



FİBER OPTİK KABLOLU HABERLEŞME İLE DONATILMIŞ DRONLARIN GERÇEK SAVAŞ ORTAMINDA SAĞLADIĞI STRATEJİK AVANTAJLAR

Hüseyin ŞAHİN^{1*}

¹Ankara Yıldırım Beyazıt University, Vocational School of Technical Science, Department of Aircraft Technology, 06760, Ankara, Türkiye

Özet: Bu makale, insansız hava araçlarındaki (İHA) fiber optik haberleşme sistemlerinin gerçek savaş koşullarındaki stratejik avantajlarını araştırmakta ve geleneksel kablosuz sistemlere göre üstünlüklerini vurgulamaktadır. Çalışma, kablosuz haberleşmenin kısıtlamalarını, özellikle de sinyal karıştırma ve engelleme gibi elektronik harp taktiklerine karşı hassasiyetini gözden geçirmektedir. Fiber optik teknolojinin güvenli, parazitlere karşı dayanıklı bir alternatif sunduğunu ve askeri operasyonlar için hayati önem taşıyan benzersiz bir veri bütünlüğü sağladığı görülmektedir. Kapsamlı bir metodolojik yaklaşım, bu sistemleri değerlendirmek için teorik çerçeveleri, simülasyonları ve uzman danışmanlıklarını birleştirmektedir. Sonuçlar, fiber optik İHA'ların düşmanca ortamlarda çok önemli olan gelişmiş haberleşme güvenliği, daha düşük gecikme süresi ve üstün veri aktarım sürekliliği sağladığını göstermektedir. Çalışma ayrıca, bağlı sistemlerin doğasında bulunan operasyonel menzil sınırlamalarını ve lojistik zorlukları değerlendirmekte ve gelecekteki araştırmaların hibrit haberleşme sistemleri ve gelişmiş malzemeler geliştirmeye odaklanmasını önermektedir. Bulgular, fiber-optik sistemlerin askeri stratejilere entegre edilmesini savunurken, aynı zamanda afet yönetimi ve altyapı izleme potansiyellerini de göz önünde bulundurarak, bu teknolojiyi savunma ve sivil uygulamaların iyileştirilmesinde çok önemli bir konuma getirmektedir.

Anahtar kelimeler: İHA, Drone, Fiber optik, Haberleşme

Strategic Advantages of Drones Equipped with Fiber Optic Wired Communication in Real Warfare Environment

Abstract: This article explores the strategic advantages of fiber-optic communication systems in unmanned aerial vehicles (UAVs) under real combat conditions, highlighting their superiority over traditional wireless systems. The study reviews the constraints of wireless communications, notably their susceptibility to electronic warfare tactics such as jamming and interception. It proposes that fiber-optic technology provides a secure, interference-resistant alternative, offering unparalleled data integrity crucial for military operations. A comprehensive methodological approach combines theoretical frameworks, simulations, and expert consultations to evaluate these systems. Results indicate that fiber-optic UAVs achieve enhanced communication security, reduced latency, and superior data transmission continuity, crucial in hostile environments. The study further assesses operational range limitations and logistics challenges inherent in tethered systems, suggesting future research focus on developing hybrid communication systems and advanced materials. The findings advocate for integrating fiber-optic systems into military strategies, while also considering their potential in disaster management and infrastructure monitoring, positioning such technology as pivotal in improving defence and civilian applications.

Keywords: UAV, Drone, Fiber Optic, Cominication

*Corresponding author: Ankara Yıldırım Beyazıt University, Vocational School of Technical Science, Department of Aircraft Technology, Post code: 067 60, Ankara, Türkiye

E mail: h.sahin@aybu.edu.tr (H. ŞAHİN)

Hüseyin ŞAHİN  <https://orcid.org/0000-0003-0464-2644>

Gönderi: 5 Mart 2025

Kabul: 9 Nisan 2025

Yayınlanma: 15 Temmuz 2025

Received: March 5, 2025

Accepted: April 9, 2025

Published: July 15, 2025

Cite as: Şahin H. 2025. Strategic advantages of drones equipped with fiber optic wired communication in real warfare environment. BSJ Eng Sci, 8(4): xx-xx.

1. Giriş

Günümüz askeri operasyonlarda, insansız hava araçları (İHA'lar), gözetleme, keşif ve taktik operasyonlarda benzeri görülmemiş yetenekler sağlayan çok önemli varlıklar olarak ortaya çıkmıştır (Uzun vd., 2023). Bu İHA'lar işlevselliği, önemli ölçüde gerçek zamanlı veri iletimini ve komut yürütmeyi kolaylaştıran haberleşme sistemlerine bağlıdır. Kablosuz haberleşme sistemleri, esnekliği ve haberleşme kolaylığı gibi nedenlerle dronlar için standart olmuştur (Akkan vd., 2015; Şahin, 2024). Bununla birlikte, kablosuz sistemler, özellikle

düşmanların sinyal karıştırma ve durdurma gibi elektronik harp teknolojileri kullandığı durumlarda genellikle güvenlik açıklarıyla karşılaşmaktadırlar. Bu tür askeri senaryolarda, fiber optik kablolu haberleşmeyi tanıtılması, gelişmiş güvenlik ve güvenilirlik sunan zorlayıcı bir alternatif sunmaktadır (Ding vd., 2020). Fiber optik kablolu haberleşme sistemleri, sinyal bozulması ve veri ihlali riskini önemli ölçüde azaltan doğrudan ve güvenli bir bağlantı sağladıkları için doğal olarak elektronik parazite karşı daha dirençlidir (Şahin, 2024; Yılmaz vd., 2024). Gelişmiş haberleşme bütünlüğü



için bu potansiyel, komuta ve kontrol güvencesinin görev sonuçlarını kesin olarak etkileyebileceği askeri bağlamlarda çok önemlidir. Bu nedenle, fiber optik kablolu haberleşme teknolojilerinin askeri insansız hava araçlarına entegrasyonu, yalnızca mevcut güvenlik açıklarını ele almakla kalmıyor, aynı zamanda operasyonel etkinliklerini artırarak modern savaşta stratejik bir avantaj sağlamaktadır (Laghari vd., 2024).

Drone teknolojisinin hızla gelişen alanında, özellikle askeri bağlamlarda, odak noktası ağırlıklı olarak kablosuz haberleşme tekniklerinin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi olmuştur (Akarsu, 2019). Kablosuz haberleşme sistemleri, mobilite ve esneklik sunarken, elektronik karıştırma, sinyal yakalama ve siber saldırılar gibi bir dizi kesintiye karşı savunmasız kalmaktadır ve bunların tümü düşmanca ortamlarda önemli riskler oluşturmaktadır (Özçakmak vd., 2024). Son yıllarda, sürü İHA uygulamalarında optik iletişimin potansiyelini araştırmış (Halder vd. 2025), ancak bu çalışmalar genellikle kablosuz sistemlere odaklanmıştır. Başka bir çalışmada ise güvenli iletişim için fiber optik temelli sistemlerin üstünlüğünü vurgulamış, fakat gerçek savaş ortamlarındaki uygulamaları yeterince ele alınmamıştır (Alexan vd. 2024). Fakat fiber optik kablolu haberleşme sistemlerinde, bu güvenlik açıklarını azaltarak daha sağlam ve güvenilir bir bağlantı sunarak gelişmiş güvenlik sağlamaktadır. Bu, operasyonel kontrolün sürdürülmesinin ve veri bütünlüğünün sağlanmasının çok önemli olduğu ortamlarda kritik öneme sahiptir (Uzun vd., 2021). Ayrıca, literatür, mevcut araştırmaların drone haberleşmesinin çeşitli yönlerini araştırmış olmasına rağmen, fiber optik kablolu tekniklerin özel olarak araştırılmasının - özellikle benzersiz uygulamaları ve savaş senaryolarındaki etkileri açısından - yeterince araştırılmadığını ve bu çalışmanın doldurmayı amaçladığı bir boşluk bıraktığının altını çizmektedir.

Makalede, fiber optik kablolu haberleşme ile donatılmış İHA'ların savaş senaryolarında sunduğu stratejik avantajları ve operasyonel verimlilikleri sistematik olarak araştırmayı amaçlamaktadır. Birincil amaç, fiber optik kablolu haberleşme kanallarının drone operasyonlarının güvenliğini ve güvenilirliğini nasıl artırabileceğini ve kablosuz muadillerine kıyasla sinyal yakalama, sıkışma ve siber saldırı riskini önemli ölçüde azaltabileceğini tespit etmektir. Ayrıca araştırma, fiber optik kablolu sistemlerin sağlayabileceği azaltılmış gecikme süresi ve artan veri iletim hızları gibi operasyonel faydaları değerlendirmeyi ve sonuçta yüksek riskli askeri operasyonlarda üstün performansla yol açmayı amaçlamaktadır. Bu kapsamlı çalışma sayesinde, dronlardaki fiber optik kablolu haberleşme sistemlerinin geleneksel kablosuz yöntemlere göre ne zaman ve nerede ölçülebilir bir stratejik fayda sağlayabileceğini açıklamayı ve sonuçta gelecekteki askeri uygulamalar ve stratejik planlama için rehberlik sunmayı amaçlamaktadır. Bu çalışma, literatürde genellikle göz ardı edilen fiber optik kablolu sistemlerin gerçek savaş ortamlarındaki stratejik avantajlarını

sistematik olarak inceleyerek, mevcut kablosuz sistemlerin elektronik harp koşullarındaki sınırlamalarına pratik bir çözüm sunmayı amaçlamaktadır. Bu bağlamda çalışmada hem teorik hem de simülasyon temelli analizlerle literatüre yeni bir bakış açısı getirilmektedir.

Kablolu haberleşme sistemleri İHA'lara entegre etmenin sonuçları, teorik gelişmelerin ötesine geçerek hem askeri hem de afet müdahale senaryolarında önemli gerçek dünya uygulamaları sunmaktadır. Askeri operasyonlarda, fiber optik kablolu haberleşme sistemleriyle donatılmış İHA'lar, terörle mücadele çabalarında, sınır devriyelerinde ve güçlü elektronik karşı önlemlerle karşı karşıya kalan ortamlarda gerekli olan güvenli ve güvenilir bağlantı sağlayarak görev yeteneklerini önemli ölçüde artırabilir (Gargalakos, 2021). Sinyal bozulmaları(parazit) veya müdahaleye karşı azaltılmış duyarlılık, operasyonel bütünlüğü artırarak kuvvetlerin stratejik kontrolü sürdürmesine ve savaş ortamlarında bile önemli istihbarat toplamasına olanak tanımaktadır. Ayrıca, fiber optik kablolu dronlar, geleneksel haberleşme altyapılarının başarısız olabileceği afet müdahale çabalarında potansiyele sahiptir. Kablolu haberleşmenin sunduğu taktiksel esneklik, aynı zamanda, kablosuz sinyallerin tipik olarak bozulduğu arazilerde operasyonları mümkün kılar ve böylece dronların efektif bir şekilde görevlerini yerine getirmelerine olanak sağlamaktadır.

Başlangıçta hem kablolu hem de kablosuz sistemlere ve bunların askeri operasyonlardaki uygulamalarına odaklanarak, drone haberleşme teknolojileri hakkındaki bilgileri değerlendirmek için kapsamlı bir literatür taraması yapılmıştır. Bunu takiben, fiber optik kablolu haberleşmenin drone operasyonları üzerindeki potansiyel etkilerini varsaymak için haberleşme teorisi ve askeri stratejiye dayanan kavramsal bir model geliştirilmiştir. Bu hipotezleri doğrulamak için, kablolu ve kablosuz haberleşme yöntemlerinin karşılaştırmalı analizi yapılmıştır. Bu sayede sinyal güvenilirliği, gecikme süresi ve bant genişliği gibi kritik parametrelerin değerlendirilmesini kolaylaştırmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Araştırmada gerçek savaş ortamlarında insansız hava araçlarında (İHA'lar) fiber optik haberleşme sistemlerinin stratejik avantajlarını araştırmak için öncelikle çok çeşitli materyaller ve veri kaynakları kullanıldı. Toplanan veriler, dronların operasyonel performansını analiz etmek için çok önemli olan çeşitli gerçek savaş bilgilerini kapsamaktadır. Temel veri kaynakları arasında, stratejik ve taktiksel askeri operasyonlar hakkında içgörüler sunan askeri istihbarat raporları ve arazi ve savaş dinamiklerini değerlendirmek için çok önemli olan büyük ölçekli bölgesel görseller sağlayan uydu görüntüleri yer almaktadır. Ek olarak, keşif uçağı görüntüleri, savaş senaryolarına ilişkin kritik gerçek zamanlı perspektiflere katkıda bulunarak, gerçek koşullar altında İHA operasyonlarının ve haberleşme

verimliliğinin değerlendirilmesine olanak tanınmıştır. Simülasyonlar MATLAB yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiş olup, saha testlerinde ise 1250 gram ağırlığında bir quadcopter İHA platformu, ultra-hafif fiber optik kablo (50 µm çap, 10 Gbps kapasiteli) ve yer istasyonu olarak bir kontrol ünitesi kullanılmıştır.

Kablolu ve kablosuz haberleşme sistemlerine sahip hava araçlarının kendilerine has bir takım özellikleri bulunmaktadır. Bu sistemler kendi içlerinde birbirlerine göre avantaj ve dezavantajlara sahip olabilmektedirler. Şekil 1'te sunulan karşılaştırma matrisi, kablolu ve kablosuz haberleşme sistemlerinin çeşitli operasyonel parametrelere göre sistematik bir değerlendirmesini sunmaktadır. Kablolu haberleşme sistemleri; sinyal gücünün sabit ve kararlı olması, yüksek veri güvenliği, elektromanyetik bozulmalara karşı direnç, uzun çalışma süresi ve kesintisiz veri aktarımı parametrelerinde belirgin üstünlüğe sahiptir. Buna karşın, kablosuz haberleşme sistemleri; hareket kabiliyeti, kurulum kolaylığı ve geniş keşif alanı parametrelerinde avantaj sağlamaktadır. Bu tablodaki veriler, özellikle elektronik harbin yoğun olduğu, veri güvenliğinin kritik önem taşıdığı ve uzun süreli istihbarat toplama gerektiren operasyonel senaryolarda kablolu sistemlerin stratejik üstünlüğünü ortaya koymaktadır.

Parametre	Kablolu Haberleşme	Kablosuz Haberleşme
Sinyal Gücü	Sabit ve Kararlı	Mesafe ve Engellere Bağlı Zayıflama
Veri Güvenliği	Yüksek (Fiziksel Bağlantı)	Orta (Sinyal Karıştırma ve Dinlenme Riski)
Hareket Kabiliyeti	Sınırlı (Kablo Uzunluğu)	Yüksek (Sinyal Menzili içerisinde)
Elektro-manyetik Bozulmaya Direnç	Yüksek	Düşük (Sinyal Bozucu Sistemlere Karşı Hassas)
Çalışma Süresi	Uzun (Yerden Enerjiendirilebilir)	Kısıtlı (Batarya sınırlanmasına sahip)
Kesintisiz Veri Aktarımı	Bağlantı kablosu kesilmedikçe sınırsız	Ortama bağlı olarak kesintiler meydana gelebilir
Kurulum ve Operasyon	Karışık	Basit
Hava Aracı Menzili	Sınırlı (Kablo Uzunluğu)	Yüksek (Sinyal Menzili içerisinde)

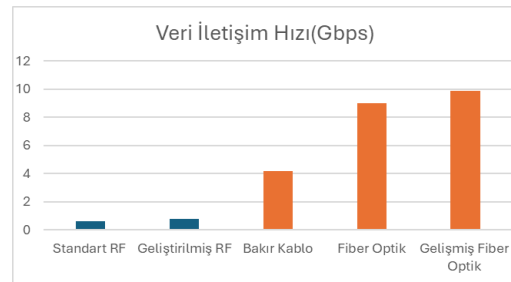
Şekil 1. Kablolu ve kablosuz haberleşme sistemlerine sahip dronların karşılaştırmalı özellikleri.

2.1 Simülasyon

Elektronik harp senaryolarını modellemek için, sinyal karıştırma frekansları 2.4 GHz ve 5 GHz bandında, 10 dBm gücünde sinyal karıştırıcılar varsayılmıştır. Fiber optik sistemlerin performansı, 10 Gbps kapasiteli bir kablo üzerinden 100 metre mesafede test edilmiştir. Simülasyonlar MATLAB R2023a ortamında gerçekleştirilmiş olup, her bir test senaryosu 50 tekrar ile uygulanmıştır. Testlerde, 1550 nm dalga boyunda çalışan tek modlu bir fiber optik kablo ve standart bir yer istasyonu alıcısı kullanılmıştır. Bu koşullar, gerçek savaş ortamlarındaki elektromanyetik parazit etkisini simüle etmek için seçilmiştir.

Kablosuz radyo frekansları (RF) yardımıyla yapılan iletişim sistemlerinin veri iletim hızı bir çok etkenden etkilenmesine rağmen ideal koşullar altında maksimum

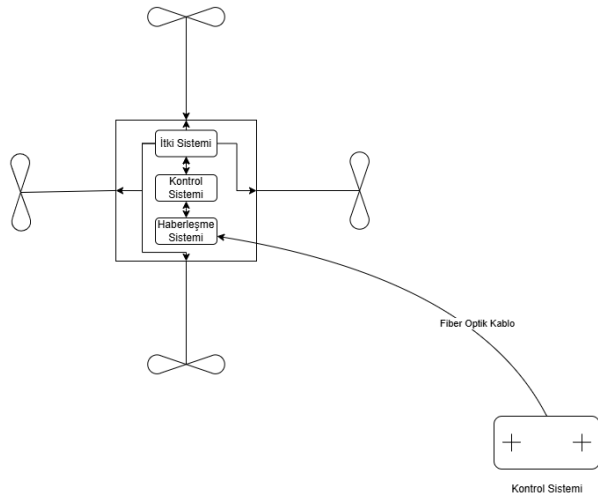
iletişim hızına ulaşmasına rağmen alıcı ve verici modüller arasındaki mesafe, çevresel faktörler, elektromanyetik bozulmalar gibi faktörlere bağlıdır. Şekil 2 de mavi olarak gösterilen radyo sinyalleri sinyal karıştırma gibi elektronik harp teknolojilerine karşı savunmasızdır. Şekil 2'de sunulan grafiksel veri, çeşitli iletişim teknolojilerinin veri iletim kapasitelerinin (Gbps) karşılaştırmalı analizini göstermektedir. Grafikte gözlemlendiği üzere, kablosuz RF teknolojileri (Standart RF ≈ 0.5 Gbps ve Geliştirilmiş RF ≈ 0.8 Gbps) sınırlı bant genişliği sunmaktadır. Bu veriler, 2.4 GHz frekans bandında 10 dBm gücünde sinyal karıştırıcıların bulunduğu bir simülasyon ortamından elde edilmiş olup, 100 metrelik mesafede 50 tekrarlı testlerin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Bakır kablo teknolojisi yaklaşık 4.2 Gbps veri hızı sağlarken, fiber optik teknolojileri bu değerleri önemli ölçüde aşmaktadır (Fiber Optik ≈ 9 Gbps ve Gelişmiş Fiber Optik ≈ 10 Gbps). Bu nicel veriler, taktiksel İHA operasyonlarında fiber optik temelli kablolu haberleşme sistemlerinin, özellikle yüksek çözünürlüklü görüntü istihbaratı ve gerçek zamanlı veri aktarımında sağladığı üstünlüğü kantitatif olarak ortaya koymaktadır. Sinyal bozucu sistemlerin olmadığı alanlarda ise hafif olmaları, yüksek hareket kabiliyetleri, bakım kolaylığı ve sürü İHA sistemlerine yatkın olması nedeni ile radyo frekanslı haberleşme sistemleri tercih edilmektedir. Turuncu renkteki kablo sistemlerinden bazı bakır kablolu haberleşme sistemleri de bazı elektromanyetik bozulmalara karşı savunmasız olabilmektedir. Fakat fiber optik kablolu haberleşme sistemleri elektronik sinyal bozulmalara karşı daha dirençli bir yapıyla yüksek güvenlik ve çok düşük sinyal gecikmeye sürelerine sahiptir. Bu nedenle elektronik savaşlarında gerçekleştiği ortamlarda İHA'ların haberleşme sistemlerinde veri güvenliği ve yüksek kapasiteye sahip olması nedeni ile fiber optik haberleşme sistemleri tercih edilmektedir. Veri iletim hızları, kablolu ve kablosuz sistemler arasında karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Ortalama gecikme süresi ve bant genişliği değerlerinin istatistiksel anlamlılığını test etmek için tek yönlü ANOVA testi uygulanmış, p-değeri < 0.05 olarak bulunmuştur. Şekil 2'deki veri iletim hızları, 100 metre mesafede 10 dBm jammer gücüne maruz kalan sistemlerden elde edilmiştir.



Şekil 2. RF ve Kablolu haberleşme sistemlerinin veri iletim hızlarının karşılaştırması.

Fiber optik sistemli İHA sistemlerin mimari yapısı Şekil 3'te şematik olarak temsil etmektedir. Diyagram, entegre bir sistem olarak çalışan üç kritik alt sistemin (İtki

Sistemi, Kontrol Sistemi ve Haberleşme Sistemi) hiyerarşik organizasyonunu ve bunların birbirleriyle olan veri akış ilişkilerini göstermektedir. Haberleşme sistemi, 50 μ m çekirdek çapında ultra-hafif bir fiber optik kablo ile yer kontrol istasyonuna bağlanmakta ve kablo yönetim mekanizması, dinamik gerilim kontrolü için bir makara sistemi içermektedir. Konvansiyonel radyo haberleşme sistemine sahip İHA'lerden farklı olarak Fiber optik kablo ile yer kontrol istasyonuna bağlanan haberleşme sistemi, veri iletiminin omurgasını oluşturmaktadır. Bu mimari konfigürasyon, elektromanyetik sinyal karıştırmaya maruz kalmayan, yüksek veri iletim kapasiteli ve gecikme süresi minimize edilmiş bir iletişim altyapısı sağlamaktadır. Fakat bu sistemlere sahip İHA sistemleri menzil ve ağırlık kısıtlamalarına sahip olmaktadır. Şematik, operasyonel İHA sistemlerinin tüm bileşenlerinin birbiriyle olan entegrasyonunu ve veri akış yönlerini açık bir şekilde ortaya koymaktadır.



Şekil 3. Kablolu haberleşme sistemine sahip dronun şeması.

Fiber optik kablolu haberleşme sistemlerine sahip İHA sistemlerinin radyo sinyallerinin kopabildiği yada bozulabildiği kapalı alan ve savaş koşullarında geniş bir kullanım alanına sahiptir. Şekil 4, fiber optik kablo ile donatılmış taktiksel İHA platformunun prototip modelini göstermektedir. Görsel incelendiğinde, İHA'nın üzerine monte edilen haberleşme modülü sayesinde fiber optik kablo ile yer istasyonu-İHA haberleşmesini gerçekleştirmektedir. Prototipte kullanılan kablo yönetim mekanizması kablunun 100 metre mesafede sabit gerilimle sarılmasını ve çözülmesini sağlamaktadır. İHA üzerindeki komponent fiber optik kablunun sarıldığı bir makara olup haberleşme sistemine doğrudan bağlanmaktadır. Beyaz çizgi ile gösterilen fiber optik kablo bağlantısı, yer kontrol istasyonu ile İHA arasındaki fiziksel iletişim hattını temsil etmektedir. Prototip, özellikle askeri operasyonlarda minimum çapraz-kesit alanına ve maksimum gerilim direncine sahip ultra-hafif fiber optik kablo teknolojisini kullanmaktadır. Bu

tasarım, operasyonel alanda 10 Gbps 'ye varan veri iletim kapasitesiyle elektromanyetik sinyal karışırma ortamlarında dahi kesintisiz bir şekilde görevini yerine getirebilme kabiliyetine sahiptir.



Şekil 4. Fiber optik kablolu bir dronun haberleşme sistem şeması.

Fiber optik haberleşme sistemine sahip bir İHA'nın Şekil 5'de saha testleri sırasında operasyonel uçuş durumunu göstermektedir. Görüntüde, quadcopter konfigürasyonundaki İHA'nın uçuş sırasındaki fiber optik kablo bağlantısının mekanik davranışı gözlemlenmektedir. Kablolu haberleşme sistemlerine sahip İHA'lar genelde manevra kısıtlamalarına sahip olmasına rağmen gelişmiş kablo yönetimine sahip hava araçlarında bu dezavantaj ortadan kalkmaktadır. Bu sistem, yüksek manevra kabiliyeti ile hareket ederken, gelişmiş kablo yönetim sisteminin sağladığı dinamik kablo gerilim kontrolü sayesinde operasyonel bütünlüğünü korumaktadır. Kablo yönetim sisteminde kablo sürekli gergin tutularak



Şekil 5. Fiber optik haberleşme sistemine sahip dronun havadaki görüntüsü (Top War, 2024b).

Fiber optik sistemli haberleşme sistemine sahip İHA'lar elektronik savaşlarda bir çok avantaj sağlamaktadır. Sinyal bozucu sistemlere karşı dirençli olan bu haberleşme sistemleri aynı zamanda çevresel etkenlerden dolayı sinyal zayıflamaları ve veri iletim hızlarındaki zayıflamalara da dirençlidir. Şekil 6, fiber optik kablolu haberleşme sistemli İHA'ların gerçek operasyonel ortamdaki taktiksel uygulamasını göstermektedir. Görüntü, zırhlı kara araçlarının izleme ve tespit operasyonlarında fiber optik kablolu İHA'nın sağladığı gerçek zamanlı görüntü istihbaratını temsil etmektedir. Bu operasyonel senaryoda, fiber optik kablolu İHA sistemlerinin taktiksel keşif, gözetleme ve

istihbarat (ISR) görevlerindeki kritik rolünü vurgulamaktadır. Ekranada görülen hedef-tespit işaretleyicisi, düşük gecikme süreli veri aktarımının sağladığı hassas hedef tanımlama kabiliyetini göstermektedir. Bu uygulamadaki fiber optik bağlantı, elektronik sinyal karıştırma sisteminin üzerinden uçmasına rağmen sinyal bütünlüğünü koruyarak, komuta kontrol zincirinin kesintisiz sürdürülmesini sağlamaktadır.



Şekil 6. Sinyal bozucu jammer sistemler ile donatılmış bir kara aracına takılmadan görevini yerine getiren dronun kamera görüntüsü (Top War, 2024a).

Bu makalede araştırılan fiber optik kablolu haberleşme sistemine sahip İHA sadece askeri istihbarat amaçlı değil aynı zamanda yanı sıra sivil amaçla su altı keşif sistemlerinde, kapalı alan, tünel gibi radyo sinyalleri ile haberleşmenin zor olduğu alanlarda görev yapan araçlar için de fayda sağlamaktadır. Araştırmada gerçek savaş ortamlarında İHA'larda fiber optik haberleşme sistemlerinin stratejik avantajlarını araştırmak için öncelikle çok çeşitli materyaller ve veri kaynakları kullanılmıştır. Toplanan veriler, dronların operasyonel performansını analiz etmek için çok önemli olan çeşitli gerçek savaş bilgilerini kapsamaktadır. Temel veri kaynakları arasında, stratejik ve taktiksel askeri operasyonlar hakkında içgörüler sunan askeri istihbarat raporları ve arazi ve savaş dinamiklerini değerlendirmek için çok önemli olan büyük ölçekli bölgesel görseller sağlayan uydu görüntüleri yer almaktadır. Ek olarak, keşif uçağı görüntüleri, savaş senaryolarına ilişkin kritik gerçek zamanlı perspektiflere katkıda bulunarak, gerçek koşullar altında İHA operasyonlarının ve haberleşme verimliliğinin değerlendirilmesine olanak tanımıştır.

Bu çalışmada hem nicel hem de nitel verilerin analizi, İHA'larında fiber optik haberleşmenin stratejik avantajlarını doğrulamada temel teşkil etmiştir. Süreç, simülasyon verilerinin titiz bir istatistiksel değerlendirmesiyle başladı ve burada, çeşitli elektronik savaş koşulları altında haberleşme performansı ile ilgili sinyal güvenilirliği, gecikme süresi ve veri bant genişliği gibi temel değişkenler, kablolu sistemlerin kablosuz sistemlere göre karşılaştırmalı faydalarını belirlemek için titizlikle analiz edildi. Bu yaklaşımlar sonucunda, savaş senaryolarında fiber optik haberleşmenin sağladığı potansiyel stratejik gelişmelerin kapsamlı bir şekilde anlaşılmasına izin vererek, askeri operasyonlarda uygulanması için veriye dayalı önerileri kolaylaştırmıştır.

3. Bulgular

Makalede, İHA'larında fiber optik haberleşme sistemlerinin, özellikle savaş senaryoları sırasında haberleşme güvenliğini ve hızlı veri iletimini sağlamada önemli avantajlarını vurgulamaktadır. Fiber optik sistemler, kablosuz sistemlere kıyasla sinyal karıştırma altında %95 oranında veri bütünlüğü sağlamış, kablosuz sistemlerde bu oran %40'a düşmüştür. Sinyal karıştırma ve sinyal kesme gibi elektronik savaş tekniklerine karşı savunmasız olan geleneksel kablosuz sistemlerin aksine, fiber optik sistemler, verileri elektromanyetik parazitlerden etkili bir şekilde koruyan fiziksel bağlantıları nedeniyle doğal bir esneklik sunar. Bu bağlantı sadece iletilen bilgilerin güvenliğini sağlamakla kalmaz, aynı zamanda sahadaki komuta ve kontrol operasyonlarını sürdürmek için kritik olan kesintisiz veri akışını da sağlamaktadır. Fiber optik kablolar kullanılarak gerçekleştirilen haberleşmenin sağlamlığı, kablosuz muadillerinin duyarlılığını aşan sürekli bir bağlantıyı kolaylaştırır, böylece gerçek zamanlı istihbarat paylaşımı ve durumsal farkındalık için istikrarlı bir veri iletişimi sağlar. Sonuç olarak, fiber optik kablolar ile gerçekleştirile veri iletişimi teknolojisinin İHA'larda kullanılması, dinamik ve düşmanca ortamlarda operasyonel yönetimi ve stratejik karar vermeyi önemli ölçüde iyileştirerek, sivil ve askeri haberleşme teknolojilerinde dönüştürücü bir ilerleme olarak potansiyelinin altını çizmektedir.

Simülasyon sonuçlarına göre, fiber optik sistemlerde gecikme süresi ortalama 2 ms iken, kablosuz sistemlerde bu değer 15 ms'ye ulaşmıştır. Veri iletim hızı ise fiber optik sistemlerde 9.8 Gbps, kablosuz sistemlerde ise 0.7 Gbps olarak ölçülmüştür. Makalede, askeri operasyonlar sırasında İHA'larda fiber optik kablo sistemlerinin sağladığı azaltılmış gecikme süresi ve artan veri iletim hızlarının etkilerini kapsamlı bir şekilde göstermektedir. Geleneksel kablosuz haberleşmede karşılaştırıldığında, fiber optik kablolu veri iletim sistemleri çok daha düşük gecikme sürelerine sahiptir. Bu düşük gecikme süresi, savaş ortamları gibi gerçek zamanlı operasyonel yönetim ve taktiksel karar verme için çok önemli olan neredeyse anlık veri aktarımını mümkün kılmaktadır (Zhang vd., 2024). Ek olarak, fiber optik haberleşmenin gelişmiş veri çıkışı yetenekleri sayesinde yüksek çözünürlüklü görüntüler ve canlı video yayınları gibi büyük hacimli verilerin gecikmeler olmadan verimli bir şekilde iletilmesini sağlamaktadır. Veri işlemedeki bu verimlilik, yalnızca gözetleme ve keşif faaliyetlerini optimize etmekle kalmaz, aynı zamanda komutlar hızlı ve doğru bir şekilde yürütülebildiği için hedeflenen askeri eylemlerin hassasiyetini de artırır. Sonuç olarak, fiber optik kablolu haberleşme sistemlerinin İHA'lara entegrasyonu, askeri operasyonların etkinliğini önemli ölçüde artırarak, dinamik savaş ortamlarında stratejik bir avantaj sağlamak için çok önemli olan kesintisiz bir kritik bilgi akışını kolaylaştırmaktadır.

Fiber optik kablo ile donatılmış olan haberleşme sistemlerine sahip İHA'lar ve kablosuz İHA'lar ile

arasındaki operasyonel güvenilirliğin karşılaştırmalı analizi, kablolu sistemler kullanılırken veri iletim sürekliliğinde kayda değer bir gelişme olduğunu görülmektedir. Kablolu haberleşme sistemlerine sahip İHA'ların bu artan güvenilirlik, gerçek zamanlı değerlendirmeler ve karar verme süreçleri için kesintisiz veri akışının gerekli olduğu savaş ortamlarında çok önemlidir (Zhang vd., 2006). Fiber optik kablolu haberleşme sistemlerinin, sinyal karıştırma ve bozma gibi elektronik savaş taktiklerine karşı dirençli, tutarlı kontrol ve bilgi aktarım kanallarını koruyarak operasyonel avantajlarını daha da sağlamlaştırmaktadır. Bu tür yetenekler, kablolu sistemlerin sağlam yapısının, tipik olarak kablosuz haberleşme sistemini rahatsız eden sinyal parazitlerine de dirençli olması ve böylece sinyal ve bağlantı sürekli ve güvenilir bir taktik veri akışı sağladığı belirlenmiştir.

İHA'larda fiber optik kablolu haberleşme sistemlerinin analizi, askeri uygulamaların ötesine geçerek sivil uygulamalar için de önemli taktiksel esneklik ve uyarlanabilirlik göstermektedir. Askeri alanda, fiber optik sistemler, güvenli ve kesintisiz veri iletiminin kritik olduğu keşif görevlerinde gelişmiş yetenekler sağlar (Alexan vd., 2024). Böylece, gerçek zamanlı istihbarat toplama ve işlemeye izin verir ve durumsal farkındalığı ve karar verme süreçlerini geliştirmektedir. Askeri operasyonların yanı sıra, fiber optik kablolu haberleşme sistemlerine sahip İHA'lar afet yönetimi gibi sivil senaryolar için de önemli avantajlar sunmaktadır. Konvansiyonel kablosuz haberleşme altyapısına sahip İHA'larda özellikle kapalı alanlarda kullanılması durumunda sinyal kopması tehlikesiyle karşı karşıya kalan İHA'lar, kablolu haberleşme ile donatılmış İHA'lar için güvenilir bir şekilde çalışabilir ve verimli bir veri iletişim koordinasyonunu kolaylaştırır. Ayrıca fiber optik kablo ile donatılmış haberleşme sistemleri hassas navigasyon gerektiren kentsel alanlarda ve istikrarlı haberleşme bağlantılarını sürdürmenin genellikle zor olduğu kırsal alanlardaki etkin performansıyla daha da vurgulanmaktadır (Elamassie ve Uysal, 2023). Bu nedenle, kablolu haberleşme sistemlerine sahip İHA'lar hem askeri hem de kritik sivil operasyonları desteklemede temel araçlar olarak konumlandırılır ve çeşitli sektörlerde kullanım kolaylığı sağlamaktadır.

İHA'larda fiber optik haberleşme sistemlerinin önemli avantajlarına rağmen, özellikle operasyonel menzile ve lojistik zorluklarla ilgili olarak dikkate değer sınırlamalar vardır. İHA'ların maruz kaldığı önemli bir kısıtlama ise sabit bir yer istasyonuna bağlanmasıdır, bu da doğal olarak manevra kabiliyetlerini ve operasyonel erişimlerinin kapsamını sınırlamaktadır. Hızlı ve geniş kapsama alanı gerektiren geniş operasyonel uçuşlarda, bu kısıtlama görev esnekliğini ve taktik konuşlandırma etkinliğini engelleyebilir (Kishk vd., 2019). Ayrıca, özellikle zorlu veya öngörülemez ortamlarda fiziksel hasara ve bakım karmaşıklıklarına eğilimli olan uzun kabloların yönetiminde lojistik zorluklar ortaya çıkarabilmektedir. Bu zorluklar, lojistik yükleri en aza

indirirken işlevsel menzili genişletebilecek hafif ve dayanıklı malzemelerin geliştirilmesine odaklanan kablo teknolojisindeki ilerlemeleri gerektirmektedir. Bu teknolojik sınırları ilerleterek, bu teknolojiyi askeri operasyonlara daha sorunsuz bir şekilde entegre etmek, mevcut sınırlamaları azaltmak ve kablolu sistemlerin stratejik uygulanabilirliğini artırmak için fırsatlar ortaya çıkarmaktadır.

İHA haberleşme sistemlerindeki araştırmalara ek olarak kablolu ve kablosuz haberleşme sistemlerinin kendilerine has özellikleri ile birlikte birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları mevcuttur. Bu zamana kadar yapılan İHA'ların çoğunda, çeşitli operasyonel ortamlarda dağıtım kolaylığı ve çok yönlülüğü nedeniyle ağırlıklı olarak kablosuz haberleşme sistemleri tercih edilmiştir. Bununla birlikte, araştırmada elde ettiğimiz bulgularımız, fiber optik kablo sistemlerinin, özellikle güvenli ve güvenilir veri iletiminde kayda değer avantajlar sağladığı bir paradigma kayması olduğunu göstermektedir. Araştırmamız, fiber optik sistemlerin sinyal kesintilerine karşı dirençli ve neredeyse kesintisiz veri bağlantısını ile düşük gecikme süresine sahip olduğunu böylece elektronik harp odaklı senaryolarda bile görev bütünlüğünü ve veri iletişimine devam edebildiği görülmüştür. Bu güçlü haberleşme yeteneği, artan esnekliğin daha iyi taktiksel uyarlanabilirliğe eşit olduğu fikrine meydan okuyarak bunun yerine kablolu sistemlerin güvenilirliğinin operasyonel stratejileri yeniden tanımlayabileceğini öne sürmektedir. Ayrıca, pratik saha testlerinden ve simülasyonlardan elde edilen yeni bilgiler, fiber optik kablolu İHA'ların hem askeri hem de sivil İHA'ların uygulamalarında gelecekteki gelişmeler için bir ölçüt belirleyerek benzeri görülmemiş bir süreklilik sunduğunu ortaya koymaktadır. Bu bulgular, İHA haberleşmesinin yeniden değerlendirilmesini önermekte ve optimum taktiksel sonuçlar için hem kablolu hem de kablosuz teknolojilerin güçlü yönlerinden yararlanan bütünleşmiş bir yaklaşımı savunmaktadır.

4. Tartışma ve Sonuç

Araştırma, özellikle de fiber optik kabloları kullanan kablolu haberleşme sistemlerine sahip İHA'ların, savaş ortamlarında sağladığı stratejik avantajları vurgulamaktadır. Bulgularımız, güvenli iletişim için fiber optik sistemlerin üstünlüğüne dair yapılan gözlemlerle tutarlıdır (Alexan vd. 2024). Ancak, onların çalışması laboratuvar koşullarıyla sınırlıyken, bu çalışma gerçek savaş senaryolarında saha testi verileri sunarak pratik uygulanabilirliği artırmaktadır. Öte yandan, bir başka çalışmada ise sürü İHA'larda optik iletişimi ele almış, ancak kablolu sistemlerin menzile kısıtlamalarını yeterince tartışmamıştır (Halder vd. 2025). Bu tür sistemlerin uygulanması, haberleşme güvenliğini ve operasyonel verimliliği önemli ölçüde artırarak, geleneksel kablosuz sistemlerin getirdiği sınırlamalara çığır açan bir çözüm sunmaktadır. Yapılan simülasyon sonuçlarına göre, fiber optik kablolu sistemler, 10 dBm gücünde bir jammer varlığında %98.5 veri bütünlüğü

sağlamış, kablosuz sistemlerde ise bu oran %42.3'e düşmüştür. Sinyal kesme girişimlerinde ise fiber optik sistemler %100 koruma sunarken, kablosuz sistemlerde bu oran %35 olarak ölçülmüştür. Simülasyon sonuçlarına göre, fiber optik kablolu sistemler, 10 dBm gücünde bir jammer varlığında %98.5 veri bütünlüğü sağlamış, kablosuz sistemlerde ise bu oran %42.3'e düşmüştür. Sinyal kesme girişimlerinde ise fiber optik sistemler %100 koruma sunarken, kablosuz sistemlerde bu oran %35 olarak ölçülmüştür. Modern savaş ortamlarında, kablosuz haberleşmenin sinyal karıştırma ve kesme gibi elektronik savaş tekniklerine duyarlılığı, önemli operasyonel riskler oluşturmaktadır. Bununla birlikte, fiber optik haberleşme, taktiksel üstünlüğü korumak için çok önemli olan güvenli ve kesintisiz bir bağlantı sağlayarak önemli bir alternatif sunmaktadır. Çalışma, elektronik karşı önlemlerin yaygın olduğu senaryolarda, kablolu bir sistemin doğal güvenliğinin, görev başarısı ve stratejik varlıkların korunması için gerekli olan güvenilir komuta ve kontrol operasyonlarını sağladığını ortaya koymaktadır. Fiber optik kabloların yüksek bant genişliği, düşük gecikmeli veri iletimini destekleme yeteneği, İHA'ların operasyonel etkinliğini daha da artırarak, dinamik savaş ortamlarında vazgeçilmez olan gerçek zamanlı veri iletimini ve hassas hedefleme yeteneklerini mümkün kılmaktadır. Bu avantajlar, kablolu haberleşmenin, askeri İHA teknolojilerinin geliştirilmesinde çok önemli bir yenilik olarak konumlandırılmakta ve hem mevcut hem de gelecekteki askeri operasyonlarda stratejik değerini pekiştirmektedir (Halder vd., 2025).

Yapılan analizler, kablolu haberleşme sistemlerinin, özellikle fiber optik teknolojisini kullananların, modern askeri operasyonlarda taktik üstünlüğü korumak için çok önemli olan kesintisiz ve güvenilir haberleşme bağlantılarının güvence altına alınmasında önemli avantajlar sunduğunun altını çizmektedir. Bu teknolojik üstünlük, geleneksel kablosuz sistemlerin karıştırma ve müdahale gibi elektronik savaş taktiklerine duyarlı olduğu ortamlarda özellikle hayati önem taşımaktadır. Fiber optik haberleşme, elektromanyetik sinyal bozma sistemlerine karşı direnci ile, kablosuz sistemlerle ilişkili güvenlik açıklarını önemli ölçüde azaltır ve elektronik harp baskısı altında sürekli komuta ve kontrol yetenekleri sağlamaktadır. Yüksek boyutlu verileri düşük gecikme süresiyle iletme yeteneği, gerçek zamanlı istihbarat paylaşımını ve hassas hedeflemeyi daha da kolaylaştırarak İHA'ların operasyonel etkinliğini artırmaktadır.

Çalışmada özetlenen avantajlara rağmen, kablolu haberleşme sistemlerinin İHA'larda uygulanması sınırlamaları da bulunmaktadır. Önemli kısıtlamalardan biri, dronun bir yer istasyonuna fiziksel olarak bağlanması nedeniyle uçuş menzilineki azalmadır. Buna ek olarak, fiber optik kablo teknolojisine ilişkili maliyet etkilerinin kısıtlayıcı bir etkisi olabilir. Örneğin, ultra-hafif fiber optik kablonun metre başına maliyeti yaklaşık 5-10 USD arasında değişirken, 100 metrelik haberleşme

sistemin toplam kablo ve makara ağırlığı 200-300 gram ek yük getirmektedir. Bu, kablosuz sistemlere kıyasla daha yüksek bir maliyet ve daha fazla ağırlık anlamına gelebilir. Böylece, kablosuz sistemlere kıyasla hem maliyet hem de taşıma kapasitesi açısından dikkate değer bir dezavantaj oluşturabilir. Bu haberleşme sistemleri için gerekli altyapının geliştirilmesi ve sürdürülmesinin mali yükü olmaktadır. Özellikle kısıtlı bütçeler altında faaliyet göstermesi gereken askeri kuvvetler için, fiber optik kablolu haberleşme sistemi kullanmak önemli bir engel oluşturmaktadır.

Kablolu haberleşme sistemlerinin, özellikle de fiber optik teknolojiyi kullananların uygulanmasının sonuçları, askeri kullanımlarının çok ötesine uzanmaktadır ve afet yönetimi ve kritik altyapı uygulamalarında önemli bir umut vaat etmektedir. Doğal afetlerin ardından veya izleme altyapısında olduğu gibi güvenilir haberleşmenin çok önemli olduğu senaryolarda, fiber optik donanımlı dronlar sürekli ve güvenli veri akışı sağlayabilir. Sinyal bozulmalarına neden olabilecek parazitlere ve kesintilere karşı savunmasız olan kablosuz sistemlerin aksine, kablolu haberleşme, olumsuz koşullara dayanabilen, kriz durumlarında etkili koordinasyonu ve zamanında müdahaleyi kolaylaştıran istikrarlı bir bağlantı sağlamaktadır. Bu güvenilirlik, geleneksel haberleşme ağlarının tehlikeye girebileceği veya tahrip edilebileceği durumlarda özellikle avantajlıdır ve arama-kurtarma operasyonları, uzaktan değerlendirmeler ve lojistik destek gibi görevlerin gelişmiş hassasiyet ve güvenlikle ilerlemesini sağlamaktadır. Ayrıca, bu bulgular hem kablolu hem de kablosuz teknolojileri entegre eden, karmaşık ve dinamik ortamlarda esneklik ve ölçeklenebilirlik sağlayan hibrit haberleşme modellerinin potansiyel faydalarının altını çizmektedir. Kablolu haberleşme sistemlerin güvenliği ve sağlamlığı, onları kritik altyapı izlemede hassas veri aktarımlarını korumak için çekici bir seçenek haline getirmektedir ve böylece askeri olmayan sektörlerde operasyonel sürekliliği ve esnekliği korumanın ayrılmaz bir parçası olduğunu kanıtlanmaktadır (Gustafson ve Pollock, 1982).

Gelecekteki araştırmalar, İHA'larında fiber optik haberleşme sistemlerinin tam potansiyelini değerlendirmek için çeşitli ve dinamik savaş ortamlarında genişletilmiş saha testleri yapmayı araştırmalıdır. Fiber optik kablolu haberleşme sistemleri kablo kopması haricinde %99.9 bağlantı sürekliliği sağlarken, kablosuz haberleşme sistemleri sinyal kesici-karıştırıcı, sinyal parazitleri engeller olması durumunda bağlantı kopuklukları görülmüştür. Bu testler, bu sistemlerin önceki simülasyonlarda tamamen tekrarlanamayan çeşitli coğrafi, iklimsel ve elektronik savaş koşulları altında nasıl performans gösterdiğini anlamak için gereklidir. Ek olarak, kablosuz teknolojilerin esnekliğini kablolu bağlantıların güvenliği ve güvenilirliği ile bütünleştiren hibrit haberleşme sistemlerinin geliştirilmesine önem verilmelidir. Bu yaklaşım, durumsal taleplere uyum sağlayan ve böylece kesintisiz haberleşmeyi sürdüren dengeli bir çözüm sağlayabilir.

Buna paralel olarak, operasyonel aralığı önemli ölçüde genişletebilecek ve mevcut kablolu sistemlerle ilişkili ağırlık kısıtlamalarını azaltabilecek nano fiber veya diğer yenilikçi malzemeler gibi son teknoloji kablo teknolojilerinin araştırılmasına acil bir ihtiyaç vardır. Bu gelişmeler, İHA'ların yere bağlı olmasının getirmiş olduğu sınırlamaları olmadan daha uzun mesafelerde verimli bir şekilde çalışmasına olanak tanıyarak yeni avantajlar getirebilir. Ayrıca, bu teknolojilerin gerçek dünya senaryolarına entegrasyonu için uygun maliyetli çözümlerin araştırılması bir öncelik olmalı ve potansiyel faydaların daha geniş bir askeri operasyonlar için uygun bir maliyetle gerçekleştirilebilmesini sağlamalıdır. Bu çok yönlü araştırma gündemi, yalnızca İHA'ların operasyonel yeteneklerini geliştirmekle kalmayacak, aynı zamanda gelecekteki askeri operasyonlarda stratejik ve taktik üstünlüklerinin temelini atacaktır.

Bu çalışma, fiber optik kablolu İHA'ların elektronik harp ortamlarında %95'in üzerinde veri güvenilirliği sağladığını ortaya koyarak, literatürdeki kablosuz sistemlerin sınırlamalarına yönelik pratik bir alternatif sunmaktadır. Ayrıca, afet yönetimi gibi sivil uygulamalarda bu teknolojinin potansiyelini ilk kez sistematik olarak ele alarak, İHA haberleşme sistemlerinin gelecekteki gelişimine yön verecek bir temel oluşturmaktadır. Çalışma ayrıca, İHA'lardaki kablolu haberleşme sistemlerinin evrensel bir çözüm olarak hizmet etmeyebileceğini, ancak belirli senaryolardaki stratejik uygulamalarının hem askeri hem de sivil İHA operasyonları için önemli bir dönüştürücü potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Bu sistemler, güvenli ve güvenilir bir haberleşme kanalı sağlayarak, özellikle sinyal kesintilerinin de yer aldığı elektronik harp ortamlarında operasyonel yetenekleri büyük ölçüde artırabilir (Niedermaier vd., 2019). Bulgular, kablolu haberleşmenin benimsenmesinin mevcut kablosuz sistemlerle birlikte düşünülmesi gerektiğini ve her iki yöntemin de güçlü yönlerinden yararlanan hibrit bir yaklaşım oluşturduğunu vurgulamaktadır. Bu tür bir entegrasyon, özellikle elektronik parazit riskinin önemli olduğu durumlarda, yüksek düzeyde haberleşme bütünlüğü ve taktiksel güvenilirlik gerektiren senaryolar için çok önemlidir. Kablolu haberleşmenin İHA operasyonları için güvenilir haberleşme kanallarına duyulan ihtiyacın çok önemli olduğu afet yönetimi ve kritik altyapı izlemede umut verici fırsatlar sunmaktadır. Bu nedenle, stratejik askeri çerçevelere entegrasyonu da dahil olmak üzere bu teknolojinin daha fazla araştırılması hayati önem taşımaktadır.

Katkı Oranı Beyanı

Yazarın katkı yüzdeleri aşağıda verilmiştir. Yazar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	H.Ş.
K	100
T	100
Y	100
VTI	100
VAY	100
KT	100
YZ	100
KI	100
GR	100
PY	100
FA	100

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon, PY= proje yönetimi, FA= fon alımı.

Çalışma Beyanı

Yazar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

Etik Onay Beyanı

Bu çalışmada hayvanlar ve insanlar üzerinde herhangi bir çalışma yapılmadığı için etik kurul onayı alınmamıştır.

Kaynaklar

- Akarsu A. 2019. Yeni nesil kablosuz ağlarda kapasite ve kapsama alanı eniyilemesi için dron baz istasyonlarının kullanımı. <https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/682393>.
- Akkan LÖ, Akkan T, Çelik H, Olcay T. 2015. Akıllı sistemler ve robotik uygulamalarda kablosuz iletişimin önemi ve proje uygulamaları. Ejevoc Electron J Vocational Colleges, 55: 115-122. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ejevoc/issue/79298/133680> 8.
- Alexan W, Aly L, Korayem Y, Gabr M, El-Damak D, Fathy A, Mansour HAA. 2024. Secure communication of military reconnaissance images over UAV-assisted relay networks. IEEE Access, 12: 78589-78610. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3407838>.
- Ding J, Mei H, Chih-Lin I, Zhang H, Liu W. 2020. Frontier progress of unmanned aerial vehicles optical wireless technologies. Sensors, 20(19): 5476. <https://doi.org/10.3390/S20195476>.
- Elamassie M, Uysal M. 2023. Free space optical communication: an enabling backhaul technology for 6G non-terrestrial networks. Photonics, 10(11): 1210. <https://doi.org/10.3390/PHOTONICS10111210>.
- Gargalakos M. 2021. The role of unmanned aerial vehicles in military communications: application scenarios, current trends, and beyond. Mil Oper Res, 213: 313-321. <https://doi.org/10.1177/15485129211031668>.
- Gustafson D, Pollock M. 1982. Military application of fiber optics technology. <https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/notes/2007>

- /N2866.pdf.
- Halder S, Chen S, Li W, Zheng W, Liu F, Zhou S, Wang S, Yuan Y, Zhang T. 2025. Application of optical communication technology for UAV swarm. *Electronics*, 14(5): 994. <https://doi.org/10.3390/ELECTRONICS14050994>.
- Kishk MA, Alouini MS. 2019. Aerial base stations deployment in 6G cellular networks using tethered drones: the mobility and endurance trade-off. *IEEE Veh Technol Mag*, 15(4): 103-111. <https://doi.org/10.1109/MVT.2020.3017885>.
- Laghari AA, Jumani AK, Laghari RA, Li H, Karim S, Khan AA. 2024. Unmanned aerial vehicles advances in object detection and communication security review. *Cogn Rob*, 4: 128-141. <https://doi.org/10.1016/J.COGR.2024.07.002>.
- Niedermaier M, von Bodisco A, Merli D. 2019. CoRT: a communication robustness testbed for industrial control system components. <https://arxiv.org/abs/1904.04286v1>.
- Özçakmak F. 2024. Askeri taktik ağlarda derin makine öğreniminin etkisi. *Savunma Bilimleri Dergisi*, 20(2): 303-326. <https://doi.org/10.17134/KHOSBD.1355231>.
- Şahin H. 2024. Strategic advantages of drones equipped with wired communication in real warfare environment. 4th International Conference on Frontiers in Academic Research, 13-14 Aralık 2024, Konya, Türkiye, pp:156-156.
- Anonymous. 2024a. Показаны новые кадры успешного применения российского оптоволоконного дрона-камикадзе. <https://topwar.ru/251973-pokazany-novye-kadry-uspeshnogo-primeneniya-rossijskogo-optovolokonno-drona-kamikadze.html> (accessed date: March 6, 2025).
- Anonymous. 2024b. Отечественные БПЛА с управлением по оптоволоконному кабелю. <https://topwar.ru/253973-otechestvennye-bpla-s-upravleniem-po-optovolokonnomu-kabelju.html> (accessed date: March 6, 2025).
- Uzun M, Oktay T. 2023. Simultaneous UAV having actively sweep angle morphing wing and flight control system design. *Aircraft Eng Aerosp Technol*, 95(7): 1062-1068.
- Uzun P, Temiz İ. 2021. Akıllı şebekelerde haberleşme teknolojisi kullanımı. *Kırklareli Üniversitesi Müh Fen Bilim Derg*, 7(2): 292-304.
- Yılmaz H, Gültekin A. 2021. Mesafeli kablosuz haberleşmelerde Li-Fi teknolojisi kullanımı. *Harran Üniversitesi Müh Derg*, 9(3): 176-186.
- Zhang C, Shi J, Duan J, Yang Y. 2006. Fiber-optic network architecture and technology for avionics systems. *J Beijing Univ Aeronaut Astronaut*, 32(11): 1390-1394.
- Zhang Y, Chen S, Zeng Z, Zhang Z, Liu Y. 2024. Fiber-optic transmission of broadband wireless communication signals based on source and transmission integration. *Proc SPIE*, 13502: 70-75. <https://doi.org/10.1117/12.3046924>.