

**RUSYA-UKRAYNA
SAVAŞI'NDA
İHA KULLANIMI:**
MODERN SAVAŞIN
YENİ OYUNCULARI VE
GELECEĞİN
TEKNOLOJİK
DÖNÜŞÜMÜ

NİSAN 2025

RA-
POR



Milli İstihbarat Akademisi

RUSYA-UKRAYNA SAVAŞI'NDA

İHA KULLANIMI:

MODERN SAVAŞIN

YENİ OYUNCULARI VE GELECEĞİN

TEKNOLOJİK DÖNÜŞÜMÜ

RAPOR / NİSAN 2025



Milli İstihbarat Akademisi



Telif
Millî İstihbarat Akademisi © 2025
Ankara - TÜRKİYE

Yayın Tarihi: Nisan 2025

Bu çalışmaya ait içeriğin telif hakları Millî İstihbarat Akademisine ait olup 5846 Sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu uyarınca kaynak gösterilerek kısmen yapılacak makul alıntılar dışında, hiçbir şekilde önceden izin alınmaksızın kullanılamaz, yeniden yayımlanamaz.

Millî İstihbarat Akademisi

E-Posta: bilgi@mia.edu.tr

"Bandrol Uygulamasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmeliğin 5'inci maddesinin 2'nci fıkrası çerçevesinde bandrol taşıması zorunlu değildir."

RUSYA-UKRAYNA SAVAŞI'NDA İHA KULLANIMI: MODERN SAVAŞIN YENİ OYUNCULARI VE GELECEĞİN TEKNOLOJİK DÖNÜŞÜMÜ

İÇİNDEKİLER

ÖN SÖZ	5
YÖNETİCİ ÖZETİ	7
GİRİŞ	9
BÖLÜM 1	
İHA Teknolojisinin Tarihçesi ve Temel Bileşenleri	14
BÖLÜM 2	
Rusya-Ukrayna Savaşı'nda İHA Kullanımı	24
BÖLÜM 3	
İHA'ların Stratejik Önemi	42
BÖLÜM 4	
İHA Teknolojisinin Geleceği	48
SONUÇ	54
KAYNAKÇA	56

TABLO

Tablo 1: Farklı Boyutlarda İHA'ların Ortalama Maliyet ve Menzil Bilgileri.....	9
Tablo 2: Kullanımına Göre İHA Türleri ve Özellikleri.....	17
Tablo 3: Ukrayna Tarafından Kullanılan Bazı İHA'lar	29
Tablo 4: Rusya'nın Askeri İHA Üreten Şirketleri.....	31
Tablo 5: Rusya Tarafından Kullanılan İHA'lar	32
Tablo 6: Ukrayna'nın İHA'lara Karşı Kullandığı Önemli EH Sistemleri	37
Tablo 7: Rusya'nın İHA'lara Karşı Kullandığı Bazı EH Sistemleri	39

FOTOĞRAF

Fotoğraf 1: Bayraktar TB2 (Taktik Blok 2) İHA.....	11
Fotoğraf 2: "Bug" Lakaplı İnsansız Kettering Hava Torpidosu	14
Fotoğraf 3: ANKA-2 ve ANKA-3 İHA.....	16
Fotoğraf 4: BAYKAR Akıncı SİHA'sına Entegre Edilen ASELSAN Tarafından Geliştirilmiş ASEFLIR-500.....	19
Fotoğraf 5: Fly-by-Fiber Teknolojili HCX İHA	20
Fotoğraf 6: Güneş Enerjili Zephyr İHA.....	21
Fotoğraf 7: Black Hornet 4 Mikro İHA	24
Fotoğraf 8: Ukrayna İHA'sı Tarafından Vurulan Petrol Deposu.....	25
Fotoğraf 9: AQ400 Scythe İHA	26
Fotoğraf 10: Ukrayna İHA'ları Tarafından Saldırıya Uğrayan Hava Üssü	27
Fotoğraf 11: Quantum Systems Tarafından Üretilen Vector İHA	28
Fotoğraf 12: Tu-141 "Strizh"	30
Fotoğraf 13: Orlan-10 İHA	31
Fotoğraf 14: Şahid-131 Kamikaze İHA (Geran-1) ve Şahid-136 Kamikaze İHA (Geran-2)	33
Fotoğraf 15: Rus İHA'larında Kullanılan Bazı Bileşenlerin Üretildiği Ülkeler ve Devre Kartları	34
Fotoğraf 16: Bukovel-AD EH Sistemi	37
Fotoğraf 17: Krasukha-4 EH Sistemi.....	38

İNFOGRAFİK

İnfoğrafik 1: EH Sisteminin İHA'lara Karşı Kullanımı.....	36
--	----

ÖN SÖZ

Günümüz dünyasında teknolojik gelişmeler yalnızca günlük yaşamı değil, aynı zamanda askerî stratejileri ve savaş alanlarını da kökten dönüştürmektedir. İnsansız hava araçları (İHA), bu dönüşümün en çarpıcı örneklerinden biri olarak karşımıza çıkmakta ve modern savaşın dinamiklerini yeniden şekillendirmektedir. Son yıllarda İHA'ların; istihbarat, gözetleme, keşif, saldırı, lojistik destek ve elektronik harp (EH) gibi farklı alanlardaki etkinliği bu araçların askerî operasyonlarda ne denli önemli bir rol üstlendiğini gözler önüne sermiştir.

Rusya-Ukrayna Savaşı, İHA teknolojisinin hem yenilikçi kullanım alanlarını hem de savaş alanındaki dönüştürücü gücünü açık bir şekilde ortaya koyan bir laboratuvar işlevi görmüştür. Her iki ülke tarafından keşif, saldırı ve lojistik operasyonlarda stratejik bir araç olarak kullanılan İHA'ların savaşta etkileri, dikkat çekici bir şekilde hissedilmiştir. Savaş boyunca EH teknolojilerinin İHA üzerindeki etkisi bu araçların yalnızca fiziksel değil, aynı zamanda teknolojik bir savaşın unsurları olduğunu da göstermiştir.

Bu rapor; İHA teknolojilerinin tarihsel gelişiminden başlayarak modern savaşlardaki kullanımlarını, stratejik önemlerini ve geleceğe dair potansiyellerini ele almaktadır. Raporla, Rusya-Ukrayna Savaşı'ndaki İHA kullanımı incelenmiş, savaşın İHA teknolojisinin geleceğini nasıl şekillendirdiği analiz edilmiştir. Ayrıca İHA'ların maliyet etkinliği, yapay zekâ entegrasyonu, sürü İHA teknolojileri ve enerji sistemlerindeki yenilikler gibi unsurlar modern savaş stratejilerindeki yerlerini anlamak için kritik bir bakış açısı sunmaktadır.

Bu raporun hazırlanmasında emeği geçen tüm ekibe teşekkür eder, çalışmanın modern savaş stratejilerini ve teknolojilerini anlamaya yönelik önemli bir kaynak olacağını belirtmek isterim. İHA'ların savaş alanlarındaki etkilerini ve gelecekteki potansiyellerini anlamak yalnızca askerî stratejiler için değil, aynı zamanda barış ve güvenlik politikalarının şekillenmesinde de hayati bir öneme sahiptir. Bu bağlamda raporun, okuyucular için ilham verici ve bilgilendirici bir rehber olmasını temenni ederim.

Prof. Dr. Talha Köse
Millî İstihbarat Akademisi Başkanı

YÖNETİCİ ÖZETİ

- Rusya-Ukrayna Savaşı, İHA teknolojilerinin savaşın doğasını nasıl kökten değiştirebileceğini gösteren kritik bir örnek teşkil etmektedir. İHA'ların istihbarat, gözetleme, keşif, saldırı, lojistik ve EH gibi çok yönlü görevleri üstlenmesi, tarafların saha üstünlüğü için geliştirdiği stratejik yaklaşımları ve uygulamaları doğrudan etkilemiştir.
- Söz konusu savaş, İHA'ların modern askerî operasyonlarda oynadığı çok yönlü rolü net bir şekilde açığa çıkarmıştır. *İstihbarat, keşif, hedef tespiti ve komuta-kontrol unsurlarının desteklenmesinde kritik bir rol üstlenmiştir.* Kamikaze ve silahlı İHA'lar, düşük maliyet ve yüksek etki kabiliyetiyle çatışmaların seyrini değiştirmiştir. *Ukrayna'nın, sivil ve ticari İHA'ları modifiye ederek ekonomik ve etkili çözümler geliştirmesi, daha kısıtlı kaynaklara sahip taraflar için çarpıcı bir örnek oluşturmuştur.*
- Rusya-Ukrayna Savaşı, İHA'lara yönelik EH tehditlerinin ne denli belirleyici olabileceğini de göstermiştir. Küresel konumlama sistemi (GPS) sinyallerinin bozulması, komuta-kontrol devrelerinin kesintiye uğratılması ve *İHA'ların siber saldırılarla devre dışı bırakılması, bu sistemlerin savaş alanındaki etkinliğini sınırlandırma potansiyeline sahiptir.* Ukrayna'nın fiber optik kablolu İHA'lar veya gelişmiş yedek haberleşme kanalları gibi esnek teknolojilerle bu baskıya karşı koyması, EH'nin İHA'lar üzerindeki etkisini azaltan çözümlerin önemini vurgulamıştır.
- Savaş sahasında test edilen yapay zekâ destekli otonom İHA'lar, sürü teknolojileri ve uzun havada kalma süreleri sağlayan yeni enerji sistemleri; gelecekteki çatışmalarda İHA'ların önemi daha da artıracaktır. Hem Rusya hem de Ukrayna, bu teknolojileri geliştirmek ve sahada hızlıca uyarlamak üzere yatırımlarını hızlandırmıştır. Bu durum, İHA'ların sadece mevcut güvenlik dinamiklerini değil, aynı zamanda savunma sanayisinin gelecek vizyonunu da belirleyeceğini göstermektedir.
- İHA'ların sürekli bir gözetim ve ani taarruz tehdidi oluşturması, cephedeki birlikler üzerinde önemli bir psikolojik baskı yaratmıştır. Özellikle kamikaze İHA'ların gece operasyonlarında kullanılması sadece askerî değil, aynı zamanda sivil yaşam alanlarında da ciddi bir endişe ve savunma refleksi doğurmuştur. Bu durum hem karar vericileri hem de uluslararası kamuoyunu harekete geçiren kritik bir faktör olmuştur.

- Mezkûr savaş, İHA teknolojilerinde ileri düzeyde uzmanlığa sahip farklı üreticiler ve ülkeler arasındaki iş birliği ve teknoloji transferi süreçlerinin stratejik önemini açığa çıkarmıştır. Hem Rusya'nın hem de Ukrayna'nın yabancı üretim sistemlerine yönelmesi, İHA pazarında çok boyutlu bir rekabet ve iş birliği ağının ortaya çıktığını göstermektedir. Ukrayna'nın "Army of Drones" gibi kitlesel kampanyalarla hızlı bir şekilde İHA tedarik etmesi de sivil toplumun ve uluslararası kamuoyunun rolünü vurgulamıştır.
- Rusya-Ukrayna Savaşı, İHA'ların farklı tip ve görev profilleriyle savaş alanının merkezine yerleştiğini net biçimde göstermiştir. Bu teknoloji sadece klasik çatışma yöntemlerini dönüştürmekle kalmamakta; EH, siber güvenlik ve sürü teknolojileri gibi alanlarda da yenilikçi çözümleri zorunlu kılmaktadır. Savaşın gidişatında ve gelecekteki benzer çatışmalarda belirleyici olmaya devam edecek İHA'ların, stratejik avantaj yaratmak isteyen tüm aktörler için vazgeçilmez bir kapasite hâline geldiği açıktır.

Modern savaş alanlarında İHA teknolojisinin gelişimi, çatışma dinamiklerini kökten değiştiren bir unsur olmuştur. Rusya-Ukrayna Savaşı, bu teknolojilerin savaş alanındaki etkisini somut bir şekilde gözler önüne sermiştir. Her iki ülke de 2022 yılından bu yana binlerce İHA kullanarak keşif, saldırı ve lojistik operasyonlar gerçekleştirmiştir. Özellikle küçük ve ticari İHA'lar, maliyet etkinlikleri ve erişilebilirlikleri nedeniyle yaygın şekilde kullanılmıştır.¹

İHA'ların modern savaşta önem kazanmasının en önemli nedenlerinden biri, farklı roller üstlenebilecek şekilde uyarlanabilir olmalarıdır. Küçük ve orta ölçekli İHA'lar; istihbarat, gözetleme ve keşif (İGK) görevlerini etkin bir şekilde yerine getirmektedir. Büyük İHA'lar ise yüksek irtifa operasyonlarında stratejik avantajlar sağlamaktadır (bk. Tablo 1). Ayrıca "dolaşan mühimmat" olarak bilinen kamikaze İHA'lar hem etkili saldırılar gerçekleştirmekte hem de düşmanın hava savunma sistemlerini hedef almaktadır.²

Tablo 1: Farklı Boyutlarda İHA'ların Ortalama Maliyet ve Menzil Bilgileri³

Çap	Maliyet	Menzil	Servis İrtifası	Özellikler
Küçük (<1 metre)	< 1.000 \$	5 km	< 1.000 metre	Kısa menzilli keşif
Orta (1 metre)	1.000 \$ - 10.000 \$	6 km	1.000 metre	Hafif mühimmat, gece operasyonları
Büyük (1-3 metre)	10.000 \$ - 30.000 \$	10 km	> 1.000 metre	İGK omurgası
Sabit Kanatlı (> 3 metre)	> 30.000 \$	> 20 km	1.000 metre üstü	Yüksek kaliteli sensörler

Rusya-Ukrayna Savaşı, İHA teknolojilerindeki yenilikleri hızlandırmıştır. Yapay zekâ destekli ve sürü İHA teknolojileri, sahadaki operasyonların hızını ve doğruluğunu artırarak insan müdahalesine gerek kalmadan karmaşık görevleri yerine getirebilmektedir. Bu durum, sahadaki insan kayıplarını azaltırken operasyonel etkinliği artırmaktadır. Savaş boyunca Ukrayna'nın bu teknolojilere yaptığı yatırımlar sayesinde yerli İHA üreticisi sayısı 2022 yılından itibaren 7'den 200'e yükselmiştir.⁴

İHA'ların maliyet etkinliği, onları cazip bir seçenek hâline getirmiştir. Geleneksel savaş teknolojilerine kıyasla daha düşük maliyetle üretilebilen bu araçlar, asimetrik savaşlarda stratejik avantajlar sağlamaktadır. Örneğin Şahid-136 kamikaze İHA, yaklaşık 20.000 dolara mal olurken onu durdurmak için kullanılan savunma sistemlerinin maliyeti, milyon dolarlarla ölçülmektedir.² Bu asimetri, savaşta İHA'ların stratejik önemini artırmaktadır.

İHA'ların savaş alanındaki etkileri sadece fiziksel yıkımlarla sınırlı kalmamaktadır. Hedef bölgelerde sürekli tehdit oluşturan İHA'lar, ciddi bir psikolojik baskı yaratmaktadır. Özellikle gece operasyonlarında kullanılan termal kameralar, İHA'lara görünmezlik sağlayarak hem askerî hem de sivil hedefler üzerinde etkili olmaktadır.⁵

Rusya-Ukrayna Savaşı, İHA'ların savaş alanındaki rolünü dönüştürmüş ve bu teknolojilerin kullanımında bir dönüm noktası oluşturmuştur. Savaşın başlangıcından itibaren geçen süreç İHA teknolojisinin sadece savaş alanında değil; aynı zamanda üretim, stratejik kullanım ve taktiksel adaptasyon açısından da hızla gelişmesine neden olmuştur.

Rusya, İHA'ları hem keşif hem de saldırı amaçlı kullanarak Ukrayna'daki operasyonlarını desteklemiştir. Özellikle Orlan-10 ve Forpost gibi İHA'lar, Rusya'nın topçu sistemlerini hedeflere yönlendirmede kritik bir rol oynamıştır. Orlan-10, bir keşif aracı olarak Ukrayna'daki hedeflerin koordinatlarını belirlemek ve bu bilgileri hızlı bir şekilde topçu birimlerine aktarmak için kullanılmıştır. Kasım 2023'e kadar Rusya, yaklaşık 4.600'den fazla İHA kaybetmiştir.⁶ Düşürülen İHA'lar arasında Orlan-10 ve Zala Aero Group tarafından üretilen KUB-BLA gibi sistemler öne çıkmaktadır. Bu durum, savaşın yoğunluğu ve İHA'ların sahadaki stratejik önemini açıkça ortaya koymaktadır.

Rusya ayrıca İran yapımı kamikaze İHA'lar Şahid-131 ve Şahid-136'yı yoğun bir şekilde kullanmıştır. Bu İHA'lar, düşük maliyetli üretim süreçleri ve etkili saldırı yetenekleriyle öne çıkmıştır. Şahid-136 Ukrayna'daki enerji altyapısını hedef almak için sıklıkla kullanılmıştır.⁶ Bu durum, Rusya'nın İHA teknolojilerini altyapı saldırılarında stratejik bir araç olarak kullandığını göstermektedir.

Ukrayna, İHA teknolojilerinde yenilikçi ve esnek bir yaklaşım sergileyerek savaş alanında önemli avantajlar elde etmiştir. Özellikle ticari İHA'ların modifiye edilerek askerî amaçlarla kullanılması, düşük maliyetle yüksek etki yaratmıştır. DJI Phantom gibi ticari İHA'lar, Ukrayna tarafından keşif, hedef tespiti ve kamikaze saldırılarında kullanılmak üzere modifiye edilmiştir.⁷ Türk yapımı Bayraktar TB2 (bk. Fotoğraf 1), Ukrayna'nın en etkili askerî araçlarından biri olarak öne çıkmıştır. Söz konusu İHA, yüksek hassasiyetli mühimmat taşıma kapasitesiyle zırhlı araçlar ve hava savunma sistemlerine karşı etkili olmuştur.⁸

Fotoğraf 1: Bayraktar TB2 (Taktik Blok 2) İHA



Kaynak: BAYKAR.

Ukrayna, birinci şahıs görüşü (FPV) İHA'larını kamikaze saldırılarında kullanarak yaratıcı bir yaklaşım da benimsemiştir. Bu İHA'ların maliyeti birkaç yüz dolara kadar düşerken taşıdıkları patlayıcılarla tank ve zırhlı araçlar gibi hedeflere zarar vermiştir. Ayrıca Ukrayna hükûmeti ve sivil toplum örgütleri "Army of Drones" gibi projeler aracılığıyla kitlesel bağış kampanyaları düzenlemiştir. Bu şekilde 1.400'den fazla İHA satın alınmıştır.⁹ Bu bağışlar, Ukrayna'nın İHA teknolojilerindeki esnekliğini artıran önemli bir faktör olmuştur.

Rusya-Ukrayna Savaşı, İHA'ların EH sistemleriyle etkileşimini de kapsamlı bir şekilde ortaya koymuştur. Rusya, Ukrayna'nın İHA'larını etkisiz hâle getirmek için sinyal bozucu teknolojilerini yoğun bir şekilde kullanmıştır. Bununla birlikte Ukrayna, EH sistemlerine karşı dayanıklı İHA'lar geliştirerek bu tehdidi azaltmaya çalışmıştır. Fiber optik bağlantılı İHA'lar, radyo sinyalleri yerine fiber optik kablolarla iletişim kurarak sinyal bozuculara karşı koruma sağlamıştır.¹⁰

Savaş, Batı'nın İHA teknolojilerindeki ilerlemesini de hızlandırmış ve Ukrayna'ya yönelik desteğin artmasını sağlamıştır. Batılı ülkeler, Ukrayna'ya ileri İHA teknolojileri sağlayarak Ukrayna'nın askerî kapasitesini artırmıştır.³ Switchblade 300 gibi İHA'lar, hedeflerin hassas bir şekilde vurulmasını sağlarken düşman hatlarını da zayıflatmıştır.⁸ Ukrayna'nın bu tür teknolojilere hızlı adaptasyonu, sahada kendilerine büyük bir esneklik kazandırmış ve savaşın gidişatını etkilemiştir.

Rusya-Ukrayna Savaşı, İHA teknolojisinin gelecekteki savaşlardaki rolünü şekillendiren bir laboratuvar işlevi görmüştür. Yapay zekâ destekli İHA'lar, sürü teknolojileri ve otonom sistemler gibi yenilikçi teknolojiler, bu savaşta test edilerek geliştirilmiştir.^{10,11} Özellikle Ukrayna, yerli üretim kapasitelerini artırarak hem kısa vadeli ihtiyaçlarını karşılamış hem de uzun vadeli savunma sanayisi altyapısını güçlendirmiştir.

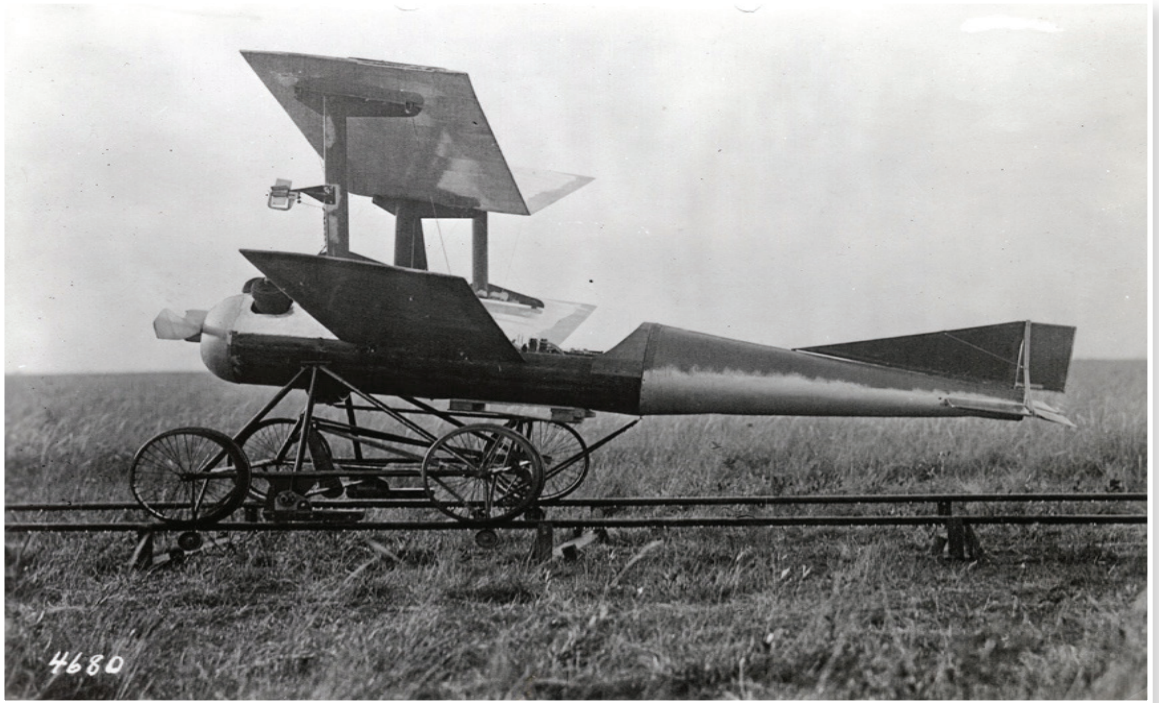
BÖLÜM 1

İHA TEKNOLOJİSİNİN TARİHÇESİ VE TEMEL BİLEŞENLERİ

Askerî Operasyonlarda İHA Kullanımının Tarihçesi

Askerî operasyonlarda kullanılmadan önce İHA teknolojisi; 20. yüzyılın başlarında geliştirilmiş ve hava araçlarının insansız olarak yönetilebileceği fikri üzerine şekillenmiştir. Bu teknolojinin askerî amaçlarla kullanımı özellikle I. Dünya Savaşı'nda ortaya çıkmıştır. Charles F. Kettering tarafından 1917 yılında geliştirilen Kettering Bug¹² (bk. Fotoğraf 2), ilk İHA prototipi olarak kabul edilir. Bu prototipin belirli bir menzile uçup ardından hedefe çarpması amaçlanmıştır. Ancak bu araç operasyonel olarak kullanılamamış ve konsept geliştirme aracı olarak kalmıştır.

Fotoğraf 2: "Bug" Lakaplı İnsansız Kettering Hava Torpidosu



Kaynak: National Museum.

II. Dünya Savaşı'nda Almanya'nın V-1 uçan bombaları, İHA'ların askerî çatışmalarda stratejik bir araç olarak kullanılabileceğini göstermiştir. 250 km'lik bir menzile sahip olan V-1'ler, hedefe ulaştığında patlayarak yıkıcı etkiler yaratmıştır.¹³ Bu dönemde İHA teknolojisi büyük ölçüde güdümlü sistemleri ve patlayıcı taşıma kapasitesine odaklanmıştır.

Soğuk Savaş Dönemi, İHA teknolojisinin keşif ve istihbarat odaklı kullanımına sahne olmuştur. Amerika Birleşik Devletleri (ABD), 1960'larda özellikle Vietnam Savaşı'nda İHA'ları keşif ve gözetleme amaçlı kullanmaya başlamıştır. Ryan Firebee adlı İHA, fotoğraf çekimi ve istihbarat toplama görevlerinde kullanılmış ve bu süreçte İHA'ların operasyonel kabiliyeti artırılmıştır.¹⁴

1990'lar, İHA teknolojisinin önemli bir dönüm noktasıdır. Körfez Savaşı'nda ABD'nin RQ-2 Pioneer İHA'ları, Irak hedeflerini tespit etmek ve topçu ateşini yönlendirmek için kullanılmıştır.¹⁵ Söz konusu İHA'lar sağladığı gerçek zamanlı istihbaratla savaşın dinamiklerini değiştirmiştir. Bu dönemde geliştirilen GPS ve dijital iletişim teknolojileri de İHA'ların hassasiyetini ve operasyonel esnekliğini artırmıştır.

1999 yılında Kosova Savaşı'nda Kuzey Atlantik Antlaşması Örgütü (NATO), RQ-1 Predator İHA'larını kullanarak gözetleme ve istihbarat toplama operasyonları gerçekleştirmiştir.¹⁶ Predator hem keşif hem de silahlı görevlerde kullanılabilen ilk modern İHA'lardan biri olarak dikkat çekmiştir. Bu dönem, İHA'ların keşif görevlerinden saldırı operasyonlarına evrilmeye başladığı bir geçiş süreci olarak kabul edilmektedir.

2000'ler, İHA'ların silahlı çatışmalarda daha aktif roller üstlendiği bir dönem olmuştur. 2001 yılında ABD, Afganistan'daki el-Kaide hedeflerini vurmak için Predator İHA'larını silahlandırmıştır. Bu dönemde geliştirilen MQ-1 Predator, Hellfire füzeleri taşıyarak hassas saldırılar gerçekleştirmiştir.^{16,17}

2010'lar, İHA'ların operasyonel etkinliğinin daha da arttığı bir dönemdir. ABD'nin MQ-9 Reaper (1.700 kg taşıma kapasiteli) İHA'ları; Afganistan, Irak ve Yemen gibi bölgelerde geniş çaplı operasyonlarda kullanılmıştır.¹⁸ Reaper hem istihbarat toplama hem de yüksek etkili saldırılar gerçekleştirme yeteneğine sahiptir. Bu dönemde İHA'lar sadece askerî hedeflere yönelik operasyonlarda değil, aynı zamanda istihbarat toplama ve sınır güvenliği gibi görevlerde de kullanılmıştır. Bu yıllarda Çin de İHA teknolojisinde önemli bir oyuncu hâline gelmiştir. Wing Loong ve CH-4 gibi modeller, düşük maliyetleri ve operasyonel etkinlikleri nedeniyle birçok ülke tarafından tercih edilmiştir.^{19,20} Çin'in bu dönemdeki teknolojik atılımları, İHA'ların küresel askerî stratejilerdeki yerini daha da sağlamlaştırmıştır.

Türkiye, İHA'ların askerî operasyonlarda etkin bir şekilde kullanılmasında öncü ülkelerden biri olarak öne çıkmıştır. 2000'li yılların başlarında İHA geliştirme çalışmaları özellikle 2010'lu yıllarda Bayraktar TB2 ve ANKA (bk. Fotoğraf 3) gibi yerli platformların geliştirilmesiyle hız kazanmıştır.²¹ Bu teknolojiler, Türkiye'nin terörle mücadele operasyonlarında ve sınır güvenliği görevlerinde kritik bir rol üstlenmiştir. Bayraktar TB2, 2016 yılında Fırat Kalkanı Harekâtı'nda etkin olarak kullanılarak keşif ve saldırı görevlerinde üstün başarı sağlamış, Türkiye'nin operasyonel kabiliyetlerini artırmıştır.²² Bu dönemde, İHA'ların yüksek hassasiyetle hedef tespiti yapma ve uzun süre havada kalabilme özellikleri, geleneksel operasyon yöntemlerine kıyasla büyük bir stratejik avantaj sunmuştur. Türkiye'nin İHA'ları, iç güvenlik operasyonları dışında Libya, Karabağ ve Suriye gibi uluslararası çatışmalarda da etkin bir şekilde kullanılarak ülkenin bölgesel gücünü artırmıştır.²³ Yerli ve millî üretime verilen öncelik; Türkiye'yi İHA teknolojilerinde dışa bağımlılıktan kurtarırken uluslararası arenada teknoloji ihracatçısı bir ülke konumuna getirmiştir. Bu süreç, Türkiye'nin modern savaş doktrinlerinde İHA'ların merkezî bir rol üstlenmesini sağlamış; ülkenin savunma sanayisi kapasitesini küresel ölçekte görünür kılmıştır.

Fotoğraf 3: ANKA-2 (yukarıda) ve ANKA-3 (aşağıda) İHA



Kaynak: TUSAŞ.

2020'ler, İHA'ların savaş alanındaki kullanımında yeni bir dönemi temsil etmektedir. Rusya-Ukrayna Savaşı, İHA teknolojisinin geniş çaplı ve yenilikçi kullanımını gözler önüne sermiştir. Ukrayna, ticari İHA'ları modifiye ederek hem keşif hem de saldırı operasyonlarında kullanmıştır. DJI Phantom gibi ticari İHA'lar, Ukrayna tarafından kamikaze saldırılarında kullanılmıştır.⁷ Rusya ise İran yapımı Şahid-136 kamikaze İHA'larını yoğun bir şekilde kullanmıştır.²⁴ Rusya'nın kendi üretimi olan Orlan-10 ve Lancet-3 gibi İHA'lar da gözetleme ve saldırı görevlerinde etkili olmuştur.²⁵ Savaş, İHA'ların sadece askerî araç olarak değil, aynı zamanda yenilikçi teknolojilerin test edildiği bir platform olarak da kullanıldığını göstermiştir. Yapay zekâ destekli navigasyon sistemleri, sürü teknolojileri ve otonom İHA'lar; bu dönemde test edilmiş ve geliştirilmiştir.¹¹

İHA Türleri

Keşif, saldırı, kamikaze ve lojistik İHA'lar, farklı operasyonel rolleri üstlenerek ordulara stratejik ve taktiksel avantajlar sağlamaktadır (bk. Tablo 2). Keşif İHA'ları gerçek zamanlı istihbarat sağlarken saldırı İHA'ları yüksek hassasiyetle hedeflere roket/füze atışı yapar. Kamikaze İHA'lar düşük maliyetle kritik hedeflere etkili saldırılar gerçekleştirirken lojistik İHA'lar tehlikeli bölgelerde hızlı ve güvenli malzeme taşınmasını mümkün kılar. Adı geçen dört İHA türü, modern savaşın giderek karmaşık hâle gelen yapısına uyum sağlamak için yenilikçi teknolojilerle donatılmakta ve çatışmalarda belirleyici bir rol oynamaktadır.

Tablo 2: Kullanımına Göre İHA Türleri ve Özellikleri²⁶

İHA Türü	Özellikler	Kullanım Alanları
Keşif	Yüksek çözünürlüklü kameralar, termal sensörler	Düşman hareketlerini izleme, gözetleme
Saldırı	Silah taşıma kapasitesi	Hedef imhası, hassas saldırılar
Kamikaze	Tek kullanımlık, patlayıcı başlık	Askerî ve altyapı hedeflerine hızlı saldırılar
Lojistik	Malzeme taşıma kapasitesi	Cephane, tıbbi malzeme, lojistik destek

Düşman hareketlerini izlemek, hedef belirlemek ve gerçek zamanlı istihbarat sağlamak için geliştirilen keşif İHA'ları, modern savaşın vazgeçilmez unsurlarından biri olmuştur. Keşif İHA'ları özellikle karmaşık çatışma ortamlarında orduların stratejik karar alma süreçlerini desteklemek için kullanılır. Bu İHA'ların en önemli özellikleri arasında; uzun süre havada kalabilme, geniş menzile sahip olma ve gelişmiş sensör teknolojileri bulunur. Ukrayna'nın kullandığı Bayraktar TB2, 300 km'ye kadar haberleşme menzili ve 27 saat havada kalabilme kapasitesine sahiptir.²⁷ Bu özellikler, operasyonel esneklik sağlayarak geniş bölgelerin gözetimini mümkün kılmaktadır. Rusya tarafından kullanılan Orlan-10, 16 saate kadar havada kalabilen, yaklaşık 150 km menzile ulaşabilen bir keşif İHA'sıdır.²⁸ Bu İHA özellikle topçu birlikleri için hedef tespitinde kritik bir rol oynamıştır.

Keşif İHA'ları genellikle elektro-optik ve kızılötesi (IR) kameralar, lazer işaretleyiciler ve radarlarla donatılmıştır. Bu sensörler, gece-gündüz fark etmeksizin düşman hareketlerini takip etmeyi mümkün kılmaktadır. Bu İHA'ların başlıca görevlerinden biri, düşman pozisyonlarının belirlenmesi ve bu bilgilerin hızlı bir şekilde komuta merkezlerine iletilmesidir.²⁶ Bu görev, topçu ateşi veya hava saldırılarının hassasiyetini artırmaktadır. Ukrayna'da kullanılan keşif İHA'ları, Rusya'nın lojistik hatlarını ve savunma noktalarını etkili bir şekilde hedef almayı sağlamıştır.² Bu İHA'lar aynı zamanda sınır güvenliği, konvoy gözetimi ve arama kurtarma operasyonlarında da yaygın olarak kullanılır. Keşif İHA'ları özellikle maliyet etkinliği ve düşük risk avantajlarıyla öne çıkmaktadır. Geleneksel keşif uçaklarına kıyasla bu İHA'lar, daha düşük maliyetle üretilebilir ve insan pilot riski olmaksızın kullanılabilir.²⁹ Ayrıca keşif İHA'ları, düşman radarlarına yakalanmadan görev yapabilme kapasitesine sahip olduğu için asimetrik çatışmalarda son derece etkili olmaktadır.

Saldırı İHA'ları, düşman hedeflerine doğrudan ateş gücü sağlamak amacıyla geliştirilmiş insansız sistemlerdir. Bu İHA'lar; hassas hedefleme kabiliyeti, yüksek manevra yeteneği ve güçlü mühimmat taşıma kapasiteleriyle modern savaşlarda önemli bir yer edinmiştir. Saldırı İHA'ları genellikle yüksek patlayıcı kapasiteli mühimmatlarla donatılmıştır. ABD yapımı MQ-9 Reaper, 1.700 kg'lara kadar silah taşıyabilme kapasitesine sahiptir ve Hellfire füzeleriyle yüksek hassasiyetli saldırılar gerçekleştirebilir.¹⁸ Rusya'nın kullandığı Lancet-3 ise taşınabilir ve otonom saldırı özellikleriyle dikkat çekmiştir. 3 kg ağırlığında bir patlayıcı başlık taşıyabilen Lancet-3, düşman zırhlı araçlarını etkisiz hâle getirebilir.²⁶

Saldırı İHA'larının bir diğer önemli özelliği, gerçek zamanlı veri aktarımıyla hedefin sürekli izlenmesini sağlamasıdır. Bu İHA'lar, operatörlere anlık geri bildirim sağlayarak hedeflerin etkin bir şekilde yok edilmesine olanak tanımaktadır. Ayrıca düşman hava savunma sistemlerini etkisiz hâle getirmek, stratejik hedeflere hassas saldırılar düzenlemek ve konvansiyonel kuvvetlere destek sağlamak için de kullanılmaktadır.³⁰

Tek kullanımlık saldırı sistemlerine sahip olan kamikaze İHA'lar, hedefe çarparak imha etmek için tasarlanmıştır. Genellikle küçük boyutlu ve hafif yapılara sahip olan bu İHA'lar, düşük maliyetleri ve yüksek etkililikleriyle modern savaşlarda ön plana çıkmıştır. Düşük radar görünürlüğü, kamikaze İHA'ların düşman savunma sistemlerini geçmesini kolaylaştırmaktadır. Kamikaze İHA'lar, düşman altyapısını hedef almak, hava savunma sistemlerini etkisiz hâle getirmek ve zırhlı araçlara yönelik saldırılar düzenlemek için kullanılmaktadır.³¹

Lojistik İHA'lar ise savaş alanında mühimmat, ilaç vb. malzemelerin taşınması gibi destek görevlerinde kullanılır. Bu İHA'lar özellikle tehlikeli bölgelerde operasyonel avantajlar sağlamaktadır.²⁶ Lojistik İHA'lar, ağır yük taşıma kapasiteleriyle de dikkat çekmektedir.³² Ukrayna'nın kullandığı R18 gibi modeller, 5 kg ağırlığında mühimmat/malzeme taşıyabilir ve zorlu koşullarda etkili bir şekilde görev yapabilir.³³ Bu İHA'lar, cephe hatlarında lojistik operasyonları hızlandırarak insan gücünü riske atmadan malzeme taşımaktadır.

Her İHA türü, savaş alanında farklı roller üstlenerek operasyonel avantaj sağlamaktadır. Keşif, saldırı, kamikaze ve lojistik İHA'lar, modern savaşın dinamiklerini değiştiren en önemli unsurlardan biridir. Bu teknolojilerin gelişimi, gelecekte daha karmaşık ve entegre sistemlerin kullanımını artıracaktır.

Önemli İHA Bileşenleri

Modern İHA teknolojisinin başarısı, ileri düzey bileşenlerinin etkileşimli bir şekilde çalışmasına dayanır. Bu bileşenler İHA'ların keşif, saldırı ve lojistik operasyonlarda etkinliğini artırırken maliyet ve operasyonel esneklik açısından avantaj sağlamaktadır. Sensörler, kameralar, iletişim sistemleri ve enerji kaynakları İHA'ların en kritik parçaları olarak görülmektedir.

Sensörler, İHA'ların çevresel verileri toplamasını sağlayan en temel bileşenlerdir. Elektro-optik, IR ve lazer tabanlı sensörler; hedef tespiti ve izleme görevlerinde kritik bir rol oynar. Bayraktar TB3 ve Akıncı gibi sistemler, yüksek çözünürlüklü elektro-optik sensörler ve lazer hedef işaretleyicilerle (bk. Fotoğraf 4) donatılmıştır.³⁴ Bu özellikler, hedeflerin hassas bir şekilde belirlenmesini ve saldırıların doğruluk oranının artırılmasını sağlar.

Fotoğraf 4: BAYKAR Akıncı SİHA'sına Entegre Edilen ASELSAN Tarafından Geliştirilmiş ASELFIR-500



Kaynak: BAYKAR.

Rusya-Ukrayna Savaşı'nda kullanılan Orlan-10, elektro-optik ve termal sensörler aracılığıyla sahadan gerçek zamanlı veri toplayarak topçu birimlerinin hedef belirleme süreçlerini optimize etmiştir.³⁵ Termal sensörler özellikle gece operasyonlarında etkili olmuş, düşman hareketlerini düşük ışık koşullarında tespit etme kabiliyeti sağlamıştır.

Keşif ve gözetleme görevlerinde İHA'lar tarafından kullanılan kameralar, en kritik bileşenlerden biridir. Yüksek çözünürlüklü kameralar, geniş bir görüş açısı ve gerçek zamanlı görüntü aktarımı sunmaktadır. Ukrayna'nın kullandığı ticari DJI İHA'ları da kamera sistemleriyle dikkat çekmektedir. Özellikle DJI Mavic 3, 4K video kayıt kapasitesi ve 28x hibrit zoom özelliği sayesinde düşman hedeflerini detaylı bir şekilde görüntüleme imkânı sunmuştur.³⁶ Bu tür ticari İHA'lar, düşük maliyetleri ve yüksek performansları nedeniyle savaş alanında modifiye edilerek kullanılmaktadır. Kameraların artırılmış zoom kapasiteleri, uzak mesafelerdeki hedeflerin tanımlanmasını kolaylaştırarak saldırı planlamalarında doğruluk oranını artırmıştır.

İletişim sistemleri, İHA'ların operatörleriyle veri alışverişi yapmasını ve görevlerini başarıyla yerine getirmesini sağlamaktadır. İHA'lar genellikle radyo frekansı ve uydu bağlantısı gibi iletişim sistemleriyle donatılmıştır. Radyo frekansı tabanlı sistemler, kısa mesafeli görevlerde etkili bir iletişim sağlamaktadır ancak sinyal bozuculara karşı savunmasızdır. Bu nedenle modern İHA'lar uydu tabanlı sistemlerle desteklenmektedir. Bayraktar TB2, operasyonel menzilini artırmak için uydu iletişim sistemleriyle donatılmıştır.²⁷

Fiber optik iletişim sistemleri, EH tehditlerine karşı dayanıklı bir alternatif sunmaktadır. Ukrayna'nın geliştirdiği Fly-by-Fiber İHA'ları (bk. Fotoğraf 5), radyo sinyali yaymadan iletişim kurarak düşman EH sistemlerinden korunmuştur.³⁷ Bu tür yenilikler, İHA'ların savaş alanında daha güvenilir bir şekilde çalışmasını sağlamıştır. Bir diğer önemli gelişme, gerçek zamanlı veri aktarımında yaşanmıştır. İHA'ların, yüksek bant genişliği gerektiren büyük veri dosyalarını hızlı bir şekilde iletebilmesi, komuta merkezlerinin daha etkili kararlar almasını sağlamaktadır. Bu tür sistemler, operasyonların başarı oranını artırmak için kritik bir rol oynamaktadır.

Fotoğraf 5: Fly-by-Fiber Teknolojili HCX İHA



Kaynak: HIGHCAT.

İHA'ların havada kalma süresi ve görev etkinliği üzerinde, enerji kaynaklarının doğrudan bir etkisi vardır. Geleneksel İHA'lar genellikle lityum-iyon pillerle çalışırken daha büyük ve uzun menzilli İHA'lar, içten yanmalı motorlar veya hibrit sistemler kullanmaktadır.³⁸ Bayraktar TB2, içten yanmalı motoru sayesinde 27 saat kesintisiz uçarırken ticari İHA'lar genellikle 30 ila 40 dakika arasında sınırlı bir uçuş süresine sahiptir.²⁶

Yakıt verimliliği özellikle büyük ölçekli askerî operasyonlarda önemli bir faktördür. Stratejik yakıt tasarrufu sağlayan turbo jet motorlarla donatılan ABD yapımı Global Hawk gibi İHA'lar, bu sayede 30 saatten fazla havada kalabilmektedir.³⁹ Öte yandan güneş enerjisi tabanlı sistemler, geleceğin İHA teknolojisi için umut vadetmektedir. Zephyr adı verilen bir prototip ise (bk. Fotoğraf 6) güneş enerjisiyle çalışarak haftalarca havada kalabilmektedir.⁴⁰ Bu tür yenilikler, İHA'ların kesintisiz operasyonel kapasitesini artırmak için önemli bir adım olarak görülmektedir.

Fotoğraf 6: Güneş Enerjili Zephyr İHA



Kaynak: Airbus.

Bir diğer gelişme, enerji depolama ve yönetim sistemlerinde olmuştur. Lityum-polimer (Li-Po) piller, hafif olmaları ve yüksek enerji yoğunluğu sağlamaları nedeniyle tercih edilmektedir.³⁸ Ayrıca hızlı şarj teknolojileri, İHA'ların daha kısa sürede yeniden görev yapabilmesini sağlamaktadır.

İHA bileşenlerinin birbirleriyle uyumlu bir şekilde çalışması, bu araçların operasyonel etkinliğini artırmaktadır. Sensörler ve kameralar sahadan veri toplarken yapay zekâ bu verileri işleyerek hedef tespitini otomatikleştirir. İletişim sistemleri, bu bilgileri gerçek zamanlı olarak operatörlere iletirken enerji kaynakları İHA'ların uzun süre görev yapmasını sağlar. Bu bileşenlerin entegrasyonu, modern savaş alanlarında hızlı ve etkili operasyonların gerçekleştirilmesini mümkün kılmaktadır.

BÖLÜM 2

RUSYA-UKRAYNA SAVAŞI'NDA İHA KULLANIMI

Ukrayna'nın İHA Kullanımı

Rusya-Ukrayna Savaşı, modern savaş tarihinde ilk "İHA, dijital ve siber savaş" olarak tanımlanmaktadır.⁴¹ Daha önceki savaşlarda İHA kullanımı tek taraflıyken bu çatışmada hem Ukrayna hem de Rusya yerli ve yabancı İHA'ları aktif bir şekilde kullanmaktadır. Rusya, İHA sayısında üstünlük sağlayarak her Ukrayna İHA'sına karşı altı İHA'ya sahiptir.⁴² İHA'lar, savaşta gerçek zamanlı istihbarat ve gözetleme sağlayarak kara operasyonlarının etkinliğini artırmıştır. Farklı boyut ve türlerde birçok farklı İHA, savaş süresince kullanılmıştır. Norveç yapımı 1,3 kg ağırlığa sahip Black Hornet mikro İHA'ları (bk. Fotoğraf 7), 25 dakikaya kadar havada kalabilirken gece görüşü ve IR teknolojisiyle görüntü aktarımı yapmaktadır.⁴³ Kamikaze İHA'lar, hedeflerin üzerinde dolaşp belirli bir anda etkili saldırılar gerçekleştirmektedir. FPV İHA'lar, hareketli hedeflere karşı hassas saldırı kabiliyeti sağlayarak geleneksel topçu sistemlerinin yetersiz kaldığı alanlarda maliyet etkin bir alternatif oluşturmaktadır.

Fotoğraf 7: Black Hornet 4 Mikro İHA



Kaynak: Flir.

Savaş sırasında Ukrayna'nın askerî üretim kapasitesi büyük ölçüde artmıştır. Ülkede yaklaşık 70 devlet ve 400 özel firma savunma sanayisinde faaliyet göstermektedir. Bu şirketlerin 200'ü insansız kara, hava ve deniz sistemleri üzerinde çalışmakta, 50'si EH sistemleri geliştirmekte ve 150'si çeşitli silah sistemleri üretmektedir.⁴¹ İnovasyonu artırmak amacıyla bürokrasiyi minimumda tutan Ukrayna, hızlı prototip üretimi ve test süreçleriyle silah sistemlerini hızla sahaya sürmektedir. Üretilen prototipler sahada test edilmekte ve olumlu geri bildirim alan ürünler seri üretime geçirilmektedir.

Ukrayna'nın İHA sanayisi, savaş süresince önemli bir dönüşüm geçirmiştir. 2022'de yıllık İHA üretimi 3.000-5.000 birim arasındayken 2023'te bu sayı yaklaşık 300.000'e ulaşmıştır.¹¹ Ukrayna; insansız sistemleri kara, hava ve deniz operasyonlarında etkili bir şekilde kullanmaktadır. Kara robotları, yaralıların tahliyesinde ve lojistik destek sağlanmasında görev alırken insansız deniz araçları (İDA), Rusya'nın Karadeniz Filosu'na önemli zararlar vermiştir. Radar tarafından tespit edilmesi zor olan malzemelerden üretilen Marichka ve Toloka gibi İDA'lar, saldırı sırasında kamera görüntülerini uydu bağlantısıyla iletecek şekilde tasarlanmıştır.⁴⁴ İHA'lar arasında ise Falcon-300 gibi gelişmiş modeller dikkat çekmektedir. Bu İHA'lar, saatte 150 km hıza ulaşarak 300 kg yük taşımakta ve 3.300 km mesafe katetmektedir. Ukrayna'nın bu İHA'lar ile Rusya'ya ait 200'den fazla askerî üs, fabrika ve enerji altyapısını hedef aldığı bilinmektedir.⁴⁵

Ukrayna'nın İHA üretimi NATO ülkelerini dahi geride bırakmıştır. 2024 itibarıyla yıllık 2 milyon İHA üretimi kapasitesine ulaşan Ukrayna, bu alanda dünya lideri konumundadır.⁴¹ Ukrayna, Rusya'nın stratejik hedeflerine yönelik uzun menzilli İHA saldırılarını son dönemde artırmıştır. Hedefler arasında hava üsleri, petrol ve mühimmat depoları ile komuta merkezleri yer almaktadır. Ukrayna, Batı teknolojisi ve finansmanını kullanarak yüzlerce İHA'yı düşük maliyetle üretebilmiş ve operasyonlarını yüksek hassasiyetle koordine etmiştir. Proletarsk'taki bir petrol deposu (bk. Fotoğraf 8), Ukrayna İHA'sı tarafından vurulmuş ve 10 gün boyunca yanmıştır.⁴⁶ Bu durum, düşük maliyetli saldırıların Rusya'nın savaş ekonomisi üzerindeki yıkıcı etkisine örnek teşkil etmektedir.

Fotoğraf 8: Ukrayna İHA'sı Tarafından Vurulan Petrol Deposu



Kaynak: BBC ve Planet Labs.

Ukrayna'nın İHA üretimi, Batı'daki benzer sistemlere kıyasla oldukça düşük maliyetlidir. Ukrayna'nın ürettiği AQ400 Scythe isimli uzun menzilli İHA (bk. Fotoğraf 9), düşük maliyetlerle üretilirken bu İHA'yı imha etmek için kullanılan Rus hava savunma füzelerinin maliyeti 1 milyon doları bulabilmektedir. Terminal Autonomy gibi şirketler, her ay 100'den fazla AQ400 Scythe ve yüzlerce daha kısa menzilli AQ100 Bayonet İHA üretmektedir.⁴⁶ Bu İHA'ların ahşap malzemelerden üretildiği, eski mobilya fabrikalarının dönüştürüldüğü bir üretim modeli kullanıldığı belirtilmektedir.

Fotoğraf 9: AQ400 Scythe İHA



Kaynak: Terminal Autonomy.

Ukrayna, Batılı şirketlerin sağladığı teknolojilerle hedeflerini daha hassas bir şekilde vurabilmektedir. Palantir gibi ABD merkezli şirketler, Ukrayna'ya veri analizi ve uzun menzilli saldırı planlaması için yazılım desteği sağlamıştır. Bu yazılımlar, Rus hava savunma sistemlerini ve EH konumlarını haritalandırarak Ukrayna İHA'larının rotalarını optimize etmektedir.⁴⁷ Yapay zekâ destekli İHA'lar, görsel navigasyon kullanarak radyo sinyallerine olan ihtiyacı ortadan kaldırmakta ve sinyal karıştırma sorununu aşabilmektedir. FPV İHA'lar %10-50 arasında değişen isabet oranlarına sahipken yapay zekâyla bu oranın %80'e çıkabileceği öngörülmektedir.⁴⁸ Bu İHA'lar, Rus hava savunmasını zorlamak ve yüksek maliyetli savunma füzelerini etkisiz hâle getirmek için yeterli olmaktadır.

Ukrayna, 2024 yılının başından itibaren uzun menzilli İHA saldırılarını artırarak Rusya'nın askerî altyapısını ve enerji endüstrisini hedef almaya başlamıştır. Bu saldırılardan biri, Ağustos 2024'te Marinovka Hava Üssü'nde gerçekleşmiş ve büyük bir patlamaya neden olmuştur. Bu saldırı, 100'den fazla yerli üretim uzun menzilli İHA'nın kullanıldığı en büyük operasyonlardan biri olarak kaydedilmiştir. Ukrayna sınırına yaklaşık 350 km uzaklıkta gerçekleşen saldırı, Ukrayna'nın İHA teknolojilerindeki ilerlemesini gözler önüne sermektedir. Saldırının ardından, Rusya'nın önemli miktarda mühimmat kaybettiği ve hava üslerinde kullanılan uçakların hasar gördüğü uydu görüntüleriyle teyit edilmiştir (bk. Fotoğraf 10).⁴⁶

Fotoğraf 10: Ukrayna İHA'ları Tarafından Saldırıya Uğrayan Hava Üssü



Kaynak: BBC ve Planet Labs.

Ukrayna'nın uzun menzilli İHA saldırıları, Rusya'nın hava savunma sistemlerindeki açıkları ortaya koymuştur. Rusya'nın büyük hava sahasını koruma kapasitesi, mevcut tehditlere karşı yetersiz kalmaktadır. Ukrayna'nın İHA üretimi ve saldırı kapasitesindeki artış, Rusya'nın hava savunma sistemlerine yönelik baskıyı artırmıştır. Bu durum, Rusya'nın mevcut kaynaklarla hem Ukrayna'daki cephe hatlarını hem de iç bölgeleri korumada zorlandığını göstermektedir.

Ukrayna, mevcut uzun menzilli saldırı kapasitelerini artırmak için çalışmalarına devam etmektedir. Hâlihazırda bir Ukrayna şirketi, İngiliz yapımı Storm Shadow füzelerinin maliyetinin onda biri fiyatına yeni bir seyir füzesi geliştirmektedir.⁴⁶ Bu, Ukrayna'nın Batı'nın desteği olmadan da operasyonlarını sürdürebileceğini göstermektedir.

Ukrayna, Alman Quantum Systems'ten satın aldığı Vector İHA'ları ile (bk. Fotoğraf 11) daha sofistike bir teknolojiye de yatırım yapmaktadır.⁷ Dikey iniş-kalkış yapabilme özelliğine sahip olan keşif amaçlı İHA'lar, otonom çalışarak yaklaşık 3 saat havada kalabilmektedir.

Fotoğraf 11: Quantum Systems Tarafından Üretilen Vector İHA



Kaynak: Quantum Systems.

İHA sanayisi hızlı bir büyüme göstermiş olmasına rağmen Ukrayna, çeşitli zorluklarla karşı karşıyadır. 2024 yılı için 16,2 milyar dolar olarak belirlenen savunma bütçesi, yılın ilk yarısında bitmiştir.¹¹ Ukrayna, savaş sırasında askerî üretimi öncelikli tutarak ihracat iznini sınırlamıştır. Ancak bu durum, şirketlerin büyümesini ve uluslararası pazarlara açılmasını engellemektedir. Savaş boyunca Ukrayna tarafından kullanılan bazı İHA'lar teknik özellikleriyle Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3: Ukrayna Tarafından Kullanılan Bazı İHA'lar

İHA Adı	Menşee	İşlev	Hız (km/s)	Maks. Menzil (km)	Havada Kalma Süresi (saat)	Yük Kapasitesi (kg)
Bayraktar TB2 ²⁷	Türkiye	İGK, Hedefleme, Saldırı	130	300	27	55
DJI Mavic 3 ³⁶	Çin	Keşif, Gözetleme	76	15	0,75	0,5
Falcon-300 ⁴⁵	Ukrayna	İGK, Hedefleme, Saldırı	150	3.300	26	300
Phoenix Ghost (Dominator) ⁴⁹	ABD	Kamikaze	95	640	5	16,7
WB Group Warmate ⁵⁰	Polonya	Kamikaze	150	30	1	1,4
RAM II ⁵¹	Ukrayna	Kamikaze	120	30	1	3
Spectator-M1 ⁵²	Ukrayna	İGK, Saldırı	120	200	3	2
UJ-22 Airborne ⁵³	Ukrayna	İGK	160	800	7	20
AQ400 Scythe ⁵⁴	Ukrayna	Kamikaze	200	750	6,5	43
RQ-20 Puma ⁵⁵	ABD	İGK	47-83	20	3+	-
Mini-Bayraktar ⁵⁶	Türkiye	İGK	55-70	30	2	-
Switchblade 300 ⁵⁷	ABD	Kamikaze	160	30	0,3	1,7
Switchblade 600 ⁵⁷	ABD	Kamikaze	185	90	0,3	15
Leleka-100 (Stork) ⁵⁸	Ukrayna	İGK	100	45	2,5	-
Athlon Avia A1-CM Furia ⁵⁹	Ukrayna	İGK	100	50	3	-
R18 ⁶⁰	Ukrayna	İGK, Lojistik, Hedefleme, Saldırı	43,2	4	0,6	5
WB FlyEye ⁶¹	Polonya	İGK, Hedefleme	120	180	2,5	4
Quantum System Vector ⁶²	Almanya	İGK	54-72	35	3	-

Rusya'nın İHA Kullanımı

Sovyetler Birliği Dönemi'nde başlanan İHA geliştirme çalışmalarına, Tu-141 Strizh (bk. Fotoğraf 12) ve Tu-143 Reis gibi modeller öncülük etmiştir. Bu sistemler, 1970'li yıllarda operasyonel kullanıma sunulmuş ve keşif operasyonlarında rol almıştır. 1980'li yıllarda "keşif-taarruz kompleksi" kavramı dâhilinde İHA'ların topçu birliklerinin entegre bir unsuru olması düşünülmüş, bu doğrultuda konsept ve doktrin hazırlıkları yapılmıştır. Ancak Sovyetler Birliği'nin dağılmasının ardından bu projeler büyük ölçüde askıya alınmış, 1990'larda teknolojik ilerlemeler yavaşlamıştır.⁶

Fotoğraf 12: Tu-141 "Strizh"



Kaynak: Topwar.ru.

Rusya, 2000'lerin sonlarında modern İHA sistemleri geliştirme hedefiyle özel ve devlet destekli şirketlerin projelere katılımını artırmıştır. Zala Aero Group ve Kronshtadt gibi şirketler, Rusya'nın İHA kapasitesini artırmak için önemli projelere imza atmıştır.⁶³ Ancak bu dönemde geliştirilen sistemler genellikle yetersiz kalmış ve teknik sorunlar nedeniyle sınırlı operasyonel başarı sağlamıştır.

Son yıllarda Rusya; Orlan-10, Forpost, Altius ve S-70 Okhotnik gibi modellerle İHA teknolojisindeki kapasitesini artırma çabası göstermiştir.⁶ Rusya'nın taktik keşif İHA'sı olarak geliştirilen Orlan-10 (bk. Fotoğraf 13), EH sistemleriyle entegre edilebilmekte ve çeşitli keşif görevlerinde kullanılmaktadır. İsrail yapımı Searcher modeli modernize edilerek Forpost-R adı altında saldırı kabiliyetleri kazandırılmıştır.⁶⁴ Ağır jet motorlu olarak geliştirilen bu İHA, uzun menzilli ve yüksek taşıma kapasitesine sahip bir sistem olarak tasarlanmıştır. Rusya'nın askerî İHA üreticileri Tablo 4'te verilmiştir. Bu projelerin çoğu, ithal bileşenlere ve motor teknolojilerine bağımlılık nedeniyle yavaş ilerlemektedir.

Tablo 4: Rusya'nın Askerî İHA Üreten Şirketleri⁶

Şirket	Şehir	Üretilen İHA Modelleri	Çalışan Sayısı	Yıllık Üretim Kapasitesi (2023)
STC	St. Petersburg	Orlan-10 (-20, -30)	2.200	200-300
Kronshtadt	Dubna	Orion	1.500	<10
ZALA Aero Group	Izhevsk	ZALA, KUB-BLA, Lancet	100	200-300
Eniks	Kazan	Eleron	300	<50
UZGA	Yekaterinburg	Forpost, Zastava, Altius	4.500	<20
Izhevsk Unmanned Systems	Izhevsk	Granat-1 (-2, -3, -4), Takhion	180	<100
Supercam Unmanned Systems	Izhevsk	Supercam	250	150
Novosibirsk Aircraft Plant	Novosibirsk	S-70 Okhotnik	7.000	-

Fotoğraf 13: Orlan-10 İHA



Kaynak: Mil.ru.

Rusya'nın İHA programındaki temel zorluklar, motor üretimi ve elektronik bileşen tedariki etrafında yoğunlaşmaktadır. Altius ağır İHA için kullanılan VK-800SM gibi bazı yerli motorlar, üretim ve sertifikasyon aşamalarında hâlâ sorunlarla karşı karşıyadır.⁶⁵ Bu durum, Rusya'nın hem modernizasyon çabalarını hem de seri üretim kapasitesini sınırlamaktadır. Rus İHA'larının çoğu için ithal motorlar ve elektronik sistemlere bağımlılık devam etmektedir. Bu bağımlılık, 2022 yılından itibaren uygulanan uluslararası ambargolar nedeniyle daha da belirgin hâle gelmiştir. Çin ve diğer ülkelerden gelen düşük maliyetli bileşenlerle bu açık kısmen kapatılmaya çalışılsa da yüksek teknoloji gerektiren sistemlerde eksiklikler sürmektedir.⁶⁶ Ayrıca İran yapımı Şahid-131 ve Şahid-136, Rusya tarafından yoğun bir şekilde kullanılmaktadır.²⁵ Bu durum, Rusya'nın yerli üretimdeki eksikliklerini ve yabancı tedarikçilere olan bağımlılığını göstermektedir. Savaş boyunca Rusya tarafından kullanılan bazı İHA'lar ve teknik özellikleri Tablo 5'te gösterilmektedir.

Tablo 5: Rusya Tarafından Kullanılan İHA'lar

İHA Adı	Menşee	İşlev	Hız (km/s)	Maks. Menzil (km)	Havada Kalma Süresi (saat)	Yük Kapasitesi (kg)
Şahid-136 (Geran-2) ⁶⁷	İran	Kamikaze	180	2.000-2.500	-	40-50
Şahid-131 (Geran-1) ⁶⁷	İran	Kamikaze	185	900	-	10-15
Lancet-3 ⁶⁷	Rusya	İGK, Hedefleme, Saldırı	110	40	0,6	3
Zala KYB ⁶⁸	Rusya	Kamikaze	130	100	0,5	3
Zala 421-16E5G HD ⁶⁸	Rusya	İGK	80-125	1.000	12	3,5
Muhacir-6 ⁶⁹	İran	İGK, Hedefleme, Saldırı	200	200	12	40
Orlan-10 ⁷⁰	Rusya	İGK	150	150	16	5
Orion-E ⁷¹	Rusya	İGK, Hedefleme	120	250	24	200
Granat-4 ⁷²	Rusya	İGK	145	70	6	3
Tachyon ⁷³	Rusya	İGK	100	40	2	-
Forpost-R ⁷⁴	İsrail/ Rusya	İGK, Saldırı	200	450	18	120
Orlan-30 ⁷⁵	Rusya	İGK	90-150	120	8	-
Eleron-3 ⁷⁶	Rusya	İGK	104	250	2	1

Mezkûr savaşta Rusya'nın İHA kullanımı, bu sistemlerin stratejik önemini bir kez daha ortaya koymuştur. Bu süreçte Rusya'nın İHA'lar arasında bilgi paylaşımı ve birlikler arasında uyum sağlama konularında yetersiz kaldığı da gözlemlenmiştir. Buna karşılık Ukrayna'nın Batı desteğiyle sağladığı gelişmiş İHA teknolojileri ve taktikleri, Rusya'nın bu alandaki eksikliklerini daha belirgin hâle getirmiştir.

İran, 2022 yılının ortalarında Rusya'ya İHA tedarik etmeye başlamıştır. Bu süreç, Rusya'nın hassas güdümlü mühimmat stoklarının azalmasının ardından hız kazanmıştır. İlk olarak 2022 Eylül ayında İran yapımı İHA'lar Ukrayna'daki hedeflere yönelik saldırılarda kullanılmıştır. Şahid-131 ve Şahid-136, İran'ın tek yönlü saldırı İHA'ları olup Rusya'da sırasıyla Geran-1 ve Geran-2 (bk. Fotoğraf 14) olarak yeniden adlandırılmıştır. Bu sistemler delta kanat yapısına ve bal peteği benzeri bir iç yapıya sahiptir. Özellikle kanat stabilizatörleri, motor yapıları ve diğer bileşenleri incelendiğinde bu İHA'ların, Orta Doğu'daki çatışmalarda kullanılan İran yapımı sistemlerle aynı olduğunu kanıtlayan birçok ortak özellik tespit edilmiştir.⁷⁷

Fotoğraf 14: Şahid-131 Kamikaze İHA (Geran-1) (solda) ve Şahid-136 Kamikaze İHA (Geran-2) (sağda)



Kaynak: Mil.in.ua ve AFP/Sergei Supinsky.

Daha küçük bir gövde yapısına sahip olan Şahid-131 genellikle düşük maliyetli operasyonlar için tercih edilmektedir. 2022 yılının sonbaharında Ukrayna'da tespit edilen bu sistemlerin, 2021 yılında Irak'ta gerçekleştirilen bir İran saldırısından alınan bileşenlerle neredeyse aynı olduğu görülmüştür.⁷⁷ Daha büyük bir gövde ve motor kapasitesine sahip olan Şahid-136 ise uzun menzilli saldırılar için optimize edilmiştir. Delta kanat yapısı ve motor tasarımı, bu sistemlerin etki ve maliyet açısından verimli olduğunu göstermektedir.⁷⁸

İran yapımı İHA'ların Ukrayna'daki etkisi, enerji altyapısına ve kritik sivil hedeflere yönelik saldırılarla kendini göstermektedir.⁷⁹ Şahid-136 özellikle uzun menzili ve hedef üzerindeki yıkıcı etkisiyle

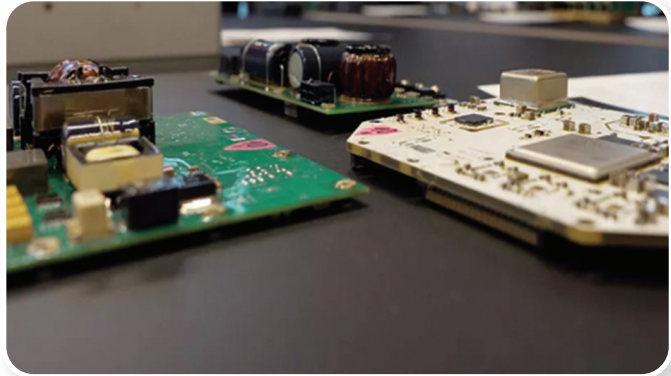
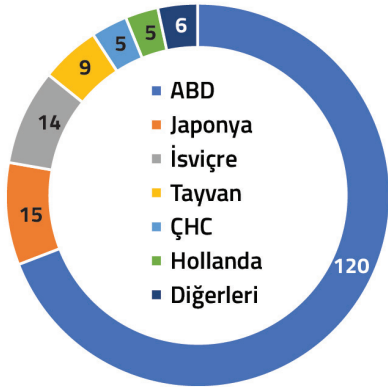
ön plana çıkmaktadır. Bu sistemler, düşük maliyetli ve kolay üretilebilir yapıları sayesinde yoğun bir şekilde kullanılmakta ve Ukrayna'nın savunma kapasitesini zorlamaktadır.

İran'la ortak bir İHA fabrikası kuran Rusya, 2025 yılının ilk yarısına kadar 6.000 Şahid-136 prototipi üretmeyi hedeflemektedir.⁴³ Bu durum savaşın yalnızca bir çatışma değil, aynı zamanda bir İHA yarışı olduğunu da göstermektedir.

Rusya tarafından kullanılan İHA'lar, büyük ölçüde yabancı bileşenlere dayanmaktadır. Bu durum, yaptırımların etkinliğini sorgulatan önemli bir mesele olarak ortaya çıkmaktadır. Şahid-131/136, Lancet ve Orlan-10 gibi yaygın olarak kullanılan İHA modellerinde yapılan analizler sonucunda; 174 farklı yabancı bileşen (işlemciler, mikroçipler, transistörler ve voltaj regülatörleri vb.) tespit edilmiş ve bunların %69'unun ABD merkezli şirketler tarafından üretildiği kaydedilmiştir⁶⁶ (bk. Fotoğraf 15). Bu durum, Rusya'nın İHA teknolojisinde stratejik bileşenler için büyük ölçüde dış kaynaklara bağımlı olduğunu göstermektedir. Özellikle Batılı ülkelerden sağlanan bileşenler, Rusya'nın yerli üretim kapasitesinin yüksek teknoloji ihtiyaçlarını karşılamada yetersiz kaldığını ortaya koymaktadır.

Rusya'nın bu bileşenlere erişimini sağlayan tedarik zincirleri, küresel ticaret verileri üzerinden incelendiğinde Çin'in %67 oranla en büyük kaynak ülke olduğu görülmektedir. Ayrıca Çin'den yapılan tedariklerin %17'si Hong Kong üzerinden gerçekleştirilmiştir. 2023 yılının ilk yarısında, bu tür bileşenler için gerçekleştirilen ticaret hacmi 7,2 milyar dolar seviyesine ulaşmış ve bir önceki yıla göre %19'luk bir artış kaydedilmiştir.⁶⁶

Fotoğraf 15: Rus İHA'larında Kullanılan Bazı Bileşenlerin Üretildiği Ülkeler (solda) ve Devre Kartları (sağda)



Kaynak: KSE Institute ve Euronews (Donogh McCabe).

Savaşta Kullanılan EH Sistemleri ve İHA Önlemleri

EH, modern askerî stratejilerin vazgeçilmez bir unsuru olarak elektromanyetik spektrumun aktif bir şekilde kullanılmasını temel alan bir savaş yöntemidir.⁸⁰ Bu konsept; düşmanın radar, iletişim ve komuta-kontrol sistemlerini bozmak, yanıltmak veya tamamen etkisiz hâle getirmek amacıyla geliştirilmiştir. EH, elektromanyetik enerji kullanarak düşmanın savaşma kabiliyetlerini sınırlandırırken dost sistemlerin operasyonel etkinliğini koruma hedefi güder. EH'nin başarısı, bu enerji spektrumunun doğru yönetimi ve etkili sistemlerin kullanımıyla doğrudan ilişkilidir.

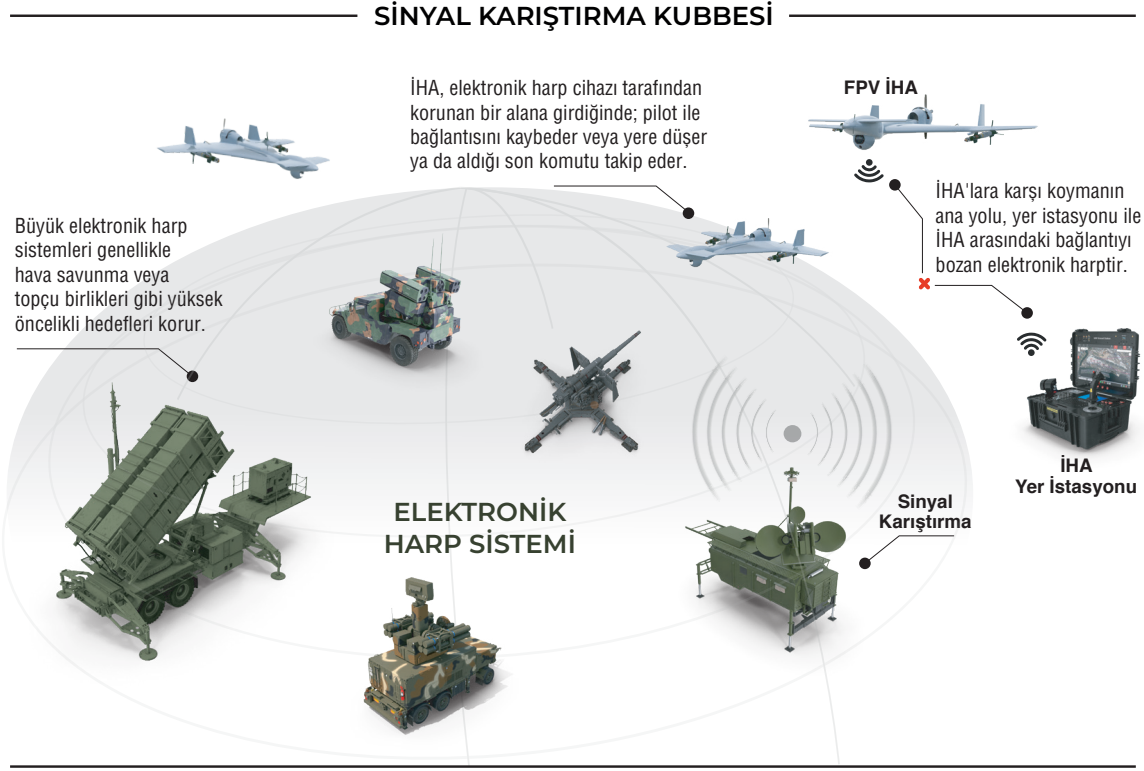
EH "elektronik saldırı, elektronik koruma ve elektronik destek" olmak üzere üç ana bileşene ayrılır.⁸¹ Elektronik saldırı, düşman sistemlerine yönelik aktif müdahaleleri kapsar. Bu saldırı; radyo sinyallerini karıştırarak düşmanın iletişim sistemlerini bozmak, radarlarını yanıltmak ve füze sistemlerini etkisiz hâle getirmek gibi işlemleri içerir. Elektronik koruma, dost sistemlerin düşmanın elektronik saldırılarından etkilenmesini önlemeyi amaçlar. Bu, sinyal atlama teknolojisi veya radyo frekanslarının şifrelenmesi gibi yöntemlerle gerçekleştirilir. Elektronik destek ise düşmanın elektromanyetik emisyonlarını tespit ederek onların stratejik ve taktiksel niyetlerini anlamaya yönelik bilgi toplama faaliyetlerini kapsar. Bu süreçte kullanılan sistemler; düşmanın iletişim yapısını, radar frekanslarını ve sinyal düzenlerini analiz ederek gerçek zamanlı istihbarat sağlar.

EH yalnızca saldırı veya savunma mekanizması değil, aynı zamanda istihbarat toplama ve karar alma süreçlerini destekleyen kritik bir araçtır. Modern çatışmalarda, düşman sistemlerinin elektromanyetik spektrumda oluşturduğu izler tespit edilip bu bilgiler komuta-kontrol sistemlerine aktararak operasyonel kararlar alınmaktadır.⁸²

Modern EH teknolojileri, giderek daha sofistike bir hâle gelmektedir. Yüksek frekanslı radar bozucular, yönlendirilmiş enerji silahları ve yapay zekâ destekli analiz sistemleri bu alanda öne çıkan yenilikler arasındadır.⁸³ Ayrıca elektromanyetik spektrumu yönlendirme kabiliyeti geliştikçe EH sistemleri daha etkili ve hassas hâle gelmektedir. Yapay zekâ özellikle elektronik destek faaliyetlerinde kullanılan sistemlerin sinyal analiz hızını artırmakta ve sahadan toplanan verilerin işlenmesini hızlandırmaktadır. Gelecekte otonom EH sistemleri, daha hızlı ve doğru müdahaleler yaparak operasyonel etkinliği artıracaktır.⁸⁴

EH, modern savaş alanlarında çok yönlü ve stratejik bir araç olarak kendini kanıtlamıştır. Radar sistemlerini etkisiz hâle getirme, iletişim hatlarını kesme, İHA'lara karşı savunma (bk. İnfografik 1), elektronik istihbarat toplama ve dost kuvvetlerin güvenliğini artırma gibi uygulamalar EH teknolojilerinin savaş alanındaki önemini vurgulamaktadır.⁸⁵ Rusya-Ukrayna Savaşı, bu teknolojilerin etkinliğini ve sınırlarını test eden bir laboratuvar işlevi görmüş, EH'nin modern çatışmalarda nasıl belirleyici bir faktör olabileceğini göstermiştir.^{86,87}

İnfoğrafik 1: EH Sisteminin İHA'lara Karşı Kullanımı



Rusya, elektromanyetik spektrumu kontrol etmek için gelişmiş sistemler kullanmış ve Ukrayna'nın İHA operasyonlarını engellemek için GPS sinyallerini bozmuştur. Krasukha-4 ve R-330ZH Zhitel gibi sistemler, radar karıştırma ve iletişim bozma yetenekleriyle dikkat çekmiştir.⁸⁸ Aynı şekilde Ukrayna da kendi EH sistemlerini kullanmakta ve özellikle İHA'lara karşı geliştirilen önlemler almaktadır. Ukrayna, Rusya'nın hava üstünlüğünü dengelemek için Bukovel-AD ve benzeri sistemler kullanarak düşman İHA'larının GPS bağlantılarını bozmuş ve bu araçların hedeflerine ulaşmasını engellemiştir.⁸⁹ Bukovel-AD, savaş alanında hem savunma hem de saldırı görevlerinde büyük bir rol oynayarak EH'nin modern çatışmalardaki önemini gözler önüne sermiştir.

Ukrayna'nın EH Kapasitesi ve Uygulamaları

Ukrayna, EH teknolojilerinde Rusya kadar geniş bir altyapıya sahip olmamakla birlikte yenilikçi ve esnek çözümler geliştirerek bu alanda önemli ilerlemeler kaydetmiştir (bk. Tablo 6). Bukovel-AD (bk. Fotoğraf 16), Ukrayna'nın EH kapasitesini oluşturan temel unsurlardandır. Bukovel-AD özellikle Rusya'nın Orlan-10 gibi İHA'larına karşı etkili bir savunma sağlamış, GPS sinyallerini bozarak hedeflerine ulaşmasını engellemiştir.⁹⁰

Fotoğraf 16: Bukovel-AD EH Sistemi



Kaynak: Ukrspecexport.

Ukrayna, Batı'dan sağladığı destekle EH kapasitesini artırmıştır. NATO üyesi ülkelerden sağlanan taşınabilir EH sistemleri özellikle taktik seviyedeki operasyonlarda Ukrayna birliklerine avantaj sağlamıştır.⁹¹ Bu sistemler, düşman iletişim hatlarını kesmenin yanı sıra operasyonel güvenliği artırmak için kullanılan veri şifreleme teknolojilerini de içermektedir.

Tablo 6: Ukrayna'nın İHA'lara Karşı Kullandığı Önemli EH Sistemleri

EH Sistem Adı	Kullanım Amacı	Teknik Özellikleri	Hedeflenen Tehditler
Bukovel-AD⁹²	İHA savunma ve GPS bozma	- GPS ve radyo frekansı bozucu - 70 km'ye kadar menzil - Taşınabilir ve hızlı kurulum	Nano, mikro, kamikaze ve keşif İHA'ları
KVERTUS AD⁹³	İHA algılama ve karıştırma	- Radyo frekansı tespiti - Karıştırıcı verici - 1,5 km menzil	Ticari ve keşif İHA'ları
NOTA⁹⁴	Kritik altyapıların korunması ve tehdit tespiti	- 3-15 km menzil - Modüler tasarım - Yüksek çözünürlüklü termal kamera	İHA'lar

Rusya'nın EH Kapasitesi ve Uygulamaları

EH sistemlerinde uzun bir geçmişe sahip olan Rusya, bu konuda geniş bir altyapıya sahiptir. 2014 yılında başlayan Donbas çatışmalarından bu yana kapasitesini sürekli olarak geliştirmiştir. Krasukha-4 (bk. Fotoğraf 17) ve R-330ZH Zhitel gibi sistemler, Rusya'nın savaş alanındaki elektronik saldırı kapasitesinin temelini oluşturmaktadır. Krasukha-4, düşman radarlarını bozarak hava savunma sistemlerini etkisiz hâle getirme görevini üstlenmektedir. Zhitel sistemi ise GPS sinyallerini karıştırarak Ukrayna'nın İHA ve füze sistemlerini hedef almaktadır.⁸⁸

Rusya, Leer-3 sistemini kullanarak cep telefonları üzerinden bilgi toplama ve radyo frekanslarını karıştırma işlemlerini de gerçekleştirmiştir.⁹⁵ Bu sistem hem istihbarat toplama hem de düşman iletişim hatlarını kesme görevlerinde etkili olmuştur. Örneğin, savaş sırasında Ukrayna'nın askerî birliklerinin yerini belirlemek için radyo sinyallerini analiz eden Leer-3 sistemi, Rus topçu saldırılarının doğruluğunu artırmıştır.⁸⁸

Fotoğraf 17: Krasukha-4 EH Sistemi



Kaynak: Rusya Federasyonu Savunma Bakanlığı.

Rusya'nın EH sistemleri (bk. Tablo 7) genellikle geniş alanlarda sinyal bozma ve düşman iletişim hatlarını kesme üzerine odaklanmıştır. Ancak yoğun sinyal bozma faaliyetleri, bazen kendi sistemlerini de olumsuz etkileyerek dost kuvvetlerin iletişim kabiliyetlerini sınırlamıştır. Bu durum, Rusya'nın EH sistemlerini daha hassas ve hedefe yönelik bir şekilde kullanma ihtiyacını ortaya koymaktadır.

Tablo 7: Rusya'nın İHA'lara Karşı Kullandığı Bazı EH Sistemleri

EH Sistem Adı	Kullanım Amacı	Teknik Özellikleri	Hedeflenen Tehditler
Leer-3 ⁹⁵	İstihbarat toplama ve karıştırma	- Cep telefonu sinyallerini algılama ve bozma - Sahte SMS gönderme yeteneği - 6 km menzil	Ticari ve keşif İHA'ları
Krasukha-4 ⁹⁶	Radar karıştırma ve İHA savunma	- Geniş bant radar bozucu - 300 km'ye kadar etkili menzil - Elektronik karşı saldırı yeteneği	Keşif ve saldırı İHA'ları
R-330ZH Zhitel ⁹⁷	GPS ve iletişim karıştırma	- GNSS sinyallerini bozma - 30 km'ye kadar etkili menzil - Sabit veya mobil kullanım	Ticari ve askerî İHA'lar
Polye-21 ⁹⁸	Geniş spektrumlu sinyal karıştırma	- GPS, GLONASS ve diğer GNSS sinyallerini bozma - 25 km'ye kadar menzil - Mobil sistem	Kamikaze ve keşif İHA'ları
Repellent-1 ⁹⁹	İHA savunma ve algılama	- 35 km'ye kadar etkili menzil - Otomatik hedef tespiti ve müdahale - Çoklu İHA hedefleme	Ticari ve keşif İHA'ları
Shipovnik-Aero ¹⁰⁰	İHA kontrol ve iletişim bozma	- Radyo frekanslarını bozma - 10 km menzil - Taşınabilir sistem	Küçük ve orta ölçekli İHA'lar

BÖLÜM 3

İHA'LARIN STRATEJİK ÖNEMİ

Askerî Operasyonlarda İHA'ların Stratejik Rolü

İHA'lar, Rusya-Ukrayna Savaşı'nda askerî operasyonların her seviyesinde kritik bir rol oynamış ve modern savaş doktrinlerinde merkezî bir yer edinmiştir. Özellikle keşif, saldırı ve lojistik görevler için kullanılan İHA'lar, operasyonel esnekliği ve karar alma süreçlerini doğrudan etkilemiştir. Ukrayna, Bayraktar TB2 gibi platformları etkili bir şekilde kullanarak savaşın stratejik yönünü değiştirmiştir. Bayraktar TB2, uzun süre havada kalabilme, geniş menzil ve yüksek hassasiyetli saldırılar gerçekleştirme kabiliyetiyle öne çıkmıştır. Rusya, savaş boyunca İran yapımı Şahid-131/136 gibi kamikaze İHA'larla Ukrayna'nın enerji altyapısını hedef almıştır. Bu saldırılar, enerji kesintileri gibi büyük çaplı lojistik sorunlara yol açmış ve savaşın psikolojik boyutunu da etkilemiştir.

İHA'ların stratejik etkilerinden biri de orduların karar alma süreçlerini hızlandırmasıdır. Bayraktar TB2 ve Orlan-10 gibi keşif İHA'larının sağladığı gerçek zamanlı görüntüler hem saha gözetimi hem de topçu ateşi yönlendirme görevlerinde kritik bir rol oynayarak komuta merkezlerinin hızlı ve doğru kararlar almasını sağlamıştır. Bu durum, savaş alanında anlık durum değişimlerine hızla yanıt verilmesine olanak tanımış ve stratejik avantajlar elde edilmesini sağlamıştır. İHA'ların bu çok yönlü kullanımı, modern savaşın doğasını ve operasyonel gerekliliklerini yeniden tanımlamaktadır.

İHA teknolojilerinin stratejik etkileri, doğrudan askerî sonuçlarla sınırlı kalmamıştır. Bu araçlar, savaşın ekonomik ve psikolojik boyutlarını da etkilemiştir. Düşük maliyetli İHA'lar, geleneksel askerî ekipmanlara kıyasla daha az finansal yük oluşturmuş ve daha fazla operasyonel esneklik sağlamıştır. Maliyet etkinliğinin bir diğer boyutu, İHA'ların savaş alanındaki insan kaybını azaltmasıdır. İHA'lar, insanlı operasyonların risklerini ortadan kaldırarak savaş alanında daha güvenli ve esnek bir çözüm sunmaktadır. Bu durum özellikle küçük devletler için hem askerî hem de politik açıdan büyük bir avantaj sağlamaktadır. Daha az maliyetle daha fazla operasyonel kapasiteye sahip olmak, küçük devletlerin askerî stratejilerini güçlendirmelerine olanak tanımaktadır.

İHA'ların Asimetrik Savaşlarda Sağladığı Avantajlar

Asimetrik savaşlarda İHA'ların kullanımı, küçük veya teknik açıdan dezavantajlı tarafların daha güçlü askerî güçlere karşı stratejik üstünlük sağlamalarına olanak tanımaktadır. Rusya-Ukrayna Savaşı, bu duruma çarpıcı bir örnek oluşturmuştur. Ukrayna, ticari İHA'ları askerî operasyonlarda modifiye ederek düşük maliyetli ve yüksek etkili çözümler geliştirmiştir. Bu durum, daha az kaynağa sahip tarafların, yenilikçi İHA stratejileriyle büyük askerî güçlere meydan okuyabileceğini göstermiştir.

İHA'ların asimetrik savaşlardaki diğer bir kritik etkisi, düşmanın teknolojik üstünlüğünü etkisiz hâle getirme kapasitesidir. Ukrayna, EH teknolojileriyle entegre edilmiş İHA'lar kullanarak Rusya'nın radar ve iletişim sistemlerini bozmayı başarmıştır. Bu tür operasyonlar, düşman kuvvetlerinin koordinasyonunu zayıflatmış ve stratejik operasyonel kapasitelerini sınırlamıştır.

Asimetrik savaşların doğasında bulunan hızlı adaptasyon ihtiyacı, İHA'ların bu tür çatışmalarda daha etkin kullanılmasını sağlamıştır. Ukrayna, saha koşullarına hızla uyum sağlayan ve ihtiyaçlara uygun olarak geliştirilmiş İHA stratejileriyle Rusya'nın geleneksel askerî gücüne karşı denge sağlamıştır. Bu durum İHA'ların yalnızca birer askerî araç değil, aynı zamanda stratejik bir güç çarpanı olduğunu da göstermektedir.

Kamikaze İHA'ların Stratejik Etkisi

Kamikaze İHA'lar, modern savaşlarda düşük maliyetli ancak yüksek etkili silah sistemleri olarak öne çıkmıştır. Tek yönlü görevler için tasarlanan bu araçlar, hedefe ulaştığında kendini yok ederek büyük bir yıkım ve stratejik avantaj sağlamaktadır. Rusya-Ukrayna Savaşı; kamikaze İHA'ların savaş alanında yarattığı dönüşümü ve stratejik etkilerini gösteren en önemli örneklerden biri olmuştur.

Kamikaze İHA'ların en büyük avantajlarından biri, düşük üretim maliyetleridir. İran yapımı Şahid-136 İHA'ları etkisiz hâle getirmek için kullanılan hava savunma sistemlerinin maliyeti milyon dolarlarla ölçülmektedir. Bu maliyet asimetrisi, kamikaze İHA'larını hem büyük askerî güçler için hem de daha küçük devletler için cazip bir silah hâline getirmiştir. Rusya, kamikaze İHA'ları özellikle Ukrayna'nın enerji altyapısını hedef almak için yoğun bir şekilde kullanmıştır. Bu saldırılar, enerji santralleri ve elektrik şebekelerinde büyük hasara yol açmış ve Ukrayna'nın enerji kaynaklarının kesintiye uğramasına neden olmuştur. Bu durum, lojistik operasyonlar dışında sivil halkın günlük yaşamını da derinden etkilemiştir. Kamikaze İHA'ların bu tür hedeflere yönelik kullanımı, savaşın ekonomik ve psikolojik boyutlarına doğrudan tesir etmiştir.

Ukrayna ise ticari İHA'ları modifiye ederek benzer kamikaze saldırıları gerçekleştirmiştir. Ukrayna tarafından kullanılan R18 ve modifiye edilmiş diğer ticari İHA'lar, Rus zırhlı araçlarına ve lojistik hatlarına yönelik saldırılarda etkili olmuştur. Bu araçlar, düşmanın hareket kabiliyetini sınırlamış ve lojistik destek zincirlerini kesintiye uğratmıştır.

Kamikaze İHA'lara karşı savunma, modern hava savunma sistemleri için önemli bir zorluk teşkil etmektedir. Bu İHA'lar genellikle küçük boyutları ve düşük radar görünürlükleri nedeniyle tespit edilmesi zor araçlardır. Ayrıca büyük sayılarda saldırı düzenleme kapasitesine sahip olmaları, savunma sistemlerinin etkinliğini sınırlamaktadır. Rusya, bu tür saldırılara karşı EH sistemlerini yoğun bir şekilde kullanmış, Ukrayna ise hava savunma füzeleri ve taşınabilir EH cihazlarıyla yanıt vermiştir. Ancak bu tür sistemlerin maliyet ve etkinlik dengesizliği, savunma stratejilerinin geliştirilmesi gerektiğini göstermektedir.

EH ve Karşı Önlemlerin Önemi

Rusya-Ukrayna Savaşı, EH teknolojilerinin modern savaşlarda oynadığı kritik rolü açıkça göstermiştir. EH sistemleri; İHA'ların etkinliğini artırmak veya sınırlamak, düşman iletişim hatlarını bozmak ve dost kuvvetlerin operasyonel güvenliğini sağlamak için kullanılmaktadır. Bu savaş, EH teknolojilerinin İHA'lara karşı sağladığı stratejik avantajı ve bu sistemlerin savaş alanındaki sınırlarını ortaya koymuştur.

EH, İHA'lara karşı en etkili savunma yöntemlerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Rusya'nın Krasukha-4 ve Polye-21 gibi gelişmiş EH sistemleri, Ukrayna'nın İHA operasyonlarını sınırlamayı hedeflemiştir. Krasukha-4, düşman radarlarını yanıltmak ve İHA'ların hedefleme yeteneklerini bozmak için elektromanyetik sinyaller kullanmaktadır. Polye-21 ise geniş bir spektrumda sinyal karıştırma yeteneği ile GPS ve diğer navigasyon sistemlerini etkisiz hâle getirmektedir. Bu sistemler özellikle keşif ve saldırı İHA'larına karşı savunmada etkili olmuştur.

Ukrayna ise bu tehditlere karşı yenilikçi çözümler geliştirmiştir. Bukovel-AD özellikle Rus kamikaze İHA'larını etkisiz hâle getirmek için kullanılmıştır. Bu sistem, İHA'ların GPS sinyallerini bozarak hedeflerine ulaşmasını engellemiştir. Ukrayna'nın EH sistemleri, düşman İHA'larını hedefe varmadan önce etkisiz hâle getirerek savunma hatlarını güçlendirmiştir. Bununla birlikte EH sistemlerinin başarısı hem teknik kapasiteye hem de stratejik kullanıma bağlıdır.

EH, modern savaşlarda yalnızca İHA'lara karşı değil, aynı zamanda iletişim ve radar sistemlerini bozarak düşman operasyonlarını engellemek için de kullanılmaktadır. Rusya, savaş boyunca R-330ZH Zhitel gibi sistemlerle Ukrayna'nın iletişim hatlarını hedef almıştır. Bu sistem, radyo frekanslarını karıştırarak Ukrayna birliklerinin koordinasyonunu zorlaştırmış ve operasyonel etkinliklerini sınırlamıştır. Benzer şekilde Ukrayna, taşınabilir EH sistemlerini kullanarak Rusya'nın iletişim ve radar sistemlerini bozmayı başarmıştır. Bu durum, EH teknolojilerinin hem savunma hem de saldırı operasyonlarında ne kadar kritik olduğunu göstermektedir.

Karşı EH, düşmanın EH sistemlerini etkisiz hâle getirmek için geliştirilmiştir. Ukrayna, sinyal atlama ve fiber optik iletişim gibi teknolojilerle Rusya'nın elektronik saldırılarına karşı dayanıklılık sağlamıştır. Sinyal atlama teknolojisi, radyo frekanslarının sürekli değiştirilmesiyle düşman karıştırıcılarını etkisiz hâle getirirken fiber optik iletişim, elektromanyetik saldırılara karşı daha güvenli bir iletişim yolu sunmaktadır. Bu stratejiler, modern savaşlarda elektronik harbe karşı koymanın önemini vurgulamaktadır.

Rusya'nın EH teknolojilerindeki üstünlüğüne rağmen Ukrayna'nın yenilikçi karşı önlemleri, EH sistemlerinin her zaman mutlak bir çözüm olmadığını göstermiştir. Özellikle mobil ve taşınabilir EH sistemleri, Ukrayna'nın savaş alanındaki operasyonel esnekliğini artırmıştır. Bu durum, EH'nin yalnızca teknolojik üstünlük değil, aynı zamanda adaptasyon ve yenilikçilik gerektirdiğini ortaya koymaktadır.

İHA'ların Psikolojik Etkisi

İHA teknolojisi savaş alanındaki fiziksel etkilerinin ötesinde, düşman kuvvetleri ve sivil halk üzerinde güçlü bir psikolojik etki yaratmaktadır. Rusya-Ukrayna Savaşı, İHA'ların askerî operasyonların yanı sıra psikolojik bir silah olarak da kullanılabileceğini göstermiştir. Özellikle kamikaze ve saldırı İHA'ları hedef alınan bölgelerde korku, endişe ve belirsizlik yaratmış; savaşın psikolojik boyutunu şekillendirmiştir.

Ukrayna'nın enerji altyapısına yönelik Rus İHA saldırıları yalnızca fiziksel yıkıma neden olmamış, aynı zamanda halk üzerinde büyük bir psikolojik baskı oluşturmuştur. Elektrik kesintileri, iletişim hatlarının kesilmesi ve temel altyapı hizmetlerinin çökmesi halkın moralini ciddi şekilde etkilemiştir.

Bu tür saldırılar yalnızca savaşın lojistik boyutunu değil, aynı zamanda halkın direncini kırmayı da hedeflemiştir. Benzer şekilde Ukrayna'nın İHA saldırıları, Rus askerleri arasında korku yaratmış ve moral kaybına neden olmuştur.

İHA'ların psikolojik etkisi, sessiz ve görünmez hareket kabiliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Modern İHA'lar, düşman savunma sistemlerine yakalanmadan hareket edebilir ve aniden saldırı gerçekleştirebilir. Bu durum, savaş alanında sürekli bir tehdit algısı yaratmaktadır. Özellikle kamikaze İHA'ların, operatörlerin doğrudan müdahalesine gerek duymadan hedefe kilitlenebilmesi, düşman askerleri üzerinde bir stres kaynağı oluşturur. Sürekli bir İHA tehdidi algısı, savaş bölgelerinde halkın günlük yaşamını zorlaştırmakta ve uzun vadeli travmalara neden olabilmektedir. Bu durum, İHA'ların savaş sırasında/sonrasında toplum üzerindeki etkisini göstermektedir.

BÖLÜM 4

İHA TEKNOLOJİSİNİN GELECEĞİ

Yapay Zekâ Destekli Otonom İHA'lar

Yapay zekâ destekli otonom İHA'lar, modern askerî teknolojilerin en uç noktalarından birini temsil etmektedir. Bu araçlar, insan müdahalesine gerek kalmadan görevlerini yerine getirme kapasitesine sahip olup keşif, saldırı ve lojistik gibi çok çeşitli operasyonlarda kullanılmaktadır. Yapay zekâ, söz konusu İHA'lara bir araç olmanın ötesinde, kendi kendine karar alabilen ve değişen koşullara adapte olabilen bir sistem olarak işlev kazandırmaktadır.¹⁰¹ Otonom bir İHA, gerçek zamanlı verileri analiz ederek hedefini belirleyebilir, rotasını optimize edebilir ve operasyonu bağımsız bir şekilde tamamlayabilir. Bu yetenekler özellikle hızlı hareket eden ve yüksek risk içeren savaş alanlarında büyük bir stratejik avantaj sağlamaktadır.

Gelecekte, otonom İHA'ların yapay zekâyla daha fazla entegre edilmesi beklenmektedir. Bu araçların çok daha karmaşık görevleri yerine getirebilmesine olanak tanıyacaktır. Hedef tespiti ve tehdit analizi gibi işlevler, yapay zekâ algoritmaları tarafından daha hızlı ve doğru bir şekilde gerçekleştirilecektir. Ayrıca İHA'ların birbirleriyle iletişim kurarak koordinasyon sağlaması, savaş alanında daha büyük operasyonel avantajlar yaratacaktır. Bu teknolojilerin gelişimi, İHA'ların savaş alanındaki rolünü genişletmekle kalmayacak, aynı zamanda askerî operasyonların doğasını da kökten değiştirecektir. Yapay zekâ destekli otonom sistemlerin, entegre savunma ağlarıyla birlikte çalışması beklenmektedir. Bu durum, farklı İHA'ların ve diğer askerî sistemlerin koordineli bir şekilde hareket etmesini sağlayacaktır. Yapay zekâ algoritmalarının sürekli öğrenme yeteneği, bu sistemlerin değişen tehditlere hızla uyum sağlamasına olanak tanıyacaktır. Örneğin, düşmanın EH sistemlerine karşı dayanıklı yeni iletişim protokolleri geliştirmek, bu sistemlerin yetenekleri arasında yer alacaktır. Bu, savaş alanındaki esnekliği artırarak operasyonel başarı oranını yükseltecektir.

Yapay zekâ algoritmaları, İHA'ların gerçek zamanlı verileri daha hızlı ve doğru bir şekilde işlemesine olanak tanımaktadır. Gelecekteki İHA'lar, karmaşık savaş alanlarında dost ve düşman unsurları daha hassas bir şekilde ayırt edebilecektir. Bu durum, dost kuvvetlere zarar verme riskini azaltırken saldırıların doğruluk oranını artıracaktır. Özellikle sensörler ve görüntü tanıma teknolojilerindeki ilerlemeler, İHA'ların daha küçük ve hareketli hedefleri bile başarıyla tespit etmesine olanak sağlayacaktır. Sensör teknolojisindeki ilerlemeler, yapay zekâ destekli İHA'ların algılama kapasitesini artıracaktır. Işık algılama ve mesafe belirleme (LIDAR), termal kameralar ve akustik sensörler gibi yenilikler;¹⁰² İHA'ların çevresel koşulları daha doğru bir şekilde değerlendirmesine olanak tanır. Yapay zekâ, bu sensörlerden gelen büyük miktarda veriyi hızlı bir şekilde işleyerek İHA'ların daha bilinçli kararlar almasını sağlar. Bu gelişmeler, İHA'ların düşük görünürlük koşullarında bile operasyonel etkinliğini artıracaktır.

Sürü İHA Teknolojisi

Sürü İHA teknolojisi, birden fazla İHA'nın ortak bir hedef doğrultusunda koordineli bir şekilde hareket etmesini sağlayan yenilikçi bir yaklaşımdır.¹⁰³ Gelecekte, bu teknolojinin modern savaşlarda ve çeşitli sivil uygulamalarda önemli bir yer tutması beklenmektedir. Sürü İHA'lar, askerî operasyonlarda düşman savunmasını aşmak, çoklu hedeflere eş zamanlı saldırılar düzenlemek ve radar sistemlerini yanıltmak

için kullanılacaktır. Sürü İHA'ların bir kısmı düşmanın dikkatini dağıtmak için kullanılırken bir kısmı ise stratejik hedeflere yönelik hassas saldırılar gerçekleştirerek operasyonların başarı oranını artıracaktır. Gelecekte, sürü İHA'larının yapay zekâyla entegre edilmesi, operasyonel etkinliği daha da artıracaktır. Bu sistemler, düşman savunma sistemlerine karşı adapte olabilir; iletişim kesildiğinde dahi otonom bir şekilde görevlerini tamamlayabilir. Bu özellikler, sürü İHA teknolojisinin modern savaşlarda nasıl bir dönüştürücü güç olacağını göstermektedir.

Sürü İHA teknolojisi, sivil alanlarda ise acil durum müdahaleleri, doğal afetlerde arama kurtarma operasyonları ve tarımsal uygulamalarda devrim niteliğinde değişiklikler yaratabilir.^{104,105} Sürü İHA'lar, geniş bir alanı hızlıca tarayarak kayıp kişilerin yerini belirleyebilir ya da tarım arazilerinde ekinlerin durumu hakkında detaylı veri toplayabilir. Sürü İHA'ların bu çok yönlü kullanım alanları, gelecekte teknolojinin hem askerî hem de sivil alanlarda ne kadar etkili olacağını göstermektedir.

Sürü İHA'lara karşı savunma, modern savaş alanlarında giderek daha karmaşık hâle gelen bir zorluktur. Bu teknolojilere karşı geliştirilen savunma stratejileri genellikle radar tabanlı tespit, elektromanyetik dalga bozma ve kinetik müdahaleler üzerine odaklanmaktadır. Ancak sürü İHA'larının küçük boyutları, hızlı hareket kabiliyetleri ve iletişim protokolleri bu sistemlerin etkinliğini sınırlamaktadır. Gelecekte, yapay zekâ destekli savunma sistemleri, sürü İHA'ların tehditlerini daha etkili bir şekilde ele alacaktır. Gelişmiş radar sistemleri, sürü İHA'ları bireysel unsurlar yerine bir bütün olarak algılayabilir ve hedef alabilir. Elektromanyetik bozucular, sürü içindeki iletişim protokollerini keserek İHA'ların koordinasyonunu bozabilir. Ayrıca lazer tabanlı müdahale sistemleri, sürü İHA'ları etkisiz hâle getirmek için hızlı ve hassas bir çözüm sunabilir. Bu stratejiler, sürü İHA teknolojisinin sunduğu tehditlere karşı etkili bir savunma mekanizması geliştirilmesine olanak tanıyacaktır. Sürekli değişen tehditler ve teknolojik gelişmeler, savunma sistemlerinin de sürekli güncellenmesini gerektirecektir. Sürü İHA teknolojisine karşı etkili savunma stratejileri, gelecekteki savaşların başarısı için kritik bir öneme sahip olacaktır.

Enerji Sistemlerindeki Yenilikler ve Uçuş Süresinin Artırılması

İHA teknolojisinde yenilikçi enerji kaynaklarının kullanımı, uçuş sürelerini uzatmak ve operasyonel etkinliği artırmak için kritik bir alandır.¹⁰⁶ Güneş enerjisi ve hidrojen yakıt hücreleri, İHA'ların daha uzun süre havada kalabilmesini sağlayan iki temel yenilik olarak öne çıkmaktadır.^{107,108} Güneş enerjisiyle çalışan İHA'lar, güneş panelleri aracılığıyla enerjiyi doğrudan depolar, bu da onları özellikle uzun süreli keşif ve gözetleme görevleri için ideal kılar. Hidrojen yakıt hücreleri ise enerji yoğunluğu ve çevre dostu olması nedeniyle büyük bir potansiyel taşımaktadır. Hidrojen, fosil yakıtlara kıyasla daha temiz bir enerji kaynağıdır ve İHA'lara uzun menzil ve yüksek taşıma kapasitesi sunar. Hidrojen yakıt hücreleriyle çalışan İHA'lar, mevcut lityum-iyon bataryaların sınırlarını aşarak uzun süreli ve daha zorlu görevleri yerine getirebilir.¹⁰⁹ Hidrojen destekli bir İHA, birkaç saat yerine tüm bir operasyon boyunca uçuş yaparak lojistik maliyetleri düşürür. Gelecekte, bu iki enerji sisteminin hibrit bir modelle birleştirilmesi beklenmektedir. Güneş enerjisinin hidrojen yakıt hücreleriyle desteklenmesi hem enerji verimliliğini artıracak hem de çevresel etkileri minimuma indirecektir. Bu yenilikler, İHA'ların operasyonel kapasitesini artırırken sürdürülebilir enerji çözümlerine olan talebi karşılayacaktır.

Batarya teknolojisindeki ilerlemeler, İHA teknolojisinin gelişiminde önemli bir rol oynamaktadır.¹¹⁰ Geleneksel lityum-iyon bataryalar, günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak sınırlı enerji yoğunluğu ve uçuş süresi nedeniyle modern operasyonların ihtiyaçlarını tam anlamıyla karşılayamamaktadır. Bununla birlikte batarya teknolojisindeki yenilikler, bu sınırlamaları aşma potansiyeli taşımaktadır. Katı hâl bataryalar, bu alandaki en yenilikçi gelişmelerden biridir. Daha yüksek enerji yoğunluğu ve güvenli yapıları sayesinde katı hâl bataryalar, lityum-iyon bataryalara kıyasla daha uzun uçuş süreleri sunar. Ayrıca daha az bakım gerektiren bu bataryalar, yüksek sıcaklıklara karşı daha dayanıklıdır. Bu özellikler hem askerî hem de sivil İHA operasyonlarında büyük bir avantaj sağlamaktadır.

Bir diğer yenilik olarak hızlı şarj teknolojisi öne çıkmaktadır.¹¹¹ Geleneksel bataryaların şarj süresi operasyonel verimliliği sınırlarken hızlı şarj sistemleri, İHA'ların kısa sürede tekrar göreve hazır olmasını sağlar. Ayrıca bataryaların modüler tasarımları, operasyon sırasında kolayca değiştirilebilmesine olanak tanır. Bu özellik, yoğun görev temposuna sahip operasyonlarda kesintisiz bir uçuş deneyimi sağlar. Enerji depolama teknolojisindeki bu yenilikler, İHA'ların daha karmaşık ve uzun süreli görevleri yerine getirmesine olanak tanıyacaktır. Gelecekte, daha dayanıklı ve yüksek kapasiteli bataryalar hem ticari hem de askerî İHA'ların operasyonel performansını artırarak teknolojiye olan talebi güçlendirecektir.

Enerji yönetimi ve optimizasyon teknolojileri, İHA'ların uçuş süresini ve genel operasyonel verimliliğini artırmak için kritik bir öneme sahiptir.¹¹² Bu alandaki yenilikler özellikle veri analitiği ve yapay zekâ teknolojilerinin entegrasyonu sayesinde büyük bir ilerleme kaydetmiştir. Enerji tüketimini gerçek zamanlı olarak analiz/optimize eden bu sistemler, İHA'ların daha uzun süre operasyonel kalmasını sağlamaktadır. Yapay zekâ destekli enerji yönetim sistemleri, uçuş sırasında enerji tüketimini sürekli olarak izler ve optimize eder. İHA'lar; hava koşulları, yük kapasitesi ve uçuş rotası gibi faktörleri değerlendirerek enerji tasarrufu sağlayacak en uygun rotayı belirleyebilir. Bu tür teknolojiler yalnızca enerji verimliliğini artırmakla kalmaz, aynı zamanda operasyonel maliyetleri de düşürür. Ayrıca bu sistemler, enerji tüketimindeki anormallikleri tespit ederek olası batarya arızalarının önüne geçer ve operasyonel güvenliği artırır.

Gelecekte, enerji yönetim sistemlerinin bulut tabanlı platformlarla entegre edilmesi beklenmektedir.¹¹³ Bu durum, İHA'ların birbirleriyle iletişim kurarak enerji kullanımını optimize etmesine olanak tanıyacaktır. İHA sürüleri, enerji tüketimini eşit bir şekilde dağıtarak görev sürelerini uzatabilir. Bu tür yenilikler özellikle uzun süreli keşif ve gözetleme operasyonlarında büyük bir avantaj sağlayacaktır. Uzun süreli operasyonlar, İHA teknolojisinin gelecekteki gelişiminde odak noktası olmaya devam etmektedir. Özellikle askerî keşif görevleri, sınır güvenliği ve insani yardım operasyonları gibi alanlarda, İHA'ların uzun süre havada kalabilmesi kritik bir avantaj sağlamaktadır. Mevcut enerji sistemlerinin sınırlamaları, bu tür görevlerin etkin bir şekilde gerçekleştirilmesini zorlaştırmaktadır. Ancak yeni teknolojiler, bu engelleri aşmayı vadetmektedir.

Şehir Savaşları, Hibrit Savaş Senaryoları ve İstihbarat Operasyonları

İHA teknolojisi, şehir savaşlarında önemli bir oyun değiştirici olarak konumlanmaktadır. Şehir savaşları genellikle yüksek nüfus yoğunluğu ve karmaşık yapıları nedeniyle zorluklar barındırır. İHA'ların çevikliği, hassasiyet kapasitesi ve keşif yetenekleri, bu tür çatışmalarda benzersiz avantajlar sunmaktadır.

Özellikle küçük boyutlu ve sessiz İHA'lar; dar sokaklar, binaların iç mekanları ve yoğun nüfuslu bölgelerde etkili operasyonlar gerçekleştirebilir. Şehir savaşlarında İHA'lar, keşif ve gözetleme amacıyla sıklıkla kullanılır. Binaların üstünden veya çevresinden gerçek zamanlı veri toplayabilen bu araçlar, askerî birimlere hedef tespiti ve düşman hareketlerini izleme konusunda kritik bilgiler sağlar. Ayrıca İHA tabanlı termal kameralar, düşman güçlerinin saklandığı yerleri tespit etmek için kullanılabilir. Bu tür bilgiler, saldırıların daha az sivil zarar oluşturacak şekilde planlanmasına yardımcı olur.

Gelecekte otonom sistemler ve yapay zekâ destekli İHA'lar, şehir savaşlarında daha karmaşık görevleri bağımsız olarak yerine getirebilecektir. Hedef tespit, tehdit analizi ve rota optimizasyonu gibi görevler, insan müdahalesine gerek kalmadan gerçekleştirilecektir. Ayrıca sürü teknolojisiyle bir araya getirilen İHA'lar, eş zamanlı olarak çoklu hedeflere saldırı düzenleyerek düşmanın savunma kapasitesini etkisiz hâle getirebilir. Bu özellikler, şehir savaşlarının zorlu doğasına uyum sağlayarak operasyonel etkinliği artıracaktır.

Hibrit savaşlar; askerî ve sivil unsurların bir arada hedef alındığı, geleneksel ve asimetrik savaş stratejilerinin birleştirildiği karmaşık çatışma ortamlarıdır. Bu tür senaryolarda, İHA'lar hem askerî hem de sivil hedeflere yönelik çok yönlü operasyonlar için stratejik bir araç hâline gelmiştir. Hibrit savaşlarda İHA'lar, psikolojik üstünlük sağlamaktan lojistik hatları kesmeye kadar geniş bir yelpazede görev üstlenmektedir. Aynı zamanda ticari İHA'ların modifiye edilerek askerî operasyonlarda kullanılması, düşük maliyetli bir çözüm sunmaktadır. Bu özellik, daha az kaynaklara sahip tarafların üstün askerî güçlere karşı avantaj sağlamasına olanak tanımaktadır. Gelecekteki hibrit savaş senaryolarında İHA'ların daha fazla entegre sistemlerle çalışması beklenmektedir. Yapay zekâ destekli İHA'lar, düşmanın EH sistemlerine karşı daha dayanıklı olacak ve kendi iletişim protokollerini otonom bir şekilde değiştirebilecektir. Ayrıca sürü teknolojisi, İHA'ların karmaşık savaş alanlarında eş zamanlı olarak birden fazla hedefi etkisiz hâle getirmesini sağlayacaktır. Bu gelişmeler, hibrit savaş senaryolarında İHA'ların stratejik önemini artıracaktır.

İstihbarat operasyonlarında İHA'lar, veri toplama ve analiz süreçlerini hızlandıran vazgeçilmez araçlardır. Gelecekte İHA'ların gelişmiş sensörler, yapay zekâ ve veri işleme algoritmalarıyla donatılması, istihbarat toplama kapasitesini daha da artıracaktır. Bu İHA'lar, savaş alanlarındaki düşman hareketlerini izlemek, kritik altyapıları gözetlemek ve gerçek zamanlı veri sağlamak için kullanılacaktır. Gelişmiş sensörler, İHA'ların zorlu çevresel koşullarda bile hassas veri toplamasını sağlayacaktır. LIDAR ve termal kameralar, düşmanın kamuflaj taktiklerini etkisiz hâle getirebilir. Ayrıca bu sensörler sayesinde elde edilen veriler, yapay zekâ algoritmalarıyla analiz edilerek tehditlerin daha hızlı ve doğru bir şekilde tanımlanmasını sağlayacaktır. Bu durum, askerî komuta merkezlerinin daha bilinçli kararlar almasına olanak tanıyacaktır.

EH Sistemlerinin Gelecekteki Potansiyeli

EH teknolojileri, modern savaş alanlarında İHA'ların artan kullanımına yanıt olarak geliştirilmektedir. Radar sistemleri, sinyal bozucular, kinetik savunma araçları ve lazer tabanlı müdahale sistemi gibi teknolojiler; İHA'ların oluşturduğu tehditleri etkisiz hâle getirmeyi amaçlamaktadır.^{114,115} Ancak bu sistemler, mevcut kapasiteleriyle sınırlamalar taşımakta ve sürekli değişen tehdit ortamına uyum

sağlamakta zorlanmaktadır. Radar sistemleri, İHA'ların tespiti için en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir. Ancak küçük boyutlu ve düşük radar izine sahip olan İHA'lar, bu sistemler için tespit zorluğu yaratmaktadır. Özellikle ticari ve sürü teknolojisiyle donatılmış İHA'lar, mevcut radar teknolojilerini yanıltabilmektedir. Benzer şekilde sinyal bozucular; GPS veya radyo frekans sinyallerini keserek İHA'ların kontrolünü etkisiz hâle getirmeye çalışmaktadır. Ancak fiber optik iletişim veya sinyal atlama teknolojisi kullanan İHA'lar, bu tür müdahalelere karşı daha dayanıklıdır.

Kinetik savunma araçları, İHA'ları fiziksel olarak etkisiz hâle getirme kapasitesine sahiptir. Ancak bu tür sistemlerin büyük ölçüde hedef doğruluğuna bağlı olması ve sürü İHA'larına karşı etkisiz kalması, savaş alanında önemli bir zorluk yaratmaktadır. Ayrıca kinetik müdahaleler genellikle yüksek maliyetli olup düşük maliyetli İHA'ya karşı kullanılmaları durumunda maliyet etkinliği açısından dezavantajlıdır.

Sürü İHA'lar, modern savaş teknolojisinin en karmaşık tehditlerinden birini oluşturmaktadır. Koordineli bir şekilde hareket eden ve çok sayıda hedefe eş zamanlı saldırı düzenleyebilen sürü İHA'lar, geleneksel EH sistemleri için ciddi bir meydan okuma yaratmaktadır. EH sistemleri, sürü İHA'larına karşı daha etkili olmak için yapay zekâ ve makine öğrenimi algoritmalarıyla güçlendirilmelidir. Bu tür teknolojiler, sürü içerisindeki bireysel İHA'ları tanımlayarak öncelikli tehditleri sıralayabilir ve etkisiz hâle getirme sürecini optimize edebilir. Ayrıca elektromanyetik müdahale sistemleri, sürü içindeki iletişimi bozarak İHA'ların koordinasyonunu engelleyebilir. Ancak bu teknolojilerin geliştirilmesi, maliyet ve operasyonel entegrasyon açısından ek zorluklar yaratabilir. Yapay zekâ destekli EH çözümleri, gelecekte İHA'lara karşı savunma stratejilerinin temelini oluşturacaktır. Yapay zekâ algoritmaları; tehdit tespiti, sınıflandırma ve müdahale süreçlerini optimize ederek savunma sistemlerini daha etkili hâle getirebilir. Bu yenilikler özellikle hızlı ve adaptif saldırılar düzenleyen İHA'lara karşı büyük bir avantaj sağlayacaktır. Ayrıca yapay zekâ algoritmaları, düşman İHA'larının EH sistemlerine karşı nasıl tepki verdiğini analiz ederek daha akıllı karşı önlemler geliştirebilir. Yapay zekâ destekli sistem; farklı İHA türlerinin hız, yük kapasitesi ve saldırı modellerini analiz ederek belirli bir tür için en uygun müdahale yöntemini seçebilir. Bu hem operasyonel verimliliği artırır hem de gereksiz maliyetlerden kaçınılmasını sağlar.

EH teknolojileri, gelecekte hem askerî hem de sivil alanlarda daha geniş bir kullanım alanına sahip olacaktır. Askerî operasyonlarda bu sistemler; stratejik altyapıyı koruma, sınır güvenliği sağlama ve hava sahası kontrolü gibi görevlerde kritik bir rol oynayacaktır. Enerji santralleri, iletişim kuleleri ve lojistik merkezler gibi hedeflere yönelik İHA saldırıları, operasyonel kapasiteyi ciddi şekilde etkileyebilir. Bu tür tehditlere karşı, radar sistemleri ve lazer tabanlı müdahale araçlarıyla donatılmış EH teknolojileri, kritik altyapıyı koruma kapasitesini artıracaktır.

Sivil uygulamalarda ise hava trafiği yönetimi, kamusal alanların güvenliği ve özel mülklerin korunması gibi alanlarda EH sistemleri önemli bir araç hâline gelecektir. Özellikle büyük etkinlikler ve kamu alanlarında güvenliği sağlamak için bu sistemler kullanılacaktır. Stadyumlar, havalimanları ve açık hava konser alanları gibi yerlerde, izinsiz İHA faaliyetlerini engellemek için bu sistemler entegre edilecektir. Ayrıca ticari hava taşımacılığında, izinsiz İHA'ların uçuş rotalarını tehlikeye atmaması için hava sahası kontrol sistemlerine EH teknolojileri dâhil edilecektir.

SONUÇ

SONUÇ

İHA'lar, modern savaş doktrinlerinde merkezî bir rol üstlenmiş ve çatışma alanlarındaki etkisini her geçen gün artırmıştır. *Teknolojinin askerî stratejilere entegrasyonu, İHA'ların yalnızca operasyonel avantaj sağlamakla kalmadığını, aynı zamanda savaşın doğasını yeniden şekillendirdiğini göstermektedir.* Özellikle Rusya-Ukrayna Savaşı, İHA teknolojisinin stratejik önemini ve savaş alanındaki dönüşüm gücünü gözler önüne sermiştir.

Bu çatışma; İHA'ların düşük maliyetli, esnek ve etkili birer araç olarak geleneksel savaş sistemlerine kıyasla nasıl fark yarattığını kanıtlamıştır. Hem Rusya hem de Ukrayna, İHA'ları yalnızca askerî operasyonlarda değil, aynı zamanda psikolojik savaş ve ekonomik baskı unsuru olarak da kullanmıştır. Ukrayna'nın ticari İHA'ları modifiye ederek geliştirdiği yenilikçi çözümler ve Rusya'nın kamikaze İHA'larla enerji altyapısını hedef alması, bu araçların ne kadar çok yönlü olabileceğini göstermiştir.

İHA teknolojisi; yapay zekâ, otonom sürü sistemleri ve uzun menzilli operasyonel kabiliyetlerle daha karmaşık hâle gelirken anti-İHA savunma sistemleri de gelişmeye devam etmektedir. Ancak bu teknolojik yarış, İHA'ların savaş ekonomisi üzerindeki etkisi ve olası insani sonuçları hakkında yeni etik tartışmaları da gündeme getirmektedir. İHA'lar, insan kayıplarını azaltan bir çözüm olarak görülse de savaş alanlarını sürekli gözetim altına alma ve sivil hedefler üzerinde yıkıcı etkiler yaratma potansiyeli, dikkatle ele alınması gereken bir konudur.

Gelecekte İHA'ların askerî çatışmaların yanı sıra istihbarat, sınır güvenliği, insani yardım operasyonları ve hibrit savaş senaryolarında daha da yaygınlaşacağı öngörülmektedir. İHA teknolojilerine yapılan yatırımların artması, bu araçların daha etkin ve erişilebilir olmasına yol açacaktır.

Özetle İHA'lar, modern savaşın vazgeçilmez bir unsuru olarak savaş stratejilerini ve doktrinlerini dönüştürmeye devam edecektir. Hem askerî hem de sivil alanlarda bu teknolojinin potansiyelini tam olarak anlayabilmek, geleceğin çatışma senaryolarına ve güvenlik politikalarına yön vermek açısından kritik bir önem taşımaktadır. *Bu bağlamda İHA teknolojilerinin gelişimi sadece savaş alanlarını değil, aynı zamanda uluslararası ilişkileri ve küresel güvenlik paradigmasını şekillendiren önemli bir faktör olmaya devam edecektir.*

KAYNAKÇA

KAYNAKÇA

1. Kunertova, D. *Learning from the Ukrainian Battlefield: Tomorrow's Drone Warfare, Today's Innovation Challenge*. (2024) doi:10.3929/ethz-b-000690448
2. Kunertova, D. The war in Ukraine shows the game-changing effect of drones depends on the game. *Bulletin of the Atomic Scientists* 79, 95–102 (2023).
3. Halem, H. Ukraine's Lessons for Future Combat: Unmanned Aerial Systems and Deep Strike. *The US Army War College Quarterly: Parameters* 53, Article 4 (2023).
4. Kunertova, D. Drones have boots: Learning from Russia's war in Ukraine. *Contemporary Security Policy* 44, 576–591 (2023).
5. Molloy, Dr. O. *Drones in Modern Warfare: Lessons Learnt from the War in Ukraine*. (Australian Army Research Centre, Australia, 2024). doi:10.61451/267513.
6. Luzin, P. Russian Military Drones: Past, Present, and Future of the UAV Industry, (2023) Erişim Adresi: <https://www.fpri.org/wp-content/uploads/2023/11/russian-military-drones-.pdf> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
7. Saw, D. Lessons Learned From Ukraine Conflict – UAV Operations, Options and Trends. *European Security & Defence* (2023) doi:10.3929/ethz-b-000690448.
8. Jones, S. G., McCabe, R. & Palmer, A. Ukrainian Innovation in a War of Attrition. (2023) doi:10.2307/CSIS-230227.
9. Greenwood, F. The Ukraine-Russia Drone War Is Crowdsourced and Made in China. *Foreign Policy* (2023) doi:10.55540/FP-UAV2023.
10. Chapple, A. Swarm Wars: The Shaky Rise of AI Drones in Ukraine. *Radio Free Europe/Radio Liberty* (2024) Erişim Adresi: <https://www.rferl.org/a/drone-ai-technology-russia-ukraine-war/33078798.html> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
11. Bilousova, O., Omelchenko, E., Makarchuk, M. & Mylovanov, T. Ukraine's Drones Industry: Investments and Product Innovations. (2024) Erişim Adresi: <https://kse.ua/wp-content/uploads/2024/10/241004-Brave1-report-v.1.pdf> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
12. Whitmore, B. A. Evolution of unmanned aerial warfare: a historical look at remote airpower—a case study in innovation. (2016) Erişim Adresi: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/AD1020384.pdf> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
13. Hamad, A. M. & Alaiwi, Y. Localization and identification of UAVs system using image processing. in 1–6 (IEEE, 2022).
14. Hall, R. C. Reconnaissance drones: their first use in the cold war. *Air power history* 61, 20–27 (2014).
15. Stracker, M. C. An operational manpower analysis of the RQ-8 fire scout vertical take-off unmanned aerial vehicle (VTUAV), (2007) Erişim Adresi: <https://calhoun.nps.edu/server/api/core/bitstreams/2f81cc30-049b-4d3d-96a7-e2725f104665/content> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
16. Boyne, W. J. How the Predator grew teeth. *Air Force Magazine* 92, 42–45 (2009).
17. Amburn, P. *et al.* RADAR Analysis for Proposed Predator Design. in 65–69 (IEEE, 2005).

18. Youvan, D. C. Downing the MQ-9 Reaper: Analyzing Yemen's Air Defense Tactics and Capabilities in Modern Warfare. (2024) Erişim Adresi: https://www.researchgate.net/publication/383913084_Downing_the_MQ-9_Reaper_Analyzing_Yemen's_Air_Defense_Tactics_and_Capabilities_in_Modern_Warfare [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
19. Pettyjohn, S., Dennis, H. & Campbell, M. Swarms over the Strait. (2024) Erişim Adresi: <https://www.cnas.org/publications/reports/swarms-over-the-strait> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
20. Chen, J., Yang, X., Wang, M. & Su, M. China's military and security engagement in the Middle East, Erişim Adresi: <https://cpg-online.de/cpg-event/chinas-growing-engagement-in-the-middle-east-implications-for-regional-and-international-dynamics/> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
21. Çetinkaya, S. G. & Koç, M. Türkiye'nin İnsansız Hava Araçları Serüveni. *Anadolu Strateji Dergisi* 5, 1–27 (2023).
22. Ateş, E. Türkiye'nin İnsansız Hava Aracı (İHA) ihracat rekabet gücünün analizi. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi* 3, 7–16 (2021).
23. Kinik, H. & Çelik, S. The Role of Turkish Drones in Azerbaijan's Increasing Military Effectiveness. *Insight Turkey* 23, 169–192 (2021).
24. Blakcori, N. The Evolving UAS Threat: Lessons from the Russian-Ukrainian War Since 2022 on Future Air Defence Challenges and Requirements. (2024), Erişim Adresi: <https://iamd-coe.org/wp-content/uploads/2024/02/The-Evolving-UAS-Threat-Lessons-from-the-Russian-Ukrainian-War-Since-2022-on-Future-Air-Defence-Challenges-and-Requirements.pdf> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
25. Eslami, M. Iran's Drone Supply to Russia and Changing Dynamics of the Ukraine War. *Journal for Peace and Nuclear Disarmament* 5, 507–518 (2022).
26. Sotoudehfar, S. & Sarkin, J. J. Drones on the Frontline: Charting the Use of Drones in the Russo-Ukrainian Conflict and How Their Use May Be Violating International Humanitarian Law. *International and Comparative Law Review* 23, 129–169 (2023).
27. Anadolu Agency. Türkiye'nin SİHA'lardaki Bayrak Taşıyıcısı: Bayraktar TB2, (2024). Erişim Adresi: <https://www.aa.com.tr/tr/havaciligin-altin-cagi/turkiye-nin-sihalar-daki-bayrak-tasiyicisi-bayraktar-tb2/3147692> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
28. RBC Ukraine. Russia Begins Developing Drone to Replace Iranian Shahed Kamikaze UAV, (2024) Erişim Adresi: <https://newsukraine.rbc.ua/news/russia-begins-developing-drone-to-replace-1727811481.html> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
29. Kunertova, D. & Herzog, S. Emerging and Disruptive Technologies Transform, but Do Not Lift, the Fog of War – Evidence from Russia's War on Ukraine (2024). Erişim Adresi: <https://www.belfercenter.org/research-analysis/emerging-and-disruptive-technologies-transform-do-not-lift-fog-war-evidence> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
30. Giri, U. K. & Tiwari, S. K. From reconnaissance to Combat: The multifaceted role of drones in the Russia-Ukraine War. *International Journal of Political Science and Governance* 6, 337–341 (2024).
31. Pettyjohn, S. Evolution Not Revolution: Drone Warfare in Russia's 2022 Invasion of Ukraine (2024). Erişim Adresi: <https://cnas.org/publications/evolution-not-revolution> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].

32. Jacobsen, M. The Dubious Prospects for Cargo-Delivery Drones in Ukraine (2022) Erişim Adresi: <https://warontherocks.com/2022/05/the-dubious-prospects-for-cargo-delivery-drones-in-ukraine/> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
33. Danylov, O. R18 octocopter from Aerorozvidka – Ukrainian drone destroying the enemy (2022) Erişim Adresi: <https://mezha.media/en/2022/04/26/r18-octocopter-from-aerorozvidka-ukrainian-drone-destroying-the-enemy/> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
34. Yıldırım, G. Milli hava araçlarının 'keskin gözlerinden' kaçış yok (2023) Erişim Adresi: <https://www.aa.com.tr/tr/savunma-sanayisi/milli-hava-araclarinin-keskin-gozlerinden-kacis-yok/2865115> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
35. Byrne, J. *et al.* The Orlan Complex: Tracking the Supply Chains of Russia's Most Successful UAV (2022) Erişim Adresi: <https://rusi.org/publication/orlan-complex> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
36. DJI. DJI Mavic 3 User Manual (2021) Erişim Adresi: https://dl.djicdn.com/downloads/DJI_Mavic_3/DJI_Mavic_3_User_Manual_v1.0_en.pdf [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
37. Desmarais, A. Ukraine war: How and why Russia is using 'almost undetectable' drones (2024) Erişim Adresi: <https://www.euronews.com/next/2024/09/01/ukraine-war-how-and-why-russia-is-using-almost-undetectable-drones> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
38. Townsend, A., Jiya, I. N., Martinson, C., Bessarabov, D. & Gouws, R. A comprehensive review of energy sources for unmanned aerial vehicles, their shortfalls and opportunities for improvements. *Heliyon* 6, (2020).
39. Allison, G. New record 34.8-hour Global Hawk flight (2024) Erişim Adresi: <https://ukdefencejournal.org.uk/new-record-34-8-hour-global-hawk-flight/> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
40. Weaver, L. Between Air and Space – Zephyr and the Future of High Altitude Pseudo-Satellites within Defence. *Air and Space Power Review* 22, 58–75 (2019).
41. Kuzio, T. Ukraine Leads World in Drone Innovation and Production. *Eurasia Daily Monitor* 21, (2024) Erişim Adresi: <https://jamestown.org/program/ukraine-leads-world-in-drone-innovation-and-production/> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
42. Sommerville, Q. Ukraine thrown into war's bleak future as drones open new battlefield (2024) Erişim Adresi: <https://www.bbc.com/news/articles/cne4vl9gy2wo> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
43. Surender, S. Ukraine War: The Pivotal Role of Military Drones in Modern Conflict (2024) Erişim Adresi: <https://www.marketsandmarkets.com/blog/AD/ukraine-war-the-pivotal-role-of-military-drones-in-modern-conflict#:~:text=Drones%20have%20significantly%20enhanced%20situational,movements%20and%20gather%20crucial%20intelligence.> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
44. Kabanenko, I. Ukraine Restoring Security to the Black Sea. *Eurasia Daily Monitor* 21, (2024) Erişim Adresi: <https://jamestown.org/program/ukraine-restoring-security-to-the-black-sea/> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
45. Ponomarenko, I. & Chernichkin, K. Luch design bureau presents new strike drone project (2020) Erişim Adresi: <https://defensehere.com/en/luch-design-bureau-presents-new-strike-drone-project/> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].

46. Jonathan Beale, T. S. Ukraine's long-range drones using Western tech to hit Russia (2024) Erişim Adresi: <https://www.bbc.com/news/articles/c6240qepyppo> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
47. Vera Bergengruen. How Tech Giants Turned Ukraine Into an AI War Lab (2024) Erişim Adresi: <https://time.com/6691662/ai-ukraine-war-palantir/> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
48. Hunder, M. Ukraine rolls out dozens of AI systems to help its drones hit targets (2024) Erişim Adresi: <https://www.reuters.com/world/europe/ukraine-rolls-out-dozens-ai-systems-help-its-drones-hit-targets-2024-10-31/> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
49. Hambling, D. Tracking Down The Mysterious Phoenix Ghost Kamikaze Drone (2024) Erişim Adresi: <https://www.forbes.com/sites/davidhambling/2024/09/09/tracking-down-the-mysterious-phoenix-ghost-kamikaze-drone/> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
50. WB Group. WARMATE Loitering Munitions Brochure (2017). Erişim Adresi: https://www.wbgroup.pl/app/uploads/2017/06/warmate_eng_large_22q2.pdf [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
51. RAM UAV. RAM UAV Official Website (2025). Erişim Adresi: <https://ramuav.com> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
52. Mikhnenko, A. Spectator-M1: mission successful (2019) Erişim Adresi: https://en.defence-ua.com/weapon_and_tech/spectator_m1_mission_successful-1644.html [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
53. UKRJET. UKRJET Official Website (2025). Erişim Adresi: <https://ukrjet.ua/eng> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
54. Terminal Autonomy. AQ 400 Scythe (2025). Erişim Adresi: <https://terminalautonomy.com/aq400-scythe/> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
55. AeroVironment, Inc. *Puma AE Datasheet* (2017). Erişim Adresi: https://www.avinc.com/images/uploads/product_docs/PumaAE_Datasheet_2017_Web_v1.1.pdf [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
56. Baykar Teknoloji. Bayraktar Mini İHA (2025). Erişim Adresi: <https://baykartech.com/tr/uav/bayraktar-mini-ih/> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
57. AeroVironment, Inc. *AeroVironment Product Catalog* (2025). Erişim Adresi: https://www.avinc.com/images/uploads/product_docs/ProductCatalog.pdf [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
58. Army Technology. Leleka-100 Unmanned Aerial Vehicle (UAV), Ukraine (2022) Erişim Adresi: <https://www.army-technology.com/projects/leleka-100-unmanned-aerial-vehicle-uav-ukraine/> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
59. Athlon Avia. A1-CM Furia Unmanned Aerial System (2025). Erişim Adresi: <https://athlonavia.com/en/furia/> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
60. Shoaib, A. Inside the elite Ukrainian drone unit founded by volunteer IT experts: 'We are all soldiers now.' (2022) Erişim Adresi: <https://www.businessinsider.com/inside-the-elite-ukrainian-drone-unit-volunteer-it-experts-2022-4> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
61. WB Group. FLYEYE Unmanned Aerial System (2025). Erişim Adresi: <https://www.wbgroup.pl/en/produkt/flyeye-unmanned-aerial-system/> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
62. Quantum-Systems. *Vector R20 Brochure* (2024). Erişim Adresi: https://quantum-systems.com/wp-content/uploads/2024/01/QS_Vector_R20_A4_BS_3mm_241014_Screen.pdf [Erişim Tarihi: 13.04.2025].

63. LRT English. Russia Was Lagging Behind in Drone Capabilities but Is Now Catching Up: Comment (2023). Erişim Adresi: <https://www.lrt.lt/en/news-in-english/19/1648450/russia-was-lagging-behind-in-drone-capabilities-but-is-now-catching-up-comment> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
64. Army Recognition. Israeli-Designed Russian Drone Targets Ukrainian Positions in Kursk in Coordinated Strike (2024). Erişim Adresi: <https://armyrecognition.com/news/aerospace-news/2024/israeli-designed-russian-drone-targets-ukrainian-positions-in-kursk-in-coordinated-strike> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
65. The Jamestown Foundation. Russia's Drone Industry Hits Serious Turbulence (2023). Erişim Adresi: <https://jamestown.org/program/russias-drone-industry-hits-serious-turbulence/> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
66. Bilousova, O., Zagrebelska, A., Vlasiuk, V. & Shapoval, N. Foreign Components in Russian Military Drones (2023). Erişim Adresi: <https://kse.ua/wp-content/uploads/2023/08/230828%20Drones%20for%20KSE%20site.pdf?t=1693243181> [Erişim Tarihi: 13.04.2025]
67. Uzi Rubin. Russia's Iranian-Made UAVs: A Technical Profile (2023) Erişim Adresi: <https://www.rusi.org/explore-our-research/publications/commentary/russias-iranian-made-uavs-technical-profile> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
68. Kalashnikov Group. *Unmanned Aircraft Systems - Zala Aero Group* (2025). Erişim Adresi: <https://kalashnikovgroup.ru/upload/iblock/72c/Unmanned%20Aircraft%20Systems%20Zala%20Aero%20Group.pdf> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
69. ODIN - OE Data Integration Network. Mohajer-6 Iranian Unmanned Aerial Vehicle (UAV). Erişim Adresi: [https://odin.tradoc.army.mil/WEG/Asset/Mohajer-6_Iranian_Unmanned_Aerial_Vehicle_\(UAV\)](https://odin.tradoc.army.mil/WEG/Asset/Mohajer-6_Iranian_Unmanned_Aerial_Vehicle_(UAV)) [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
70. ODIN - OE Data Integration Network. Orlan-10 Russian Unmanned Aerial Vehicle (UAV). Erişim Adresi: [https://odin.tradoc.army.mil/WEG/Asset/Orlan-10_Russian_Unmanned_Aerial_Vehicle_\(UAV\)](https://odin.tradoc.army.mil/WEG/Asset/Orlan-10_Russian_Unmanned_Aerial_Vehicle_(UAV)) [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
71. Kronshtadt. *Orion UAV Brochure* (2025). Erişim Adresi: https://kronshtadt.ru/assets/files/productfiles/Orion_eng.pdf [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
72. Russia Creates SIGINT Payloads for Granat-4 (2016) Erişim Adresi: <https://www.uasvision.com/2016/02/22/russia-creates-sigint-payloads-for-granat-4/> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
73. Deagel.com. Takhion. Erişim Adresi: <https://www.deagel.com/Components/Takhion/a003135> [Erişim Tarihi: 13.04.2025]
74. Army Recognition. Russia uses Forpost-R armed drone with guided missile to destroy rocket launcher of Ukrainian army (2022) Erişim Adresi: <https://armyrecognition.com/focus-analysis-conflicts/army/conflicts-in-the-world/russia-ukraine-war-2022/russia-uses-forpost-r-armed-drone-with-guided-missile-to-destroy-rocket-launcher-of-ukrainian-army> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
75. Rosoboronexport. Orlan-30 UAV System. Erişim Adresi: <https://roe.ru/eng/catalog/aerospace-systems/uavs/orlan-30/> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
76. ODIN - OE Data Integration Network. Eleron-3 Russian Reconnaissance Unmanned Aerial Vehicle (UAV). Erişim Adresi: <https://odin.tradoc.army.mil/WEG/Asset/91494a1e46f43f3e0f5dbf3e9e39cbe9> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].

77. Defense Intelligence Agency. Iranian UAVs in Ukraine: A Visual Comparison (2023) Erişim Adresi: https://www.dia.mil/Portals/110/Documents/News/Military_Power_Publications/UAV_Book.pdf [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
78. TWZ News. Russia Has Begun Using Iranian Kamikaze Drones on Ukraine (2024). Erişim Adresi: <https://www.twz.com/russia-has-begun-using-iranian-kamikaze-drones-on-ukraine> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
79. BBC News. Ukraine War: Russia Launches Drone Attacks Amid Kyiv's Offensive (2024). Erişim Adresi: <https://www.bbc.com/news/world-europe-67529571> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
80. A. E. Spezio. Electronic warfare systems. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques* 50, 633–644 (2002).
81. Anil K. Maini. Electronic Warfare. in *Handbook of Defence Electronics and Optonics: Fundamentals, Technologies and Systems* 475–554 (Wiley, 2018). doi:10.1002/9781119184737.ch6.
82. Aatre, V. K. Electronic Warfare—A Perspective. *IETE Technical Review* 17, 319–323 (2000).
83. P. Sharma, K. K. Sarma, & N. E. Mastorakis. Artificial Intelligence Aided Electronic Warfare Systems-Recent Trends and Evolving Applications. *IEEE Access* 8, 224761–224780 (2020).
84. I. Burton & J. Straub. Autonomous Distributed Electronic Warfare System of Systems. in *2019 14th Annual Conference System of Systems Engineering (SoSE)* 96–101 (2019). doi:10.1109/SYSOSE.2019.8753838.
85. H. Singh & M. Sharma. Electronic Warfare System Using Anti-Radar UAV. in *2021 8th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN)* 102–107 (2021). doi:10.1109/SPIN52536.2021.9566054.
86. Mozur, P. & Krolik, A. The Invisible War in Ukraine Being Fought Over Radio Waves. *International New York Times* NA-NA (2023) Erişim Adresi: <https://www.nytimes.com/2023/11/19/technology/russia-ukraine-electronic-warfare-drone-signals.html> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
87. Olearchyk, R. Russia retains upper hand in electronic warfare. Ukraine. Air strikes Record wave of drone attacks prompts Kyiv's call for allies to help boost its tech capabilities. *The Financial Times* (2024) Erişim Adresi: <https://www.ft.com/content/a477d3f1-8c7e-4520-83b0-572ad674c28e> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
88. International Defense Security & Technology. Russia's Electronic Warfare Dominance: A Comprehensive Overview (2024) Erişim Adresi: <https://idstch.com/geopolitics/russias-electronic-warfare-dominance-a-comprehensive-overview/> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
89. Ling, J. The Invisible Russia-Ukraine Battlefield (2024) Erişim Adresi: <https://www.wired.com/story/electronic-warfare-russia-ukraine/> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
90. Richardson, D. Europe Offers Counter-UAV Solutions (2023) Erişim Adresi: <https://euro-sd.com/2023/07/articles/32871/europe-offers-counter-uav-solutions/> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
91. Trevithick, J. Electronic Warfare Systems On Ukraine's F-16s Getting Specially Tuned To Russian Threats By USAF (2024) Erişim Adresi: <https://www.twz.com/air/electronic-warfare-systems-on-ukraines-f-16s-getting-specially-tuned-to-russian-threats-by-usaf> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
92. Ukrspecexport. *Bukovel UAV Countermeasure System* (2024). Erişim Adresi: https://www.ukrspecexport.com/uploads/redactor/7%20USE_UMEX_Bukovel_PRINT.pdf [Erişim Tarihi: 13.04.2025].

93. Kvertus Technologies. *Kvertus Technologies Product Catalog*. Erişim Adresi: <https://kvertus.ua/wp-content/themes/kvertus/pdf/en-kvertus-katalog.pdf> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
94. Spetstechnoexport. *Nota Electronic Warfare System*. Erişim Adresi: <https://steback.site/storage/files/Nota.pdf> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
95. Clark, B. The fall and rise of Russian Electronic Warfare. *IEEE Spectrum* 30, (2022).
96. Army Recognition. 1RL257 or Krasukha-4 Jamming Station (2024) Erişim Adresi: <https://armyrecognition.com/military-products/army/electronic-warfare/1rl257-or-krasukha-4-jamming-station> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
97. Army Recognition. R-330ZH Zhitel (2024) Erişim Adresi: https://armyrecognition-com.translate.google/military-products/army/electronic-warfare/r-330zh-jamming-station-russia-uik?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=tr&_x_tr_hl=tr&_x_tr_pto=tc [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
98. Tsukanov, I. NATO Smart Artillery-Swatting Prodigy: Meet Russia's Polye-21 Radio-Electronic Warfare Complex (2023) Erişim Adresi: <https://sputnikglobe.com/20231120/nato-smart-artillery-swatting-prodigy-meet-russias-polye-21-radio-electronic-warfare-complex-1115072594.html> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
99. Military Africa. Algeria Operating Russian-Made Repellant-1 C-UAS (2025) Erişim Adresi: <https://www.military.africa/2025/01/algeria-operating-russian-made-repellant-1-c-uas/> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
100. Timothy Thomas. Russia's Electronic Warfare Force (2020). Erişim Adresi: <https://apps.dtic.mil/sti/trecms/pdf/AD1137511.pdf> [Erişim Tarihi: 13.04.2025].
101. S. Rezwan & W. Choi. Artificial Intelligence Approaches for UAV Navigation: Recent Advances and Future Challenges. *IEEE Access* 10, 26320–26339 (2022).
102. Hartling, S., Sagan, V. & Maimaitijiang, M. Urban tree species classification using UAV-based multi-sensor data fusion and machine learning. *GIScience & Remote Sensing* 58, 1250–1275 (2021).
103. Bu, Y., Yan, Y. & Yang, Y. Advancement Challenges in UAV Swarm Formation Control: A Comprehensive Review. *Drones* 8, (2024).
104. S. Javed *et al.* State-of-the-Art and Future Research Challenges in UAV Swarms. *IEEE Internet of Things Journal* 11, 19023–19045 (2024).
105. Guebsi, R., Mami, S. & Chokmani, K. Drones in Precision Agriculture: A Comprehensive Review of Applications, Technologies, and Challenges. *Drones* 8, (2024).
106. Li, S., Fang, Z., Verma, S. C., Wei, J. & Savkin, A. V. Navigation and Deployment of Solar-Powered Unmanned Aerial Vehicles for Civilian Applications: A Comprehensive Review. *Drones* 8, (2024).
107. El-Atab, N., Mishra, R. B., Alshanbari, R. & Hussain, M. M. Solar Powered Small Unmanned Aerial Vehicles: A Review. *Energy Technology* 9, 2100587 (2021).
108. Mertika, S., Schimpf, J., Kim, S. Y., Moschetta, J.-M. & Turpin, C. Modeling and experimental testing of a UAV liquid hydrogen propulsion set. *International Journal of Hydrogen Energy* 88, 1398–1409 (2024).
109. Lara, L., Aceves, S. M., Jaramillo, D. E. & Moreno-Blanco, J. Improving small unmanned aerial vehicle flight endurance with cryo-compressed hydrogen vessels. *International Journal of Hydrogen Energy* 48, 28915–28926 (2023).

- ¹¹⁰. Xiao, C., Wang, B., Zhao, D. & Wang, C. Comprehensive investigation on Lithium batteries for electric and hybrid-electric unmanned aerial vehicle applications. *Thermal Science and Engineering Progress* 38, 101677 (2023).
- ¹¹¹. Mohsan, S. A., Othman, N. Q., Khan, M. A., Amjad, H. & Żywiołek, J. A Comprehensive Review of Micro UAV Charging Techniques. *Micromachines* 13, (2022).
- ¹¹². S. Jiao, G. Zhang, M. Zhou, & G. Li. A Comprehensive Review of Research Hotspots on Battery Management Systems for UAVs. *IEEE Access* 11, 84636–84650 (2023).
- ¹¹³. S. Jung, W. J. Yun, M. Shin, J. Kim, & J. -H. Kim. Orchestrated Scheduling and Multi-Agent Deep Reinforcement Learning for Cloud-Assisted Multi-UAV Charging Systems. *IEEE Transactions on Vehicular Technology* 70, 5362–5377 (2021).
- ¹¹⁴. Chamola, V. *et al.* A Comprehensive Review of Unmanned Aerial Vehicle Attacks and Neutralization Techniques. *Ad Hoc Networks* 111, 102324 (2021).
- ¹¹⁵. C. Lyu & R. Zhan. Global Analysis of Active Defense Technologies for Unmanned Aerial Vehicle. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine* 37, 6–31 (2022).

This image shows a full page of blank, lined paper. It features approximately 20 evenly spaced horizontal grey lines across the entire width of the page, providing a guide for handwriting or typing. The background is a solid off-white color.

RA -
POR

RUSYA-UKRAYNA SAVAŞI'NDA
İHA KULLANIMI:
MODERN SAVAŞIN
YENİ OYUNCULARI VE GELECEĞİN
TEKNOLOJİK DÖNÜŞÜMÜ

NİSAN 2025