Human Decisions		
	Weaponization	- DoD Strategy Consensus - LAWS assessment	- Armed Wingman/Teammate (Human Decision to Engage)	

Şekil 17: Otonomi İçin Kapsamlı Bir Yol Haritası^[9]

- **“İnsanın döngü içinde olduğu”** sistemler, özellikle hedef tayini ve angajman aşamalarını içerecek şekilde, sürekli ya da sık sık bir operatör tarafından kontrol edilmeye ihtiyaç duyar. Her ne kadar değişik seviyelerde otonom işlevler yürütseler de, güdümlü mühimmatın büyük çoğunluğu operatörler tarafından kontrol edilmektedir. Bu sistemler kısmen insanın harp dinamikleri üzerindeki kontrolünü artırmak için tasarlanıyor.
- **“İnsanın döngü üzerinde kaldığı”** sistemler harp alanında artan hızlı karar alma ve hareket etme ihtiyacını karşılar ve önceden tanımlanmış hedeflerin tespit ve takibini yapabilir ve bu hedeflere angaje olabilir. Hava ve füze savunma sistemleri ile aktif koruma sistemleri insansız denetimli silah sistemleri olarak bu kategori altında sınıflandırılıyor.
- **“İnsanın döngünün dışında olduğu”** sistemler, minimum insan müdahalesiyle kendi kendine çalışabilir ve hedefe angaje olma aşamasında karar alma yeteneklerine sahiptir. Bu kategori içinde yer alan en belirgin sistem belirtilen şekilde hedef tespiti ve vuruş yapabilen otonom vurucu İHA sistemleridir. İsrail tarafından üretilen “Harpy anti-radar sistemi” bu konudaki önemli bir örnektir. ABD ordusunun küçük boyutlu ve taşınabilir vurucu İHA sistemlerini özellikle Afganistan’da yürüttüğü harekâtlar sırasında kullandığı biliniyor.

İnsansız sistemler, tüm sınıflardaki örnekleriyle giderek daha gelişiyor olmakla birlikte, söz konusu platformların büyük çoğunluğu “insanın döngü içinde olduğu” prosedürler gerektiriyor ve bazı örneklerde çalıştırılması için çok sayıda personele ihtiyaç duyuyor. Daha yüksek seviyelerde otonomi, insansız sistemlerin çevresel faktörlerle ilgili öğrenme, algılama, reaksiyon gösterme ve adapte olma davranışlarında kendi yapay zekâlarını kullanmasını mümkün kılacak ve yukarıda belirtilen işgücü ihtiyacını önemli oranda azaltabilecektir. Dahası, sürü zekâsının gelişmesi; geniş alanlarda, sürekli, ağ merkezli ve uyarlanabilir elektronik karıştırma ve koordineli taarruz gibi gelişmiş taktik ve operasyonel yöntemlerin kullanımını mümkün kılacaktır.

Askeri sistemlerin otonomi seviyelerinin artmasına yol açan etkenler arasında ön plana çıktığı görülmektedir. Özellikle, robotik ve diğer teknolojilere erişimin artması, jeostratejik rekabet, savunma bütçesi ve mevcut işgücü gibi alanlardaki kısıtlar, insansız sistemlerin sürekli olarak uzaktan kontrol edilmesindeki teknik zorluklar ve modern harbin başlıca niteliklerinden biri haline gelen hızlı karar alma ve tepki verme kabiliyeti belirtilen etkenlere örnek teşkil etmektedir. En çok kullanılan insansız sistemler genellikle güvenilir uydu bağlantısı ve yüksek bant genişliği gibi teknik yeterliliklere ihtiyaç duyar. Otonomi ve yapay zekâ alanlarındaki gelişmelerin söz konusu zorlukları azaltması beklenmektedir. Ayrıca, uzaktan kontrol edilen sistemler ciddi oranlarda işgücüne ihtiyaç duyar^[13]. Şekil 17’de otonomi için kapsamlı bir yol haritası verilmiştir^[9].

Yapay Zekâ/Makine Öğrenmesi otonomiye mümkün kılan dört anahtar bileşenden biri ve hatta en önemlisi olarak burada dikkat çekmektedir.

YAPAY ZEKÂNIN GELİŞİMİ VE İNSANSIZ SİSTEMLERE ETKİLERİ

Makine öğrenmesi, yapay zekâ alanında çok hızlı gelişmekte olan bir bilgi alanıdır ve insansız sistemlerin gelişiminde; komuta kontrol, seyrüsefer, algılama (sensör istihbaratı ve sensör füzyonu), engel tespiti ve kaçınması, sürü davranışı ve taktikleri, insan etkileşimi gibi konularda belirleyici önem taşımaktadır. Yapay sinir ağlarının gelecek vaat eden bir şekli olan **derin öğrenme** (deep learning) ise, yapay zekânın çok çekirdekli GPU’lar (Graphical Processing Unit), geleneksel CPU’lar ve sinir sistemini taklit eden (neuromorphic) özel çipler kullanılarak veri içindeki örüntü ve modelleri öğrenmesiyle ilgilidir^[9]. Makine öğrenmesi tasarımları, yapay zekâ sistemlerinin ön bilgi, eğitim verisi ve tecrübeyi kullanarak karar alma kabiliyetleri geliştirmesine olanak sağlıyor. Ayrıca, gelişmiş insan-makine ve makine-makine etkileşimleri konusunda söz konusu teknoloji büyük öneme

sahiptir. Bu uygulamaların geliştirilmesinde **denetimli öğrenme** (supervised learning), **denetimsiz öğrenme** (unsupervised learning) ve **pekiştirmeli öğrenme** (reinforcement learning) tekniklerinden yararlanılıyor. İlk başlarda sistemin büyük oranda geliştirici tarafından geniş veri setleriyle eğitilmesi şeklinde denetimli öğrenme teknikleri kullanılmış, son zamanlarda ise sözü geçen diğer iki yöntemin kullanımı yaygınlaşmıştır. Makine öğrenmesi uygulamaları güvenlik ve savunma alanlarında hali hazırda kullanılmaktadır. Çeşitli ülkelerin istihbarat örgütlerinin de başta veri boyutlarının büyümesinden kaynaklanan analitik zorlukları aşma maksadıyla makine öğrenmesi teknikleriyle geliştirilen sistemleri kullandıkları düşünülmektedir.

Yapay zekâ ve makine öğrenmesi, yüksek kalitede kararları otonom olarak verebilen öğrenme kabiliyetine sahip sistemlerin geliştirilmesini mümkün kılıyor. Bunlar, genişletilmiş ve iyileştirilmiş işlevselliğe sahip daha yüksek otonomi seviyelerinde insansız sistemler geliştirilmesinde de önemli rol oynayacaktır. Otonom insansız sistemler, muharebe sahası yönetimini ve komuta kontrolünü kökten değiştirecek nitelikte yapay zekâ/makine öğrenmesi destekli karar verme yardımcıları sayesinde, gerekli muharebe farkındalığını üst seviyeye taşıyacaktır^[9].

Yapay zekânın otonomiye yaygınlaştırması, harp sahasındaki klasik karar alma döngüsünün tarihe karışacağı anlamına geliyor. İnsanın döngü içinde yer alması gecikmeyi artırdığı ve karar alma etkinliğini azalttığı için, daha otonom karar alma kabiliyetine sahip makineler son tahlilde çok daha etkin ve verimli olacaktır.

6. İNSANSIZ VE AKILLI SİSTEMLER SEKTÖR STRATEJİSİ VE SÜRÜ SİSTEMLERİ

Günümüzün harekât ortamlarında insanlı sistemlerin yerini insansız sistemler almaya başlamıştır. İnsan kaynaklı kısıtların ortadan kalkmasıyla, mevcut savunma sistemleri çok daha etkin bir duruma gelmiştir. İHA'lar 2000'li yılların başından itibaren hızla yaygınlaşmış, sistemlerin sayısı ve çeşitleri artarken kabiliyetleri de gelişmiş ve muharebe ortamına yeni bir anlayış gelmiştir. İnsansız Kara Aracı (İKA) ve İnsansız Deniz Aracı (İDA) alanlarında da sağlanan önemli ilerlemeler sayesinde öncü sistemler harekâtlarda kullanılmaya başlamıştır.

Askeri ve sivil alanda insansız sistemlere olan ihtiyacın hızla artmaya devam edeceği ve her yıl insansız sistemlerin kabiliyetlerinin artacağı ve kullanımının yaygınlaşacağı beklenmektedir. Gelecekte bir noktada sürü halinde görev yapacak olan yapay zekâyâ sahip otonom insansız sistemlerin askeri harekât alanında devrim etkisi yaratacağı söylenebilir. Bugün otonom silahlar, barut ve nükleer silahların ardından savaş alanında "üçüncü devrim" olarak nitelendiriliyor. Gelecekte otonom insansız sistemler, verilen görevlere uygun şekilde sürü halinde çalışacak, diğer insansız ve insanlı sistemlerle iletişime girerek görev koordinasyonu ve görev paylaşımını yapabilecek, hedefleri tespit edip insanlarla doğrudan iletişim kurma ihtiyacı duymadan hedeflere angaje olabilecektir^[12].

7. SONUÇ: MODERN HARP İÇİN BİR GELECEK ÖNGÖRÜSÜ

Benzeri görülmedik bir teknolojik dönüşüm çağında yaşıyoruz. Otonomi, yapay zekâ, otonom kontrol sistemleri, ileri bilgi işlem, büyük veri, öğrenen makineler, akıllı grafik görselleştirme araçları, metamateryaller, minyatürleştirme gibi alanlar muazzam bir insan-makine işbirliği dönemine doğru bizlere öncülük etmektedir^[9].

Son dönemlerde, düzensiz harp koşullarında ve terörle mücadele operasyonlarında kanıtlanan bir dizi stratejik, operasyonel ve taktik üstünlüğe tanık olduk. Bir sonraki askeri atılımın ise daha otonom ve yapay zekâ teknolojilerinden daha fazla yararlanan yeni nesil insansız sistemlerle gerçekleşme olasılığı yüksek görünüyor. Ağ merkezli uygulamaların yaratacağı çarpan etkisiyle, insansız askeri sistemlerin artan oranlarda hız, çeviklik, koordinasyon, görev menzili ve süresi sağlayan yeteneklere sahip olacağı düşünülüyor.

Bu gelişmeler, A2/AD (anti-access/area denial) yetenekleriyle donatılmış sahalarda düşmana karşı icra edilecek taarruz harekâtlarından hava savunmaya ve istihbarat-gözetleme-keşif (ISR) faaliyetlerine kadar geniş bir alanda etkili olacaktır. Bir bütün olarak ele alındığında bu değişimlerin modern harpte yeni bir dönemi işaret ettiği söylenebilir. İnsansız sistemlerin gelecek dönemdeki harp rejiminin esas muharip unsurları haline gelmesi güçlü bir olasılıktır. Bu dönüşümde yapay zekâ teknolojisinin önemli bir faktör olarak ön plana çıkması da yüksek bir olasılıktır^[13].



KAYNAKÇA

- [1] Swarm of UAVs: Search & Rescue Operation in Chaotic Ship Wakes, Master Thesis by Ehsan Ebrahimi-Oskoei, KTH Royal Institute of Technology, April 2014
- [2] After A. Kolling, et al., "Human Interaction with Robot Swarms," IEEE Transactions on Human-Machine Systems, Vol. 46, Feb. 2016
- [3] Report of the Defense Science Board, Summer Study on Autonomy, June 2016.
- [4] Raja Naeem Akram, Konstantinos Markantonakis, Keith Mayes, Oussama Habachi, Damien Sauveron, Andreas Steyven and Serge Chaumette, "Security, Privacy and Safety Evaluation of Dynamic and Static Fleets of Drones", 2017 IEEE/AIAA 36th Digital Avionics Systems Conference (DASC)
- [5] Therese Skrzypietz, "Unmanned Aircraft Systems for Civilian Missions", Brandenburg Institute for Society and Security, 2012
- [6] Under Secretary of Defense for Policy, DoD Directive 3000.09, Autonomy in Weapon Systems, Washington, DC, Nov 2012
- [7] EuroSWARM: Developing Technology for UAV Swarms in Defence Applications, <https://www.cranfield.ac.uk/research-projects/euroswarm-developing-technology-for-uav>
- [8] Andrew Ilachinski, "AI, Robots, and Swarms", January 2017
- [9] Unmanned Systems Integrated Roadmap FY 2017-2042
- [10] Stuart M. Adams, Carol J. Friedland, A Survey Of Unmanned Aerial Vehicle (Uav) Usage For Imagery Collection In Disaster Research And Management
- [11] Gökyüzünün Çelik Kanatları: ALPAGU, KARGU VE TOGAN, <http://savunmasanayi.org/alpagu-kargu-ve-togan-otonom-drone/>
- [12] 2018-2022 Savunma Sanayii Sektörel Strateji Dokümanı, SSM
- [13] Can Kasapoğlu, Barış Kırdemir, Yükselen İnsansız Sistemler Gücü: Askeri Atılımının Eşiğindeki Türkiye, Haziran 2018
- [14] K. Daniel, B. Dusza, C. Wietfeld, Mesh Network for CBRNE-Reconnaissance with MUAV Swarms, 4th Conference on Safety and Security Systems in Europe, Potsdam, Jun 2009
- [15] Kai Daniel, Bjoern Dusza, Andreas Lewandowski, Christian Wietfeld, AirShield: A System-of-Systems MUAV Remote Sensing Architecture for Disaster Response, 3rd Annual IEEE Systems Conference, March 2009
- [16] Xueping Zhu, Zhengchun Liu, Jun Yang, Model of Collaborative UAV Swarm Toward Coordination and Control Mechanisms Study, ICCS 2015 International Conference On Computational Science
- [17] CPSwarm Project: <https://www.cpswarm.eu/index.php/the-project/>
- [18] Drone Swarms in the Field, <https://ercim-news.ercim.eu/en113/special/drone-swarms-in-the-field>, April 2018
- [19] The Washington Post, https://www.washingtonpost.com/videonational/defense-dept-demos-one-of-the-worlds-largest-drone-swarms/2017/01/09/6971391c-d6ac-11e6-a0e6-d502d6751bc8_video.html?noredirect=on&utm_term=.908f20813a49
- [20] <https://www.truweathersolutions.com/>
- [21] Airbus Demonstrates Manned-Unmanned Teaming for Future Air Combat Systems, <https://www.airbus.com/newsroom/stories/Airbus-demonstrates-MUT.html>, October 2018
- [22] Dr. Timothy H. Chung, OFFensive Swarm-Enabled Tactics (OFFSET), DARPA Tactical Technology Office



thinktech
STM Teknolojik Düşünce Merkezi
<http://thinktech.stm.com.tr>

