

Otonom Hava Taşımacılığında İnsansız Kargo Uçakları: Mevcut Durum, Zorluklar ve Gelecek Perspektifleri

Unmanned Cargo Aircraft in Autonomous Air Transport: Current Status, Challenges and Future Prospects

Tayfun Varnalı^{1*} 

¹ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ,
Türkiye.
[ror.org/01a0mk874](https://orcid.org/01a0mk874)

*Sorumlu yazar/Corresponding author:
tayfun_kkk@hotmail.com

Öz: Bu çalışma, otonom hava taşımacılığında hızla gelişen ve son yıllarda hem akademik hem de endüstriyel alanda yoğun ilgi gören insansız kargo uçaklarını (İKU) bütüncül bir bakış açısıyla ele almaktadır. Araştırmanın temel amacı, literatürde çoğunlukla dağınık biçimde incelenen teknik, operasyonel ve kurumsal yaklaşımları bir araya getirerek kapsamlı bir çerçeve sunmaktır. Bu doğrultuda 2015–2025 yılları arasında yayımlanan akademik makaleler, raporlar ve sektörel çalışmalar sistematik literatür taraması ve içerik analizi yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. Web of Science, Scopus ve IEEE Xplore veri tabanlarından elde edilen yayınlar; teknolojik ve yapısal gelişmeler, otonom kontrol sistemleri ve yapay zekâ uygulamaları ile ekonomik ve düzenleyici dinamikler başlıkları altında sınıflandırılmıştır. Bulgular, sabit kanatlı İKU'ların uzun menzilli ve yüksek verimli taşımacılıkta öne çıktığını, VTOL ve hibrit platformların ise özellikle kentsel ve kısa mesafeli teslimatlarda esneklik sağladığını göstermektedir. Bununla birlikte enerji depolama teknolojilerinin sınırlılıkları, hava sahası entegrasyonu, mevzuata uyum süreçleri ve siber güvenlik riskleri, sistemlerin yaygın ve ölçeklenebilir kullanımının önündeki temel engeller olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak insansız kargo uçaklarının, geleceğin lojistik ağlarını dönüştüren stratejik bir bileşen hâline geldiği vurgulanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: İnsansız kargo uçağı, Lojistik, Otonom sistemler, Ekonomik karşılaştırma

Abstract: This study comprehensively examines unmanned cargo aircraft (UCA), which are rapidly developing in autonomous air transport and have attracted significant attention in both academic and industrial circles in recent years. The main objective of the research is to provide a comprehensive framework by bringing together technical, operational and institutional approaches that have mostly been examined in a scattered manner in the literature. To this end, academic articles, reports and sectoral studies published between 2015 and 2025 were examined using systematic literature review and content analysis methods. Publications obtained from the Web of Science, Scopus, and IEEE Xplore databases were classified under the headings of technological and structural developments, autonomous control systems and artificial intelligence applications, and economic and regulatory dynamics. The findings show that fixed-wing UAVs excel in long-range and high-efficiency transportation, while VTOL and hybrid platforms provide flexibility, particularly in urban and short-distance deliveries. However, limitations in energy storage technologies, airspace integration, regulatory compliance processes, and cybersecurity risks have been identified as key barriers to the widespread and scalable use of these systems. Consequently, it is emphasised that unmanned cargo aircraft have become a strategic component transforming the logistics networks of the future.

Keywords: Unmanned cargo aircraft, Logistics, Autonomous systems, Economic comparison

Geliş/Received: 29.03.2026
Revizyon/Revision: 09.05.2026
Kabul/Accepted: 22.06.2026
Yayınlanma/Online: 24.08.2026

I. GİRİŞ

Küresel ölçekte yaşanan dijital dönüşüm, e-ticaret hacmindeki hızlı artış ve teslimat sürelerine yönelik yükselen beklentiler, lojistik sektöründe daha hızlı, esnek ve maliyet etkin çözümlere olan ihtiyacı önemli ölçüde artırmıştır. Bu dönüşüm süreci içerisinde insansız hava araçları (İHA) ve özellikle insansız kargo uçakları (İKU), taşımacılık operasyonlarının otomasyonu ve lojistik hizmet kalitesinin artırılması açısından kritik bir yenilik alanı olarak öne çıkmaktadır (Labib vd., 2021, ss. 115466-115487; Kanat, 2023, ss. 75-87). İnsan müdahalesine olan bağımlılığı azaltmaları, riskli bölgelerde güvenli operasyon imkânı sunmaları ve erişimi zor coğrafyalarda etkin taşımacılık sağlayabilmeleri, İKU sistemlerini geleneksel lojistik yaklaşımlara güçlü bir alternatif hâline getirmektedir (Srivastav,

2025, ss. 1-41). Bununla birlikte, insansız hava sistemleri alanında son yıllarda kayda değer teknolojik ilerlemeler yaşanmasına rağmen, İKU'ların teknik kapasitesi, operasyonel uygulanabilirliği ve düzenleyici uyumluluğu arasındaki ilişkinin bütüncül bir çerçevede ele alındığı çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Mevcut literatür çoğunlukla platform tasarımı, otonom kontrol sistemleri, teslimat operasyonları veya pazar potansiyeli gibi belirli alt alanlara odaklanmaktadır. Buna karşın teknolojik, ekonomik ve yönetsel boyutları birlikte değerlendiren bütüncül çalışmaların sayısı oldukça yetersizdir (Singh, 2024, ss. 313-354; Dalamagkidis vd., 2008, ss. 503-519). Özellikle sabit kanatlı, dikey kalkış-iniş yapabilen (VTOL) ve hibrit İKU platformlarının performanslarının karşılaştırmalı biçimde incelendiği çalışmaların eksikliği dikkat çekmektedir. Ayrıca hava sahası entegrasyonu, enerji verimliliği, otonom navigasyon sistemleri ve lojistik altyapı uyumu gibi kritik değişkenlerin birlikte değerlendirildiği çalışmaların literatürde yeterince yer almadığı görülmektedir. Bu durum, İKU teknolojilerinin sürdürülebilir lojistik sistemler içerisindeki rolünün daha kapsamlı ve bütüncül bir perspektifle ele alınmasını gerekli kılmaktadır (Rehan vd., 2022, ss. 2017-2057; Zhou vd., 2020, ss. 8-17). Mevcut araştırmaların disiplinler arası bileşenleri çoğu zaman ayrı ayrı incelemesi, teknolojik gelişmişlik düzeyi ile ekonomik uygulanabilirlik, güvenlik gereklilikleri ve düzenleyici çerçeveler arasındaki ilişkilerin sistematik biçimde analiz edilmesini zorlaştırmaktadır. Bu bağlamda literatürde, İKU sistemlerinin lojistik ağlara entegrasyonunu teknik, operasyonel ve kurumsal boyutlarıyla birlikte değerlendiren bütüncül bir yaklaşımın eksik olduğu söylenebilir. Çalışmanın temel araştırma problemi, İKU teknolojilerinin çok boyutlu yapısının mevcut literatürde yeterince bütüncül biçimde sentezlenmemiş olmasıdır.

Bu çalışmanın amacı, insansız kargo uçaklarına ilişkin literatürü sistematik bir yaklaşımla inceleyerek teknik gelişmeler, operasyonel uygulamalar, ekonomik dinamikler ve düzenleyici süreçler arasındaki ilişkileri bütüncül bir perspektifle değerlendirmektir. Bu kapsamda İKU sistemleri yalnızca mühendislik ürünü olarak değil, aynı zamanda lojistik ağların dönüşümünde stratejik bir unsur olarak ele alınmaktadır. Araştırmada sabit kanatlı, VTOL ve hibrit platformlar karşılaştırmalı olarak analiz edilmekte; sektörde öne çıkan eğilimler, uygulama alanları ve araştırma boşlukları ortaya konulmaktadır.

Çalışmada kavramsal tutarlılığı sağlamak amacıyla belirli terminolojik tercihler yapılmıştır. Literatürde “drone”, “İHA (İnsansız Hava Aracı)”, “UAV (Unmanned Aerial Vehicle)” ve “RPAS (Remotely Piloted Aircraft System)” kavramları zaman zaman birbirinin yerine kullanılabilir. Bu çalışmada “İHA” tüm insansız hava sistemlerini kapsayan üst kavram olarak benimsenmiştir. “Drone” ifadesi daha çok küçük ölçekli, çok rotorlu ve sivil/ticari kullanım odaklı platformları tanımlamak için kullanılmıştır. “İKU (İnsansız Kargo Uçağı)” ise doğrudan lojistik ve yük taşımacılığı amacıyla geliştirilen sabit kanatlı, VTOL veya hibrit özellikli insansız hava platformlarını ifade etmektedir. Uluslararası literatürde yer alan “UAV” kavramı ise gerekli durumlarda İHA'nın İngilizce karşılığı olarak kullanılmıştır.

Çalışmanın özgün katkısı, İKU sistemlerini teknik, operasyonel, ekonomik ve düzenleyici boyutlarıyla birlikte ele alan bütüncül bir değerlendirme çerçevesi sunmasıdır. Ayrıca kullanılan tematik sınıflandırma yaklaşımı sayesinde literatürde dağınık biçimde ele alınan çalışmalar sistematik olarak karşılaştırılmış ve alanın gelişim eğilimleri bütüncül biçimde analiz edilmiştir. Bu doğrultuda çalışmanın üç temel katkısı bulunmaktadır:

- (i) İKU literatüründeki teknik ve kurumsal unsurların sistematik biçimde sınıflandırılması,
- (ii) teknolojik gelişmeler ile güvenlik, düzenleme ve pazar dinamikleri arasındaki ilişkilerin ortaya konulması,
- (iii) sektör paydaşları ve politika yapıcılar için uygulanabilir bir değerlendirme çerçevesi sunulmasıdır.

Çalışma altı bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde araştırmanın problem durumu, amacı ve kapsamı ele alınmıştır. İkinci bölümde insansız kargo uçaklarının teknolojik gelişimi incelenmiş, üçüncü bölümde lojistik ve operasyonel uygulamalara odaklanılmıştır. Dördüncü bölümde araştırma yöntemi açıklanmış, beşinci bölümde bulgular tematik ve karşılaştırmalı analiz yaklaşımıyla sunulmuştur. Son bölümde ise elde edilen sonuçlar tartışılmış, literatüre katkılar değerlendirilmiş ve gelecekteki araştırma alanlarına yönelik öneriler geliştirilmiştir.

II. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI (İHA) TEKNOLOJİSİ

A. İHA Teknolojisinin Tanımı

İHA'lar, sabit kanatlı ya da dikey kalkış-iniş yapabilen tasarımlara sahip olup; manuel, yarı otomatik veya tamamen otomatik sistemlerle işletilebilmektedir (Cömert vd., 2012). İHA'lar, askerî operasyonlardan sivil amaçlı kullanımlara kadar oldukça geniş bir alanda değerlendirilmektedir. Son yıllarda ise bu teknolojiler, özellikle bilimsel araştırmalar ve ticari faaliyetler kapsamında önemli bir araç hâline gelmiştir (Kahveci & Can, 2017).

Tarihsel süreçte bu araçlar için “robotik uçak”, “pilotuz hava aracı” ve “uzaktan kontrol edilen uçak” gibi farklı terimler kullanılmıştır (Akyürek vd., 2012). Uluslararası literatürde ise “Remotely Operated Aircraft (ROA)” ve “Remotely Piloted Aircraft System (RPAS)” kavramları da İHA'ların karşılığı olarak tercih edilmiştir (LaFay, 2015; International Civil Aviation Organization [ICAO], 2015). Mevcut uluslararası düzenlemelerde İHA, üzerinde sorumlu kaptan pilot bulunmayan hava taşıtı olarak tanımlanmıştır. Bu yaklaşım, Chicago Konvansiyonu'nun 8. maddesi ve ICAO Genel Kurulu'nun 35. toplantısında da resmîyet kazanmıştır (Can, 2013).

Teknolojik gelişmeler, İHA'ların kullanım yelpazesini sürekli genişletmektedir. Başlangıçta yalnızca askerî görevler

için tasarlanan bu araçlar, günümüzde çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Uzaktan algılama, tarımsal faaliyetler, yangın söndürme, arama-kurtarma, veri toplama, görüntüleme ve lojistik taşımacılık bu alanlara örnek olarak gösterilebilir (Dikmen, 2015; Çavuş & Tuncer, 2017).

B. İHA'ların Tarihsel Gelişimi

İnsansız hava araçlarının geçmişi sanıldan daha eskiye uzanır. 18. yüzyılda Montgolfier Kardeşler'in balon denemeleri bu alandaki ilk girişimlerdenidir. 19. yüzyılın sonunda ise kamerayla donatılmış araçlar kullanılmıştır (Garg, 2021). 1849'da Avusturya, patlayıcı balonlarla Venedik'e saldırı düzenlemiş ve bu olay askeri amaçlı ilk İHA kullanımına örnek olmuştur (Kahveci & Can, 2017). 1862'de Charles Perley, zaman ayarlı patlayıcı taşıyan balon için ilk patenti almıştır. Nikola Tesla 1898'de, radyo dalgalarıyla kontrol edilen insansız tekneyi tanıtarak modern kontrol sistemlerine öncülük etmiştir (Karamanlı & Çelik, 2019).

I. Dünya Savaşı döneminde İHA kullanımı yeni bir boyut kazanmıştır. 1915'te İngiliz Ordusu keşif fotoğraflarıyla Alman siperlerini haritalamıştır. 1916'da ABD'de ilk insansız uçuş gerçekleştirilmiştir (Garg, 2021). Charles Kettering'in geliştirdiği "Kettering Bug" ise tarihteki ilk otonom uçuş denemesi olmuştur. 1920'lerde Elmer Sperry uçuş kontrol sistemini geliştirmiştir. Aynı yıllarda Etienne Oemichen, dört rotorlu ve sekiz pervaneli tasarımlarla 1000'in üzerinde uçuş yapmıştır. 1935'te İngiltere De Havilland Queen Bee'yi geliştirmiştir (Türk Hava Kurumu, 2024). 1939'da ABD Radioplane OQ-2 modelini seri üretime sokmuştur. Almanya ise II. Dünya Savaşı'nda Fritz X ve V-1 Doodlebug uçan bombalarını kullanmıştır. Savaş sonrası dönemde jet motorlarının gelişmesi, İHA'ların keşif ve gözetleme alanına yönelmesine yol açmıştır (Mátyás & Máté, 2019; Göktürk Çetinkaya & Koç, 2023). 1950'lerde ABD'nin ürettiği Firebee serisi, Vietnam Savaşı'nda 34.000'den fazla görevde kullanılmıştır. Bu araçlar, modern İHA sistemlerinin temelini oluşturmuştur (Kök, 2012).

1960'larda U2 casus uçağının SSCB'de düşürülmesi, ABD ve NATO'yu insansız keşif sistemlerine yöneltmiştir (Tarantola, 2013). 1970'lerde İsrail, Mastiff ve Scout modellerini geliştirmiştir. Özellikle Scout, gerçek zamanlı görüntü aktarabilen ilk İHA olarak öne çıkmıştır. 1980'lerde ABD-İsrail ortak yapımı RQ-2 Pioneer üretilmiştir. 1990'larda ise mikro ve minyatür İHA'lar araştırmaların odağına girmiştir. NASA'nın Pathfinder ve Helios modelleri güneş enerjisiyle çalışan ilk örneklerdir. Ayrıca Aerosonde Laima, Atlantik'i otonom olarak geçen ilk insansız araç olmuştur (DeGarmo, 2004; Mátyás & Máté, 2019; Van Cleave, 2003). Dr. Abraham Karem'in uzun süreli uçuş çalışmalarına dayalı tasarımları, modern Predator sistemine öncülük etmiştir. 1995'te MQ-1 Predator, hem keşif hem saldırı görevinde kullanılan ilk modern İHA olmuştur. 2000'li yıllarda Raven, Wasp ve Puma gibi küçük gözetleme araçları geliştirilmiştir. 2005'te Almanya'da ilk ticari multikopter üretilmiştir. 2006'da Katrina Kasırgası sonrası ABD'de İHA'ların arama-kurtarma amacıyla sivil hava sahasında kullanımına izin verilmiştir (Miličević & Bojković, 2021; Türk Hava Kurumu, 2024; Whittle, 2014).

2010'da Parrot, akıllı telefonla kontrol edilebilen AR Drone modelini tanıtmıştır. 2012'de FAA küçük İHA'ların entegrasyon sürecini başlatmıştır. 2013'te DJI, Phantom serisiyle kamera donanımlı modern İHA dönemini başlatmış ve pazarın büyük kısmını ele geçirmiştir. Aynı yıllarda Amazon, UPS ve Google teslimat konseptlerini test etmeye başlamıştır. 2016'da Amazon İngiltere'de ilk Prime Air teslimatını gerçekleştirmiştir. Aynı yıl FAA, 25 kg altındaki küçük İHA'ların kullanımını düzenlemiştir. 2018'de Skydio, yapay zekâ ile tam otonom uçabilen R1 modelini tanıtmıştır (West & Bowman, 2016). COVID-19 döneminde ise İHA'lar sağlık ve lojistik alanında kritik görevler üstlenmiştir. Günümüzde DJI, Parrot ve benzeri firmaların geliştirdiği küçük quadcopter'lar yaygın biçimde kullanılmaktadır. Askeri alanda ise Black Hornet gibi mikro İHA'lar kısa eğitim süresi ve kolay kullanımıyla tercih edilmektedir. Pazarın 2030 yılına kadar 92 milyar dolara ulaşması beklenmektedir. Frank Wang'ın 2006'da kurduğu DJI, tarım, film yapımı ve lojistik gibi birçok alanda İHA kullanımını yaygınlaştırmıştır. Böylece İHA'lar, hem askeri hem de sivil alanlarda vazgeçilmez bir teknoloji haline gelmiştir (West & Bowman, 2016; Mátyás & Máté, 2019; Euchi, 2021; Consortiq, 2024).

C. İHA'ların Sınıflandırılması

İHA'lar diğer hava taşıtlarından ayıran en temel özellik, sahip oldukları kontrol mekanizmalarıdır. Bu araçlar, görev türüne ve operatör müdahalesine bağlı olarak farklı seviyelerde özerklik gösterebilmektedir. Doğrudan kontrol sistemlerinde İHA, yer istasyonundaki operatör tarafından görüş alanı içinde yönlendirilir. Gözlem destekli modellerde ise araç otonom olarak uçarken pilot gerektiğinde müdahale edebilir (How vd., 2009; Fabiani vd., 2007). Özerk ve değiştirilemez kontrol yaklaşımı, aracın önceden programlanmış uçuş planlarına sıkı biçimde bağlı kalmasını zorunlu kılar. Buna karşılık, denetleyici kontrol modellerinde ise üst birimler sistemin genel işleyişini izler ve yönlendirir. En gelişmiş sınıflandırmalardan biri olan özerk ve uyumlu sistemler, çevresel değişikliklere anında adapte olabilen, entegre ve bağımsız kontrol mekanizmalarına sahip araçları ifade eder (Yiğit vd., 2018).

Uçuş yönetmeliğine göre İHA'lar temel olarak üç kategoriye ayrılmaktadır. Görerek uçuş (VFR) modelleri, pilotun doğrudan görüşüne dayalı olarak gündüz görevleri için kullanılır. Aletli uçuş (IFR) sistemleri ise görüşün sınırlı olduğu gece ya da kötü hava koşullarında otomatik modda çalışır. Bazı görevlerde ise kalkış ve iniş görerek uçuş, seyir kısmı ise aletli uçuş kurallarına uygun şekilde yürütülmektedir. Hava sahasına göre yapılan sınıflandırmada, ayrılmış alanlar yasaklı, kısıtlı veya özel bölgeleri kapsamaktadır. Ayrılmamış hava sahalarında ise gerekli izinlerin alınması ve hava trafik yönetimi kurallarına uyulması zorunludur. Araç tipi açısından İHA'lar; sabit kanatlı, döner kanatlı, hibrit, helikopter ve zeplin türlerinde tasarlanabilir. Kanat yapısı ve kalkış-iniş biçimine göre yatay, dikey veya kesintisiz kalkış-iniş

yöntemleri uygulanır. Ayrıca kalkış ortamına göre havaalanı, gemi güvertesi, su yüzeyi veya elle fırlatma gibi farklı yöntemler söz konusudur. Motor tipleri açısından ise pistonlu, gaz türbinli (turbojet, turboprop, turbofan) ve elektrikli sistemler kullanılmaktadır (Yiğit vd., 2018; Ramesh & Jeyan, 2022; Stewart & Martin., 2021; Dobrodomov vd., 2024).

İHA'lar yakıt ve enerji sistemlerine göre tek kullanımlık veya çoklu yakıt seçenekleriyle tasarlanabilmektedir. İHA'ların bazı modellerinde ana yakıt tankına ek olarak yedek tank sistemleri de bulunmaktadır. İHA'ların sınıflandırılması genellikle ağırlık, menzil, uçuş süresi ve irtifa kriterleri temelinde yapılmaktadır (Tablo 1). Bu bağlamda araçlar stratejik, taktiksel, mini/mikro veya özel görev amaçlı olarak kategorize edilmektedir. İrtifa kriteri açısından düşük, orta ve yüksek irtifa olmak üzere üç temel kategori belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, kullanım fonksiyonlarına göre gözetleme, veri toplama, görüntüleme, haberleşme ve özel görev amaçlı modeller geliştirilmiştir (Korchenko & Illyash, 2013) (Tablo 1).

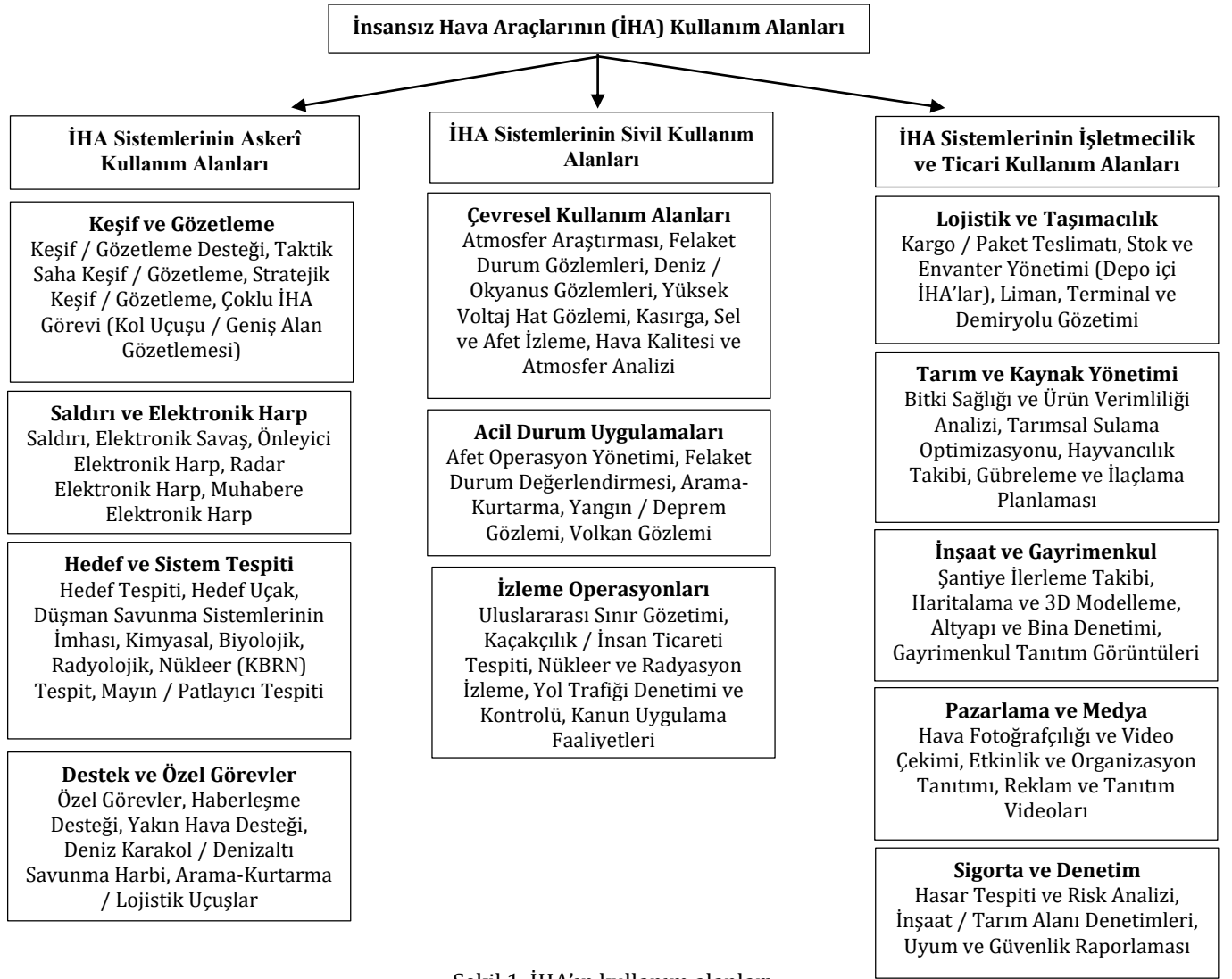
Tablo 1. İHA sınıflandırma ölçütleri ve alt kategorileri.

Sınıflama Ölçütü	Kısa Tanım	Alt Sınıflar / Örnekler
Kontrol Sistemine Göre	Uçuşun nasıl kontrol edildiği (operatör / otonom).	Doğrudan (Direct), Gözlenen (Monitored), Özerk & Uyumsuz, Denetleyici (Supervisory)
Uçuş Kurallarına Göre	Hangi uçuş kurallarıyla uçtuğu.	Görerek Uçuş (VFR), Aletli Uçuş (IFR), Görerek-Aletli (Mixed).
Hava Sahasına Göre	Kullanılan hava sahasının türü.	Ayrılmış (yasak, kısıtlı, özel sahalara), Ayrılmamış (ATC yönetimi altında, izinli).
Hava Aracı Tipine Göre	Platformun geometrik yapısı.	Uçak, Helikopter, Zeplin, Döner Kanat (multikopter), Hibrit.
Kanat Tipine Göre	Kanat yapısına göre.	Sabit Kanatlı, Döner Kanatlı.
Kalkış / İniş Yönüne Göre	Kaldırma kuvvetinin yönüne göre.	Kalkış: Yatay / Dikey (VTOL). İniş: Yatay, Dikey, Kesintisiz, Kombine.
Kalkış / İniş Tipine Göre	Fiziksel ortam ve yönleme göre.	Kalkış: Havaalanı, Gemi güvertesi, Su yüzeyi, El ile. İniş: Havaalanı, Su yüzeyi, Güverte, Çoklu iniş, Standart olmayan iniş.
Motor Tipine Göre	İtici kaynağına göre.	Pistonlu, Gaz Türbinli (turbojet, turboprop, turboşaft, ramjet, scramjet, pulsejet), Elektrik motorları.
Yakıt Sistemine Göre	Yakıt ikmali ve kullanım yöntemi.	Tek kullanımlık yakıt sistemi, Çoklu ikmal sistemi (yer, gemi, havada ikmal).
Yakıt Tankı Tipine Göre	Tank düzeni.	Temel tank, Temel + yedek tank.
Yakıt Kullanımına Göre	Yakıt sisteminin kullanım sayısı.	Tek kullanımlık, Çok kullanımlık.
Kategoriye Göre	Ağırlık, menzil, uçuş süresi, irtifa.	Stratejik İHA'lar, Taktiksel İHA'lar, Mini/Mikro İHA'lar, Özel Amaçlı İHA'lar.
Uçuş Mesafesine Göre	Görev yarıçapına göre.	Yakın (<40 km), Kısa (<70 km), Orta (<300 km), Uzun (<1500 km), Uzun Süreli (>1500 km).
Uçuş İrtifasına Göre	İrtifa bandına göre.	Düşük, Orta, Yüksek irtifa.
Fonksiyonuna Göre	Görev ve kullanım amacına göre.	Veri işleme/iletim, Gözetleme/izleme, Fotoğrafçılık/görüntüleme, Özel görevler (ör. kargo, hedefleme).

Kaynak. Yiğit vd., 2018; Korchenko & Illyash, 2013.

D. İHA Sistemlerinin Uygulama Alanları

İHA sistemlerinin tarihsel gelişiminde, ilk olgunlaşmış uygulamalar genellikle tek kullanımlık ve belirli hedeflere yönlendirilmiş mühimmat sistemleri biçiminde ortaya çıkmıştır (Şekil 1). Radarlarda insanlı uçak izlerini taklit eden sahte uçak uygulamaları, İHA'ların erken dönem kullanımına örnek teşkil etmektedir. Benzer şekilde, hava savunma eğitimlerinde hedef uçak olarak kullanılan sistemler de bu dönemde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu temel uygulamaların ardından, İHA üreticileri giderek daha spesifik ve özel amaçlara hizmet eden sistemler geliştirmeye başlamıştır. Bu kapsamda, biyolojik, kimyasal ve radyoaktif tehditlerin tespiti, mayın arama faaliyetleri ve güvenlik koridorlarının oluşturulması gibi alanlar, İHA teknolojilerinin öne çıkan askerî kullanım sahaları arasında yer almaktadır. Diğer yandan, İHA teknolojilerinin yalnızca savunma alanı ile sınırlı kalmadığı; ticari ve işletmecilik bağlamında da yaygın biçimde kullanıldığı görülmektedir. Bu doğrultuda, İHA sistemleri günümüzde lojistik ve taşımacılık, tarım ve kaynak yönetimi, inşaat ve gayrimenkul, pazarlama ve medya ile sigorta ve denetim alanlarında etkin biçimde kullanılmaktadır. Bu uygulamalar; kargo teslimatı, bitki sağlığı analizi, şantiye ilerleme takibi, reklam çekimleri ve hasar tespiti gibi operasyonlarda hem verimliliği artırmakta hem de maliyetleri azaltmaktadır (Ateş & Düzgün, 2020) (Şekil1).



Şekil 1. İHA'nın kullanım alanları.

Kaynak. Arjomandi vd., 2006.

III. DRONE, İHA VE İKU SİSTEMLERİNDE YAPISAL TASARIM VE OPERASYONEL İŞLEYİŞ

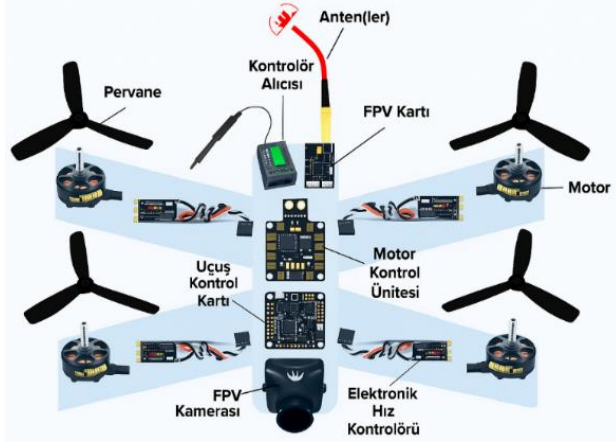
A. Drone ve VTOL Özellikli İHA Sistemlerinde Yapısal Mimari/ Uçuş Konfigürasyonları

VTOL (Vertical Take-Off and Landing), dikey kalkış ve iniş kabiliyetine sahip insansız hava platformlarını tanımlamaktadır. eVTOL (electric VTOL) kavramı ise bu sistemlerin elektrikli tahrik sistemleriyle çalışan versiyonlarını ifade etmek için kullanılmaktadır. Hibrit VTOL platformlar ise sabit kanatlı uçakların aerodinamik verimliliği ile döner kanatlı sistemlerin dikey kalkış ve iniş kabiliyetini bir araya getiren bütünleşik yapılar olarak değerlendirilmektedir (Darvishpoor vd., 2025; Gasimzade, 2024).

Drone sistemleri incelendiğinde, uçuş dinamiklerini yöneten mekanik ve elektronik alt sistemlerin bütünleşik ve eşgüdümlü biçimde çalıştığı görülmektedir. Pervaneler ve motorlar ürettikleri itki aracılığıyla temel manevraları gerçekleştirirken, ESC birimleri motor hızını hassas biçimde düzenleyerek uçuş kararlılığını artırmaktadır. Uçuş kontrol kartı, sensör ve alıcı verilerini işleyip yorumlayarak platformun stabilitesini ve yönlendirilmesini yönetmektedir (Koyuncu, 2006; Aktaş, 2013; İsmayilli, 2023; Bilici, 2024; Gümüşboğa, 2022; Özcan vd., 2025). Motor kontrol ünitesi ise ESC ile senkronize çalışarak enerji dağılımını optimize etmekte ve sistemin genel verimliliğine katkı sunmaktadır. FPV sistemleri, gerçek zamanlı görüntü iletimi sağlayarak özellikle keşif ve lojistik uygulamalarda operasyonel kapasiteyi genişletmektedir. Kontrol alıcısı ve anten, yer istasyonu ile güvenli ve çift yönlü haberleşmeyi mümkün kılmaktadır. Genel olarak drone'lar, gelişmiş kontrol / haberleşme altyapılarıyla çeşitli alanlarda esnek ve verimli çalışan karmaşık mekatronik sistemlerdir (Ghambari vd., 2024; Villi & Yakar, 2022; Yiğit & Uysal, 2021) (Şekil 2).

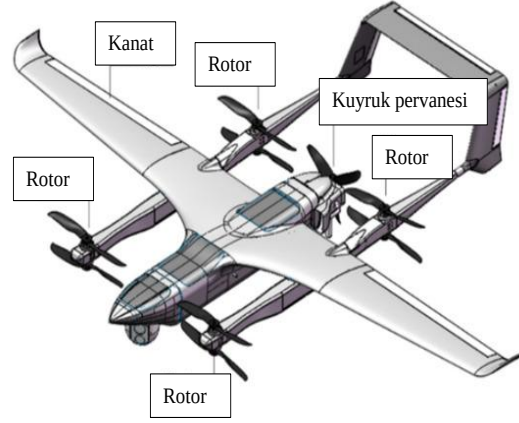
Şekil 3'te, sabit kanat ve döner kanat özelliklerini birleştiren hibrit bir İHA (VTOL) tasarımı görülmektedir. Bu yapı, dikey kalkış–iniş yeteneğini sabit kanatlı sistemlerin ileri uçuşta sağladığı aerodinamik verimlilikle bir araya getirmektedir (Bektaş vd., 2022; Cevher, 2023). Gövdeye entegre edilen çoklu rotorlar, dikey manevraların gerçekleştirilmesini mümkün kılarken; geniş kanat yapısı, ileri uçuş sırasında taşıma kuvveti üreterek enerji tüketimini

azaltmaktadır (Şekil 3). Kuyrukta konumlandırılan itki pervanesi ise ileri yönlü uçuşu destekleyerek platformun kararlılığını ve yön kontrolünü güçlendirmektedir (Yolcu, 2021; Arya, 2025; Qi vd., 2024; Rehan vd., 2022; Stokkermans vd., 2021). Bu hibrit yapı, dar alanlarda VTOL operasyonlarına olanak tanırken, uzun menzilli görevlerde sabit kanatlı hava araçlarına benzer bir aerodinamik performans sunmaktadır. Sonuç olarak hibrit İHA'lar, lojistik, keşif-gözetim, arama-kurtarma ve askeri görevlerde önemli operasyonel esneklik sağlayan ileri düzey bir mühendislik entegrasyonunu temsil etmektedir (Darvishpoor vd., 2025; Gasimzade, 2024) (Şekil 3).



Şekil 2. Çok rotorlu dronun temel yapısal ve elektronik bileşenleri.

Kaynak. Ghambari vd., 2024.

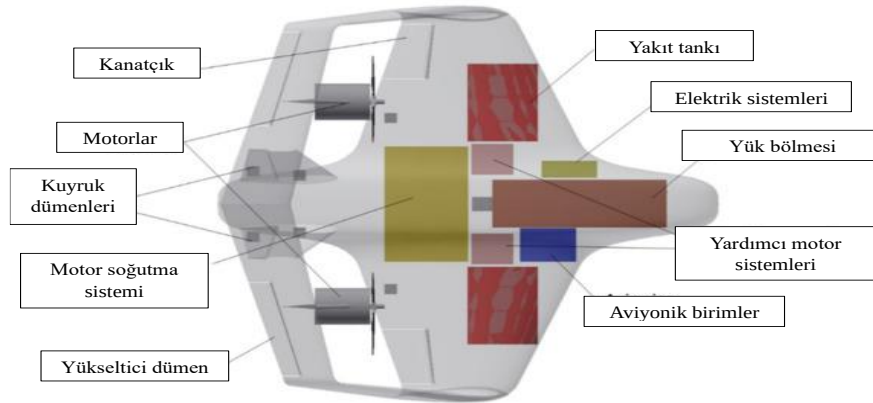


Şekil 3. Hibrit kanatlı dikey kalkış ve iniş insansız hava aracı (VTOL).

Kaynak. Zong vd., 2021.

B. Sabit Kanatlı İKU'larda Yapısal Tasarım ve Operasyonel İşleyiş

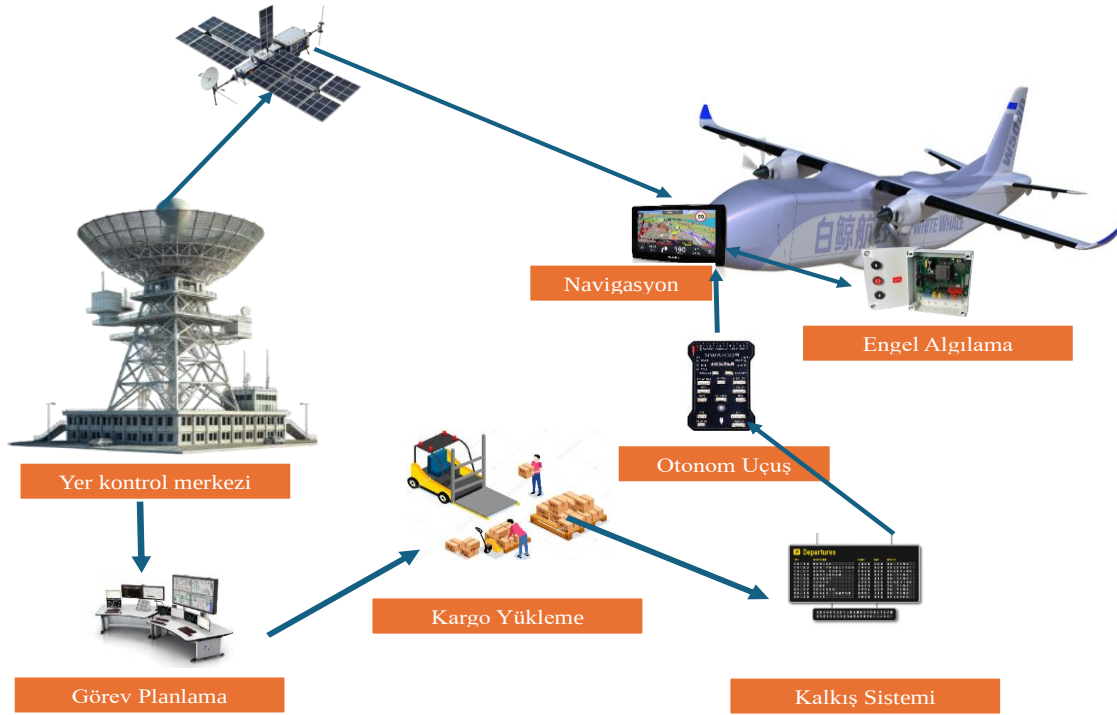
Sabit kanatlı İKU'ların temel yapısı Şekil 4'te sunulmaktadır. Bu tasarım, aerodinamik kontrol yüzeyleri, güç sistemleri, aviyonik birimler ve geniş kargo bölmesinin bütünleşik entegrasyonuna dayanmaktadır. Aileron, rudder ve elevator yüzeyleri, platformun manevra kabiliyetini artırmaktadır. Motor ve soğutma sistemleri ise sürekli itki üretimini güvence altına alarak uçuş güvenliğinin sürdürülmesine katkı sağlamaktadır (Santos, 2024; Özer, 2024; Babetto & Stumpf, 2021). Yakıt tankı, menzili belirleyen temel unsurdur. Elektrik ve aviyonik sistemler ise görev kontrolünü ve uçuş yönetimini desteklemektedir. Geniş kargo bölmesi, bu İKU'ların özellikle lojistik ve uzun menzilli operasyonlara yönelik olarak optimize edildiğini ortaya koymaktadır (Sachs, 2021; Hecken vd., 2021) (Şekil 4).



Şekil 4. İKU'ların temel yapısal ve elektronik bileşenleri.

Kaynak. Papadopoulos vd., 2022.

Şekil 5, İKU operasyonlarının sistem bütünlüğü içinde nasıl işlediğini göstermektedir. Operasyonlar; yer kontrol altyapısı, görev planlama, kargo yükleme, otonom uçuş, navigasyon, engel algılama ve kalkış sistemleri gibi birbirine entegre alt bileşenlerden oluşmaktadır (Austin, 2011; Ciolponea, 2022; Ariante & Del Core, 2025). Süreç yer kontrol merkezinde başlamakta; uçuş rotası, teslim noktaları ve operasyon parametreleri burada belirlenmektedir. Ardından kargo yükleme ile hazırlık tamamlanmakta, uçuş fazı ise otonom sistemler tarafından yönetilmektedir. Navigasyon ve uydu bağlantıları, rota takibini ve yer kontrol merkezi ile kesintisiz veri iletişimini sağlayarak uçuş güvenliğini artırmaktadır (McGee vd., 1998; Li vd., 2018). Engel algılama sistemleri çevresel riskleri belirleyip çarpışmaları önlemekte; böylece operasyonel güvenilirlik, zaman tasarrufu ve maliyet etkinliği sağlanmaktadır (Spandonidis vd., 2022; Jiang vd., 2016; Sampigethaya & Poovendran, 2013) (Şekil 5).



Şekil 5. İKU'ların operasyonel işleyişinin incelenmesi gösterimi.

Kaynak. Austin, 2011; Ciolponea, 2022; Ariante & Del Core, 2025.

C. İHA'lar ile Taşımacılıkta Öncü Uygulamalar ve Küresel Deneyimler

İHA'lar, 21. yüzyılda lojistik sektörde teknoloji temelli dönüşümün önemli bir unsuru olarak kabul edilmektedir (Deloitte, 2015; Garg, 2023). Lojistik operasyonlar, İHA'ların sağladığı hız ve etkinlikten büyük ölçüde faydalanabilir. Ancak mevcut altyapının olgunluğu nedeniyle teknolojik adaptasyon süreci nispeten yavaştır. İHA'lar küçük paketlerin dağıtımında kara taşıtlarına göre daha hızlı teslimat sağlar. Bununla birlikte bazı modeller, enerji tüketimi ve emisyon açısından dezavantajlı olabilir (Deloitte, 2015) (Tablo 2).

İHA'ların lojistik kullanımı başlangıçta askeri operasyonlarla sınırlı iken, zamanla ticari taşımacılığa da yayılmıştır (McCoy, 2003; Milgram vd., 2003). Günümüzde Amazon, DHL, UPS, Domino's Pizza ve DPD gibi şirketler İHA'ları aktif olarak kullanmaktadır. Amazon, Prime Air servisiyle 2,26 kg'a kadar olan paketleri 30 dakika içinde teslim etmeyi amaçlamaktadır. DHL ise Almanya'da zorlu iklim koşullarında 130 teslimat gerçekleştirmiş ve ağır ürün taşımacılığına başlamıştır (Tablo 2). UPS, tıbbi kampüslerde FAA onaylı teslimatlar sunarken, DPD Fransa'da haftalık ticari İHA rotası işletmektedir (Paşagüç Şkrinjar vd., 2018; Baghirov, 2018; Saleu, 2021). İHA teknolojisi, maliyet tasarrufu, hız ve erişim kolaylığı açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. Özellikle ulaşılması güç bölgelere teslimat imkânı sunması, bu teknolojinin değerini daha da artırmaktadır. Ayrıca, depo yönetimi ve acil tedarik zinciri süreçlerinde etkin bir rol üstlenmektedir. Yoğun nüfuslu bölgelerde güvenli ve hızlı dağıtım imkânı sunarak lojistik operasyonlarının verimliliğini artırmaktadır (Bae vd., 2016; Güner vd., 2017). İHA kullanımı lojistikle sınırlı kalmayıp sağlık, gıda ve perakende sektörlerinde de yaygınlaşmaktadır (Tablo 2).

İHA ile teslimat uygulamaları, 2012'den itibaren çeşitli ülkelerde hızla yayılmıştır. Matternet, 2012 yılında Haiti'deki mülteci kamplarına ilaç teslimatı gerçekleştirmiştir. 2016 yılında ise Lesotho'da kliniklerden hastanelere HIV test örneklerinin taşınmasında İHA teknolojisinin yararlanmıştır (The Guardian, 2013; Wang, 2016). Aynı yıl Zipline, Ruanda'da kan ve ilaç dağıtımı için operasyon başlatmış, Muhanga'dan 75 km uzaklıktaki hastanelere günde ortalama 1.400 kan örneği ulaştırmıştır (Samantarai & Dutta, 2024). Ticari kullanımda Amazon, 2016'da Prime Air servisi ile paketleri yaklaşık 30 dakikada teslim etmeyi başlatmış, Domino's Pizza aynı yıl İHA ile pizza teslimatını uygulamıştır (Prasad vd., 2022; Sudbury & Hutchinson, 2016). DHL, 2014'te Almanya'dan Joust Adası'na ilaç ve temel ihtiyaç malzemeleri taşımış; UPS ise 2017'de posta teslimatına başlamıştır (Stewart, 2017; Lin vd., 2018). Flytrex, 2017'de İzlanda'da yiyecek teslimat süresini araçla 25 dakikadan İHA ile 4 dakikaya düşürmüştür (Alvarez, 2020; Javadi & Winkenbach, 2021). Japonya'da Rakuten, Yokosuda adasına 5 kg'a kadar ürünleri 36 km/s hızla teslim ederek uzak adalara yapılan ilk İHA taşımacılığını gerçekleştirmiştir (Rakuten, 2019). Türkiye'de ise PTT, 7 kg'a kadar kargoları 20 km mesafeye taşıyabilecek İHA projeleri üzerinde çalışmalar yürütmektedir (UTİKAD, 2018) (Tablo 2).

Tablo 2. Küresel İHA'ları ile teslimat uygulamaları: operasyonel parametreler ve sektörel dağılım.

Firma 	Uçuş Mesafesi 	Teslimat Zamanı 	Ağırlık 	Ülke 
Perakendecilik ve E-Ticaret				
Amazon.com	16 km	13 dk.	< 2.27 kg	İngiltere
7-Eleven	1.6 km	< 10 dk.	-	ABD
Flytrex	9.2 km	4 dk.	< 2.72 kg	İzlanda
JD.com	< 100 km	-	< 5 kg	Çin
Rakuten	40 dk	5 dk.	< 5 kg	Japonya
Walmart	10 km	< 3 kg	< 3 kg	ABD
Posta Hizmetleri ve Posta Teslimi				
DHL	8 km	8 dk.	2 kg	Almanya
UPS	10 dk	10 dk.	< 4.5 kg	ABD
Yemek ve İçecek Teslimatı				
Francesco's	1.6 km	10 dk.	-	Mumbai
Domino's	1.6 km	10 dk.	-	Yeni Zelanda
Flytrex	10 km	4 dk.	< 2.72 kg	İzlanda
Sağlık ve Acil Servisler				
Matternet	20 km	15 dk.	2 kg	Lesotho, Afrika
TUDeft	12 km	1 dk.	4.4 kg	Hollanda
Alphabet	10 km	1.5 kg	1.5 kg	ABD, Avustralya
Flirtey	10 km	9 dk.	9 kg	ABD
HiRO	3 km	9 dk.	9.76 kg	ABD
Zipline	3 km	30 dk.	2 kg	Ruanda
Vayu	50 km	3 dk.	0.76 g	Rusya
Center for Resuscitation	10 km	3 dk.	0.76 g	ABD

Kaynak. Javadi & Winkenbach, 2021.

IV. YÖNTEM

Bu çalışma, insansız kargo uçaklarına (İKU) ilişkin teknolojik gelişmelerin yanı sıra operasyonel uygulamalar, ekonomik dinamikler ve düzenleyici çerçevelerin bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirilmesini amaçlayan nitel araştırma desenine dayanmaktadır. Araştırmada sistematik literatür taraması ile tematik içerik analizi birlikte kullanılmış, böylece hem kapsamlı bir veri toplama süreci hem de derinlemesine bir yorumlama imkânı sağlanmıştır. Çalışma süreci, şeffaflık, izlenebilirlik ve yeniden üretilebilirlik ilkeleri doğrultusunda PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) yaklaşımına uygun şekilde yapılandırılmıştır.

Araştırmanın kuramsal temeli, insansız hava sistemlerinin yalnızca teknik performans açısından değil; aynı zamanda operasyonel uygulanabilirlik, ekonomik sürdürülebilirlik ve düzenleyici uyumluluk boyutlarıyla birlikte ele alınması gerektiği varsayımına dayanmaktadır. Bu doğrultuda çok boyutlu sistem yaklaşımı benimsenmiş ve analiz süreci dört temel eksen etrafında kurgulanmıştır: (i) teknolojik altyapı ve platform özellikleri, (ii) operasyonel ve lojistik uygulamalar, (iii) ekonomik dinamikler ve pazar yapısı, (iv) düzenleyici ve kurumsal çerçeve. Bu yapı sayesinde İKU sistemleri yalnızca mühendislik performanslarıyla değil, aynı zamanda lojistik entegrasyon kapasiteleri ve regülasyon uyumları açısından da bütüncül biçimde değerlendirilmiştir.

Literatür taraması süreci disiplinler arası kapsamı geniş tutmak amacıyla farklı veri tabanları üzerinden yürütülmüştür. Uluslararası akademik yayınlar için Web of Science, Scopus ve IEEE Xplore veri tabanları kullanılmıştır. Bu veri tabanları, çok disiplinli akademik kapsama alanları ve yüksek indeksleme kapasiteleri nedeniyle tercih edilmiştir. Özellikle IEEE Xplore, mühendislik, yapay zekâ, otonom sistemler ve insansız hava teknolojileri alanındaki teknik çalışmaların incelenmesine olanak sağlamıştır. Türkçe literatürün dahil edilmesi amacıyla ise Google Scholar, DergiPark ve TR Dizin veri tabanlarından yararlanılmıştır. Bu kaynaklar, Türkiye merkezli akademik çalışmaların havacılık, lojistik ve savunma teknolojileri alanlarında sistematik biçimde incelenmesine imkân tanımıştır. Ayrıca ICAO, EASA, FAA ve IATA gibi uluslararası havacılık otoriteleri ile sektörel kuruluşlar tarafından yayımlanan teknik raporlar ve politika belgeleri de araştırma kapsamına dahil edilmiştir.

Tarama sürecinde “unmanned cargo aircraft”, “cargo UAV”, “freight drone”, “drone logistics”, “autonomous cargo aviation”, “unmanned air transport”, “UAV regulation” ve “autonomous airspace integration” gibi anahtar kelimeler kullanılmıştır. Bu anahtar kelimeler Boolean operatörleri (AND, OR) ile farklı kombinasyonlar halinde yapılandırılmış ve başlık, özet ile anahtar kelime alanları üzerinden sistematik tarama gerçekleştirilmiştir. Örneğin “cargo UAV AND logistics” ve “UAV regulation AND airspace integration” gibi kombinasyonlar aracılığıyla ilgili çalışmalar kapsamlı

biçimde analiz edilmiştir.

Çalışmada bibliyometrik analiz ya da meta-analiz yöntemleri tercih edilmemiş; bunun yerine içerik temelli karşılaştırmalı analiz yaklaşımı benimsenmiştir. Bu kapsamda literatürde yer alan çalışmalar, teknolojik yaklaşımları, operasyonel özellikleri ve araştırma odakları açısından karşılaştırılarak sınıflandırılmıştır. Elde edilen veriler; teknolojik gelişmeler, operasyonel uygulamalar ile ekonomik ve düzenleyici boyutlar olmak üzere tematik kategoriler altında değerlendirilmiştir. Bu tematik yapı, insansız hava sistemleri literatüründe yaygın olarak kullanılan çok boyutlu değerlendirme modellerinden uyarlanmış ve Merkert ve Bushell (2020), Javadi ve Winkenbach (2021) ile Precedence Research (2025) gibi çalışmalardan yararlanılarak geliştirilmiştir.

Araştırmaya dahil edilen çalışmalar belirli kriterler doğrultusunda seçilmiştir. Buna göre yayınların 2015–2025 yılları arasında yayımlanmış olması, hakemli makale, teknik rapor veya kurumsal politika belgesi niteliği taşıması, doğrudan İKU tasarımı, operasyonu, pazar analizi veya düzenleyici çerçeveye odaklanması ve Türkçe ya da İngilizce olması temel dahil edilme kriterleri olarak belirlenmiştir. Buna karşılık yalnızca hobi amaçlı mini İHA'lara odaklanan çalışmalar, kargo taşımacılığı içermeyen askeri uygulamalar, blog yazıları, görüş metinleri ve doğrulanabilirliği düşük çevrimiçi kaynaklar kapsam dışında bırakılmıştır.

Literatür taraması Ocak 2025 ile Mart 2025 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada yaklaşık 120 yayın belirlenmiş, yinelenen kayıtların çıkarılmasının ardından 94 çalışma değerlendirmeye alınmıştır. Başlık ve özet incelemesi sonucunda 32 çalışma kapsam dışı bırakılmış, tam metin inceleme sonrasında ise araştırma kriterlerini karşılamayan çalışmalar elenerek toplam 48 yayın nihai örnekleme dahil edilmiştir. Sürecin şeffaflığını artırmak amacıyla seçim aşamaları PRISMA akış diyagramı ile sistematik biçimde gösterilmiştir. Elde edilen veriler standart veri kayıt formlarına aktararak sistematik biçimde kodlanmıştır. Her çalışma; kullanılan İKU teknolojisi, operasyon modeli, uygulama alanı, düzenleyici boyutlar, güvenlik unsurları, fırsatlar ve sınırlılıklar açısından ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Kodlama sürecinde tematik analiz yaklaşımı benimsenmiş ve açık kodlama ile eksenel kodlama yöntemleri birlikte kullanılmıştır. İlk aşamada çalışmaların temel kavramları ve araştırma odakları açık kodlama ile belirlenmiş, ikinci aşamada benzer kodlar bir araya getirilerek daha üst düzey temalar oluşturulmuştur. Bu süreç, literatürdeki ortak eğilimlerin, farklılaşan yaklaşımların ve araştırma boşluklarının sistematik biçimde ortaya konmasını sağlamıştır. Analiz sonucunda elde edilen bulgular üç ana eksen altında yapılandırılmıştır: teknolojik eğilimler, operasyonel ve lojistik uygulamalar ile düzenleyici ve kurumsal dinamikler. Bu sınıflandırma sayesinde farklı İKU platformları teknik, ekonomik ve düzenleyici boyutlarıyla karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Bulgular, çalışmanın ilerleyen bölümünde tematik yapı doğrultusunda ayrıntılı biçimde sunulmuştur.

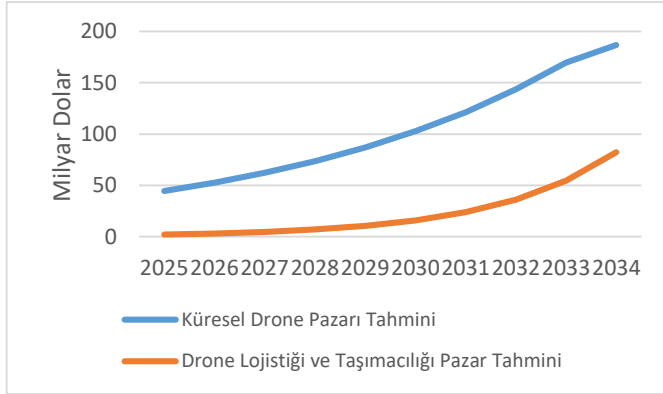
Araştırmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Çalışma büyük ölçüde yayımlanmış akademik kaynaklara ve kurumsal raporlara dayandığından, doğrudan saha verileri ve ticari operasyonlara ilişkin güncel uygulamalar sınırlı düzeyde temsil edilmiştir. Ayrıca bazı ticari projelere ait teknik ve finansal verilerin gizlilik nedeniyle erişilebilir olmaması değerlendirme sürecini kısmen sınırlandırmıştır. İKU teknolojilerinin hızlı gelişim göstermesi nedeniyle, bazı güncel uygulamaların araştırma sürecinden sonra değişmiş olabileceği de göz önünde bulundurulmalıdır. Bununla birlikte literatürde enerji verimliliği, operasyonel maliyetler, hava sahası entegrasyonu ve düzenleyici uyumluluk gibi konularda farklı ve zaman zaman çelişkili bulgulara rastlanmıştır. Bazı çalışmalar İKU sistemlerinin geleneksel lojistik yöntemlere göre önemli maliyet avantajları sunduğunu belirtirken, bazıları batarya kapasitesi, enerji verimliliği ve operasyonel güvenlik maliyetlerinin ölçeklenebilirliği sınırladığını ortaya koymaktadır. Benzer şekilde, kentsel hava mobilitesi uygulamalarının sürdürülebilirliği konusunda literatürde ortak bir görüş birliği bulunmamaktadır. Bu nedenle çalışma kapsamında yalnızca ortak eğilimler değil, aynı zamanda çelişkili bulgular ve araştırma boşlukları da bütüncül biçimde değerlendirilmiştir.

V. BULGULAR

A. Küresel İHA ve Drone Pazarının Ekonomik Analizi

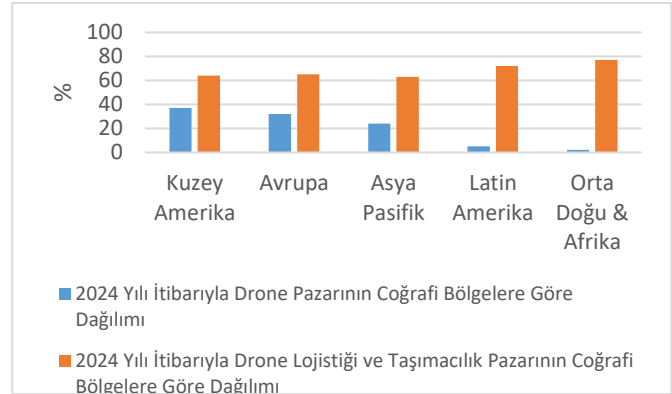
Küresel İHA ve drone pazarının 2024–2034 döneminde 44,54 milyar dolardan 186,79 milyar dolara yükselmesi, sektörün yalnızca niceliksel olarak büyümediğini, aynı zamanda kullanım alanlarının çeşitlenmesiyle yapısal bir dönüşüm sürecine girdiğini göstermektedir. Özellikle drone lojistiği segmentinin aynı dönemde 2,05 milyar dolardan 82,24 milyar dolara ulaşmasının öngörülmesi, sektör içindeki büyümenin homojen dağılmadığını ve lojistik odaklı uygulamaların ekonomik büyümenin temel sürükleyicisi hâline geldiğini ortaya koymaktadır. Bu durum, İHA teknolojilerinin yalnızca teknolojik yenilik ekseninde değil, aynı zamanda küresel tedarik zinciri dönüşümünün bir parçası olarak değerlendirildiğini göstermektedir (Precedence Research, 2025a) (Şekil 6). Pazardaki bu hızlı genişleme, özellikle son kilometre teslimat süreçlerinde maliyet azaltma, teslimat hızını artırma ve operasyonel esnekliği geliştirme baskısıyla doğrudan ilişkilidir. Geleneksel lojistik sistemlerinde yaşanan zaman kaybı, trafik yoğunluğu ve erişim problemleri, drone tabanlı lojistik çözümlerini alternatif bir yöntem olmaktan çıkararak stratejik bir lojistik bileşene dönüştürmektedir. Bununla birlikte, hava sahası yönetimi, güvenlik standartları ve regülasyon uyumsuzlukları gibi yapısal sorunlar, sektörün küresel ölçekte dengeli büyümesini sınırlayan temel faktörler arasında yer almaktadır. Bu durum, teknolojik kapasite ile düzenleyici altyapı arasındaki ilişkinin sektörün ekonomik sürdürülebilirliği açısından belirleyici olduğunu göstermektedir.

Bölgesel dağılım incelendiğinde, genel İHA pazarında Kuzey Amerika (%37) ve Avrupa'nın (%32) baskın konumda olduğu görülmektedir. Buna karşın drone lojistiği segmentinde bölgeler arasındaki farkın belirgin ölçüde azaldığı ve kullanımın daha yaygın bir yapıya dönüştüğü dikkat çekmektedir. Özellikle Latin Amerika (%72) ile Orta Doğu-Afrika (%77) bölgelerinde lojistik drone kullanım oranlarının daha yüksek seviyelere ulaşması, bu teknolojinin yalnızca gelişmiş ekonomilere özgü bir inovasyon olmadığını göstermektedir. Altyapı eksiklikleri, ulaşım maliyetleri ve erişim sorunları, söz konusu bölgelerde drone lojistiğinin operasyonel bir zorunluluk olarak benimsenmesini hızlandırmaktadır (Precedence Research, 2025a) (Şekil 7). Bu bulgular, drone lojistiğinin ekonomik büyümesinin yalnızca teknolojik gelişmişlik düzeyiyle açıklanamayacağını ortaya koymaktadır. Literatürde gelişmiş ülkelerin teknoloji adaptasyonunda öncü olduğu vurgulansa da mevcut veriler, altyapı yetersizliklerinin bulunduğu bölgelerde operasyonel ihtiyaç yoğunluğunun teknoloji benimsemesini daha hızlı tetikleyebildiğini göstermektedir. Dolayısıyla sektörün büyüme dinamikleri; ekonomik kapasite, lojistik ihtiyaç yoğunluğu, altyapı eksikliği ve düzenleyici esneklik gibi çok boyutlu faktörlerin etkileşimi çerçevesinde şekillenmektedir (Alqudsi vd., 2026, ss. 1-23; Muratoğlu, 2019).



Şekil 6. Küresel İHA pazarı ile drone lojistiği pazarının 2025–2034 dönemi büyüme tahmini (Milyar Dolar).

Kaynak. Precedence Research, 2025a; Precedence Research, 2025b.



Şekil 7. Küresel İHA sektörü ve drone lojistiği segmentinin 2024 yılı bölgesel dağılımı.

Kaynak. Precedence Research, 2025a; PwC, 2024.

Tablo 3'te yer alan veriler, İHA lojistiği ve taşımacılığı pazarının belirli operasyonel kullanım senaryoları etrafında yoğunlaştığını ve bu yoğunlaşmanın teknolojik kapasite ile operasyonel kısıtlar tarafından şekillendirildiğini göstermektedir. Taşıma kapasitesinin büyük ölçüde 5 kg ve altındaki sistemlerde yoğunlaşması, sektörün hâlen mikro ölçekli teslimat, e-ticaret siparişleri ve yüksek frekanslı son kilometre lojistik operasyonlarına odaklandığını ortaya koymaktadır. Bu durum, mevcut pazar yapısının ağır yük taşımacılığından ziyade düşük hacimli ancak hızlı teslimat gerektiren operasyon modelleri üzerinden büyüdüğünü göstermektedir. Buna karşılık 50 kg ve üzeri taşıma kapasitesine sahip İKU sistemlerinin düşük payda kalması, ağır yük hava lojistiğinin henüz ticari ölçeklenme aşamasına ulaşmadığını ve büyük ölçüde pilot uygulamalar ya da sınırlı operasyon alanlarıyla ilişkili olduğunu düşündürmektedir. Bu dağılım, teknolojik gelişmelere rağmen enerji verimliliği, operasyon maliyetleri ve düzenleyici sınırlamaların ağır yük segmentinde ekonomik sürdürülebilirliği sınırlandırdığını göstermektedir.

Menzil dağılımında 25–100 km bandındaki yoğunlaşma, İHA tabanlı lojistik sistemlerin özellikle yarı kentsel ve kırsal lojistik koridorlarında depo, dağıtım merkezi ve teslimat noktaları arasında tamamlayıcı bir taşıma modu olarak konumlandığını ortaya koymaktadır. Bu yapı, drone lojistiğinin bağımsız bir ulaştırma sistemi olmaktan çok mevcut lojistik ağlarla entegre çalışan hibrit bir operasyon modeli hâline geldiğini göstermektedir. Uzun menzilli operasyonların düşük payda kalması ise yalnızca teknik kapasite eksikliğiyle değil; batarya yoğunluğu, enerji tüketimi, hava sahası entegrasyonu ve operasyonel maliyetler gibi çok boyutlu yapısal sorunlarla ilişkilendirilebilir. Literatürde bazı çalışmalar uzun menzilli İHA sistemlerinin yakın gelecekte geleneksel hava taşımacılığına alternatif oluşturabileceğini ileri sürse de mevcut pazar verileri, sektörün kısa ve orta vadede daha çok bölgesel ve tamamlayıcı lojistik çözümler üzerinden gelişeceğine işaret etmektedir (Hasan, & Sachs, 2021, ss. 107-131; Guan vd., 2023, ss. 366-378; Hasan vd., 2018, ss. 571-586).

Platform türleri açısından değerlendirildiğinde, yolcu taşımaya yönelik eVTOL sistemlerinin görece yüksek paya sahip olması, sektörün yalnızca lojistik taşımacılıkla sınırlı kalmadığını, aynı zamanda kentsel hava mobilitesi ekseninde de genişleme eğilimi gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte yük taşımacılığı odaklı İKU platformlarının önemli bir pazar payını koruması, lojistik uygulamaların kısa ve orta vadede sektörün temel büyüme dinamiği olmaya devam edeceğini göstermektedir. Bu durum, İHA ekosisteminin çift yönlü bir dönüşüm yaşadığını; bir tarafta insan taşımacılığına yönelik hava mobilitesi çözümlerinin, diğer tarafta ise lojistik ve yük taşımacılığı odaklı operasyonel sistemlerin eş zamanlı olarak geliştiğini ortaya koymaktadır (Global Market Insights Inc., 2026; Kaitwade, 2025) (Tablo 3).

Tablo 3. İHA lojistiği ve taşımacılığı pazarının taşıma kapasitesi, operasyon menzili ve platform türüne göre dağılımı (%).

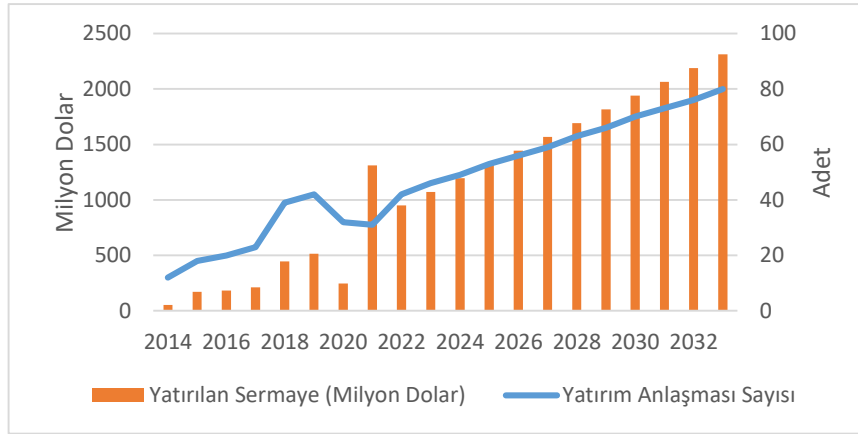
Kategori	Alt Kırılım	Pazar Payı (%)	Kategori	Alt Kırılım	Pazar Payı (%)
Taşıma kapasitesi	5 kg ve altında	48,9	Menzil	Orta menzil (25–100 km)	47,9
	5–20 kg	25,1		Kısa menzil (0–25 km)	32,4
	20–50 kg	18,0		Uzun menzil (100 km üzeri)	19,7
	50 kg ve üstü	8,0	Platform türü	Yolcu (Passenger) dronları	58,4
				Yük (Freight) dronları	41,6

Kaynak. Global Market Insights Inc. 2026; Kaitwade, 2025.

Şekil 8’de yer alan veriler, 2014–2033 döneminde kargo İHA girişimlerine yönelik girişim sermayesi yatırımlarının yalnızca niceliksel olarak artmadığını, aynı zamanda yatırım davranışlarının yapısal olarak dönüşüm geçirdiğini göstermektedir. 2014 yılında 12 yatırım anlaşmasına karşılık yaklaşık 54 milyon dolar seviyesinde olan yatırım hacminin 2018 yılı itibarıyla 447 milyon dolara yükselmesi, erken aşama teknoloji girişimlerine yönelik yatırımcı ilgisinin hızla arttığını ortaya koymaktadır. Bu artış, sektörün deneysel uygulama aşamasından çıkarak ticari uygulanabilirlik yönünde ilerlemeye başladığı ve yatırımcıların teknolojik olgunlaşmaya paralel olarak daha yüksek risk toleransı göstermeye yöneldiği bir döneme işaret etmektedir.

2021 yılında yatırım anlaşması sayısında azalma görülmesine rağmen toplam yatırım hacminin 1,31 milyar dolara ulaşması, sermaye dağılımında yoğunlaşma eğiliminin güçlendiğini göstermektedir. Bu durum, yatırımcıların daha az sayıda ancak ölçeklenebilirliği, teknolojik kapasitesi ve ticari potansiyeli daha yüksek girişimlere yöneldiğini ortaya koymaktadır. Dolayısıyla sektörün, geniş tabanlı erken aşama yatırım modelinden çıkarak daha seçici, performans odaklı ve kurumsal yatırım yapısına evrilmeye başladığı değerlendirilmektedir. Bu eğilim aynı zamanda pazarda rekabet avantajının yalnızca yenilikçi fikirlerden değil; operasyonel uygulanabilirlik, regülasyon uyumu ve sürdürülebilir iş modeli geliştirme kapasitesinden kaynaklanmaya başladığını göstermektedir.

2023 sonrasında yatırım hacminin 2033 yılına kadar kademeli olarak 2,31 milyar dolara ulaşacağını öngörülmesi, kargo İHA teknolojilerinin spekülasyon bir yatırım alanı olmaktan çıkarak uzun vadeli stratejik yatırım kategorisine dönüştüğünü göstermektedir. Bu projeksiyon, yalnızca pazar büyümesi beklentisiyle değil; düzenleyici çerçevenin daha öngörülebilir hâle gelmesi, operasyonel güvenilirliğin artması ve ölçeklenebilir lojistik modellerinin gelişmesiyle de ilişkilendirilebilir. Bununla birlikte literatürde bazı çalışmalar sektörün hızlı ölçeklenmesini desteklerken, bazı araştırmalar yüksek operasyon maliyetleri, enerji depolama sınırlılıkları ve hava sahası entegrasyonu gibi yapısal sorunların yatırım geri dönüş sürelerini uzatabileceğini ileri sürmektedir. Bu durum, sektörün yatırım açısından yüksek büyüme potansiyeli taşımasına rağmen hâlen önemli yapısal belirsizlikler içerdiğini göstermektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde, kargo İHA sektörünün yatırım dinamikleri açısından olgunlaşma sürecine girdiği ve rekabetin giderek teknoloji üstünlüğü, operasyonel verimlilik, ölçeklenebilirlik ve düzenleyici uyum ekseninde şekillendiği anlaşılmaktadır (Baur, 2022; Hasan, & Sachs, 2021, ss. 107-131; Guan vd., 2023, ss. 366-378; Hasan vd., 2018, ss. 571-586) (Şekil 8).



Şekil 8. Küresel kargo İHA girişimlerine yönelik girişim sermayesi yatırımlarının 2014–2033 dönemi gelişim trendi.

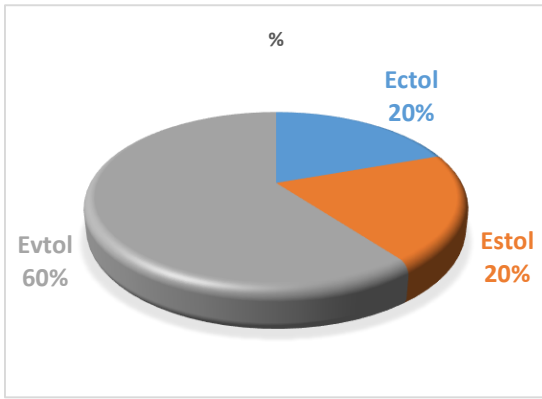
Kaynak. Baur, 2022.

B. Küresel Dikey Kalkış ve İniş (VTOL) Yapan İHA Pazarının Ekonomik Analizi

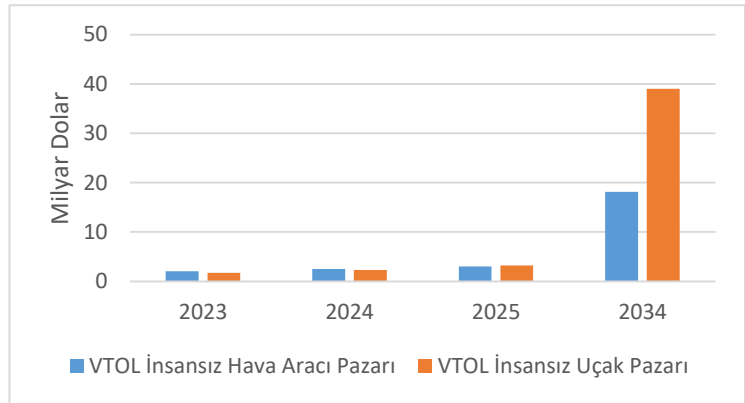
Dikey kalkış ve iniş (VTOL) özellikli İHA'lar, operasyonel esneklikleri ve sabit pist bağımlılığını ortadan kaldırmaları nedeniyle insansız hava aracı pazarında yapısal bir avantaj elde etmektedir. Bu bağlamda eVTOL sistemlerinin %60,22'lik payla baskın konumda olması, teknolojik tercihlerin giderek kentsel hava mobilitesi ve esnek görev icrasına yöneldiğini göstermektedir. Bu durum, özellikle yoğun nüfuslu alanlarda altyapı bağımlılığını azaltan ve hızlı konuşlanma sağlayan sistemlerin daha yüksek benimsenme oranına ulaştığını ortaya koymaktadır. Buna karşılık eSTOL ve eCTOL sistemlerinin sırasıyla %20,24 ve %19,54 seviyelerinde kalması, bu platformların daha yüksek altyapı gereksinimleri nedeniyle operasyonel esneklik açısından sınırlı kaldığını düşündürmektedir. Bu dağılım, piyasanın sabit altyapıya bağımlı

çözümlerden ziyade, bağımsız operasyon kabiliyeti yüksek sistemlere doğru kaydığını göstermektedir. Dolayısıyla teknolojik tercihlerin yalnızca performans değil, aynı zamanda operasyonel erişilebilirlik ve şehir içi entegrasyon kapasitesi tarafından belirlendiği anlaşılmaktadır (Precedence Research, 2025c) (Şekil 9).

Şekil 10, VTOL özellikli İHA pazarı ve VTOL insansız uçak pazarının 2023–2034 döneminde genel olarak yükselen bir büyüme eğilimi sergilediğini ortaya koymaktadır. 2023–2025 döneminde daha kademeli bir artış gözlenirken, özellikle 2030 sonrasında büyümenin hızlanması, sektörün erken benimseme fazından ölçeklenme fazına geçtiğine işaret etmektedir. Bu süreçte VTOL insansız uçak segmentinin 39 milyar dolara ulaşması, uzun menzil kapasitesi, yüksek taşıma kabiliyeti ve lojistik entegrasyon avantajlarının yatırım tercihlerini bu segmente yönlendirdiğini göstermektedir. Buna karşılık VTOL özellikli İHA pazarının 18,13 milyar dolarlık daha sınırlı bir büyüklükte kalması, bu segmentin daha çok kısa mesafe, esnek ve operasyonel olarak düşük maliyetli kullanım alanlarında konumlandığını ortaya koymaktadır. Bu farklılaşma, pazarın tek tip bir büyüme göstermediğini; aksine kullanım senaryolarına göre segmentleştirdiğini göstermektedir. Ayrıca her iki pazarda da teknolojik olgunlaşma ve düzenleyici çerçevelerin netleşmesinin ticarileşmeyi hızlandıracağı öngörülmektedir. Bununla birlikte, orta ve uzun vadede yatırım ve politika önceliklerinin giderek daha fazla “yük kapasitesi yüksek ve lojistik entegrasyon kabiliyeti güçlü” VTOL uçak platformlarına kaydığı anlaşılmaktadır. (Munde & Palwe, 2025) (Şekil 10).

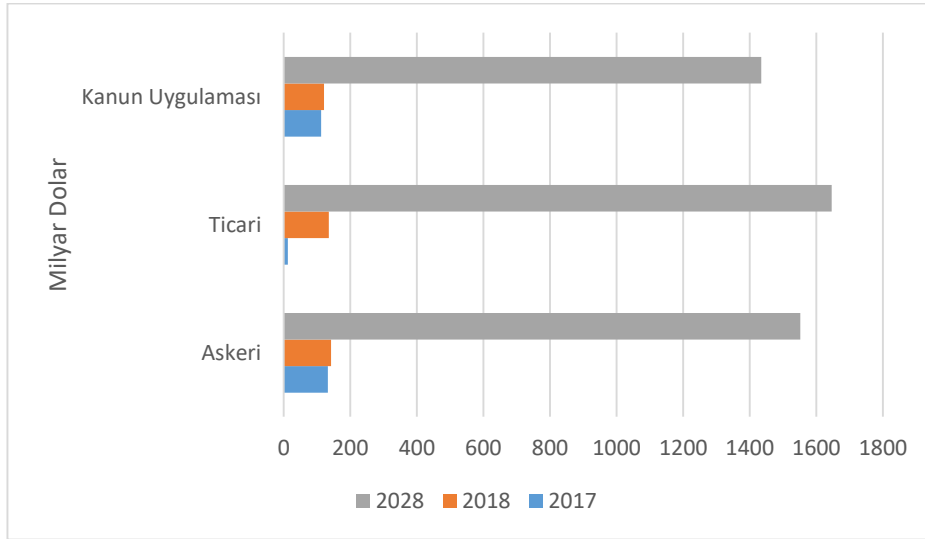


Şekil 9. Elektrikli İHA'ların kalkış-iniş kapasitesine göre segment dağılımı.
Kaynak. Precedence Research, 2025c.



Şekil 10. 2023–2034 döneminde VTOL özellikli İHA ve VTOL insansız uçak pazarlarının büyüme eğilimi.
Kaynak. Munde & Palwe, 2025, Market.us, 2025.

Şekil 11, 2017–2018 döneminde VTOL özellikli İHA pazarının askerî, ticari ve kanun uygulamaları segmentlerinin tamamında eş zamanlı bir büyüme eğilimine girdiğini göstermektedir. 2017 yılında askerî, ticari ve kanun uygulamaları segmentleri sırasıyla 133,2; 12,9 ve 112,4 milyon dolar seviyelerindeyken, 2018 yılı itibarıyla tüm segmentlerde belirgin bir artış yaşanmıştır. Bu durum, VTOL teknolojisinin erken benimseme aşamasından çıkarak farklı kullanım alanlarında eş zamanlı olarak yaygınlaşmaya başladığını ortaya koymaktadır. 2028 projeksiyonlarına göre askerî (1.551,6 milyon dolar), ticari (1.646 milyon dolar) ve kanun uygulamaları (1.435 milyon dolar) segmentlerinin tamamının milyar dolar ölçeğine ulaşması, pazarın niş bir teknoloji alanından çıkarak çok sektörlü bir uygulama ekosistemine dönüştüğünü göstermektedir. Özellikle ticari segmentin askerî segmente yakın bir büyüklüğe ulaşması, VTOL teknolojisinin sivil kullanım alanlarında hızla kurumsallaştığını ve savunma dışı talebin giderek belirleyici hale geldiğini ortaya koymaktadır. Bu yapı, pazar büyümesinin yalnızca savunma harcamalarına değil, aynı zamanda lojistik, kamu hizmetleri ve ticari taşımacılık ihtiyaçlarına da bağlı olduğunu göstermektedir (Nextech Online, 2025). Genel olarak bu eğilim, VTOL sistemlerinin kullanım alanlarının çeşitlenmesiyle birlikte pazarın “tek merkezli askerî teknoloji” yapısından “çok merkezli uygulama ekosistemi” yapısına doğru evrildiğini ortaya koymaktadır. Literatürle karşılaştırıldığında, VTOL platformlarının operasyonel esneklik ve dikey iniş-kalkış kabiliyeti sayesinde özellikle kentsel hava mobilitesi ve kısa mesafe lojistik uygulamalarında avantaj sağladığı bulguları bu çalışmayla uyumludur. Bununla birlikte, enerji verimliliği ve batarya kapasitesi sınırlılıkları hâlen temel kısıtlayıcı faktörler olarak öne çıkmaktadır. Bu durum, VTOL sistemlerinin uzun menzilli ve yüksek yük kapasiteli operasyonlara ölçeklenmesinin, yalnızca aerodinamik ve tasarım geliştirmelerine değil, aynı zamanda batarya teknolojilerindeki ilerlemelere de bağlı olduğunu göstermektedir (Nextech Online, 2025) (Şekil 11).



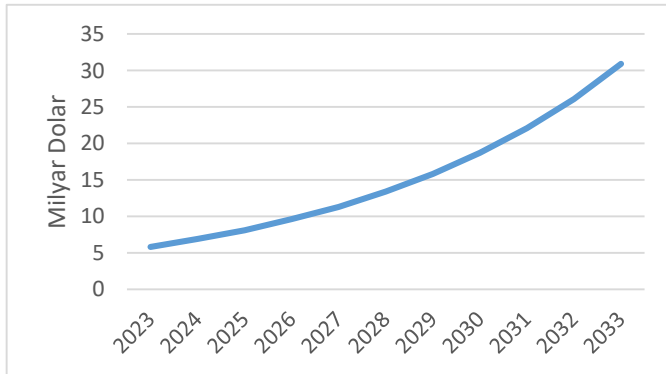
Şekil 11. 2017–2028 yılları arasında VTOL İHA'larının askerî, ticari ve kanun uygulamaları pazarlarının (milyon dolar bazında) dağılımı.

Kaynak. Nextech Online, 2025.

C. Küresel İKU'ların Pazar Analizi

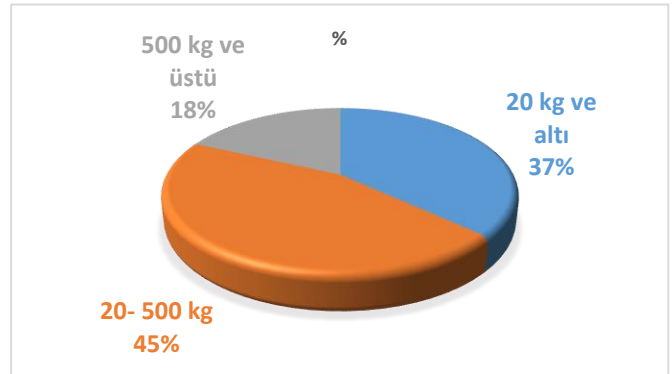
2023–2033 döneminde İKU pazarının güçlü bir büyüme eğilimi sergilemesi beklenmektedir. Pazar büyüklüğünün 2023'te 5,8 milyar dolardan 2030'da 18,7 milyar dolara ve 2033'te 30,9 milyar dolara ulaşacağı öngörüsü, bu sistemlerin kısa vadeli bir teknoloji trendi olmaktan çıkarak uzun vadeli bir lojistik altyapı bileşeni haline geldiğini göstermektedir. Bu büyüme, özellikle küresel tedarik zincirlerinde hız, esneklik ve erişilebilirlik ihtiyacının artmasıyla ilişkilendirilebilir. Dolayısıyla İKU teknolojilerinin gelişimi, yalnızca hava aracı inovasyonu değil, aynı zamanda lojistik sistemlerin yeniden yapılandırılması sürecinin bir parçası olarak değerlendirilmektedir (Market.us, 2024) (Şekil 12).

Taşıma kapasitesi açısından bakıldığında, İKU pazarının orta yük segmentinde (20–500 kg) yoğunlaştığı ve bu segmentin %45 ile en yüksek paya sahip olduğu görülmektedir. Bu durum, sektörün ağırlıklı olarak ticari lojistik ve bölgesel dağıtım operasyonlarına odaklandığını ve ölçeklenebilirliğin bu segment üzerinden sağlandığını göstermektedir. 20 kg ve altındaki küçük İKU'ların %36,8'lik payı, özellikle hızlı teslimat ve düşük hacimli kargo taşımacılığına yönelik talebin güçlü olduğunu ortaya koymaktadır. Buna karşılık 500 kg ve üzeri ağır yük segmentinin %18,1 ile sınırlı kalması, yüksek taşıma kapasitesine sahip sistemlerin henüz daha niş ve operasyonel olarak maliyetli kullanım alanlarında konumlandığını göstermektedir. Bu dağılım, pazarın teknik kapasiteden ziyade operasyonel verimlilik ve ekonomik uygunluk ekseninde şekillendiğini ortaya koymaktadır (Global Market Insights, 2025) (Şekil 13). Literatür, İHA tabanlı lojistik sistemlerinin özellikle hız, maliyet avantajı ve erişilebilirlik açısından önemli potansiyeller sunduğunu vurgulamaktadır. Bu çalışmanın bulguları da söz konusu avantajları desteklemekle birlikte, sistemin ölçeklenebilirliğini sınırlayan kritik yapısal faktörleri de ortaya koymaktadır. Özellikle hava sahası yönetimi, siber güvenlik gereksinimleri ve uluslararası mevzuat farklılıkları, İKU tabanlı lojistik ağların küresel ölçekte standartlaşmasını zorlaştırmaktadır. Bu durum, teknolojik kapasite artışına rağmen operasyonel yaygınlaşmanın regülasyon ve güvenlik çerçevelerine yüksek derecede bağımlı olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla sektörün sürdürülebilir büyümesi, yalnızca mühendislik gelişmelerine değil, aynı zamanda uluslararası düzenleyici uyumun sağlanmasına da bağlıdır (Hasan, & Sachs, 2021, ss. 107-131; Guan vd., 2023, ss. 366-378; Hasan vd., 2018, ss. 571-586).



Şekil 12. 2023–2033 yılları arasında İKU pazarının milyar dolar bazında projeksiyonu.

Kaynak. Market.us, 2024.

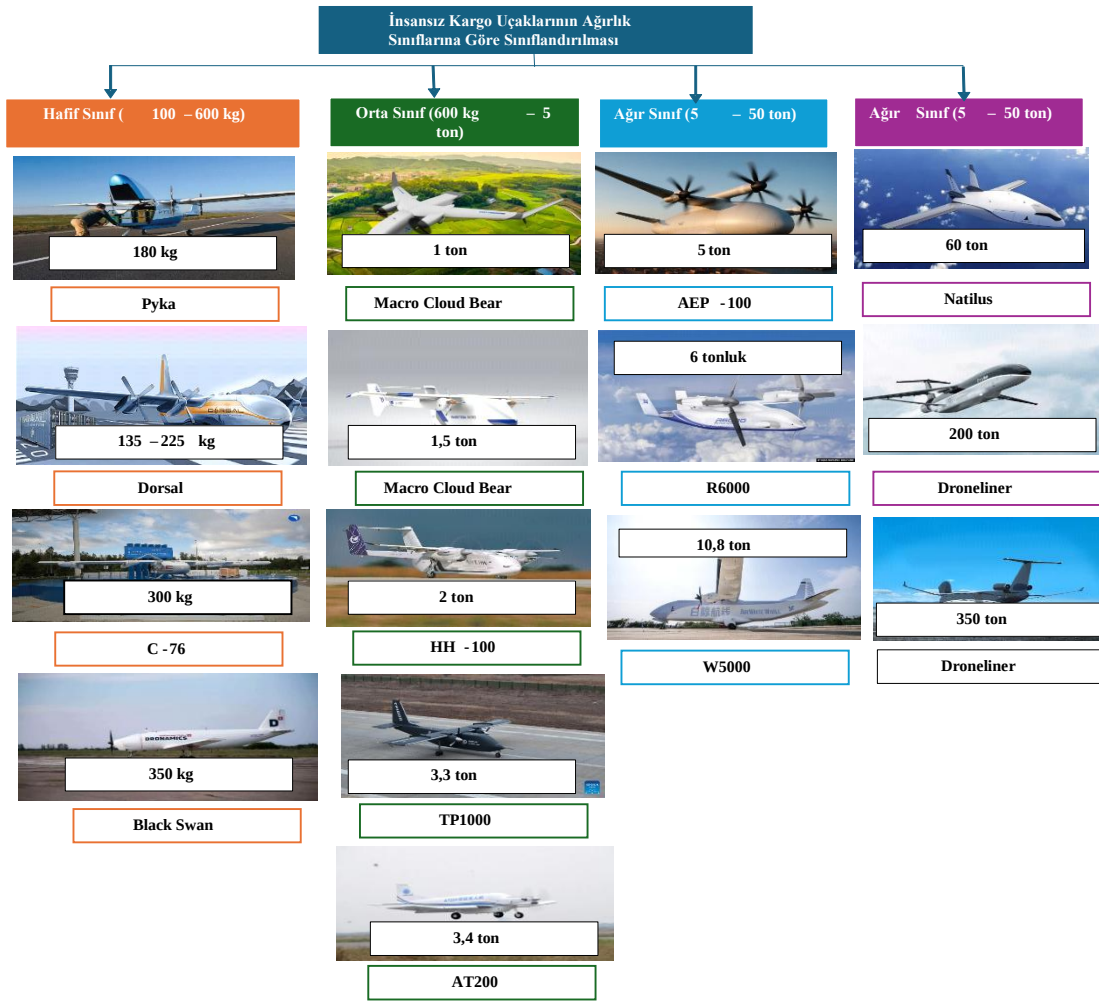


Şekil 13. İKU'ların taşıma kapasitesine göre yüzdelik dağılımı.

Kaynak. Global Market Insights, 2025.

D. Küresel Ölçekte Geliştirilen İKU'lardan Örnekler

İKU'lar, faydalı yük kapasitesi ve menzil kriterlerine göre farklı segmentlerde geliştirilmektedir. Natilus'un büyük kargo İHA'ları, elmas biçimli yük alanı ve karma kanat-gövde tasarımı sayesinde standart uçaklara kıyasla %60 daha fazla taşıma kapasitesi sunmaktadır (Mebrat vd., 2025; Bolz & Nowacki, 2023). Ayrıca, bu tasarım daha iyi yakıt verimliliği sağlamaktadır. Modeller, 3,8–130 ton faydalı yük ve kısa, orta ve uzun menzil seçenekleri sunmakta, karbon emisyonlarını %50 azaltmayı hedeflemektedir (Houser, 2022). Air White Whale W5000, 5 ton faydalı yük taşıma kapasitesi ve 2.600 km menzil sunan turboprop motorlu bir modeldir. Bu İKU, standart kargo paletleriyle uyumlu olup, çeşitli havaalanlarından operasyon gerçekleştirebilmektedir (Chua, 2024). Dronamics Black Swan, hafif kompozit kanatlara sahip olup, 350 kg kargo taşıyabilmekte ve karbon nötr uçuş potansiyeline sahiptir; şehirler arası hızlı kargo taşımacılığı hedeflenmektedir (Piwek, 2024; Andonova vd., 2019). AVIC Xi'an HH-100, 700 kg yük taşıma kapasitesine ve 520 km menzile sahip çift motorlu bir insansız uçaktır. Özellikle Çin'in ekspres teslimat sektörüne hizmet vermek amacıyla alçak irtifa hava sahasında kullanılmaktadır (Lei, 2024; Vashchenko vd., 2024). AT200 modeli, 1,5 ton kargo taşıma kapasitesi ve 10 m³ kargo hacmi ile kısa pistlerde operasyon yapabilmektedir (Airport Technology, 2017; Serbezov, 2019). United Aircraft Lanying R6000, tiltrotor tasarımıyla 2 ton faydalı yük taşıyabilmekte, 550 km/s maksimum seyir hızı ve 4.000 km menzil sunmaktadır (Ku, 2024). S-76 ise dikey kalkış ve iniş kabiliyetine sahip, 50–300 kg yük kapasiteli modelleriyle sivil ve askeri lojistik görevler için tasarlanmış entegre bir sistemdir (Dubois, 2024) (Şekil 14).



Şekil 14. İKU'ların taşıma kapasitesine göre sınıflandırılması.

Kaynak. Houser, 2022; Chua, 2024; Ku, 2024; Lei, 2024; Dubois, 2024 kaynaklarından yararlanarak yazar tarafından oluşturulmuştur.

D.1. İKU Platformlarının Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi

İnsansız kargo uçakları (İKU), operasyonel gereksinimler ve görev profillerindeki çeşitlilik nedeniyle farklı platform mimarileri üzerinden gelişim göstermektedir. Bu çerçevede sabit kanatlı, VTOL, hibrit, multirotor, tilt-rotor/tilt-wing, hava gemisi (dirigible), tethered (kablolu) sistemler ve sürü (swarm) tabanlı yapılar, literatürde İKU ekosisteminin temel bileşenleri olarak değerlendirilmektedir. Söz konusu platformlar, aerodinamik yapı, enerji tüketimi, operasyonel esneklik ve altyapı bağımlılığı gibi kriterler açısından belirgin farklılıklar göstermektedir (Alqudsi vd., 2026, ss. 1-23; Muratoğlu, 2019). Sabit kanatlı İKU sistemleri, yüksek aerodinamik verimlilikleri ve düşük sürüklenme katsayıları sayesinde uzun menzil ve yüksek hız gerektiren lojistik operasyonlarda üstün performans sergilemektedir. Bu

platformlar, özellikle şehirlerarası ve bölgesel kargo taşımacılığında maliyet etkin çözümler sunmakta; ancak pist veya özel kalkış-iniş altyapısına ihtiyaç duymaları nedeniyle operasyonel esneklikleri sınırlanmaktadır. Bu durum, sabit kanatlı sistemlerin daha çok planlı ve ölçeklenmiş lojistik ağlarda tercih edilmesine neden olmaktadır (Hasan, & Sachs, 2021, ss. 107-131; Guan vd., 2023, ss. 366-378; Hasan vd., 2018, ss. 571-586) (Tablo 4).

VTOL (Vertical Take-Off and Landing) platformlar, dikey kalkış ve iniş kabiliyeti sayesinde altyapı bağımlılığını minimize ederek kentsel ve karmaşık coğrafyalarda operasyonel esneklik sağlamaktadır. Bununla birlikte rotor tabanlı yapı nedeniyle enerji tüketimi yüksek olup, bu durum uçuş süresi ve taşıma kapasitesini sınırlamaktadır (Alsalem, & Zohdy, 2023, ss. 130-137; Zhou, & Tan, 2024, ss. 1-26). Bu özellikleriyle VTOL sistemler, özellikle son kilometre teslimatı ve acil lojistik operasyonlarda kritik bir rol üstlenmektedir (Lakhwani, 2025, ss. 27-45). Hibrit İKU platformları, sabit kanatlı sistemlerin aerodinamik verimliliği ile VTOL teknolojisinin operasyonel esnekliğini birleştiren ara bir çözüm sunmaktadır. Bu sistemler, kalkış ve iniş aşamalarında dikey uçuş kabiliyeti sağlarken, seyir aşamasında sabit kanat verimliliğinden yararlanarak daha dengeli bir performans ortaya koymaktadır. Ancak sistem mimarisinin karmaşıklığı ve bakım gereksinimlerinin yüksekliği, bu platformların yaygınlaşmasında sınırlayıcı bir faktör oluşturmaktadır (Ali vd., 2026, ss. 1-30; Chen vd., 2020, ss. 137867-137883) (Tablo 4).

Multirotor sistemler, özellikle düşük irtifa ve kısa mesafe teslimat senaryolarında yüksek stabilite ve hassas konumlandırma kabiliyeti ile öne çıkmaktadır. Bununla birlikte yüksek enerji tüketimi ve sınırlı menzil kapasitesi, bu platformların büyük ölçekli lojistik operasyonlar yerine mikro dağıtım uygulamalarında kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Tilt-rotor ve tilt-wing sistemler, motor yönlendirme mekanizmaları sayesinde VTOL kabiliyeti ile sabit kanatlı uçuş verimliliğini aynı platformda birleştirmektedir. Bu özellik, orta ve uzun menzilli operasyonlarda yüksek esneklik sağlamakla birlikte, mekanik karmaşıklık ve bakım maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle söz konusu platformlar daha çok gelişmiş lojistik ve özel kargo uygulamalarında tercih edilmektedir (Alqudsi vd., 2026, ss. 1-23; Muratoğlu, 2019; Hasan, & Sachs, 2021, ss. 107-131; Guan vd., 2023, ss. 366-378; Hasan vd., 2018, ss. 571-586).

Dirigible (hava gemisi) tabanlı İKU sistemleri, kaldırma kuvvetini aerodinamik yapı yerine hafif gazlar aracılığıyla elde etmektedir. Bu sayede son derece düşük enerji tüketimi ile uzun süre havada kalabilmekte; ancak düşük hız ve rüzgâr koşullarına yüksek hassasiyet gibi sınırlılıklar nedeniyle operasyonel kullanım alanları kısıtlı kalmaktadır. Bu platformlar daha çok kırsal ve altyapısı zayıf bölgelerde sürekli lojistik hatlar için potansiyel taşımaktadır. Tethered (kablolu) İKU sistemleri, yer istasyonuna bağlı kablo üzerinden enerji alarak kesintisiz operasyon imkânı sunmaktadır. Bu yapı, hareket kabiliyetini ortadan kaldırmakla birlikte uzun süreli sabit görevlerde (iletişim, gözetim ve destek lojistiği) önemli avantajlar sağlamaktadır. Son olarak, sürü (swarm) tabanlı İKU sistemleri, çoklu araçların koordineli biçimde çalıştığı dağıtık bir mimariyi temsil etmektedir. Bu yaklaşım, yükün parçalanarak farklı araçlar arasında dağıtılması ve sistemin arıza toleransının artırılması gibi avantajlar sunmaktadır. Ancak yüksek düzeyde koordinasyon, gelişmiş yazılım altyapısı ve haberleşme sistemlerine ihtiyaç duyması, bu teknolojinin karmaşıklığını artırmaktadır. Genel değerlendirme sonucunda İKU platformlarının birbirine alternatif değil, aksine farklı operasyonel gereksinimleri karşılayan tamamlayıcı yapılar olduğu görülmektedir. Sabit kanatlı sistemler ölçekli ve uzun menzilli taşımacılıkta öne çıkarken, VTOL ve multirotor yapılar kentsel lojistikte esneklik sağlamaktadır. Hibrit ve tilt-rotor sistemler bu iki uç yaklaşım arasında denge kurarken, hava gemisi, tethered ve swarm tabanlı sistemler ise daha niş ve özel kullanım alanlarında konumlanmaktadır. Bu çeşitlilik, İKU ekosisteminin tek bir teknolojik paradigma yerine çok katmanlı ve görev odaklı bir yapıya doğru evrildiğini göstermektedir (Hasan, & Sachs, 2021, ss. 107-131; Guan vd., 2023, ss. 366-378; Hasan vd., 2018, ss. 571-586; Alsalem, & Zohdy, 2023, ss. 130-137; Zhou, & Tan, 2024, ss. 1-26) (Tablo 4).

Tablo 4. İnsansız kargo uçakları için platform türleri ve operasyonel özelliklerin karşılaştırılması.

Platform Türü	Alt Tür/Varyant	Teknik Avantajlar	Operasyonel Avantajlar	Temel Dezavantajlar	Enerji/Performans Özellikleri	Altyapı Gereksinimi	Tipik Kullanım Alanları	Stratejik Rol
Sabit Kanatlı İKU	Klasik fixed-wing	Yüksek aerodinamik verimlilik, düşük sürüklenme, uzun menzil	Uzun mesafe taşımacılıkta yüksek verim, düşük maliyet/km	Pist ihtiyacı, düşük manevra kabiliyeti	Düşük enerji tüketimi, yüksek uçuş verimliliği	Yüksek (pist/fırlatma sistemi)	Şehirlerarası lojistik, bölgesel kargo hatları	Ölçek ekonomisi sağlayan ana taşıyıcı sistem
VTOL İKU	Dikey kalkış-iniş sistemleri	Pist bağımsız operasyon, yüksek manevra kabiliyeti	Kentsel teslimat, hızlı konuşlanma	Yüksek enerji tüketimi, kısa menzil	Yüksek enerji tüketimi, düşük uçuş süresi	Düşük	Son kilometre teslimatı, acil lojistik	Esneklik odaklı çözüm

Tablo 4. (cont) İnsansız kargo uçakları için platform türleri ve operasyonel özelliklerin karşılaştırılması.

Hibrit İKU	VTOL+fixed-wing	Kalkışta VTOL, uçuşta sabit kanat verimliliği	Esnek görev profili, orta-uzun menzil	Karmaşık mekanik yapı, yüksek bakım maliyeti	Orta enerji verimliliği	Orta	Karma lojistik senaryoları	Dengeli performans çözümü
Multirotor İKU	Quad/Hexa/Octocopter	Yüksek stabilite, hassas konumlandırma	Düşük irtifa hassas teslimat	Çok kısa menzil, yüksek enerji tüketimi	Çok yüksek enerji tüketimi	Düşük	Şehir içi küçük paket teslimatı	Mikro-lojistik çözüm
Tilt-rotor/Tilt-wing	Dönüşebilen motor sistemleri	VTOL+sabit kanat verimliliği	Uzun menzil+dik ey kalkış birleşimi	Mekanik karmaşıklık, bakım zorluğu	Orta-yüksek verim	Orta	Orta-uzun menzilli ticari kargo	Gelişmiş hibrit mimari
Dirigible (Hava gemisi UAV)	Lighter-than-air	Çok düşük enerji ihtiyacı, uzun havada kalış	Sürekli lojistik hatlar	Çok düşük hız, rüzgâr hassasiyeti	Çok düşük enerji tüketimi	Çok düşük	Kırsal/uzak bölge lojistiği	Sürekli taşıma platformu
Tethered UAV	Kablolu sistem	Kesintisiz enerji, sabit operasyon	Sürekli görev, sabit nokta hizmeti	Hareket kısıtlılığı	Harici enerji ile sınırsız süre	Kablo istasyonu	İletişim destek, sabit lojistik merkezler	Destekleyici sistem
Drone Swarm (Sürü sistemleri)	Koordine çoklu İKU	Yük dağıtım, arıza toleransı	Paralel teslimat, ölçeklenebilirlik	Yüksek yazılım/koordinasyon karmaşıklığı	Değişken	Orta-Yüksek (ağ altyapısı)	Afet lojistiği, dağıtık teslimat	Yeni nesil lojistik mimarisi

Kaynak. Hasan & Sachs, 2021, ss. 107-131; Guan vd., 2023, ss. 366-378; Hasan vd., 2018, ss. 571-586; Alsalem, & Zohdy, 2023, ss. 130-137; Zhou, & Tan, 2024, ss. 1-26; Alqudsi vd., 2026, ss. 1-23; Muratoğlu, 2019; Hasan & Sachs, 2021, ss. 107-131; Guan vd., 2023, ss. 366-378; Hasan vd., 2018, ss. 571-586 kaynaklarından yararlanarak yazar tarından oluşturulmuştur.

E. İHA'ların ve İKU'ların Karşılaştırmalı İncelemesi

İHA'lar ile kargo taşımacılığına yönelik İKU'ların, kullanım amaçları ve sistem mimarisi bakımından farklılık göstermektedir. İHA'lar esnek kontrol mekanizmaları ve çeşitli görev profillerine uyum sağlayabilen operasyonel çeşitlilik sunar. İKU'lar ise ağırlıklı olarak özerk veya denetleyici kontrollere dayalı olarak tasarlanmıştır. Bu tasarım özellikle yük kapasitesinin optimize edilmesi ve güvenli rota takibi üzerinde yoğunlaşmaktadır (Tachinina vd., 2022; Solomin vd., 2025; Lee vd., 2022; Pak, 2021). Uçuş yönetmeliği açısından, İHA'lar hem görerek (VFR) hem de aletli (IFR) uçuşa uygundur. İKU'lar ise çoğunlukla otomatik ve IFR esaslı görevler için optimize edilmiştir. Hava sahası kullanımında İKU'lar genellikle önceden belirlenmiş lojistik koridorlarda faaliyet gösterir. İHA'lar ise daha esnek operasyon alanlarına sahiptir (Tachinina vd., 2022; Solomin vd., 2025; Lee vd., 2022; Pak, 2021; Dalman vd., 2021; Anosri vd., 2023; Specht, 2023) (Tablo 5).

Tasarım açısından, İHA'lar sabit kanatlı, döner kanatlı, hibrit veya zeplin tipi yapılara sahip olabilir. İKU'lar çoğunlukla sabit kanatlıdır ve yüksek taşıma kapasitesi ile uzun menzil gereksinimlerini karşılayacak şekilde geliştirilir. Kalkış ve iniş yöntemlerinde İHA'lar farklı mod kombinasyonlarını kullanabilir. İKU'lar ise genellikle yatay kalkış ve iniş moduna sahiptir, ancak kısa pist gereksinimlerinde dikey kalkış ve iniş (VTOL) teknolojisi uygulanabilir. Operasyonel ortam açısından İHA'lar, havaalanı dışı alanlar, güverteler, su yüzeyi veya elle fırlatma gibi esnek alanlarda görev alabilir. İKU'lar ise standart pistler veya özel lojistik alanlar için tasarlanır (Tachinina vd., 2022; Solomin vd., 2025; Lee vd., 2022; Pak, 2021; Gautam vd., 2014; Gu vd., 2017; Ferdaus vd., 2020) (Tablo 5).

Enerji ve tahrik sistemleri açısından İHA'lar pistonlu, elektrikli veya gaz türbinli motorlarla donatılabilir. İKU'lar ise genellikle gaz türbinli veya hibrit-elektrikli sistemler kullanır. Uzun menzil operasyonlarında yakıt ikmali ve yedek tank desteği kritik öneme sahiptir. İHA'lar kısa süreli veya tek kullanımlık operasyonlar için tasarlanabilir. İKU'lar ise çok kullanımlı ve sürdürülebilir lojistik altyapı gereksinimlerini karşılayacak şekilde geliştirilir (Çoban & Oktay, 2018; Adamski, 2017; Mohammed vd., 2021; Lee vd., 2022; Pak, 2021; Dalman vd., 2021; Anosri vd., 2023; Specht, 2023) (Tablo 5). Görev ve kategori perspektifinde, İHA'lar stratejik, taktiksel, mini/mikro veya özel amaçlı sınıflara ayrılabilir. Buna karşılık, İKU'lar stratejik (uzun menzil ve yüksek taşıma kapasitesi) veya taktiksel (orta menzil ve hızlı teslimat) sınıflandırılmasına dâhil edilmekte ve özellikle orta ve uzun mesafeli görevler için optimize edilmektedir. İKU'ların

öncelikli operasyonel hedefleri, afet yönetimi, ticari lojistik ve özel kargo taşımacılığı gibi alanlarda yoğunlaşmaktadır (Tachinina vd., 2022; Solomin vd., 2025; Lee vd., 2022) (Tablo 5).

Tablo 5. İHA'lar ve İKU'ların sınıflandırma ölçütleri.

Sınıflama Ölçütü	İHA (Genel)	İnsansız Kargo Uçağı (Özel)
Kontrol Sistemine Göre	Doğrudan, Gözlenen, Özerk & Uyumsuz, Denetleyici, Özerk & Uyumlu	Genelde özerk & uyumlu veya denetleyici kontrol tercih edilir; güvenli rota ve yük optimizasyonu önceliklidir.
Uçuş Kurallarına Göre	VFR, IFR, Görerek-Aletli	Çoğunlukla IFR (aletli) uçuş; gece/gündüz, kör alan operasyonları.
Hava Sahasına Göre	Ayrılmış / Ayrılmamış	Ayrılmış hava sahası veya izinli ayrılmamış hava sahası (lojistik koridorlar).
Hava Aracı Tipine Göre	Uçak, Helikopter, Zeplin, Döner kanat, Hibrit	Genellikle uçak tipi (sabit kanatlı, uzun menzil için).
Kanat Tipine Göre	Sabit kanatlı, Döner kanatlı	Sabit kanatlı (yük kapasitesi ve uzun mesafe için).
Kalkış / İniş Yönüne Göre	Yatay / Dikey (VTOL); İniş: Yatay, Dikey, Kesintisiz, Kombine	Çoğunlukla yatay kalkış ve iniş; bazı modellerde VTOL (kısa pist/alan ihtiyacına göre).
Kalkış / İniş Tipine Göre	Havaalanı, Güverte, Su yüzeyi, El ile; İniş: Havaalanı, Su yüzeyi, Güverte, Çoklu iniş, Standart olmayan iniş	Standart havaalanı ve özel lojistik pist/güverte esas alınır.
Motor Tipine Göre	Pistonlu, Gaz türbinli, Elektrik	Gaz türbinli (uzun menzil, yüksek hız) veya elektrikli hibrit (düşük maliyet, kısa mesafe kargo).
Yakıt Sistemine Göre	Tek kullanımlık, Çoklu ikmal	Çoklu ikmal sistemi (yer tabanlı, gemi veya havadan ikmal).
Yakıt Tankı Tipine Göre	Temel tank, Temel + yedek tank	Genellikle temel + yedek tank (görev emniyeti ve menzil artışı).
Yakıt Kullanımına Göre	Tek kullanımlık / Çok kullanımlık	Çok kullanımlık (lojistik sürdürülebilirlik için).
Kategoriye Göre	Stratejik, Taktiksel, Mini/Mikro, Özel Amaçlı	Stratejik kargo İHA'ları (uzun menzil, büyük yük) veya taktiksel kargo İHA'ları (orta mesafe, hızlı teslimat).
Uçuş Mesafesine Göre	Yakın, Kısa, Orta, Uzun, Uzun Süreli	Çoğunlukla uzun (>1500 km) veya orta (300 km); rota ihtiyacına göre.
Uçuş İrtifasına Göre	Düşük, Orta, Yüksek	Orta – yüksek irtifa (hava trafiği güvenliği ve menzil optimizasyonu için).
Fonksiyonuna Göre	Veri işleme, Gözetleme, Fotoğrafçılık, Özel görevler (kargo vb.)	Kargo taşımacılığı (yük lojistiği, afet yardımı, ticari taşımacılık).

Kaynak. Tachinina vd., 2022; Solomin vd., 2025; Lee vd., 2022; Pak, 2021; Dalman vd., 2021; Anosri vd., 2023; Specht, 2023 kaynaklarından yararlanarak yazar tarafından oluşturulmuştur.

F. İHA'lar ve İKU'lar ile Taşımacılık: Avantajlar, Sınırlılıklar ve Entegre Çözümler

Yeni nesil İHA'lar, havacılık temelli taşımacılık alanında operasyonel verimlilik ve hız açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Bu sistemler, özellikle yoğun nüfuslu ve şehirleşmenin yoğun olduğu bölgelerde, karayolu trafiğine bağımlı olmaksızın hızlı teslimat gerçekleştirme kapasitesine sahiptir. Ancak teknolojinin yaygınlaşması, düzenleyici uyum, hava sahası yönetimi, güvenlik protokolleri ve gizlilik gibi alanlarda çözülmesi gereken çeşitli zorlukları da beraberinde

getirmektedir (Sampigethaya & Poovendran, 2013; Kuru, 2021; Menouar vd., 2017).

İHA'lar, taşımacılık sektöründe güvenilir ve emniyetli bir lojistik altyapısının tesis edilmesine katkı sağlamaktadır. Bu araçların sağladığı başlıca avantajlar şunlardır (Yoo vd., 2018). Hız açısından, acil müdahale ve zaman açısından kritik teslimatlarda operasyon sürelerini önemli ölçüde azaltmaktadır (Lee vd., 2016). Maliyet etkinliği açısından, özellikle kısa mesafe operasyonlarda geleneksel kara taşımacılığına kıyasla daha düşük maliyetli çözümler sunmaktadır (Joeress vd., 2016). Erişilebilirlik açısından, coğrafi olarak zor veya ulaşılamaz bölgelere ulaşabilme kapasitesi, insani yardım ve afet yönetiminde kritik bir rol oynamaktadır. Çevresel etkiler bakımından ise, elektrikli sistemlerle çalışan modeller, fosil yakıtlı araçlara kıyasla daha düşük emisyon üretmekte ve sürdürülebilir taşımacılığa katkı sağlamaktadır (Gulden, 2017; Dong vd., 2024). Buna karşılık, İHA ve kargo uçaklarının entegrasyonu bazı sınırlılıkları da beraberinde getirmektedir. Mevzuat farklılıkları, ülkeler arasındaki hava sahası düzenlemelerinin değişkenliği nedeniyle ticari kullanımda standartlaşmayı zorlaştırmakta ve insanlı hava araçlarıyla uyumlu çalışmayı güçleştirmektedir (Merkert & Bushell, 2020). Yük kapasitesi sınırlamaları, ağır veya büyük kargoların taşınmasını kısıtlamaktadır (Kim vd., 2019). Enerji kaynaklarına ilişkin kısıtlar, özellikle sınırlı pil ömrü nedeniyle uzun menzilli operasyonlarda dezavantaj oluşturmaktadır (Macrina vd., 2020). Meteorolojik koşullar, olumsuz hava şartlarında operasyon güvenliğini ve sürekliliğini doğrudan etkilemektedir. Hava sahası yoğunluğu ise, ticari teslimatlarda İHA kullanımının artmasıyla birlikte çarpışma riskini ve trafik yoğunluğunu artırmaktadır (Doole vd., 2021).

Son dönemde yapılan araştırmalar, bu dezavantajları minimize etmek amacıyla hibrit çözümler geliştirmiştir. Örneğin, hava araçlarının hız avantajı ile kara taşımacılığının menzil avantajını birleştiren entegre modeller önerilmektedir. Bu yaklaşımlarda teslimat rotaları optimize edilmekte ve yalnızca hava araçlarıyla gerçekleştirilen senaryolara kıyasla daha kısa teslimat süreleri elde edilmektedir (Kannan & Min, 2022). Bu sistemler, karayolu bağımlılığını azaltarak özellikle yoğun trafik koşullarının hafifletilmesine katkı sunmaktadır. Benzer şekilde, paylaşım ekonomisi temelli stratejiler ile küresel lojistikteki trafik yoğunluğu sorununa karşı çözümler geliştirilmiştir. Araçların ortak kullanımı, dinamik rota planlaması ve çoklu taşıma modlarının entegrasyonu, özellikle son kilometre teslimatlarında daha sürdürülebilir ve verimli operasyonların gerçekleştirilmesine imkân tanımaktadır (Kannan & Min, 2022).

VI. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma, insansız kargo uçaklarının (İKU) lojistik ve taşımacılık sistemlerine etkisini teknolojik, operasyonel, ekonomik ve düzenleyici boyutlarıyla bütüncül bir yaklaşımla incelemiştir. Elde edilen bulgular, İKU sistemlerinin özellikle son kilometre teslimatları, kırsal bölgelerde erişim, afet yönetimi ve acil sağlık lojistiği gibi zaman kritik alanlarda önemli avantajlar sunduğunu göstermektedir. Teslimat sürelerinin azalması, operasyonel esnekliğin artması, erişimi zor bölgelerde hizmet sürekliliğinin sağlanması ve çevresel etkilerin görece düşmesi, öne çıkan temel kazanımlar arasında yer almaktadır. Bununla birlikte, hava sahası entegrasyonu, siber güvenlik, standart eksiklikleri ve toplumsal kabul gibi alanlarda yapısal sorunların devam ettiği tespit edilmiştir.

Bulgular, İKU'ların yalnızca alternatif bir taşıma yöntemi olmadığını, aynı zamanda lojistik ağların mekânsal ve işlevsel yapısını dönüştüren stratejik bir unsur haline geldiğini ortaya koymaktadır. Özellikle 20–500 kg taşıma kapasitesine sahip orta ölçekli platformların ticari uygulamalarda giderek daha fazla kullanılmaya başlanması, teknolojinin deneysel aşamadan operasyonel entegrasyon sürecine geçişini göstermektedir. Bu durum, İKU sistemlerinin gelecekte kara ve geleneksel hava taşımacılığına tamamlayıcı bir lojistik yapı olarak daha geniş ölçekte konumlanabileceğine işaret etmektedir.

Teknik açıdan değerlendirildiğinde, sabit kanatlı platformlar uzun menzil ve enerji verimliliği gerektiren görevlerde avantaj sağlarken, VTOL ve hibrit sistemler kentsel alanlar ile esnek teslimat senaryolarında daha uygun çözümler sunmaktadır. Buna karşın mevcut enerji depolama teknolojilerinin sınırlılıkları, uçuş süresi ve taşıma kapasitesi üzerinde önemli bir kısıt oluşturmaktadır. Ayrıca otonom uçuş güvenliği, yazılım doğrulama süreçleri ve hava sahası yönetim sistemleriyle entegrasyon gereksinimleri, yaygın kullanımın önündeki temel teknik engeller olarak değerlendirilmektedir. Bu durum, teknolojik gelişim ile düzenleyici uyum süreçlerinin eş zamanlı ilerlemesini zorunlu kılmaktadır.

Ekonomik açıdan İKU yatırımlarının sürdürülebilirliği; operasyon yoğunluğu, rota optimizasyonu, altyapı maliyetleri ve kullanım senaryolarının uygunluğu gibi değişkenlere bağlıdır. Sağlık lojistiği, afet müdahalesi ve kırsal teslimat gibi alanlarda erken benimseme potansiyelinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Öte yandan ağır yük taşımacılığına yönelik sistemlerde karşılaşılan temel sınırlamaların teknik yetersizliklerden ziyade sertifikasyon süreçleri, sigorta maliyetleri ve düzenleyici belirsizliklerden kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

Çalışma, İKU ekosisteminin başarısının yalnızca teknolojik ilerlemeye değil, çok aktörlü bir etkileşim yapısına bağlı olduğunu göstermektedir. Üreticiler, operatörler, düzenleyici kurumlar, altyapı sağlayıcıları ve kullanıcılar arasındaki koordinasyon düzeyi, sistemin ölçeklenebilirliği ve sürdürülebilirliği açısından belirleyici bir faktördür. Bu kapsamda risk temelli sertifikasyon yaklaşımları, performans odaklı düzenlemeler ve kademeli entegrasyon modelleri güvenli dönüşüm için önemli araçlar olarak öne çıkmaktadır.

Genel değerlendirme, İKU ekosisteminin teknolojik altyapı, otonom kontrol sistemleri, enerji kapasitesi, hava sahası düzenlemeleri ve lojistik entegrasyon gibi birbiriyle ilişkili bileşenler üzerinden şekillendiğini göstermektedir. Bu bileşenler arasındaki uyum düzeyi, sistemin güvenli, ekonomik ve ölçeklenebilir biçimde uygulanabilirliğini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle gelecekteki çalışmaların yalnızca platform teknolojilerine değil, aynı zamanda bu bileşenler arasındaki bütünsel ilişkilere de odaklanması gerekmektedir. Politika önerileri aşağıdaki gibidir:

- İnsansız kargo uçaklarının (İKU) güvenli ve etkin kullanımını sağlamak amacıyla, uluslararası düzeyde uyumlaştırılmış hava sahası düzenlemeleri geliştirilmelidir. Otonom uçuş izinleri, uçuş koridorları ve hava trafiği entegrasyonu gibi alanlarda ortak standartların oluşturulması, sınır ötesi operasyonların önünü açacaktır.
- İKU sistemlerinin siber tehditlere karşı korunması için siber güvenlik protokolleri ve veri iletişim altyapıları güçlendirilmelidir. Otonom kontrol sistemlerinin güvenliği açısından gelişmiş şifreleme yöntemleri ve çok katmanlı güvenlik mimarileri zorunlu hale getirilmelidir.
- Enerji verimliliğini artırmak amacıyla batarya teknolojileri, enerji yoğunluğu ve şarj altyapısına yönelik Ar-Ge yatırımları desteklenmelidir. Ayrıca hibrit ve hidrojen tabanlı enerji çözümlerinin geliştirilmesi teşvik edilmelidir.
- İKU sistemlerinin güvenli ve standartlara uygun şekilde yaygınlaşabilmesi için risk temelli ve performans odaklı sertifikasyon ile test süreçleri oluşturulmalıdır.
- Ekonomik sürdürülebilirliği artırmak amacıyla özellikle sağlık lojistiği, afet yönetimi ve kırsal dağıtım alanlarında kamu destekli pilot uygulamalar yaygınlaştırılmalıdır.
- Küçük ve orta ölçekli işletmelerin sisteme entegrasyonunu kolaylaştırmak için paylaşımlı İKU altyapı ve operasyon modelleri geliştirilmelidir.
- Kamu kurumları, özel sektör ve akademi arasında çok paydaşlı yönetim mekanizmaları oluşturulmalı; veri paylaşımı ve test ortamları (living lab) yaygınlaştırılmalıdır.
- Operasyonel verimliliği artırmak amacıyla yapay zekâ destekli otonom uçuş sistemleri, rota optimizasyonu ve sürü (swarm) lojistik teknolojileri desteklenmelidir.
- İKU platformlarının performansını değerlendirmek için maliyet, enerji tüketimi ve karbon salımı odaklı karşılaştırmalı analizler yapılmalıdır.
- Toplumsal kabulü güçlendirmek için şeffaf pilot uygulamalar yürütülmeli ve sistemlerin güvenlik performansına ilişkin veriler düzenli olarak kamuoyu ile paylaşılmalıdır.

Çalışmanın sınırlılığı, hızla gelişen teknoloji ve düzenleyici ortam nedeniyle bulguların zamansal değişkenlik göstermesidir. Ayrıca araştırmanın büyük ölçüde literatür temelli olması, gerçek operasyonel verilerin sınırlı düzeyde temsil edilmesine neden olmuştur. Gelecek araştırmalarda saha verilerine dayalı performans analizleri, maliyet ve enerji verimliliği karşılaştırmaları ile ülkeler arası düzenleyici farklılıkların incelenmesi önerilmektedir. Bunun yanı sıra yapay zekâ destekli uçuş yönetim sistemleri, hava trafik entegrasyonu ve sürü tabanlı lojistik operasyonlar da önemli araştırma alanları olarak öne çıkmaktadır. Sonuç olarak İKU sistemleri, yalnızca yeni bir taşımacılık teknolojisi değil, aynı zamanda lojistik ağların yeniden yapılandırılmasını mümkün kılan stratejik bir dönüşüm alanıdır. Bu dönüşümün etkin biçimde gerçekleştirilmesi, teknolojik gelişmelerin düzenleyici, ekonomik ve toplumsal boyutlarla eşgüdümlü bir yönetim anlayışı içinde ele alınmasına bağlıdır.

BEYANLAR

Teşekkürler: Yazar herhangi bir kişi veya kuruma teşekkür etmek istememektedir.

Yazar Katkıları: Çalışmanın tüm bölümleri Yazar tarafından gerçekleştirilmiştir.

Çıkar Çatışması: Yazar çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Destekleyen Kuruluşlar: Bu araştırma için herhangi bir dış finansman alınmamıştır.

Etik Onay: Bu çalışma insan veya hayvan katılımcıları içermemektedir. Tüm prosedürler bilimsel ve etik ilkelere uygun olarak gerçekleştirilmiş olup, atıfta bulunulan tüm çalışmalar uygun şekilde kaynak gösterilmiştir.

İntihal Beyanı: Bu makale intihal açısından değerlendirilmiş ve herhangi bir intihal vakası tespit edilmemiştir.

YZ Araçlarının Kullanımı: Yazar bu makalenin hazırlanmasında Yapay Zeka (AI) araçlarının kullanılmadığını beyan eder.

KAYNAKLAR

- Adamski, M. (2017). Analysis of propulsion systems of unmanned aerial vehicles. *Journal of Marine Engineering & Technology*, 16(4), 291–297. <https://doi.org/10.1080/20464177.2017.1383337>
- Airport Technology. (2017). *AT200 cargo unmanned aerial vehicle*. <https://www.airport-technology.com/projects/at200-cargo-unmanned-aerial-vehicle/>
- Aktaş, E. (2013). *İnsansız hava araçlarının gerçekleşmesi ve modellenmesi* [Yayınlanmamış yüksek lisans tezi]. Dokuz Eylül Üniversitesi.
- Akyürek, S., Yılmaz, M. A., & Taşkıran, M. (2012). *İnsansız hava araçları: Muharebe alanında ve terörle mücadelede devrimsel dönüşüm* (Rapor No. 53). Bilgesam Yayınları.
- Ali, B., Wang, M., Elhesasy, M., Khurshid, Y., Kamra, M. M., & Dief, T. N. (2026). eVTOL aircraft for last-mile delivery: Opportunities, challenges, and climate considerations. *Unmanned Systems*, 1–30. <https://doi.org/10.1142/S2301385028300016>
- Alqudsi, Y., Sulaiman, H., Aydemir, E. Y., & Alyoussef, F. (2026). *Hybrid VTOL UAV architectures and their implementation in modern aerial systems*. SSRN. <https://doi.org/10.2139/ssrn.6000474>
- Alsalem, A., & Zohdy, M. (2023, April). Civil applications of vertical takeoff and landing vehicles: A review. In *2023 IEEE Conference on Technologies for Sustainability (SusTech)* (pp. 130–137). IEEE.
- Alvarez, J. A. V. (2020). *Acceptance and intention to use drone delivery services in the city of Lisbon* [Unpublished master's thesis]. ISCTE-Instituto Universitário de Lisboa.
- Andonova, V., Nikolova, M. S., & Dimitrov, D. (2019). Dronamics. In *Entrepreneurial ecosystems in unexpected places: Examining the success factors of regional entrepreneurship* (pp. 211–229). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-98219-9>
- Anosri, S., Panagant, N., Champasak, P., Bureerat, S., Thipyopas, C., Kumar, S., Pholdee, N., Yıldız, B. S., & Yildiz, A. R. (2023). A comparative study of state-of-the-art metaheuristics for solving many-objective optimization problems of fixed wing unmanned aerial vehicle conceptual design. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 30(6), 3657–3671. <https://doi.org/10.1007/s11831-023-09914-z>
- Ariante, G., & Del Core, G. (2025). Unmanned aircraft systems (UASs): Current state, emerging technologies, and future trends. *Drones*, 9(1), Article 59. <https://doi.org/10.3390/drones9010059>
- Arjomandi, M., Agostino, S., Mammone, M., Nelson, M., & Zhou, T. (2006). *Classification of unmanned aerial vehicles* [Report for Mechanical Engineering class, University of Adelaide]. University of Adelaide.
- Arya, V. (2025). *Development and validation of a tailsitter UAV for efficient hover and forward flight* [Yüksek lisans tezi, Arizona State University]. ASU Digital Repository. <https://repository.asu.edu/>
- Ateş, H., & Düzgün, M. (2020). *İnsansız hava araçları (İHA): Temel bilgiler ve kullanım alanları*. Nobel Akademik Yayıncılık.
- Austin, R. (2011). *Unmanned aircraft systems: UAVS design, development and deployment*. John Wiley & Sons.
- Babetto, L., & Stumpf, E. (2021). Recent development of a conceptual design methodology for unmanned aerial vehicles. In *AIAA Aviation 2021 Forum* (p. 3219). American Institute of Aeronautics and Astronautics. <https://doi.org/10.2514/6.2021-3219>
- Bae, S. M., Han, K. H., Cha, C. N., & Lee, H. Y. (2016). Development of inventory checking system based on UAV and RFID in open storage yard. In *2016 International Conference on Information Science and Security (ICISS)* (pp. 1–2). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICISSEC.2016.7885849>
- Baghirov, J. (2018). *The use of drones in oil and gas logistics* [Unpublished master's thesis]. Molde University College, Specialized University in Logistics.
- Baur, S. (2022, December 12). *Cargo drones: A potential gamechanger in the logistics industry*. Roland Berger. <https://www.rolandberger.com/en/Insights/Publications/Cargo-drones-A-potential-gamechanger-in-the-logistics-industry.html>
- Bektaş, D. N., Yaman, G., Dağ, T., & Ünler, T. (2022). Dikey kalkış ve iniş yeteneğine sahip bir insansız hava aracının çok disiplinli kavramsal tasarımı. In *3rd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences*.
- Bilici, M. (2024). *Yüksek hızlı bir İHA'nın farklı kontrolcüler ile 6SER benzetim çalışmaları ve uçuş performansının incelenmesi* [Doktora tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi]. Necmettin Erbakan Üniversitesi Açık Arşivi. <https://hdl.handle.net/20.500.12452/18775>
- Bolz, K., & Nowacki, G. (2023). Air transport safety in UAV operational conditions. *Journal of Civil Engineering and Transport*, 5(1), 9–23. <https://doi.org/10.24136/tren.2023.001>
- Can, N. (2013). Sivil havacılığa yön veren kuruluş Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü: ICAO. *Kokpit'ten Bakış Dergisi*, 5(27), 9–16.
- Çavuş, V., & Tuncer, A. (2017). İnsansız hava araçları için yapay arı kolonisi algoritması kullanarak rota planlama. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7(1), 259–265. <https://izlik.org/JA96XR84ZM>
- Cevher, Ü. (2023). İnsansız hava araçlarında dayanıklılık. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (51), 181–189. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1276284>
- Chen, G., Ma, D., Jia, Y., Xia, X., & He, C. (2020). Comprehensive optimization of the unmanned tilt-wing cargo aircraft with distributed propulsors. *IEEE Access*, 8, 137867–137883. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3012481>
- Chua, A. (2024, October 21). *China's Air White Whale unveils large unmanned cargo aircraft*. FlightGlobal.

<https://www.flightglobal.com/civil-uavs/2024/10/chinas-air-white-whale-unveils-large-unmanned-cargo-aircraft/>

- Cioldpnea, C. A. (2022). The integration of unmanned aircraft system (UAS) in current combat operations. *Land Forces Academy Review*, 27(4), 333–347. <https://doi.org/10.2478/raft-2022-0042>
- Çoban, S., & Oktay, T. (2018). Unmanned aerial vehicles (UAVs) according to engine type. *Journal of Aviation*, 2(2), 177–184. <https://doi.org/10.30518/jav.461116>
- Cömert, R., Avdan, U., & Şenkal, E. (2012). İnsansız hava araçlarının kullanım alanları ve gelecekteki beklentiler. In *IV. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu*. http://uzalcbs.org/wp-content/uploads/2016/11/2012_080.pdf
- Consortiq. (2024). *A not so short history of unmanned aerial vehicles (UAVs)*. <https://consortiq.com/uas-resources/short-history-unmanned-aerial-vehicles-uavs>
- Dalamagkidis, K., Valavanis, K. P., & Piegler, L. A. (2008). On unmanned aircraft systems issues, challenges and operational restrictions preventing integration into the National Airspace System. *Progress in Aerospace Sciences*, 44(7–8), 503–519. <https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2008.08.001>
- Dalman, B., Korobenko, A., Ziade, P., Ramirez-Serrano, A., & Johansen, C. T. (2021). Validation and verification of a conceptual design tool for evaluating small-scale, supersonic, unmanned aerial vehicles. In *AIAA 2021 Forum* (Paper No. 2415). <https://doi.org/10.2514/6.2021-2415>
- Darvishpoor, S., Roshanian, J., Mesbah, A., Haghighi, K., Ebrahimi, B., Serbezov, V., & Georgiev, K. (2025). A survey of the effects of vehicle configuration on urban air mobility. *Applied Sciences*, 15(6), 3181. <https://doi.org/10.3390/app15063181>
- DeGarmo, M. T. (2004). *Issues concerning integration of unmanned aerial vehicles in civil airspace* (Report No. MP 04W0000323). The MITRE Corporation.
- Deloitte. (2015). *The 2015 MHI annual industry report: Supply chain innovation: Making the impossible possible*. <https://www.mhi.org/publications/report>
- Dikmen, M. (2015). İnsansız hava aracı (İHA) sistemlerinin hava hukuku bakımından incelenmesi. *Savunma Bilimleri Dergisi*, 14(1), 145–176.
- Dobrodomov, O., Proroka, V., & Kulyk, O. (2024). UAV launch methods. *Challenges and Issues of Modern Science*, 2, 25–34. <https://cims.fti.dp.ua/j/article/view/153>
- Dong, S., Song, Z., Meng, Z., & Liu, Z. (2024). Biofuel-electric hybrid aircraft application—A way to reduce carbon emissions in aviation. *Aerospace*, 11(7), 575. <https://doi.org/10.3390/aerospace11070575>
- Doole, M. M., Ellerbroek, J., & Hoekstra, J. M. (2021). Drone delivery: Nature of traffic conflicts in constrained urban airspace environments. *Proceedings of the Delft International Conference on Urban Air Mobility*, 15–17.
- Dubois, G. (2024, August 12). S-76 cargo drone: UAC unveils new unmanned aerial vehicle for civilian and military applications in remote areas. *Aviacionline*. <https://www.aviacionline.com/s-76-cargo-drone-uac-unveils-new-unmanned-aerial-vehicle-for-civilian-and-military-applications-in-remote-areas>
- Euchi, J. (2021). Do drones have a realistic place in a pandemic fight for delivering medical supplies in healthcare systems problems? *Chinese Journal of Aeronautics*, 34(2), 182–190. <https://doi.org/10.1016/j.cja.2020.06.006>
- Fabiani, P., Fuertes, V., Piquereau, A., Mampey, R., & Teichteil-Königsbuch, F. (2007). Autonomous flight and navigation of VTOL UAVs: From autonomy demonstrations to out-of-sight flights. *Aerospace Science and Technology*, 11(2–3), 183–193. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2006.05.005>
- Ferdaus, M. M., Anavatti, S. G., Pratama, M., & Garratt, M. A. (2020). Towards the use of fuzzy logic systems in rotary wing unmanned aerial vehicle: A review. *Artificial Intelligence Review*, 53(1), 257–290. <https://doi.org/10.1007/s10462-018-9653-z>
- Garg, P. K. (2021). *Unmanned aerial vehicles: An introduction*. Mercury Learning and Information.
- Garg, P. K. (2023). Role of geospatial data, tools and technologies in Society 5.0. In *Technological prospects and social applications of Society 5.0* (pp. 35–45). Chapman and Hall/CRC.
- Gasimzade, N. (2024). Design and modeling of smartphone controlled vehicle. *Khazar Journal of Science and Technology*, 8(1), 58–77.
- Gautam, A., Sujit, P. B., & Saripalli, S. (2014). A survey of autonomous landing techniques for UAVs. In *2014 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)* (pp. 1210–1218). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICUAS.2014.6842377>
- Ghambari, S., Golabi, M., Jourdan, L., Lepagnot, J., & Idoumghar, L. (2024). UAV path planning techniques: A survey. *RAIRO - Operations Research*, 58, 2951–2989. <https://doi.org/10.1051/ro/2024073>
- Global Market Insights Inc. (2025). *Autonomous cargo aircraft market size & share 2025–2034*. <https://www.gminsights.com/industry-analysis/autonomous-cargo-aircraft-market>
- Global Market Insights Inc. (2026). *Cargo drones market size & share 2026–2035*. <https://www.gminsights.com/industry-analysis/cargo-drones-market>
- Göktürk Çetinkaya, S., & Koç, M. (2023). Türkiye'nin insansız hava araçları serüveni. *Anadolu Strateji Dergisi*, 5(1), 1–27. <https://izlik.org/JA96LA39FG>
- Gu, H., Lyu, X., Li, Z., Shen, S., & Zhang, F. (2017). Development and experimental verification of a hybrid vertical take-off and landing (VTOL) unmanned aerial vehicle (UAV). In *2017 International Conference on Unmanned Aircraft*

- Systems (ICUAS)* (pp. 160–169). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICUAS.2017.7991420>
- Guan, Y. J., Li, Y. P., & Zeng, P. (2023). Aerodynamic analysis of a logistics UAV wing with compound ducted rotor. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 95(3), 366–378. <https://doi.org/10.1108/AEAT-03-2022-0074>
- Gulden, T. (2017). *The energy implications of drones for package delivery: A geographic information system comparison*. RAND Corporation. <https://doi.org/10.7249/RR1718.1>
- Gümüşboğa, İ. (2022). İnsansız hava aracı temelli bir otomatikleştirilmiş stok sayım sistemi tasarımı. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 37(4), 1767–1782. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.835401>
- Güner, S., Rathnayake, D., Ahmadi, N. B., & Kim, B. (2017). Using unmanned aerial vehicles—drones as a logistic method in pharmaceutical industry in Germany. *Aviation*, 1, 1–11.
- Hasan, Y. J., & Sachs, F. (2021). Performance-based preliminary design and selection of aircraft configurations for unmanned cargo operations. In J. C. Dauer (Ed.), *Automated low-altitude air delivery: Towards autonomous cargo transportation with drones* (pp. 107–131). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-83144-8_5
- Hasan, Y. J., Sachs, F., & Dauer, J. C. (2018). Preliminary design study for a future unmanned cargo aircraft configuration. *CEAS Aeronautical Journal*, 9(4), 571–586. <https://doi.org/10.1007/s13272-018-0309-0>
- Hecken, T., Cumnuantip, S., & Klimmek, T. (2021). Structural design of heavy-lift unmanned cargo drones in low altitudes. In J. C. Dauer (Ed.), *Automated low-altitude air delivery: Towards autonomous cargo transportation with drones* (pp. 159–183). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-83144-8_7
- Houser, K. (2022, February 20). *Huge cargo drones could soon move goods across the globe*. Freethink. <https://www.freethink.com/hard-tech/cargo-drones>
- How, J. P., Fraser, C., Kulling, K. C., Bertuccelli, L. F., Toupet, O., & Brunet, L. (2009). Increasing autonomy of UAVs. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 16(2), 43–51. <https://doi.org/10.1109/MRA.2009.932530>
- International Civil Aviation Organization. (2015). *Manual on remotely piloted aircraft systems (RPAS)* (Doc 10019 AN/507, 1st ed.).
- İsmayilli, A. (2023). *İHA'larda itki için kullanılan mikro turbojet motorların hava kompresörünün termodinamik analizi* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Necmettin Erbakan Üniversitesi.
- Javadi, M. M., & Winkenbach, M. (2021). Applications and research avenues for drone-based models in logistics: A classification and review. *Expert Systems with Applications*, 177, 114854. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.114854>
- Jiang, T., Geller, J., Ni, D., & Collura, J. (2016). Unmanned aircraft system traffic management: Concept of operation and system architecture. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 5(3), 123–135. <https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2017.01.004>
- Joerss, M., Schröder, J., Neuhaus, F., Klink, C., & Mann, F. (2016). *Parcel delivery: The future of last mile*. McKinsey & Company.
- Kahveci, M., & Can, N. (2017). İnsansız hava araçları: Tarihçesi, tanımı, dünyada ve Türkiye'deki yasal durumu. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(4), 511–535. <https://izlik.org/JA85LW48PP>
- Kaitwade, N. (2025, September 1). *Drone logistics & transportation market: Global market analysis report 2025–2035*. Future Market Insights. <https://www.futuremarketinsights.com/reports/drone-logistics-transportation-market>
- Kanat, Ö. Ö. (2023). İnsansız hava araçlarının (İHA) stratejik bağlamlardaki önemi. *Anadolu Strateji Dergisi*, 5(2), 75–87. <https://izlik.org/JA97LH28EF>
- Kannan, S. S., & Min, B. C. (2022). Autonomous drone delivery to your door and yard. In *2022 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)* (pp. 452–461). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICUAS54217.2022.9836219>
- Karamanlı, İ. A., & Çelik, M. B. (2019). Model insansız hava aracı üretimi. In *International Aluminium-Themed Engineering and Natural Sciences Conference (IATENS'19)*.
- Kim, D., Lee, K., & Moon, I. (2019). Stochastic facility location model for drones considering uncertain flight distance. *Annals of Operations Research*, 283, 1283–1302. <https://doi.org/10.1007/s10479-018-3114-6>
- Kök, T. (2012). *İnsansız hava araçlarının güvenli kullanımı için spektrum ihtiyaçlarının belirlenmesi ile ilgili öneriler* [Yayımlanmamış teknik uzmanlık tezi]. Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu.
- Korchenko, A. G., & Illyash, O. S. (2013, October). The generalized classification of unmanned air vehicles. In *2013 IEEE 2nd International Conference on Actual Problems of Unmanned Air Vehicles Developments (APUAVD)* (pp. 28–34). IEEE. <https://doi.org/10.1109/APUAVD.2013.6705275>
- Koyuncu, G. (2006). *İnsansız hava aracı disiplinlerarası tasarım optimizasyonu* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Ku, C. (2024, December 4). *China's new drone draws debate over its potential uses*. Voice of America. <https://www.voanews.com/a/china-new-drone-draws-debate-over-its-potential-uses/7887404.html>
- Kuru, K. (2021). Planning the future of smart cities with swarms of fully autonomous unmanned aerial vehicles using a novel framework. *IEEE Access*, 9, 6571–6595. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3049094>
- Labib, N. S., Brust, M. R., Danoy, G., & Bouvry, P. (2021). The rise of drones in internet of things: A survey on the evolution, prospects and challenges of unmanned aerial vehicles. *IEEE Access*, 9, 115466–115487. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3104963>
- LaFay, M. (2015). *Drones for dummies*. John Wiley & Sons.

- Lakhwani, T. S. (2025). Integrating 5PL frameworks with drone-based last-mile delivery: A model for future-ready logistics. *Transportation Development Research*, 3(1), 27–45. <https://doi.org/10.55121/tdr.v3i1.449>
- Lee, D., Hess, D. J., & Heldeweg, M. A. (2022). Safety and privacy regulations for unmanned aerial vehicles: A multiple comparative analysis. *Technology in Society*, 71, Article 102079. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.102079>
- Lee, H. L., Chen, Y., Gillai, B., & Rammohan, S. (2016). *Technological disruption and innovation in last-mile delivery*. Value Chain Innovation Initiative.
- Lei, Z. (2024, June 13). *New cargo drone makes maiden flight*. China Daily. <https://www.chinadaily.com.cn/a/202406/13/WS666a42d1a31082fc043cc303.html>
- Li, W. C., Kearney, P., Braithwaite, G., & Lin, J. J. (2018). How much is too much on monitoring tasks? Visual scan patterns of single air traffic controller performing multiple remote tower operations. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 67, 135–144. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2018.05.005>
- Lin, C. A., Shah, K., Mauntel, L. C. C., & Shah, S. A. (2018). Drone delivery of medications: Review of the landscape and legal considerations. *American Journal of Health-System Pharmacy*, 75(3), 153–158. <https://doi.org/10.2146/ajhp170196>
- Macrina, G., Pugliese, L. D. P., Guerriero, F., & Laporte, G. (2020). Drone-aided routing: A literature review. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 120, 102762. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2020.102762>
- Market.us. (2024). *Autonomous aircraft market*. <https://market.us/report/autonomous-aircraft-market/>
- Market.us. (2025). *eVTOL aircraft market*. <https://market.us/report/evtol-aircraft-market/>
- Mátyás, P., & Máté, N. (2019). Brief history of UAV development. *Repüléstudományi Közlemények*, 31(1), 155–166. <https://doi.org/10.32560/rk.2019.1.13>
- McCoy, J. V. (2003). *Unmanned aerial logistics vehicles: A concept worth pursuing?* [Unpublished doctoral dissertation]. U.S. Army Command and General Staff College.
- McGee, J. P., Parasuraman, R., Mavor, A. S., & Wickens, C. D. (Eds.). (1998). *The future of air traffic control: Human operators and automation*. National Academies Press.
- Mebrat, M. Y., Ahmed, M. W., & Ectors, W. (2025). Business applications of cargo drones in the EU. *Transportation Research Procedia*, 84, 448–455. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2025.03.095>
- Menouar, H., Guvenc, I., Akkaya, K., Uluagac, A. S., Kadri, A., & Tuncer, A. (2017). UAV-enabled intelligent transportation systems for the smart city: Applications and challenges. *IEEE Communications Magazine*, 55(3), 22–28.
- Merkert, R., & Bushell, J. (2020). Managing the drone revolution: A systematic literature review into the current use of airborne drones and future strategic directions for their effective control. *Journal of Air Transport Management*, 89, 101929. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2020.101929>
- Milgram, J., Strickland, J., Macander, A., & Hunter, G. (2003, July). Autonomous glider systems for logistics delivery. In *AUVSI 2003 Unmanned Systems Symposium & Expo* (Paper No. 5301).
- Miličević, Z. M., & Bojković, Z. B. (2021). From the early days of unmanned aerial vehicles (UAVs) to their integration into wireless networks. *Vojnotehnički Glasnik/Military Technical Courier*, 69(4), 941–962. <https://doi.org/10.5937/vojtehg69-33571>
- Mohammed, A., Shinkafi, A. A., Isah, A., Ajayi, J. A., Pedro, P. T., Asooto, B. C., Ejakita, J. O., & Johnson-Anamemena, N. (2021). Prospects and challenges of propulsion technologies of unmanned aerial vehicles: A review. *Nigerian Journal of Technology*, 40(6), 1063–1071. <https://doi.org/10.4314/njt.v40i6.8>
- Munde, S., & Palwe, S. (2025). *Vertical take-off and landing (VTOL) UAV market research report: Forecast to 2034*. Market Research Future. <https://www.marketresearchfuture.com/reports/vtol-uav-market-6279>
- Muratoğlu, A. (2019). *Hibrit bir İHA'nın tasarımı, modellenmesi ve kontrolü* [Yayınlanmamış yüksek lisans tezi]. Orta Doğu Teknik Üniversitesi.
- Nextech Online. (2025). *Discussion: VTOL (vertical take-off and landing) fixed wing*. <https://nextech.online/vtol-uav/>
- Özcan, H., Kesen, E., & Şahin, S. (2025). Kritik görevlerin gözetimini yapan yer ve hava sistemlerinin tasarım, analiz ve uygulaması: Örnek sistem orman yangını. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 31(2), 212–219. <https://izlik.org/JA58JU37FN>
- Özer, M. M. (2024). Avionics and communication architecture design for intelligent automated fixed-wing armed aircraft. In G. Rivera, W. Pedrycz, J. Moreno-Garcia, & J. P. Sánchez-Solís (Eds.), *Innovative applications of artificial neural networks to data analytics and signal processing* (pp. 439–480). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-69769-2_18
- Pak, H. (2021). Use-cases for heavy lift unmanned cargo aircraft. In J. C. Dauer (Ed.), *Automated low-altitude air delivery: Towards autonomous cargo transportation with drones* (pp. 49–72). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-83144-8_3
- Pašagić Škrinjar, J., Škorput, P., & Furdić, M. (2018). Application of unmanned aerial vehicles in logistic processes. In I. Karabegović, Z. Haznadar, & S. Pašić (Eds.), *Proceedings of the 4th International Conference "New Technologies NT-2018: Development and Application"*.
- Papadopoulos, C., Mitridis, D., & Yakinthos, K. (2022). Conceptual design of a novel unmanned ground effect vehicle (UGEV) and flow control integration study. *Drones*, 6(1), Article 25. <https://doi.org/10.3390/drones6010025>
- Piwek, D. G. (2024). Commercialization of unmanned aerial vehicles: Prospects and challenges in the second decade of the 21st century. *Rocznik Bezpieczeństwa Międzynarodowego*, 18(2), 125–154.

<https://doi.org/10.34862/rbm.2024.2.7>

- Prasad, M. D., Yoon, S. N., & Lee, D. (2022). Integrating digital transformation and servitization into digital servitization: A case study on Domino's. *Global Business and Finance Review*, 27(5), 1–16. <https://doi.org/10.17549/gbfr.2022.27.5.1>
- Precedence Research. (2025a). *Unmanned aerial vehicle (UAV) drones market size, share, and trends 2025 to 2034*. <https://www.precedenceresearch.com/unmanned-aerial-vehicle-drones-market>
- Precedence Research. (2025b). *Drone logistics and transportation market size, share and trends 2025 to 2034*. <https://www.precedenceresearch.com/drone-logistics-and-transportation-market>
- Precedence Research. (2025c). *Electric aircraft market size, share, and trends 2025 to 2034*. <https://www.precedenceresearch.com/electric-aircraft-market>
- PwC (2024). *Drone deliveries: Taking retail and logistics to new heights*. <https://cee.pwc.com/drone-powered-solutions/drone-deliveries-taking-retail-and-logistics-to-new-heights.html>
- Qi, H., Cao, S. J., Wu, J. Y., Peng, Y. M., Nie, H., & Wei, X. H. (2024). Research on the effect characteristics of free-tail layout parameters on tail-sitter VTOL UAVs. *Agriculture*, 14(3), Article 472. <https://doi.org/10.3390/agriculture14030472>
- Rakuten. (2019). *Rakuten's new island-hopping drone delivery service*. <https://rakuten.today/blog/island-hopping-drone-delivery-service.html>
- Ramesh, P. S., & Jeyan, J. M. L. (2022). Comparative analysis of fixed-wing, rotary-wing and hybrid mini unmanned aircraft systems (UAS) from the applications perspective. *INCAS Bulletin*, 14(1), 137–151. <https://doi.org/10.13111/2066-8201.2022.14.1.12>
- Rehan, M., Akram, F., Shahzad, A., Shams, T. A., & Ali, Q. (2022). Vertical take-off and landing hybrid unmanned aerial vehicles: An overview. *The Aeronautical Journal*, 126(1306), 2017–2057. <https://doi.org/10.1017/aer.2022.29>
- Sachs, F. (2021). Configurational aspects and vehicle specific investigations for future unmanned cargo aircraft. In J. C. Dauer (Ed.), *Automated low-altitude air delivery: Towards autonomous cargo transportation with drones* (pp. 133–157). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-83144-8_6
- Saleu, G. R. M. (2021). *Optimisation des livraisons urbaines avec drones et véhicules en parallèle* [Unpublished doctoral dissertation]. Université Clermont Auvergne.
- Samantarai, M., & Dutta, S. (2024). Zipline: Navigating the Rwanda skies to make medical supplies accessible to millions on land. *IUP Journal of Supply Chain Management*, 21(2), 53–67.
- Sampigethaya, K., & Poovendran, R. (2013). Aviation cyber-physical systems: Foundations for future aircraft and air transport. *Proceedings of the IEEE*, 101(8), 1834–1855. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2012.2235131>
- Santos, R. J. F. (2024). *Long-range UAV configuration project* [Unpublished master's thesis]. Universidade do Minho.
- Serbezov, V. S. (2019). Assessment of the fuel efficiency of unmanned cargo aircraft, based on general aviation aircraft. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 664(1), 012006. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/664/1/012006>
- Singh, B. (2024). Unmanned aircraft systems (UAS), surveillance, risk management to cybersecurity and legal regulation landscape: Unraveling the future analysis, challenges, demand, and benefits in the high sky exploring the strange new world. In S. K. Gupta, M. Kumar, A. Nayyar, & S. Mahajan (Eds.), *Unmanned aircraft systems* (pp. 313–354). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781394230648.ch8>
- Solomin, E. V., Martyanov, A. S., Shahin, H., Pshenishnov, N. A., & Sheryazov, S. K. (2025). Overview of unmanned aircraft cargo delivery systems. *Siberian Aerospace Journal*, 26(2), 264–290. <https://doi.org/10.31772/2712-8970-2025-26-2-264-290>
- Spandonidis, C., Sedik, E., Giannopoulos, F., Petsa, A., Theodoropoulos, P., Chatzis, K., & Galiatsatos, N. (2022). A novel intelligent IoT system for improving the safety and planning of air cargo operations. *Signals*, 3(1), 95–112. <https://doi.org/10.3390/signals3010008>
- Specht, M., Widźgowski, S., Stateczny, A., Specht, C., & Specht, O. (2023). Comparative analysis of unmanned aerial vehicles used in photogrammetric surveys. *TransNav, International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 17(2), 433–443. <https://doi.org/10.12716/1001.17.02.21>
- Srivastav, A., Shandilya, S., & Ortiz-Rodriguez, F. (2025). Introduction to drones, UAVs, and their applications. In *AI, cybersecurity and data science for drone and unmanned aerial vehicles* (pp. 1–41). Chapman and Hall/CRC. <https://doi.org/10.1201/9781003481584-1>
- Stewart, J. (2017). *Blood-carrying, life-saving drones take off for Tanzania*. WIRED. <https://www.wired.com/story/zipline-drone-delivery-tanzania/>
- Stewart, M. P., & Martin, S. T. (2021). Unmanned aerial vehicles: Fundamentals, components, mechanics, and regulations. In N. Barrera (Ed.), *Unmanned aerial vehicles* (pp. 1–70). Nova Science Publishers.
- Stokkermans, T. C. A., Usai, D., Sinnige, T., & Veldhuis, L. L. M. (2021). Aerodynamic interaction effects between propellers in typical eVTOL vehicle configurations. *Journal of Aircraft*, 58(4), 815–833. <https://doi.org/10.2514/1.C035814>
- Sudbury, A. W., & Hutchinson, E. B. (2016). A cost analysis of Amazon Prime Air (drone delivery). *Journal for Economic Educators*, 16(1), 1–12.
- Tachinina, O., Lysenko, A., & Kutieпов, V. (2022). Classification of modern unmanned aerial vehicles. *Electronics and Control Systems*, 4(74), 79–86. <https://doi.org/10.18372/1990-5548.74.17354>

- Tarantola, A. (2013, August 27). *The Ryan Firebee: Grandfather to the modern UAV*. Gizmodo. <https://gizmodo.com/the-ryan-firebee-grandfather-to-the-modern-uav-1155938222>
- The Guardian. (2013). *Flying aid drones tested in Haiti and Dominican Republic*. <https://www.theguardian.com/global-development/2013/jan/09/flying-aid-drones-haiti-dominicanrepublic>
- Türk Hava Kurumu. (2024). *İnsansız hava araçları (İHA)*. <https://thk.org.tr/Iha>
- UTİKAD. (2018). *PTT 'drone' ile 20 km'ye kadar kargo taşıyacak*. <https://www.utikad.org.tr/Detay/Sektor-Haberleri/24738/ptt-%E2%80%98drone--ile-20-km-ye-kadarkargo-tasiyacak>
- Van Cleave, D. W. (2003). Trends and technologies for unmanned aerial vehicles. In T. Samad & G. Balas (Eds.), *Software-enabled control: Information technology for dynamical systems* (pp. 9–26). Wiley. <https://doi.org/10.1002/047172288X>
- Vashchenko, A. N., Grigoriev, M. N., & Zhang, Z. (2024). Development of civilian heavy cargo UAVs in China: Achievements, experience, and prospects for cooperation with Russia. *Aerospace Engineering and Technology*, 2(4), 80–106. <https://doi.org/10.52467/2949-401X-2024-2-4-80-106>
- Villi, O., & Yakar, M. (2022). İnsansız hava araçlarının kullanım alanları ve sensör tipleri. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 4(2), 73–100. <https://doi.org/10.51534/tiha.1189263>
- Wang, D. (2016, January 5). *The economics of drone delivery*. IEEE Spectrum. <https://spectrum.ieee.org/the-economics-of-drone-delivery>
- West, J. P., & Bowman, J. S. (2016). The domestic use of drones: An ethical analysis of surveillance issues. *Public Administration Review*, 76(4), 649–659. <https://doi.org/10.1111/puar.12506>
- Whittle, R. (2014). *Predator: The secret origins of the drone revolution*. Henry Holt and Company.
- Yiğit, A. Y., & Uysal, M. (2021). Yüksek çözünürlüklü insansız hava aracı (İHA) görüntülerinden karayolların tespiti. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(3), 1040–1054. <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.900817>
- Yiğit, E., Yazar, İ., & Karakoç, T. H. (2018). İnsansız hava araçları (İHA)'nın kapsamlı sınıflandırması ve gelecek perspektifi. *Sürdürülebilir Havacılık Araştırmaları Dergisi*, 3(1), 10–19. <https://izlik.org/JA33PT44RM>
- Yolcu, S. (2021). *Dikine kalkış ve iniş yapabilen yüksek seyir hızına sahip insansız hava aracı tasarımı ve üretimi* [Yayınlanmamış yüksek lisans tezi]. Dokuz Eylül Üniversitesi.
- Yoo, W., Yu, E., & Jung, J. (2018). Drone delivery: Factors affecting the public's attitude and intention to adopt. *Telematics and Informatics*, 35(6), 1687–1700. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2018.04.014>
- Zhou, M., Zhou, Z., Liu, L., Huang, J., & Lv, Z. (2020). Review for vertical take-off and landing fixed-wing UAV and its application prospect in precision agriculture. *International Journal of Precision Agricultural Aviation*, 3(4), 8–17. <https://doi.org/10.33440/j.ijpaa.20200304.130>
- Zhou, Q., & Tan, F. (2024). Avionics of electric vertical take-off and landing in the urban air mobility: A review. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 1–26. <https://doi.org/10.1109/MAES.2024.3488655>
- Zong, J., Zhu, B., Hou, Z., Yang, X., & Zhai, J. (2021). Evaluation and comparison of hybrid wing VTOL UAV with four different electric propulsion systems. *Aerospace*, 8(9), Article 256. <https://doi.org/10.3390/aerospace8090256>