



İnsansız Hava Araçlarının Kullanım Alanları ve Sensör Tipleri

Osman Villi¹, Murat Yakar²

¹Toros Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Mersin, Türkiye

²Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği, Mersin, Türkiye

Anahtar Kelimeler

İHA,
İHA Kullanım Alanları,
Uzaktan algılama,
Fotogrametri,
Sensör teknolojileri,
Faydalı yükler.

ÖZ

Başlarda sadece askeri ve gözetleme amacıyla kullanılan insansız hava araçları, son yıllarda gelişen teknoloji ile birlikte maliyetlerin düşmesi ve erişilebilirliğin artmasıyla, mühendislik uygulamalarında, bilimsel çalışmalarda ve sivil kullanımlarda da kendine yer bulmaya başlamıştır. Askeri olmayan kullanımlar için geliştirilen insansız hava araçları, günümüzde haritacılık başta olmak üzere, ziraat, madencilik, inşaat, doğal afet izleme, meteoroloji, arkeoloji gibi alanlarda sıkça kullanılmaktadır. İnsansız hava araçları bu alanlardan veri toplayabilmek için çeşitli aktif veya pasif sensörlere sahiptir ve taşıdıkları bu sensörler ile yüksek doğrulukta veriler elde edebilmektedir. İnsanlı hava araçları veya uydu görüntülerine göre de düşük maliyetli, hassas, hızlı ve analitik çözümler üretebilmektedir. Bu çalışma kapsamında, insansız hava araçlarının çeşitli alanlardaki kullanımları ve taşıdıkları sensörler üzerinde durulacaktır. Ayrıca, insansız hava aracı uygulamalarının gelecekteki beklentileri sunulacaktır.

Usage Areas and Sensor Types of Unmanned Aerial Vehicles

Keywords

UAV,
Applications of UAV,
Remote sensing,
Photogrammetry,
Sensor technologies,
Payloads.

ABSTRACT

Unmanned aerial vehicles, which were used only for military and surveillance purposes in the beginning, have started to find a place for themselves in engineering applications, scientific studies and civilian uses with the decrease in costs and increase in accessibility with the developing technology in recent years. Unmanned aerial vehicles developed for non-military uses are frequently used in areas such as agriculture, mining, construction, natural disaster monitoring, meteorology, archeology, especially cartography. Unmanned aerial vehicles have various active or passive sensors to collect data from these areas, and they can obtain high-accuracy data with these sensors. It can produce low-cost, sensitive, fast and analytical solutions compared to manned aircraft or satellite images. Within the scope of this study, the use of unmanned aerial vehicles in various fields and the sensors they carry will be emphasized. Also, future prospects of unmanned aerial vehicle applications will be presented.

1. GİRİŞ

İHA'lar dünya genelinde literatür incelendiğinde "drone" veya "UAV/UAS (Unmanned Aerial Vehicle/Systems)" olarak tanımlanmakta ve belirli özellikleri hariç aynı anlama gelmektedir (Kahveci & Can, 2017). Bazı kaynaklarda ise "RC Air Vehicle", "Remote Control Air Vehicle" gibi tanımlamalara yer verilmiştir. Ülkemizde ise Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM), Savunma Sanayi Başkanlığı (SSB) ile Türk Mühendis ve Mimarlar Odaları Birliği Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası yayınladıkları talimatlarda ve çalışmalarda İHA'yı; üzerinde pilot bulunmaksızın uzaktan kontrol edilebilen veya otonom uçabilen, tümleşik sistemlerin bir araya gelmesiyle oluşan hava aracı olarak tanımlamaktadırlar.

Teknolojik gelişmelerin çoğunda olduğu gibi insansız hava araçlarının (İHA) geliştirilmesi de askeri nedenler için başlatılmıştır (Alptekin vd., 2019; Alptekin & Yakar, 2020; Cömert vd., 2021). İlk insansız hava aracı 1916 yılında tasarlanmış ve askeri amaçlar için kullanılmıştır. İkinci Dünya Savaşı sırasında ve sonrasında da İHA'lar ile ilgili çalışmalar yürütülmüş ve askeri operasyonlarda sıklıkla kullanılmıştır. İHA'ların başarılı ve net sonuçlar elde etmesi, diğer alanlar da kullanılabilirliğini sağlamıştır (Yakar & Yılmaz, 2008; Yılmaz & Yakar, 2008). İHA'ların sivil alanlarda ve bilimsel araştırmalarda kullanılmaya başlaması, İHA'ların görev kabiliyetlerinde de gelişmelere neden olmuştur (Kahveci & Can, 2017; Doğan & Yakar, 2018). İHA'lara entegre edilebilen aktif ve pasif sensörler sayesinde kısa sürede, hızlı ve hassas ölçümler yapılabilmektedir. Bu sensörler ise amaca ve yapılacak olan göreve bağlı olarak çeşitlilik göstermektedir. Örneğin İHA, üzerinde deprem sonrası hasar tespiti için yüksek çözünürlüklü kamera faydalı yükü (payload) taşıyabilmektedir (Chang-chun vd., 2011; Güleç vd., 2011) veya hava tahmini ile ilgili bir operasyon için meteorolojik ölçümler yapan sensör sistemlerine sahip olabilmektedir (Yakar vd., 2009; Yakar vd., 2010; Spiess vd., 2007; Mırdan & Yakar, 2017).

İHA'lar ile toplanan veriler, veri düzeltme, veri birleştirme, veri anlamlandırma gibi işlemlere tabi tutulmaktadır. Yüksek boyutlarda ve karmaşık yapıdaki veriler, bilgisayar yazılımları sayesinde işlenip daha anlaşılabilir ve ölçeklenebilir yapılarla dönüştürülmektedir. Bu verilerin anlamlı hale getirilmesiyle de karar destek sistemleri (DSS), coğrafi bilgi sistemleri (GIS), iş zekası sistemleri (BIS), yapay zeka sistemleri (AIS) gibi endüstri 4.0 uygulamalarının başarısı artmaktadır ve kullanım alanı genişlemektedir. (Yakar, 2011; Shi vd., 2019; Ulvi vd., 2019).

2. İHA GENEL YAPISI

Sadece İHA'larda değil, tüm hava araçlarında gövde yapıları tasarlanırken hafiflik, darbe dayanımı, termal kararlılık, korozyona dayanıklılık ve maliyet konuları önem arz etmektedir. Bu yüzden hava araçlarında genel olarak karbon fiber, seramik elyaf, fiberglas gibi kompozitler, epoksi, polyester, fenolik gibi reçineler ve çeşitli termoplastik malzemeler tercih edilmektedir (Gminside, 2021). İHA gövdelerinde ise hafiflik ve darbe dayanımı açısından avantajlı bir ürün olan karbon fiber kompozit malzemesi kullanımı oldukça yaygındır (Şekil 1).

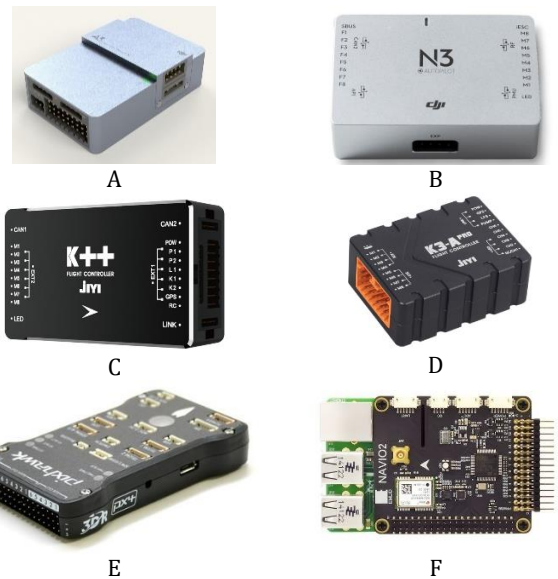


Şekil 1. Karbon fiber kompozitten üretilmiş bir octocopter İHA gövdesi (Villi, 2019).

İHA'lar genellikle bir uçuş rotasına bağlı olarak otonom, yarı otonom veya yerdeki bir pilot tarafından kumanda edilmektedirler (Menteşoğlu & İnan, 2016). Görev kabiliyetlerine ve amaçlarına göre farklı boyut, şekil ve ağırlıkta olabilirler. Algılayıcı sistemler olarak genellikle kamera taşıyıcılar da çeşitli ölçümler yapabilen sensörler de bulundurulabilirler (Avdan vd., 2014).

İHA'lara entegre edilebilen kamera türleri olarak; video kamera, standart fotoğraf makinesi, termal kamera, multispektral kamera, hiperspektral kamera, stereo engel kamerası, optik yakınlaştırma yapabilen kameralar, IP kamera, web kameraları veya analog video kameraları olabilmektedir (Cilek vd., 2020).

İHA'lar görevlerini doğru bir şekilde yapabilmek ve pilot tarafından gönderilen komutları uygulayabilmek için uçuş kontrol ünitesine sahiptirler (Donmez vd., 2021). Uçuş kontrol ünitesi diğer yardımcı uçuş sensörlerinden gelen veriler doğrultusunda görevini güvenli şekilde tamamlayabilmektedir. Bu sensörlerden bazıları; eğim/açı ve pusula sensörü, ivme ölçer sensör, konum sensörü, hız sensörü, hava basıncı sensörü, akım ve voltaj sensörü, motor devir sayıcı sensör, motor elektronik hız kontrolcüsü ısı sensörü ve pitot tüpü adı verilen akışkan hızı sensörüdür. Şekil 2' de, (özellikle otonom uçuş yapılan uygulamalarda kullanılan) İHA'larda tercih edilen uçuş kontrol ünitelerine yer verilmiştir.



Şekil 2. Yaygın olarak kullanılan uçuş kontrol üniteleri (A: DJI A3, B: DJI N3, C: JIYI K++, D: JIYI K3-A Pro, E: Pixhawk Px4, F: Emlid Navio 2).

2.1. İHA'ların Sınıflandırılması

İHA'lar genellikle; teknik özelliklerine göre (ağırlıklarına göre, yakıt/enerji tipine göre, kanat yapısına göre, otomatik veya uzaktan kumandalı olmasına göre, vb.), kullanım amaçlarına göre (askeri amaçlı (keşif, silah, saldırı vb.) ve sivil (hobi, bilimsel ve ticari)) ve uçuş menzil ve irtifalarına göre sınıflandırılmaktadır (Elmas, 2019).

İHA'lar, SHGM tarafından 22.06.2016 yılında yayımlanan ve 12.07.2020 tarihinde revize edilen *İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatı (SHT-İHA)* 'nın ikinci bölüm 5. maddesine göre 4 ayrı sınıfa ayrılmaktadır. Bu sınıflandırmada azami kalkış ağırlıkları referans alınmıştır. Buna göre 500 gr (dahil) – 4 kg aralığında olan İHA'lar İHA0, 4 kg (dahil) – 25 kg aralığında olan İHA'lar İHA1, 25 kg (dahil) – 150 kg aralığında olan İHA'lar İHA2, 150 kg (dahil) ve üzerinde olan İHA'lar İHA3 olarak belirtilmiştir (Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü [SHGM] 2020) (Tablo 1).

Tablo 1. SHGM İHA Sistemleri Talimatnamesi 'ne göre İHA'ların sınıflandırılması.

Tip	Ağırlık
İHA0	500 gr – 4 kg
İHA1	4 kg – 25 kg
İHA2	25 kg – 150 kg
İHA3	>150 kg

Dünyada, İHA'ların sınıflandırılması için farklı kurumlar ve araştırmacılar da çalışmalar yürütmektedir. 2006 yılında Hollanda Aviyonik Konferansında, (Blyenburgh 2006) tarafından çeşitli sınıflandırma metodolojileri ortaya atılmıştır. Avrupa İHA Birliği (EUROUVS) tarafından, uçuş irtifası, hız, maksimum kalkış ağırlığı, boyut, kontrol mesafesi, uçuş süresi, yakıt tipi, kanat ve motor tipi gibi parametrelere göre sınıflandırmalar önerilmiştir (Bento, 2008). Ayrıca Bento yaptığı çalışmada mikro/mini, taktiksel, stratejik ve özel amaçlı İHA'lar olarak 4 ana kategori önermiştir. Bu kategorileri de kendi içinde uçuş irtifası, maksimum uçuş ağırlığı, uçuş süresi ve veri iletim menziline göre sınıflandırmıştır.

Genel olarak üzerinde durulan sınıflandırma Tablo 2' de gösterilmektedir.

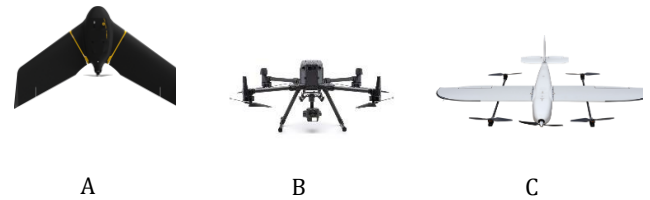
Literatürde kapsamlı sınıflandırma metodolojileri olsa da sivil amaçlı İHA'lar genellikle kanat tiplerine göre sınıflandırılmakta ve 3 ana guruba ayrılmaktadır (Vergouw vd., 2016). Bunlar; sabit kanat (fixed wing), döner kanat (rotary wing) ve hibrit tiptir (VTOL-Vertical Takeoff Landing) (Şekil 3).

Kullanım kolaylığı ve maliyet açısından ele alındığında, en yaygın kullanıma sahip olan İHA'lar rotary wing tipinde olan İHA'lardır. Operasyon türüne, uçuş süresine ve uçuş ağırlığına göre farklı motor sayılarına, gövde ve pervane yapılarına sahip olmaktadır. Ticari kullanımda yaygın olmasa da 1 motorlu (monocopter), 2 motorlu (bicopter veya coaxial copter) veya 3 motorlu (tricopter) yapıları mevcuttur. Ticari kullanımda en fazla tercih edilen tasarımlar ise genellikle 4 motorlu (quadcopter), 6 motorlu (hexacopter) ve 8 motorlu (octocopter) yapılarıdır (Şekil 4).

Tablo 2. İHA'ların (sivil, askeri ve bilimsel ayırt etmeksizin) sınıflandırılması (Bento, 2008)

	C	W	R	T	L
Mikro	Mikro	0.10	250	1	<10
	Mini	<30	150-300	<2	<10
Taktiksel	Çok Yakın Menzil	150	3000	2-4	10-30
	Yakın Menzil	200	3000	3-6	30-70
	Orta Menzil	150-500	3000-5000	6-10	70-200
	Uzun Menzil	-	3000-5000	6-13	200-500
	Dayanıklı	500-1500	5000-8000	12-24	>500
	Orta İrt.-Uzun Dayanıklı	1000-1500	5000-8000	24-48	>500
Stratejik	Yüksek İrtifa- Uzun Dayanıklı	2500-1250	15000-20000	24-48	>200
	Muharip	250	3000-4000	3-4	>200
	Yem	250	50-5000	<4	0-500
Göreve Özel	Stratosferik	-	20000-30000	>4	>200
	Stratosfer	-	>3000	-	-
	Dışı	-	0	-	-

*(C: tür, W: Maksimum kalkış ağırlığı-kg, R: Maksimum irtifa-metre, T: Uçuş süresi- saat, L: Veri iletim menzili-km).

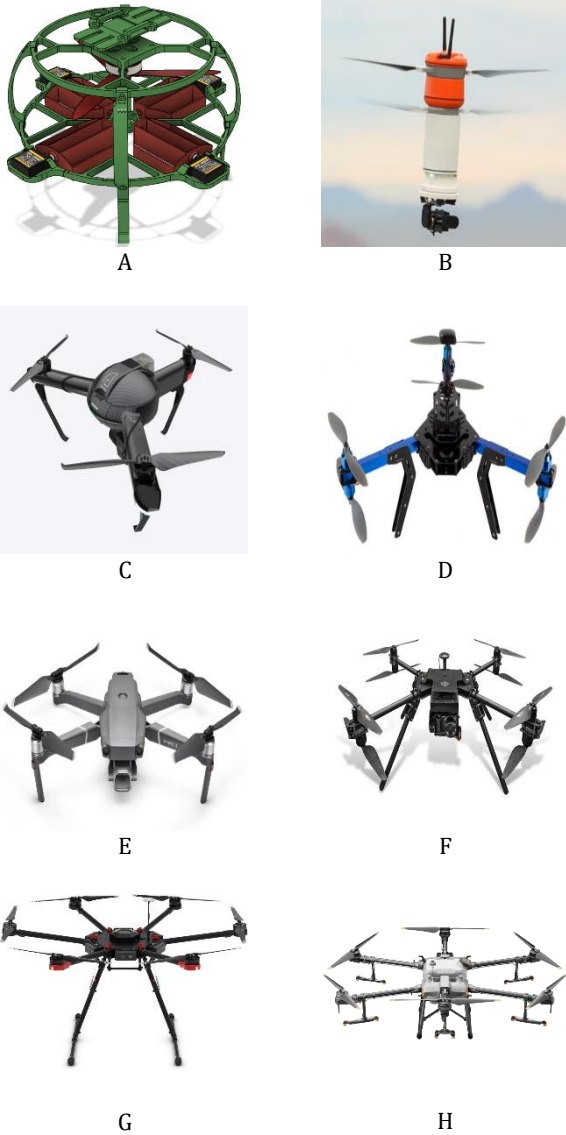


Şekil 3. Kanat tiplerine göre sivil amaçlı İHA'lar (A: fixed wing, B: rotary wing, C: VTOL) (A: Xbee X, B: DJI Matrice 300 RTK, C: Foxtech Loong 2160)

Motor sayısı arttıkça, İHA'nın maksimum kalkış ağırlığı da genellikle artmaktadır. Örneğin *quadcopter* tip bir İHA olan DJI Matrice 300 RTK modelinin maksimum kalkış ağırlığı 9 kg iken, *octocopter* tip bir İHA olan DJI Agras T30 modelinin maksimum kalkış ağırlığı 66.5 kg'dır (DJI, 2022).

Kanat tipine göre sınıflandırmalar göz önüne alındığında, döner kanatlı İHA'lar kadar sabit kanatlı tip İHA'ların da yaygın kullanım alanları mevcuttur. Sabit kanatlı İHA'lar, döner kanat tip İHA'lara göre genellikle basit bir gövde tasarımı ve uzun uçuş süresine sahiptirler. Ayrıca aerodinamik prensiplerden daha fazla faydalanabildikleri (süzülerek hareket edebilme) ve yüksek faydalı yük kapasitesine sahip oldukları için özellikle fotogrametri çalışmalarında sıklıkla tercih edilmektedirler (Güçlü vd., 2016). Sabit kanatlı İHA modellerinde bazı operasyonel problemler mevcuttur (iniş-kalkış için pist gerekliliği, paraşüt sistemi zorunluluğu, havada asılı kalamama problemleri, ani manevra kabiliyetlerinin yetersiz olması, kamera açılarının genellikle tek yönlü olması, gimbal problemleri vb.). Ancak uçuş süresi, faydalı yük kapasitesi ve zorlu

hava şartlarına uyum konusundaki avantajları nedeniyle tercih edilebilmektedir. Literatür incelendiğinde, Mavinci Sirius Pro, SenseFly Ebee Drone, Pelican Voyager G8, Geoscan 201 gibi sabit kanat İHA modellerinin kullanıldığı görülmektedir (Ulvi, 2021; Alptekin & Yakar, 2020; Köşe & Aksoy, 2022).

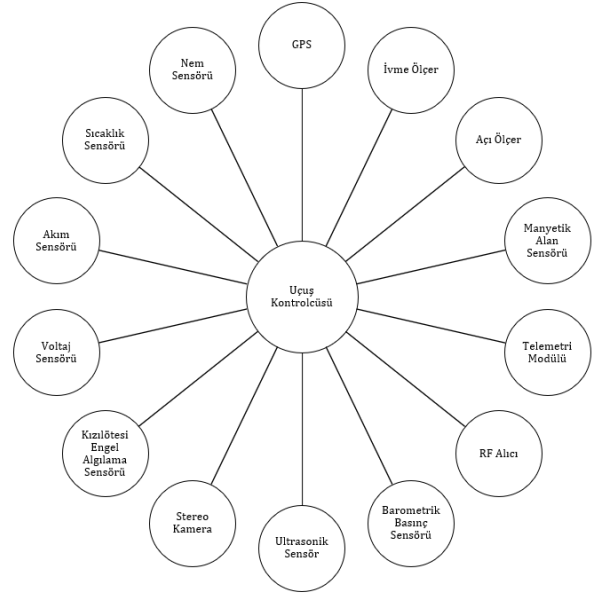


Şekil 4. Rotary wing İHA tipleri. (A: Arge amaçlı geliştirilen bir monocopter, B: Ascent Aerosystems firmasının geliştirdiği Sprite model bicopter, C: Xiaomi tarafından geliştirilen Erida model tricopter, D: Tarot firması tarafından geliştirilen Y6 tip tricopter, E: DJI firması tarafından geliştirilen Mavic 2 Pro quadcopter, F: Tarot firması tarafından geliştirilen X8 tip quadcopter, G: DJI firması tarafından geliştirilen Matrice 600 hexacopter, H: DJI firması tarafından geliştirilen Agras T30 octocopter.)

2.2. İHA'da Bulunan Uçuş Kontrol Sistemleri ve Diğer Yardımcı Bileşenler

Yolcu uçaklarındaki otopilot sistemlerine benzeyen İHA uçuş kontrol sistemleri, uçuş güvenliği, görev doğruluğu, iniş, kalkış, seyir ve otonomi modlarının işletilmesi, izlenmesi ve kontrolü görevlerini sağlar (ASELSAN, 2021). Her bir sensörden gelen veriler ve pilotan alınan komutlar, uçuş kontrolcüsünde yüksek hızda işlenir ve uçuş kontrol algoritmaları yürütülür. Bir

İHA'ya ait uçuş kontrol sistemi bileşenlerinden bazıları Şekil 5' de gösterilmiştir.



Şekil 5. İHA sisteminin uçuş kontrol sistemi bileşenleri.

İHA'nın uçuş kontrol sistemleri bileşenlerinin kısaca görevleri şu şekildedir:

- Uçuş kontrolcüsü: Üzerinde genellikle 32 bit mimariye sahip yüksek hızlı bir işlemci ünitesi bulunan, sensörlerden gelen verileri toplayabilecek çeşitli haberleşme arayüzlerine sahip, İHA'nın itki sistemlerini kontrol eden gömülü sistemdir.
- GPS Sensörü: GPS uydularından 3 boyutlu konum başta olmak üzere, atomik saat, sinyal seviyesi, uydu bilgileri, bağlı hız, bağlı uydu sayısı, ufuk açısı değeri gibi bilgileri toplar (Şekil 6).



Şekil 6. İHA'larda kullanılan bir GPS modülü (Barbosa vd., 2020)

- İvme ölçer: İHA'nın 3 boyutta hızlanma/yavaşlama değerini ölçer.
- Açık ölçer: İHA'nın 3 boyutta eğiklik değerini ölçer.
- Manyetik alan sensörü: Pusula sensör olarak da bilinir ve İHA'nın ön kısmının kuzey yönü ile arasında kalan açıyı ölçümler.
- Telemetri modülü: İHA ile yer kontrol istasyonu arasındaki haberleşmeyi sağlar.
- RF alıcı: Pilot kumandası tarafından İHA'ya gönderilen radyo sinyallerini yakalayıp dijital değerlere çevirir.

- Barometrik basınç sensörü: Hava basıncını ölçümleyerek deniz seviyesi ile İHA arasındaki mesafeyi hesaplar.
- Ultrasonik sensör: Ses dalgalarının yansımaları ölçerek engel tespitinde bulunur.
- Stereo kamera: Düşük çözünürlüklü engel tespit kameralarıdır.
- Kızılötesi engel algılama sensörü: Kızılötesi ışınların yansıma değerlerini ölçerek engel tespitinde bulunur.
- Voltaj sensörü: İHA'nın birçok elektronik bileşeninde ve batarya ünitelerinde bulunur. Sistemin kararlı çalışmasını denetler.
- Akım sensörü: Yüksek akım kontrolü yaparak sistemin kararlı çalışmasını denetler.
- Sıcaklık sensörü: İHA'nın birçok bileşeninde bulunur ve sürekli sıcaklık değerleri ölçümler.
- Nem sensörü: İHA'nın birçok bileşeninde bulunur ve sürekli nem değeri ölçümleyerek İHA'nın elektronik bileşenlerinin kararlı çalışmasına yardımcı olur.

Üreticiden üreticiye değişmekle birlikte genellikle, açı ölçer ve ivme ölçer tek bir sensör olarak da üretilmektedir ve inersiyel ölçme ünitesi (IMU: inertial measurement unit) olarak isimlendirilir.

3. İHA'DA KULLANILAN FAYDALI YÜK TİPLERİ

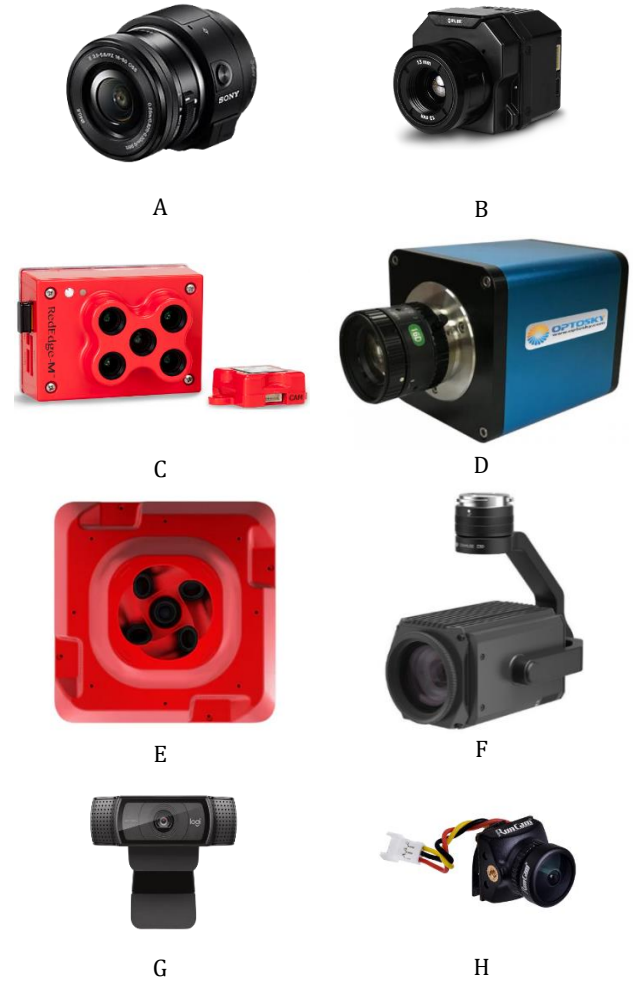
Bir İHA sisteminin ana amacı, taşıdığı faydalı yük/yükler (payload) ile veri toplamaktır (Fahlstrom vd., 2022). İHA'ların hangi görev için tasarlandığına bağlı olarak faydalı yük tipleri ve sayıları da değişkenlik göstermektedir. Literatür genelinde amaçlarına göre, 3 farklı faydalı yük tipi ortaya atılmıştır ve bunlar bilgi toplayıcı faydalı yükler, iletişim faydalı yükleri ve navigasyon faydalı yükleridir (Borky, 1997). Ancak günümüzde İHA'ların geniş uygulama alanları düşünüldüğünde, görev tabanlı faydalı yükler de büyük önem arz etmektedir. Görevlerine göre faydalı yük tipleri yaklaşımı Tablo 3' de belirtilmiştir.

Tablo 3. Görevlerine göre faydalı yük tipleri yaklaşımı.

Faydalı Yük Tipi	Örnek
Bilgi Toplayıcı Faydalı Yük	Metan gazı sensörü, video kamera vb.
İletişim Faydalı Yükü	433mhz telemetri haberleşme modemi, 3/4/4.5/5G modül vb.
Navigasyon Faydalı Yükü	GPS modülü, inersiyel ölçme ünitesi vb.
Görev Yardımcı Faydalı Yükü	Sıvı püskürtme sistemi, yük bırakma sistemi vb.
Uçuş Yardımcı Faydalı Yükü	Engel algılama sensörleri, uçuş yedek sistemleri vb.

İHA'larda bilgi toplayıcı faydalı yükler olarak genellikle elektro-optik sistemler bulunur. Bunlar İHA'nın amacı ve görevine göre değişmekle birlikte, yüksek çözünürlüklü görünür dalga boyu kameraları,

termal kameralar, gece görüş kameraları, kızıl ötesi kameralar, multispektral ve hiperspektral kameralar, oblik kameralar, optik yakınlaştırma yapabilen kameralar, USB web kameraları veya analog mini kameralar olabilmektedir (Şekil 7).



Şekil 7. Elektro-optik faydalı yükler (A: Yüksek çözünürlüklü kamera-Sony QX-1, B: Termal kamera-FLIR Vue Pro R, C: Multispektral kamera-Micasense RedEdge MX, D: Hiperspektral Kamera-Optosky ATH1500, E: Oblik Kamera-ShareUAVTech 303S Pro, F: Zoom Kamera-DJI Zenmuse Z30, G: USB Web Kamerası-Logitech C920, H: Analog kamera-RunCam Nano 2).

İHA'larda bu sensörler haricinde kullanılan görevlere özel bilgi toplayıcı faydalı yükler de bulunabilir. Bu faydalı yükler, lazer mesafe bulucu (Şekil 8), LİDAR (Light Detection and Ranging) (Şekil 9), rüzgar hızı ölçer (Şekil 10), SAR (Synthetic Aperture Radar), gaz seviyesi ölçüm sensörleri (Şekil 11, Şekil 12) (oksijen, karbon monoksit, karbon dioksit, azot monoksit, sülfür, metan, hidrojen, hidrojen sülfür, sülfür dioksit, klorin, hidroklorik asit, hidrojen siyanür, amonyak vb.) (Kraftteknik, 2022; Libelium, 2015; Uysal vd., 2013), meteorolojik sensörler (sıcaklık, nem, basınç vb.), PH ölçüm sensörü, piranometre, gürültü ölçüm sensörü, anemometre veya EMF (electro-magnetic force) sensörü olabilmektedir.



Şekil 8. Lazer mesafe bulucu sensör (ArduPilot, 2021).



Şekil 9. İHA'larda kullanılabilen bir LİDAR modeli (Velodyne Lidar, 2022).



Şekil 10. İHA'larda kullanılabilen rüzgar hız ölçer sensör (Unmanned Systems Technology, 2022).



Şekil 11. İHA'larda kullanılabilen metan gazı ölçüm ünitesi (DJI, 2020).



Şekil 12. İHA'larda kullanılabilen çoklu gaz ölçüm ünitesi (Libelium, 2015).

Görev tabanlı faydalı yükler, İHA'nın görevi esnasında pilot tarafından veya otonom olarak kontrol edilen görevi icra eden veya kolaylaştıran sistemlerdir. Örneğin zirai amaçlı bir İHA'nın üzerinde bulunan ilaç püskürtme sistemi, İHA'nın iniş/kalkışı esnasında açılıp kapanan ayak sistemi veya bir yük bırakma ünitesi olabilir (Şekil 13).



A



B



C

Şekil 13. Görev tabanlı faydalı yük örnekleri (A: İlaç püskürtme sistemi, B: Otomatik açılıp kapanan iniş takımı sistemi, C: Yük bırakma ünitesi sistemi).

4. İHA KULLANIM ALANLARI

İHA'ların son yıllardaki kullanım alanları oldukça genişlemiştir. İstihbarat, uzaktan algılama, haritacılık, arama/kurtarma faaliyetleri, yaban hayatın izlenmesi, kirlilik tespiti, meteorolojik çalışmalar, tarımsal uygulamalar, reklam ve film çekimleri, doğal afet izleme ve arkeolojik çalışmalar bu alanlardan bazılarıdır (Elmas, 2019; Irizarry vd., 2012; Cai vd., 2010; Hassanalian & Abdelkefi, 2017). Literatür incelendiğinde, İHA'nın kullanım alanlarına aşağıda değinilmiştir.

- Harita Mühendisliği Uygulamaları
 - Mekânsal Referanslama
 - Sayısal Yükseklik Modeli Üretimi
 - Sayısal Arazi Modeli Üretimi
 - Sayısal Yüzey Modeli Üretimi
 - Ortofoto Üretimi
 - Tematik Haritaların Üretimi
 - Yüksek Yoğunluklu Nokta Bulutu Üretimi
 - 3B Harita Üretimi
 - Oblik Haritalama
 - Multispektral Haritalama
 - Hiperspektral Haritalama
 - Koridor Haritalama
 - CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) Yazılımları İçin Altk Harita Oluşturma
- Endüstriyel Uygulamalar
 - Altyapı İzleme ve Denetleme
 - Solar Panel İzleme ve Denetleme
 - Petrol Hattı İzleme ve Denetleme
 - Rüzgar Türbinleri İzleme ve Denetleme
 - Yüksek Gerilim Hattı İzleme ve Denetleme
 - Gaz Sızıntısı Ölçümleri
 - Araç, Ürün, Parça, Alet, Cihaz, Teçhizat vb. Sayımı

- İnşaat Mühendisliği Uygulamaları
 - 3B Bina Modelleme
 - Çatı Yalıtım İzleme ve Denetleme
 - Köprü Projeleri İzleme ve Denetleme
 - Yol Yapım Projeleri İzleme ve Denetleme
 - Alan, Hacim ve Eğim Hesaplamaları
 - Restorasyon Çalışmaları
- Madencilik Uygulamaları
 - Fizibilite Çalışmaları
 - Maden Sahasının Hassas Haritalanması
 - Patlatma Faaliyetlerinin İzlenmesi ve Kontrolü
 - Gaz Ölçümleri
 - Metal Tespiti
 - Hacim Hesaplama Uygulamaları
 - Kapalı Alan Haritalama
 - Kapalı Alan Gaz Tespitleri
- Hassas Tarım Uygulamaları
 - Zirai İlaçlama
 - Toprak Yapısına Göre Ekim
 - Bitki Sulama Planlaması
 - Biyokütle Çıkarımı
 - Bitki Boyu Ölçümleri
 - Toprak Nem ve Sıcaklık Ölçümleri
 - İndeks Haritası Oluşturma
 - Hastalık Teşhisi
 - Su Stresi Ölçümleri
 - Klorofil Yoğunluk Ölçümleri
 - Nitrojen Yoğunluğu Ölçümleri
 - Mineral Eksikliği Teşhisi
 - Rekolte Tahmini
 - Bitki Sınıflandırma
 - Bitki Gelişimi İzleme
 - Ormancılık Uygulamaları
 - Bitki/Ağaç Sayımı
 - Çiftlik Hayvanları İzleme ve Denetleme
 - Çiftlik Hayvanları Sayımı
 - Balık Yemi Atma Uygulamaları
 - Olta Atma ve Ağ Serme Uygulamaları
- Arkeolojik Uygulamalar
 - Arkeolojik Alanların Haritalanması
 - Arkeolojik Alanların 3 Boyutlu Modellenmesi
 - Arkeolojik Eserlerin 3 Boyutlu Modellenmesi
 - Mimari ve Tarihi Özellikli Eserlerin 3 Boyutlu Modellenmesi
 - Arkeolojik ve Mimari Eserlerin Röleve Çalışmaları
 - Sanal Gerçeklik ve Artırılmış Gerçeklik Uygulamaları
- Çevre ve Doğa Uygulamaları
 - Mekânsal Referanslama
 - Alan İzleme ve Haritalama
 - Atmosferik Gözlemler
 - Meteorolojik Ölçümler
 - Yaban Hayatı İzleme
 - Endemik Tür İzleme
- Emniyet ve Güvenlik Uygulamaları
 - Trafik İzleme ve Denetleme
 - Kavşak İzleme ve Denetleme
 - Hız Kontrol Uygulamaları
 - Nükleer, Kimyasal ve Biyolojik Kaza İzleme
 - Mayın Tespiti ve Mayın Temizleme Uygulamaları
 - Alan/Kişi/Araç Güvenliği Uygulamaları
- Doğal Afet Uygulamaları
 - Heyelan Riski Hesaplama
 - Heyelan Sonrası Hasar Tespiti
 - Sel Tahmini
 - Sel Yayılım Tahmini
 - Sel Sonrası Hasar Tespiti
 - Yangın İzleme
 - Yangın Söndürme Çalışmaları
 - Yangın Yayılım Tahmini
 - Deprem Sonrası Hasar Tespiti
 - Doğal Afet Bölgesi Anons ve Yönlendirme Faaliyetleri
 - Arama-Kurtarma Faaliyetleri
 - Koordinat Hesaplama ve Kazazede/Afetzede Yer Tespiti
 - Aydınlatma Uygulamaları
- Lojistik Uygulamaları
 - Sipariş Teslimat
 - İlaç Taşıma
 - Organ Taşıma
 - Taksi Uygulamaları
- Ticari Uygulamalar
 - Emlak Değerleme
 - Sigortacılık Uygulamaları
 - Reklam, Sinema, Dizi, Belgesel, Film, Spor Faaliyetleri Çekimi
 - Haber ve Yayıncılık Hizmetleri
- Hobi ve Spor Uygulamaları
 - FPV Yarışları
 - Akrobatik Yarışlar ve Şovlar
- İletişim Uygulamaları
 - Anons Uygulamaları
 - Hücresel Veri Dağıtım Uygulamaları
- Adli Uygulamalar
 - Kaza, Hırsızlık, Kundaklama, Cinayet vb. Olayların Analizi
 - Şüpheli Tespiti ve Takibi
 - Trafik Kazası Analizi
- Askeri Uygulamalar
 - Termal Görüntüleme
 - Kamufraj Tespiti
 - Yabancı Unsurların Tespiti
 - Stratejik Taarruz
 - Elektronik Harp
 - Lazer İşaretleme
 - Mesafe Ölçme
 - Gözetleme ve Keşif
 - Yakın Hava Desteği
 - Muharebe Arama Kurtarma
 - Hava Ulaştırma

4.1. Harita Mühendisliği Uygulamaları

İHA'lar taşıdıkları elektro-optik sistemler sayesinde uydu görüntülerine göre daha yüksek mekânsal, radyometrik ve spektral çözünürlüğe sahiptirler. Ayrıca zamansal çözünürlük konusunda çok daha başarılıdır (Özcan, 2017; Villi, 2019). Maliyet ve zaman avantajlarına da sahip olmalarından dolayı haritalama süreçlerinde sıklıkla tercih edilmektedir.

Küçük alanlarda yapılan çalışmalarda veya detayların iyi şekilde görülebilmesi istenen uygulamalarda büyük ölçekli haritalar oluşturulmaktadır (Çömert, 2012). Harita oluşturmak için ise genellikle Pix4D, Agisoft, Drone Deploy, DJI Terra, WebODM, 3DSurvey, Postflight Terra 3D gibi bilgisayar yazılımları kullanılmaktadır. Ayrıca sayısal yükseklik modeli, sayısal yüzey modeli, sayısal arazi modeli haritaları ile tematik haritalar da oluşturulmaktadır. Mimari projelerde, şehir-bölge planlama uygulamalarında ve harita mühendisliği çalışmalarında sıklıkla bu haritalardan faydalanılmaktadır. Literatür incelendiğinde, bu kapsamda yoğun çalışmaların olduğu görülmektedir.

Avdan vd., (2014) yapmış oldukları çalışmada, İHA ile üretilen ortofoto görüntüler ile sayısal yüzey modellerinin doğruluk analizini yapmışlardır. Sabit kanatlı bir İHA üzerine 16MP çözünürlüğe sahip Canon IXUS 125 HS dijital kamera entegre etmişler ve 130 metre irtifadan görüntüler toplamışlardır. Postflight Terra 3D bilgisayar yazılımı ile görüntüleri işlemişlerdir. Topoğrafik ölçümler ile İHA verileri karşılaştırılmış ve hata oranlarının düşük seviyede olduğunu belirtmişlerdir. Haritalamada İHA'ların kullanılabilir olduğunu sonucuna varmışlardır.

Akar vd., (2021) yapmış oldukları çalışmada SenseFly eBeeX model sabit kanatlı İHA kullanmışlar ve ürettikleri ortofotonun konum doğruluklarını analiz etmişlerdir. Uçuş planını eMotion programında yapmışlar ve aldıkları görüntüleri Pix4DMapper bilgisayar yazılımında birleştirmişlerdir. Arcgis bilgisayar yazılımı ile de referans noktalarının koordinatlarını kullanarak ortofotonun konum hassasiyetlerini hesaplamışlardır. Çalışmalarının sonucunda üretilen ortofotonun konum doğruluğu, Y ve X yönlerinde sırası ile $m_y = \pm 1.0$ cm, $m_x = \pm 0.8$ cm, yatayda ise $m_k = \pm 1.3$ cm olarak elde etmişlerdir. Bu değerler harita üretiminde referans olarak kabul edilen Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği'nde belirtilen tecviz sınırları içerisinde kalmakta ve Yönetmeliğe göre bu değerler 1/1000 ölçekli ortofoto harita üretimi için yeterlidir. Bu nedenle üretilen ortofotonun birçok mühendislik projesinde rahatlıkla kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Seyrek vd., (2021) yaptıkları çalışmada, DJI Phantom 4 Pro model *quadcopter* tip bir İHA kullanmışlardır. Afyonkarahisar bölgesinde yer alan ve İstiklal Savaşında önemli yeri olan Kolankaya tepesinin üç boyutlu modelini ve ortofotosunu üretmişlerdir. Çalışmalarında 268 görüntü kullanmışlar ve üç boyutlu modelin doğruluğunu Y ve X koordinat değerleri için sırasıyla $\pm 2,48$ cm ve $\pm 1,87$ cm olarak hesaplamışlardır. Tahrip olmuş siperlerin devamlılığını ortofoto ile daha iyi bir şekilde kestirebilmişlerdir. Sonuç olarak siperlerin tespiti ve dokümantasyonu noktasında ortofotonun

katkısının çalışmada iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Özcan, (2017) yapmış olduğu çalışmada, 12.300 m²'lik ve 11.800 m²'lik 2 alanda, 1.5 kg uçuş ağırlığına sahip, 12MP (mega piksel) çözünürlüklü ve odak uzaklığı 20mm olan İHA ile görüntüler toplamıştır. 50 metre ve 30 metreden aldığı, %90 bindirme oranına sahip görüntülerden Pix4D bilgisayar yazılımı ile ortofoto üretmiştir. Yer kontrol noktaları (YKN) ile karşılaştırarak doğruluk analizi yapmıştır. Yatay ölçüm hataları 0.2 ile 4 cm arasında, dikey ölçüm hataları da 2 ile 4 cm arasında ortaya çıkmıştır. 30 metreden alınan görüntüler ile oluşturulan ortofotonun daha düşük hata oranlarına sahip olduğu sonucuna varmıştır. Doğruluk, oluşturulma süresi ve maliyet göz önüne alındığında uydu görüntülerine göre İHA kullanımının daha avantajlı olduğunu belirtmiştir.

Samad vd., (2013) yaptıkları çalışmada, sabit kanatlı bir İHA üzerine entegre ettikleri 12MP çözünürlüklü Pentax Optio A40 kamera ile yaklaşık 365 metre irtifadan görüntüler toplamışlardır. PHOTOMOD ve Pix4UAV bilgisayar yazılımlarını kullanarak ortofoto oluşturmuş ve 7cm/piksel görüntü çözünürlüğü elde etmişlerdir. Uygun hava koşullarında, doğru uçuş ve kamera ayarları yapıldığında, çok yüksek çözünürlüklü haritaların üretilebileceğini belirtmişlerdir.

Zakiyyatuddin vd., (2018) yapmış oldukları çalışma kapsamında, DJI Phantom 4 Pro (Şekil 14) model, 12MP kameraya sahip bir *quadcopter* kullanarak 3 farklı alan için 3 farklı irtifadan görüntüler toplamışlardır.



Şekil 14. DJI Phantom 4 Pro model *quadcopter*.

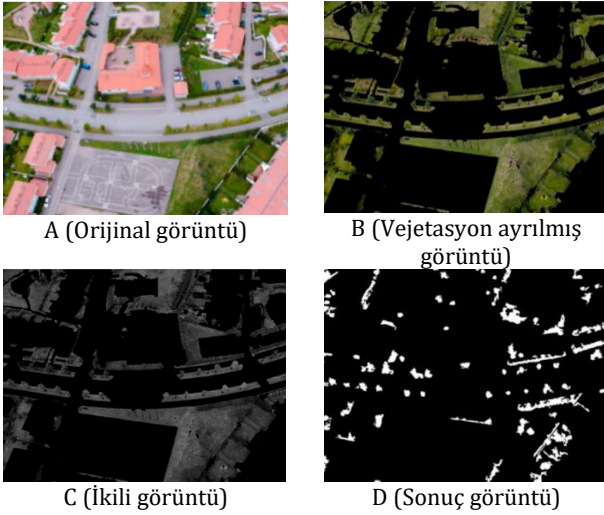
%60 bindirme oranı ile topladıkları görüntüleri 3DSurvey bilgisayar yazılımında birleştirip büyük ölçekli harita elde etmişlerdir. Oluşturdukları haritanın uydu görüntülerinden daha yüksek çözünürlükte ve daha detaylı bilgiler içerdiğini belirtmişlerdir.

Binaların yoğun bulunduğu veya yüzey modelinin çok sık değiştiği zorlu arazi modellerinin haritalanması, klasik hava fotogrametrisi ile yapılabilsede hata oranları ve hassasiyet değerleri yüksek olmaktadır (Aicardi vd., 2016; Rossi vd., 2017; Vacca vd; 2017). Özellikle şehir merkezleri gibi yüksek yapıların sıkça bulunduğu bölgelerin haritalanması için oblik özellikteki kameralar veya oblik çekim teknikleri tercih edilmektedir (Nesbit & Hugenholtz, 2019). Farklı açılardan ve farklı yüksekliklerden alınan fotoğraflar sayesinde, yapıların cephe bölgeleri de görüntülenebilmektedir. Oluşturulan üç boyutlu yoğun nokta bulutu ve mozaikleme işlemleri sonucunda ise yüksek hassasiyette alan ve hacim hesaplama işlemleri yapılabilmektedir (Tucci vd., 2019). (Pix4D, 2018) firmasının yayınlamış olduğu örnek oblik çalışma ise Şekil 15' de gösterilmiştir.



Şekil 15. Pix4DMapper bilgisayar yazılımı kullanılarak birleştirilmiş ve sınıflandırılmış yoğun nokta bulutu görüntüsü (Pix4D, 2018).

Lin vd., (2015) yapmış oldukları çalışmada ise şehir merkezindeki ağaçların oblik görüntüleme ile tespit edilmesini sağlamışlardır. Öncelikle vejetasyon tespiti yapmışlar, ardından alan tabanlı nesne ayırma algoritmalarından olan *watershed* segmentasyonunu kullanarak ağaç olması muhtemel alanları tespit etmişlerdir. Çalışmalarındaki orijinal ve sonuç görüntüler Şekil 16' da görülmektedir.



Şekil 16. Şehirde bulunan ağaçların oblik görüntüleme yöntemleriyle tespiti (Lin vd., 2015).

4.2. Doğal Afet Yönetimi Uygulamaları

Doğal afet süreçlerinde en kritik parametre zamandır. İHA'ların hızlı veri elde edebilme otonom uçuş yetenekleri sayesinde, afet bölgelerindeki etkisi de oldukça yüksektir. Afet öncesi, afet anı ve afet sonrası olmak üzere 3 periyotta da İHA'ların kullanımı mümkündür. Bu kapsamda yapılan ülkemizde ve dünyada çokça çalışmalar mevcuttur.

Türk, (2013) yapmış olduğu çalışmada, doğal afet yönetiminde İHA'ların kullanılmasını irdelemiştir. İHA'lar sayesinde elde edilen ortofotolar ile uydu görüntüleri arasındaki zaman ve maliyet farklarını ortaya koymuştur. İHA'ların hızlı veri toplama ve kolay kullanımına dikkat çekmiş ve gelecekte birçok alanda İHA kullanımının yaygınlaşacağını belirtmiştir.

4.2.1. Heyelan Analiz Uygulamaları

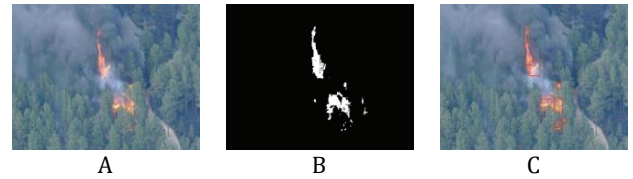
Alptekin & Yakar, (2020) yaptıkları çalışmada, bir heyelan bölgesinin (Mersin İli Yenişehir İlçesi Çukurkeşlik Mahallesi) İHA ile modellenmesini ve bölgenin kayıt altına alınmasını sağlamışlardır. Çalışmalarında, Anafi Parrot model bir *quadcopter* kullanmışlardır. Elde ettikleri verileri Agisoft Metashape bilgisayar yazılımında birleştirerek SYM (sayısal yüzey modeli) ve ortofoto oluşturmuşlardır. Daha sonrasında meydana gelebilecek bir doğal afet için veritabanı niteliğinde verileri kaydetmişlerdir.

4.2.2. Sel Felaketi Analiz Uygulamaları

Changchun vd., (2010) yaptıkları çalışmada İHA'ların kullanım alanlarına değinmişler ve özellikle afet izleme konusunun önemi vurgulamışlardır. Örneğin, bir sel felaketi sırasında alınan çok zamanlı ve yüksek çözünürlüklü görüntülerin karşılaştırılmasıyla afetin durumu hakkında bilgi sahibi olunabildiğini ve selin gelişimi, yayılımı, rotası ve gelecekteki durumunun tahmin edilebilir olacağını belirtmişlerdir.

4.2.3. Yangın Tahmin, İzleme ve Hasar Tespit Uygulamaları

Yuan vd., (2015; 2016) yaptıkları çalışmada, İHA'lar ile elde edilen hava görüntüleri üzerinden, orman yangınlarının tespit edilmesi ve izlenebilmesi için görüntü işleme teknikleri önermişlerdir. Görüntü işleme teknikleri olarak, medyan filtresi, renk uzayı dönüşümleri, otsu eşikleme yöntemi (otsu threshold segmentation), morfolojik işlemler ve şekil sayma (blob counting) kullanmışlardır. Bilgisayar yazılımı olarak MATLAB programını kullanmışlar ve bir orman yangını simüle ederek yangını tespit etmeye çalışmışlardır (Şekil 17).



Şekil 17. İHA ile orman yangını bölgesinden alınan görüntüler (A: Orijinal görüntü, B: Eşiklenmiş ikili görüntü, C: Yangın bölgesinin tespit edildiği sonuç görüntüsü) (Yuan vd., 2015).

Jiao vd., (2019) yaptıkları çalışmada, İHA ile alınan görüntüler üzerinde, derin öğrenme tabanlı (deep learning based) bir yaklaşım ile yangın tespiti yapmayı amaçlamışlardır. Çalışmalarında 6 motorlu bir *hexacopter* üzerine NVIDIA Arm Cortex-A15 model işlemcisi olan ve 2 GB RAM'e sahip DJI Manifold gömülü bilgisayar entegre etmişlerdir. Bu gömülü bilgisayar sayesinde, havadan alınan görüntüler üzerinde YOLOv3 (You Only Look Once) algoritmaları çalıştırılmıştır. YOLOv3, evrimsel sinir ağları CNN (Convolutional neural network) kullanarak nesne tespiti yapan bir algoritmadır. Yapmış oldukları çalışmadaki sonuç görüntüleri Şekil 18' de görülmektedir.



Şekil 18. İHA ile elde edilen görüntüler üzerinde YOLOv3 derin öğrenme algoritmaları kullanılarak yangın bölgesi tespit edilmesi (Jiao vd., 2019).

Aydın vd., (2019) yaptıkları çalışmada, klasik yangın yangınla mücadele yöntemleri yerine bir İHA sistemi kullanımını önermişlerdir. Bu İHA sistemine yangın söndürme toplalarını yükleyerek, noktasal yangınlara hızlı ve erken müdahale edilebileceğini öne sürmüşlerdir. Kullandıkları 500 gramlık yangın söndürme topları, 1 metre çapındaki çimenlik alan yangınına söndürmüştür. Faydalı yük kapasitesi yüksek İHA'lara takılabilen bir aparat geliştirmesi sayesinde, İHA'ların orman yangınlarında da etkin mücadele edebileceğini belirtmişlerdir.

Jayapandian, (2019) bina yangınlarıyla etkin mücadele için bir İHA sistemi tasarımı ortaya atmıştır. Nesnelerin interneti (IoT-Internet of Things) yardımıyla, binalardan yangın verisi toplanması, yangın kontrol birimine verilerin iletilmesi ve yangın bölgesine bir İHA'nın yönlendirilmesi önermiştir. Yangın bölgesine yönlendirilen bu İHA üzerinde yangın söndürme toplalarının olacağını belirten Jayapandian, yangın durumuna göre diğer mücadele ekiplerine anlık bilgi aktarımının da hizmet kalitesini arttıracaklarını belirtmiştir.

4.2.4. Erozyon Tespit Uygulamaları

Sızıntı erozyonu, nehir setlerindeki yarıklara neden olan ve nehir çevresindeki alanlara zarar veren tehlikeli bir afettir. Bu afet ile mücadele kapsamında (Zhou vd., 2022) yaptıkları çalışmada İHA'ları kullanmışlardır. Termal kamera ile elde ettikleri görüntüleri ve *AlexNET* derin öğrenme mimarisini kullanarak bir model oluşturmuşlardır. 10000'den fazla görüntü kullanarak eğittikleri model, %94,9 başarı oranına sahip olmuştur. Termal kamera ile alınan görüntüler analiz edildiğinde büyük başarı oranı ile sızıntı olup olmadığını ölçebilmişlerdir.

4.2.5. Arama ve Kurtarma Uygulamaları

Yaşanan doğal afet, kaza veya diğer trajik olaylarda arama kurtarma çalışmaları hayati önem taşımaktadır. Arama kurtarma çalışması alanına ulaşım hızı, bilgi toplama ve bilgi anlamlandırma hızı en kritik parametrelerdir (Naidoo vd., 2011). Bu sebeple İHA'ların arama ve kurtarma faaliyetlerindeki rolü de azımsanmayacak kadar büyüktür. Literatürde bu kapsamda yapılan çalışmalara aşağıda yer verilmiştir.

Goodrich vd., (2007) yapmış oldukları çalışmada, vahşi doğada arama kurtarma faaliyetlerinde İHA'ların etkin kullanımını irdelemişlerdir. İHA ile alınan görüntülerin koordinat verileri ile birleştirilmesi ve elde

edilen birleştirilmiş büyük görüntü üzerinde insan tespiti algoritmalarının çalıştırılmasını önermişlerdir. Ayrıca başarı oranını arttırmak için görüntü stabilizasyonunun yapılmasını gerektiği sonucuna varmışlardır.

Naidoo vd., (2011), yapmış oldukları çalışmada, arama ve kurtarma faaliyetlerinin gerekliliklerine uygun dört motorlu bir İHA sistemi geliştirmişlerdir. Mekanik açıdan verimli, elektronik ve yazılım açısından kararlı bir sistem geliştiren Naidoo vd., sistemi MATLAB Simulink modelleme yazılımında test etmişler ve aerodinamik açıdan başarılı sonuçlar almışlardır.

Scherer vd., (2015) arama kurtarma faaliyetlerinde kullanılabilecek sürü İHA fikrini ortaya atmışlardır. Otonom olarak görev yapabilecek, gerektiğinde pilot tarafından kontrol edilebilecek ve diğer robotik sistemlerle iletişim kurabilecek bir konsept İHA modül sistemi üzerinde çalışmışlardır.

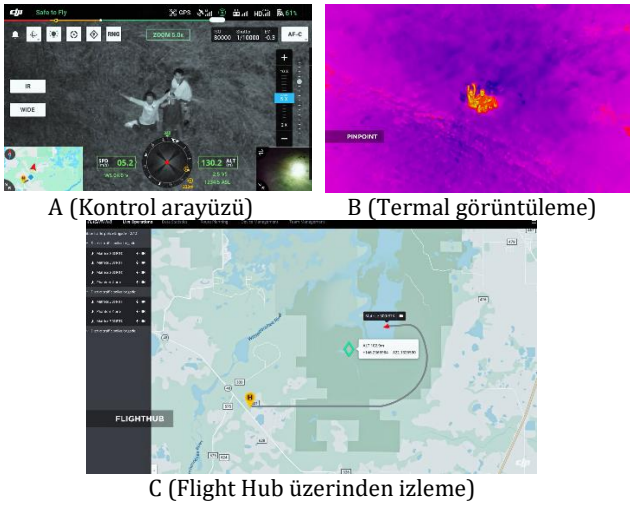
4.2.6. Kazazede/Afetzede Bulma ve Koordinat Tespit Çalışmaları

Silvagni vd., (2017) çığ kurtarma operasyonları için İHA sistemi tasarlamışlardır. Çok düşük sıcaklığa, yüksek irtifa ve kuvvetli rüzgarlara karşı dayanıklı olacak şekilde tasarladıkları İHA aynı zamanda dağlık arazilerdeki görevler için kuvvetlendirilmiş sinyal sistemlerine sahiptir. Gündüz ve gece karda arama kurtarma faaliyeti sürdürebilmesi için termal kamera bulunduran sistem ayrıca çığ tespiti için çeşitli faydalı yükler barındırmaktadır (Şekil 19).



Şekil 19. Çığ kurtarma operasyonları için geliştirilen İHA (Silvagni vd., 2017).

DJI, (2020) firması arama kurtarma ve olay yeri inceleme faaliyetleri yürütebilen İHA modelini (DJI Matrice 300 RTK) tanıtmıştır. *Quadcopter* tipinde olan İHA modeli, 55 dakika uçuş süresine sahiptir, -20 ve 50 derece çalışma sıcaklığına, IP45 standardına ve 15 km menzile sahiptir. 6 yönlü engel algılama sensörü sayesinde zorlu alanlarda görev yapabilen İHA aynı zamanda lazer işaretleme sistemi ve termal kamerası bulunmaktadır. Göreve özel değiştirilebilen faydalı yük sistemi sayesinde birçok farklı alanda kullanılabilir yapıdadır. *Flight Hub* bilgisayar yazılımı sayesinde çok sayıda arama kurtarma faaliyetinde İHA takip edilebilir ve koordinat işaretlemeleri diğer çevre birimlere aktarılabilir (Şekil 20).



A (Kontrol arayüzü) B (Termal görüntüleme)
C (Flight Hub üzerinden izleme)

Şekil 20. DJI Matrice 300 RTK ve Flight Hub bilgisayar yazılımının arama kurtarma faaliyetlerinde kullanımı (DJI, 2020).

4.3. Hassas Tarım Uygulamaları

Klasik yöntemlerde, tarımsal alanların izlenmesi ve kontrolü insan gözü veya yersel ölçüm cihazları ile yapılırken, gelişmiş yöntemlerde uzaktan algılama sistemleri ile yapılmaktadır. Özellikle elektro-optik faydalı yük taşıyan İHA'lar sayesinde hassas veriler elde edilmekte ve çeşitli bilgisayar yazılımları ile değerlendirilmektedir. Günümüzde ise sadece tarımsal alanların izlenmesi değil aynı zamanda ilaçlama, sulama ve hasat işlemleri de İHA'lar ile yapılabilmektedir.

4.3.1. İndeks Haritası Oluşturma ve Analiz

Özellikle bitki örtüsü yoğunluğu, bitkinin genel sağlık durumu, su stresi, klorofil konsantrasyonu, toprak

durumu, bitki sınıflandırma gibi analizlerin yapılabilmesi için multispektral ve hiperspektral sensörler tercih edilmektedir. Bu sensörlerden elde edilen görüntülerin farklı bantlardaki kombinasyonları ile indeks haritaları oluşturulmaktadır (Kusak vd., 2021; Reinecke & Prinsloo, 2017; Bhandari vd., 2012; Rouse vd., 1973). Normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi (NDVI: Normalized difference vegetation index) en yaygın kullanılan ve bitkinin genel sağlık durumu hakkında bilgi veren indekstir (Şekil 21).

$$NDVI = (I_{NIR} - I_{RED}) / (I_{NIR} + I_{RED})$$

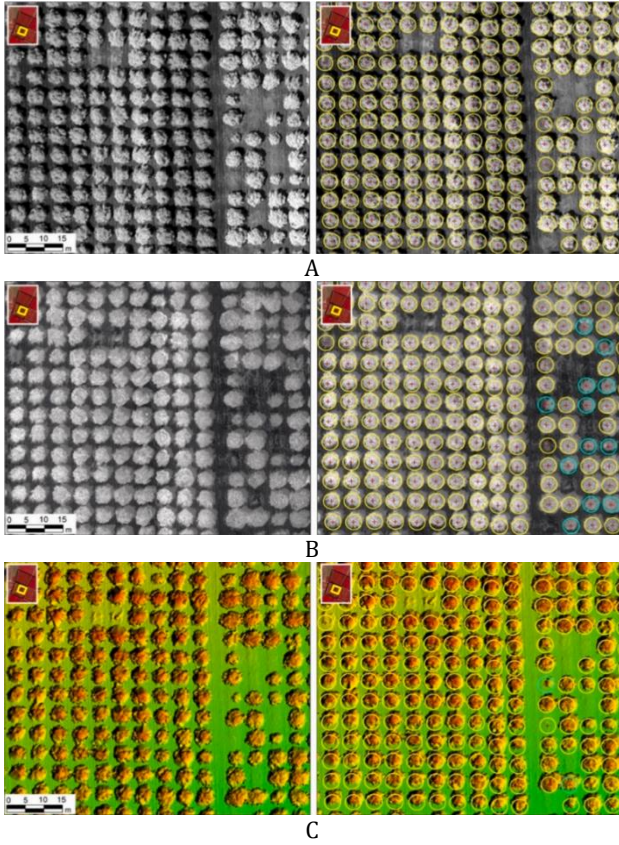
Şekil 21. NDVI formülü (I: Görüntüdeki her bir piksel değeri, NIR: Near infrared bantlı görüntü, RED: Red bantlı görüntü).

Farklı tip analizler için kullanılan, literatürde kabul görmüş indeksler de mevcuttur. Sıklıkla kullanılan bazı indeksler ve formülleri aşağıdaki tabloda görülmektedir (Tablo 4).

Donmez vd., (2019) yaptıkları çalışmada, *octocopter* tip bir İHA üzerine multispektral kamera entegre etmişler ve portakal ağaçlarının olduğu bir çalışma alanından görüntüler almışlardır. Pix4D bilgisayar yazılımı ile sayısal yüzey modeli (DSM), NDVI indeklenmiş görüntü (normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi) ve farklı spektral bantlarda ortofoto görüntü oluşturmuşlardır (kırmızı bant (Red), yeşil bant (Green), mavi bant (Blue), yakın kızıl ötesi bant (NIR), kırmızı kenar bant (RedEdge)). MATLAB bilgisayar yazılımı üzerinde geliştirdikleri ağaç sayısı hesaplama yazılımı ile her bant için analizler yapmışlardır. En düşük hata oranını sayısal yüzey modeli ve yakın kızıl ötesi bantın ters renkli görüntüsünde elde etmişlerdir (Şekil 22).

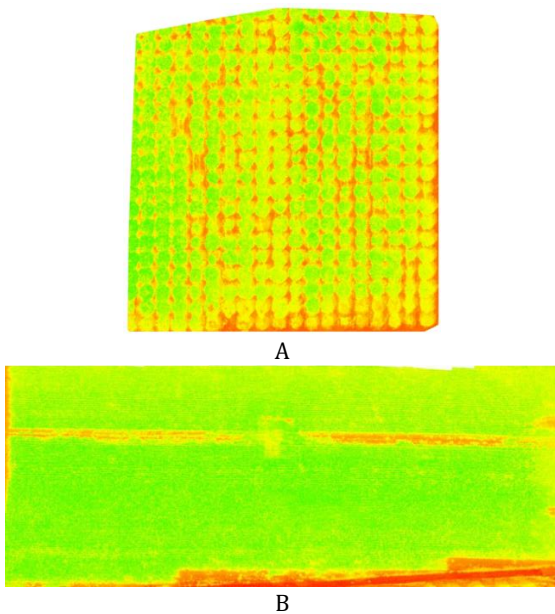
Tablo 4. Tarımsal alanların analizinde sıklıkla kullanılan bazı indeksler (Jang vd., 2020; Ge vd., 2019).

İndeks Adı	Formül	Genel Kullanım Alanı
NDVI (Normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi)	$\frac{NIR - Red}{NIR + Red}$	Genel bitki sağlığı durumu bilgisi
GNDVI (Yeşil normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi)	$NIR - Green$	Klorofil konsantrasyonu ile ilişkili olarak genel bitki sağlığı durumu
SAVI (Toprakla düzeltilmiş bitki örtüsü indeksi)	$\frac{NIR - Green}{NIR + Green + L} + (1 + L)$	Toprak durumu bilgisi
PRI (Foto kimyasal yansımaya indeksi)	$\frac{R_{531} - R_{470}}{R_{531} + R_{470}}$	Bitki stresi bilgisi
MGRVI (Modifiye edilmiş yeşil-kırmızı bant indeksi)	$\frac{(R_{550}^2) - (R_{660}^2)}{(R_{550}^2) + (R_{660}^2)}$	Biyokütle ve bitki boyu hakkında bilgi



Şekil 22. İHA ile alınan ve Pix4D ile üretilen ortofotolar (A: NIR bantlı görüntü, B: NDVI indeksi görüntü, C: DSM görüntü) (Donmez vd., 2019).

Villi, (2019) yapmış olduğu çalışmada, portakal ağaçları ve mısır bitkisinin olduğu bir tarımsal alandan İHA ile görüntüler almıştır. NDVI indeks haritası çıkararak bu alanda sağlık analizi yapmıştır. Çalışmasında elektro-optik faydalı yük olarak multispektral kamera kullanmıştır ve aldığı görüntüleri Pix4D bilgisayar yazılımında işlemiştir. Elde ettiği sonuç görüntüler Şekil 23' deki gibidir.



Şekil 23. Portakal ağaçları (A) ve mısır bitkisinin (B) olduğu bir tarımsal alanın NDVI indeks haritası (Villi, 2019).

4.3.2. Zirai İlaçlama

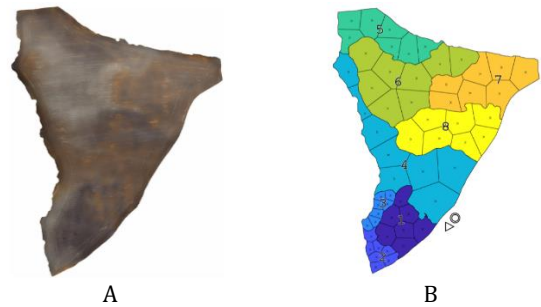
(Garre & Haris, 2018) yaptıkları çalışmada, zirai alanların İHA ile ilaçlanması için bir sıvı püskürtme sistemi geliştirmişlerdir. *Quadcopter* tip bir İHA üzerine entegre ettikleri sıvı tankı ve püskürtme sistemi sayesinde zirai alanların otonom şekilde ilaçlanmasını amaçlamışlardır. Mission Planner uçuş yazılımını kullanarak testler gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak, uçuş yüksekliği, uçuş hızı ve püskürtme miktarına bağlı olarak, ilaçlama maliyetlerinde %20 ile %90 arasında bir düşüş olabileceğini belirtmişlerdir.

DJI firması, özellikle son birkaç yıldır tarımsal uygulamalar için birçok İHA modeli geliştirmiş ve kullanıcılara sunmuştur. Bu modeller AGRAS T10, T16, T20, T30 ve MG-1P ve 1S'dir. 8, 10, 16, 20 ve 30 litre tank kapasiteli İHA'lar gübreleme, ilaçlama ve tohumlama görevlerini otonom veya yarı otonom şekilde yerine getirebilmektedir. MG-1P model *octocopter* tip İHA 5 cihaza kadar tek kumandadan kontrol edilebilmekte ve eş zamanlı görevlerini yerine getirebilmektedir (DJI, 2022). Multispektral kamera taşıyan Phantom 4 Multispectral model İHA ile entegre çalışan tarım İHA'ları, oluşturulan indeks haritasına göre de görev yapabilmektedir. Bu sayede arazi veya bitki durumuna göre ilaçlama, gübreleme veya tohumlama işlemleri daha verimli şekilde yapılabilmektedir.

4.3.3. Toprak Analizi

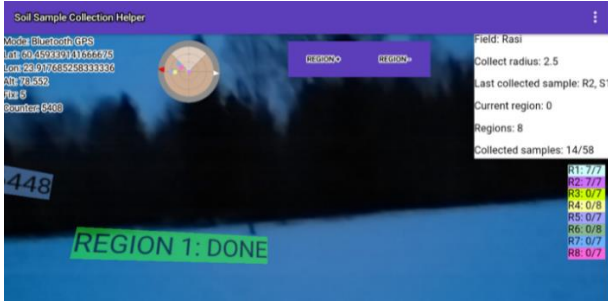
Ge vd., (2019) toprak nem haritası oluşturmak için hiperspektral sensör entegreli İHA ile görüntüler toplamışlardır. Alınan görüntüleri sınıflandırmak için rastgele orman (RF-Random Forest) algoritması ve aşırı öğrenme makineleri (EML-Extreme Machine Learning) teknikleri kullanmışlardır. Önceden oluşturulmuş spektral indeks verileri ve makine öğrenimi algoritmalarının birleştirilmesi sayesinde yüksek doğruluğa sahip toprak nem haritasının oluşturulabileceği sonucuna varmışlardır.

Huuskonen & Oksanen, (2018), hassas tarımda drone ve artırılmış gerçeklik (AR-Augmented Reality) ile toprak örnekleme adlı çalışmalarında, zirai bir alan üzerinde Phantom 4 Pro model *quadcopter* ile görüntüler toplamışlardır. Uçuş planı, uçuş izleme ve görüntü birleştirme işlemleri için Drone Deploy yazılımını kullanmışlar ve toprak haritası oluşturmuşlar ve toprak yapısına göre 8 ayrı bölgeye ayırmışlardır (Şekil 24).



Şekil 24. Drone Deploy ile oluşturulan toprak haritası (A) ve segmente edilmiş harita (B) (Garre & Haris, 2018).

Ardından, akıllı telefonlarda çalışabilecek bir AR gözlüğü uygulaması geliştirerek, çiftçilerin segmente edilmiş bu alanda gezerken kaç numaralı bölgede olduklarını ve diğer verileri anlık olarak görebilmelerini sağlamışlardır (Şekil 25).



Şekil 25. Geliştirilen AR uygulaması (Garre & Haris, 2018).

4.3.4. Su Stresi Analizi ve Bitki Sulama Planlaması

Quebrajo vd., (2018) yaptıkları çalışmada, şeker pancarı bitkisi bulunan bir parselden İHA ile görüntüler toplamışlardır. Termal kamera (FLIR TAU 2 324) ile alınan görüntüleri analiz ederek sulama yöntemini geliştirme çalışmaları yürütmüşlerdir. Ürettikleri su stresi indeksine (CWSI) göre, İHA'dan alınan termal görüntülerin sulama yöntemini geliştireceğini belirtmişlerdir.

4.3.5. Bitki/Ağaç Tespiti ve Sayısı Hesaplama

Ok & Ozdarici-Ok, (2017) yaptıkları çalışmada, İHA'dan alınan görüntüleri Pix4D bilgisayar yazılımında birleştirip sayısal yüzey modeli oluşturmuşlardır. MATLAB bilgisayar yazılımında geliştirdikleri uygulama ile oluşturdukları sayısal yüzey modeli üzerinden ağaç sayısı hesaplatmışlardır. Klasik yöntemler ve uydu görüntülerine göre daha başarılı sonuçlar aldıklarını belirtmişlerdir.

Ceylan & Uysal, (2021) yaptıkları çalışmada, Phantom 4 Pro model *quadcopter* tip İHA ile 100 metre yükseklikten görüntüler almışlardır. Pix4D bilgisayar yazılımı ile birleştirdikleri görüntüler ile ortofoto, sayısal arazi modeli ve sayısal yükseklik modeli oluşturmuşlardır. Ardından eCognition Developer bilgisayar yazılımı ile nesne tabanlı segmentasyon işlemi yapmışlar ve ağaçları, ağaçlık alanları tespit etmişlerdir.

4.3.6. Rekolte Tahmini

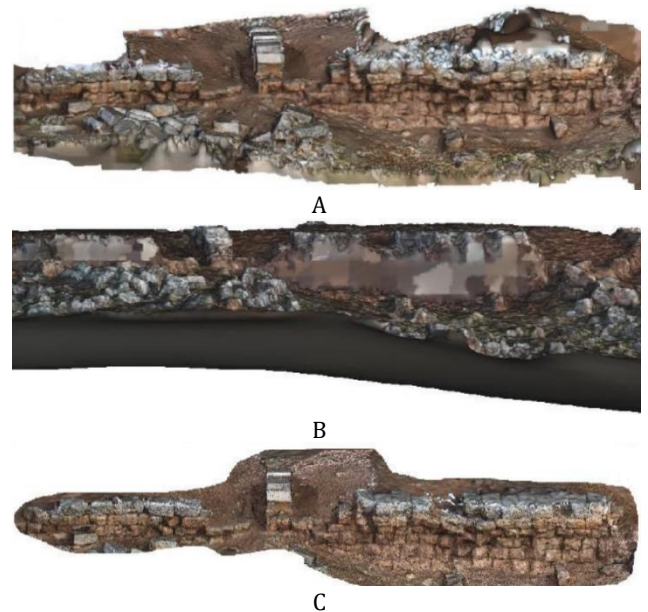
Tanut vd., (2021) yaptıkları çalışmada, şeker kamışı verim tahmini için bir model geliştirmişlerdir. Phantom 4 RTK model *quadcopter* ile 200-300 metre irtifadan aldıkları görüntüler ve şeker fabrikaları ile devlet kurumlarından aldıkları verileri bütünleştirmişlerdir. MATLAB bilgisayar yazılımı üzerinden rastgele orman (RF-Random Forest) sınıflandırma algoritması çalıştırmışlar ve 2018-2019 ile 2019-2020 dönemlerindeki görüntüler üzerinde testler gerçekleştirmişlerdir. *Wondercane* ismini verdikleri yeni yaklaşımın, şeker kamışı verim tahminini %98.69 doğrulukta hesapladıklarını belirtmişlerdir.

4.4. Arkeolojik Uygulamalar

Tarihi ve kültürel mirasın korunması ve belgelenmesi insanlık için önemli bir konudur. Belgeleme çalışmaları için etkin ve verimli yöntemlerin başında da fotogrametrik teknikler yer almaktadır (Karataş vd., 2022). İHA'lara entegre edilen sensörler sayesinde bu teknikler yüksek başarımlarıyla dikkat çekmektedir. Fotogrametrik yöntem klasik yöntemlerden 100-130 kat daha verimli, grafiksel açıdan 2-5 kat daha avantajlı ve doğruluk açısından da 10 kat daha hassastır (Sağıröğlü 2004). Bu nedenle özellikle son yıllarda, arkeolojik alanlarda İHA'ların kullanımı, yaygın ve hızlı bir çözüm haline gelmiştir. Arkeolojik alanların haritalanması ve 3 boyutlu (3B) modellenmesi, arkeolojik eserlerin 3B modellenmesi, mimari ve tarihi özellikli binaların ve yapıların 3B modelinin elde edilmesi ve röleve çalışmaları, İHA'ların en yaygın kullanıldığı arkeolojik çalışmalar arasındadır. Bu kapsamda, literatür incelendiğinde aşağıdaki çalışmalar öne çıkmaktadır.

4.4.1. Arkeolojik Alanların Haritalanması

Kaya vd., (2021) yaptıkları çalışmada, Şanlıurfa İlinde yer alan Şuayip Şehri Arkeolojik Kazı Alanı üzerinde, DJI Mavic 2 Pro İHA modeli ile havadan, Canon EOS 2000D model DSLR fotoğraf makinesi ile yerden görüntüler almışlardır. İHA ile alınan görüntülerden yaklaşık 2.2 milyon, fotoğraf makinesi ile alınan fotoğraflardan ise 7.6 milyon nokta üretilmiştir. İHA görüntüleri ile oluşturulan nokta bulutunda, yapının üst kısımları daha iyi oluşturulmuştur. Fotoğraf makinesi ile alınan görüntüler ile oluşturulan nokta bulutunda ise yapının cepheleri daha iyi oluşturulmuştur. Hem İHA hem de fotoğraf makinesi ile alınan görüntülerin birlikte kullanılması sayesinde yoğun nokta bulutu ve düşük hata oranına sahip üç boyutlu model oluşturmuşlardır (Şekil 26).



Şekil 26. İHA ve fotoğraf makinesinden alınan görüntüler ile oluşturulan üç boyutlu model (A: Fotoğraf makinesi ile alınan görüntülerden oluşturulan üç boyutlu model, B: İHA ile alınan görüntülerden oluşturulan üç boyutlu model, C: Birleştirilmiş üç boyutlu model).

4.4.2. Arkeolojik Alanların 3B Modellenmesi

Smith vd., (2014) yaptıkları çalışmada, Suudi Arabistan'da yer alan Al-Ula Vahası Atik Kent bölgesinde iki adet İHA ve bir adet LİDAR lazer tarayıcı kullanarak veriler toplamışlardır. İHA'lardan biri üzerine Canon S90 (10MP), diğeri üzerine Sony Nex-7 (24MP) fotoğraf makinesi entegre etmişlerdir. LİDAR lazer tarayıcı oluşturulan nokta bulutu ve İHA'lar ile alınan görüntülerden oluşturulan nokta bulutunu birleştirerek yüksek doğruluğa sahip üç boyutlu model oluşturmuşlardır (Şekil 27).



Şekil 27. UNESCO Dünya Mirası Sit Alanı içerisinde bulunan Al-Ula Vahası Antik Kenti'nin üç boyutlu modeli (Smith vd., 2014).

Şenol vd., (2019), Şanlıurfa İli Kızılkoyun Kazı Bölgesinde bulunan Kral Kaya Mezarları'nın üç boyutlu belgelenmesi için çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmada hem yersel lazer tarama cihazı hem de *octocopter* tip İHA kullanmışlardır. İHA ile alınan görüntülerden, Pix4D bilgisayar yazılımı ile nokta bulutu verisi elde etmişlerdir. Bu veriler ile ve yersel lazer cihazı verileri ile birleştirerek yüksek doğruluğa sahip üç boyutlu model üretmişlerdir. Bu yöntemin, klasik yöntemlere göre hem zaman hem de doğruluk açısından daha avantajlı olduğunu belirtmişlerdir. Arkeolojik çalışmalarda İHA kullanımının, tarihi eserlere zarar vermeden ve temas etmeden ölçümler yapmasının, çalışmanın bir diğer önemli noktası olduğunu ortaya koymuşlardır (Şekil 28).



Şekil 28. Mağaraların modellenmiş görüntüsü (Şenol vd., 2019).

4.4.3. Mimari ve Tarihi Özellikli Eserlerin 3B Modelinin Elde Edilmesi

Yakar & Mırdan, (2017) yaptıkları çalışmada, Kalender Baba ve Kesikbaş Türbesi'nin 3B modelinin oluşturulması için İHA ile alınan fotoğrafları kullanmışlardır. Hem Agisoft Photoscan Pro hem de Pix4D bilgisayar yazılımı ile görüntüleri birleştirmişler, ortofoto ve 3 boyutlu model oluşturmuşlardır. Arkeolojik eserlerin çatı kısımlarının modellenmesinde yersel çözümler yerine İHA görüntülerinin kullanılmasının daha iyi sonuçlar verdiğini ortaya koymuşlardır.

Şasi, (2020) yaptığı çalışmada, Karamanoğulları Beyliği Dönemi'ne ait Ak Camii'nin 3 boyutlu modellenmesini ortaya koymuştur. DJI Phantom 4 İHA modeli ile alınan görüntüleri Agisoft Photoscan bilgisayar yazılımında birleştirerek 3 boyutlu model oluşturmuştur. Aynı zamanda tarihi eserde ilerde meydana gelebilecek tahribatlarda, aslına uygun restorasyon imkanı sağlayacağını belirtmiştir.

4.4.4. Arkeolojik ve Mimari Eserlerin Rölöve Çalışmaları

Tarihi yapıların ve mimari eserlerin nesiller boyu tahribata uğramadan kalabilmesi için dökümantasyonunun yapılması önemlidir. Bu yapıların dökümantasyonu edilmesinde oldukça önem arz etmektedir (Ulvi vd., 2020; Duran, 2003; Yılmaz vd., 2000; 2008; Yakar & Doğan, 2017). İHA ile fotogrametrik teknikler sayesinde, hasar görmüş veya çevresel faktörlere bağlı olarak kayba uğramış eserler, üç boyutlu modelleme yazılımları sayesinde dijital ortamda onarılıp restorasyon çalışmaları için referans olmaktadır. Bu tür çalışmalar aynı zamanda inşaat mühendisliği uygulamaları ile de ortaktır. Ulvi vd., (2020) yaptıkları çalışmada, Kapadokya bölgesinde yer alan Kızıl Kilise'nin belgelenmesi için İHA görüntülerinden faydalanmışlardır. Çalışmalarında Phantom 3 Pro model İHA kullanmışlar, Photomodeler ve Agisoft Photoscan bilgisayar yazılımında görüntüleri birleştirmişlerdir. Çalışmaları sonucunda, yapının dış cephesinin ölçekli çizimlerini, 3 boyutlu modelini, nokta bulutunu elde etmişlerdir ve restorasyon çalışmalarında kullanılabilecek altlık üretmişlerdir. Yiğit & Ulvi, (2020) yaptıkları çalışmada ise Erzurum İlinde bulunan Yakutiye Medresesi'nde belgeleme amaçlı fotogrametrik araştırma yapmışlardır. Phantom 3 Pro model İHA kullandıkları çalışmada, Context Capture bilgisayar yazılımı kullanarak görüntüleri birleştirip 3 boyutlu model oluşturmuşlardır. İHA'ların yersel tabanlı detaylı arkeolojik çalışmalarında, ve rölöve çalışmalarında, gerekli bilgi ve belgelere duyulan ihtiyacı karşılamak için kullanılabilir olduğunu belirtmişlerdir.

4.4.5. Arkeolojik Alanlarda Sanal Gerçeklik ve Artırılmış Gerçeklik Uygulamaları

Campbell, (2018) Mikronezya'da bulunan UNESCO tarafından korunan Nan Madol Arkeolojik Bölgesi'nin haritalanarak sanal gerçeklik (VR-Virtual Reality) ve artırılmış gerçeklik (AR-Augmented Reality) uygulamasına aktarılmasını önermiştir. Bu sayede, insanların o bölgeye gitmeden sanal olarak ziyaret edilebilmesinin avantajlarından bahsetmiştir. Çalışmasında Phantom 4 Pro İHA modelini kullanarak 1900' den fazla görüntü toplamıştır. Ayrıca Canon Eos Rebel model fotoğraf makinesi ile 900 civarı da yerden görüntü almıştır. Bu görüntüleri Autodesk Recap Pro ve 3DR Site Scan bilgisayar yazılımlarında birleştirmiştir. Autodesk Max Interactive bilgisayar yazılımında ise VR özellik kazandırmıştır. Autodesk Live bilgisayar yazılımı sayesinde ise akıllı telefonlar ile içerisinde gezilebilen, sanal alan oluşturmuştur. Hassas tarihi alanların korunmasının önemine vurgu yapmış ve çalışmasının öneminden bahsetmiştir.

4.5. Çevre ve Doğa Uygulamaları

4.5.1. Yaban Hayatı ve Endemik Tür İzleme

Lojistik ve arazi açısından zorlu bölgelerde, yaban hayatının izlenmesi ve endemik türlerin tespit edilmesi, sayılması veya sınıflandırılması amacıyla İHA'lar kullanılabilir. (Morgenthal & Hallerman, 2014).

Thapa vd., (2018) yapmış oldukları çalışmada Nepal bölgesinde bulunan, nesli tükenmekte olan bir timsah türünü tespit etme ve sayma için İHA kullanmışlardır. Sabit kanatlı bir İHA ile 80 metre irtifadan 12 farklı uçuş yapmışlar ve toplamda 7708 fotoğraf toplamışlardır. Bu fotoğraflar üzerinden yaptıkları analiz sonucunda kilometreye düşen endemik tür sayısını hesaplamışlardır.

4.6. İnşaat Mühendisliği Uygulamaları

İHA'lar inşaat mühendisliği uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Topografik ölçümler, şantiye denetimi ve güvenlik uygulamaları, ekipman takibi, köprü, yol, baraj alanlarının analizleri, hasar tespiti çalışmaları, hacimsel hesaplamalar bu uygulamaların başlıcalarıdır (Tkac & Mesaros, 2019; Ayemba, 2022; Motawa & Kardakou, 2018; Morgenthal & Hallermann, 2014; Yakar & Yılmaz, 2008; Yakar, 2011; Yakar vd., 2005). Literatürde bu kapsamda yapılan çalışmalar aşağıda irdelenmiştir.

4.6.1. Yapı Hasar Tespit ve Restorasyon Çalışmaları

(Morgenthal & Hallerman, 2014) yaptıkları çalışmada, Intel Falcon 8+ tip *octocopter* İHA kullanmışlardır. İHA üzerine Panasonic Lumix TZ 22 model bir fotoğraf makinesi entegre ederek hasarlı tarihi bir bina üzerinden görüntüler almışlardır. 25 metre irtifadan ve 5 metre uzaklıktan aldıkları görüntü üzerinde büyük çatlakları tespit etmişlerdir (Şekil 29).



Şekil 29. Kritik çatlak tespiti (Morgenthal & Hallerman, 2014).

Ayrıca, görüntü işleme yöntemleri kullanarak başka bir bina üzerinde otomatik çatlak tespiti de yapmışlardır (Şekil 30).



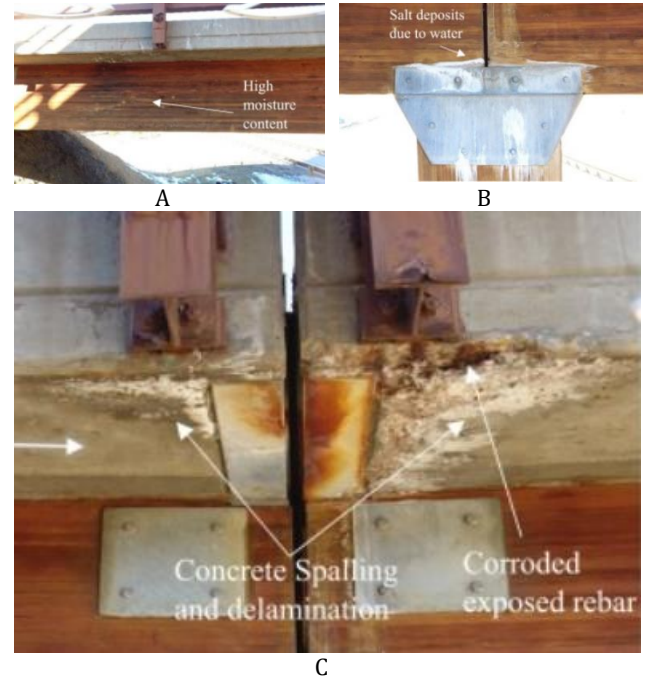
A (Orijinal görüntü)



B (Görüntü işleme sonucu otomatik tespit)

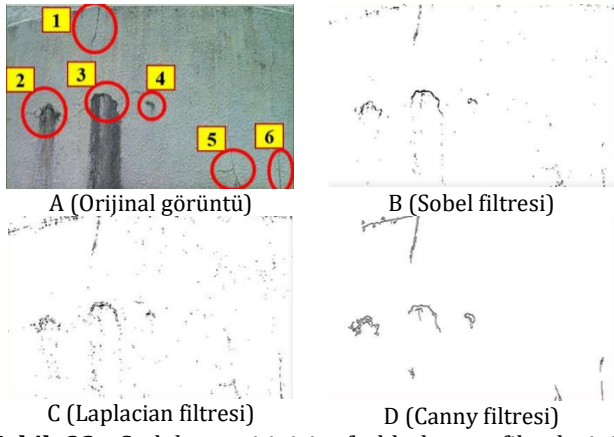
Şekil 30. Görüntü işleme teknikleri kullanarak otomatik çatlak tespiti (Morgenthal & Hallerman, 2014).

Junwon vd., (2018) yaptıkları çalışmada, İHA kullanarak ahşap kirişli bir köprü üzerinde denetimler gerçekleştirmişlerdir. DJI Phantom 4 model bir *quadcopter* tip İHA kullandıkları çalışmada, toplanan görüntüleri PhotoScan bilgisayar yazılımında birleştirmişlerdir. Birleştirilmiş ve koordinatlandırılmış modelin, köprünün farklı yapısal bileşenlerindeki hasarı belirlemede oldukça başarılı olduğu sonucuna varmışlardır. Yaptıkları çalışmada elde ettikleri sonuç görüntüleri Şekil 31'de gösterilmektedir.



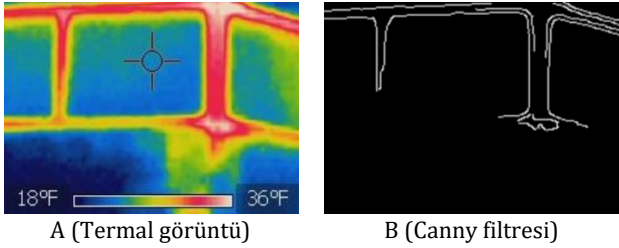
Şekil 31. Ahşap kirişli köprü denetiminde elde edilen veriler, A: Yüksek nem, B: Tuz birikintisi, C: Korozyona uğramış demir, beton dökülmesi ve delaminasyon (Junwon vd., 2018).

Oh vd., (2021) binalardaki çatlakları otomatik tespit edebilen İHA sistemi geliştirmişlerdir. *Quadcopter* tip bir İHA üzerine entegre ettikleri fotoğraf makinesi ve termal kamera ile aldıkları görüntüler üzerinde çatlak tespiti yapmışlardır. Çatlak tespiti için sobel, laplacian ve canny kenar filtreleri kullanarak karşılaştırmada bulunmuşlardır (Şekil 32.)



Şekil 32. Çatlak tespiti için farklı kenar filtrelerinin kullanımı (Oh vd., 2021).

En başarılı sonuçları canny filtresi kullanarak elde eden yazarlar, termal görüntü üzerinde de canny filtresini uygulamışlardır (Şekil 33).



Şekil 33. Termal görüntüler üzerinde canny kenar filtresi kullanımı (On vd., 2021).

4.6.2. Çatı Yalıtımı İzleme ve Denetleme

Geleneksel çatı muayenesi ve yalıtım denetimi, özellikle erişilebilirlik sınırlamaları ve yüksekte düşme riski nedeniyle yavaş ve zorlu bir görev olma eğilimindedir. Son yıllarda, denetim sürecini desteklemek için İHA'ların benimsenmesinin, bu tür sorunların üstesinden gelmek için etkili bir seçenek olduğu kanıtlanmıştır (Silveira vd., 2020).

Zhang vd., (2015) İHA üzerine yerleştirdikleri *Flir Quark* termal kamera ile alınan görüntüleri kullanarak çatılardaki termal anomalileri otomatik tespit eden bir yaklaşım geliştirmişlerdir. *Superpixel-based Markov Random Field* sınıflandırma algoritması kullanarak termal anomaliye sahip alanları yüksek başarımla tespit etmişlerdir.

Bown & Miller, (2018) eğimli çatı muayenelerinde İHA kullanımının avantajlarına değinmişlerdir. İHA'ların yüksek kamera özelliklerine sahip olmasından dolayı, çatı muayenelerinde analitik çözümler sunacağını belirtmişlerdir.

Silveira vd., (2020) yaptıkları çalışmada İHA ile bir inşaat firmasına ait 167 çatı muayenesi yapmışlardır. Çatıların %72'sinde, İHA'lar tüm gerekli denetimleri yapabilmişlerdir. Ayrıca, tespit edilen uygunsuzlukların %50,5'inin, inşaat aşamasındaki kötü veya yanlış uygulamalardan kaynaklı olduğunu tespit etmişlerdir.

4.6.3. Yol Yapım Çalışmaları

Ulaşım yolu projeleri, proje hazırlanması, planlanması, güzergah planlamaları ve arazi uygulamaları gibi süreçler içermektedir (Tükenmez, 2021). Haritalandırma, eğim ve kübaj hesapları, altyapı durumları gibi parametreler yol projelerindeki ana faktörlerdir (Kınalı & Çalışkan, 2022). Bu kapsamda İHA ile yapılan çalışmalar da yüksek doğruluğa sahip olmakta ve projenin başarıya ulaşması için en önemli etmenlerden birini oluşturmaktadır.

Tükenmez, (2021) yaptığı çalışmada, DJI Phantom 4 Pro model bir *quadcopter* kullanarak yol hattı geçecek alanı haritalama çalışması yapmıştır. Yüksek doğruluğa sahip bu haritanın yol projelerinde altlık olarak kullanılabileceğini ve İHA ile haritalamanın yol projeleri için önemine değinmiştir.

Kınalı & Çalışkan, (2022) yapmış oldukları çalışmada ise orman yolu projelerinde kullanımını irdelemişlerdir. 341 metre uzunluğunda orman yolu dolgu ve kazı hesapları gerçekleştirmişlerdir. Phantom 4 RTK model bir *quadcopter* ile 50m, 75m ve 100m irtifadan görüntüler toplamışlar ve Agisoft bilgisayar yazılımında birleştirmişlerdir. Yersel yaptıkları ölçümler ile İHA görüntülerinden elde ettikleri ölçümleri karşılaştırmışlar ve farkları ortaya koymuşlardır. İHA ile alınan görüntülerden elde verilerin yersel ölçüm verilerine oldukça yakın olduğu ve yol projelerinde İHA'ların kullanımının özellikle zaman ve maliyet açısından avantajlı olduğunu belirtmişlerdir.

Türk vd., (2022) yapmış oldukları çalışmada ise orman yolu kazı ve dolgu hacimlerinin belirlenmesi için DJI Phantom 4 RTK ve DJI Mavic Pro model *quadcopter* tip kullanmışlardır. Yol geçkisi traşlama işleminden sonra yapılan uçuşlar ile hassas şekilde hacim hesaplama yapılabileceğini belirtmişlerdir. Bu tarz uygulamalar hem yol yapım çalışmaları hem de ormancılık faaliyetleri başlığı altında ayrı ayrı ele alınabilir.

4.7. Madencilik Uygulamaları

Madencilik uygulamalarında İHA'ların kullanımı birçok avantaj sağlamaktadır. Farklı türde sensörler entegre edilen İHA'lar, acil bir durumda veya tehlike anında hızlı şekilde inceleme yapılabilir (Shahmoradi vd., 2020). Madencilik alanında İHA'ların kullanım alanlarını içeren bir çalışma yapan (Lee & Choi, 2016) aşağıdaki tabloyu oluşturmuşlardır (Tablo 5).

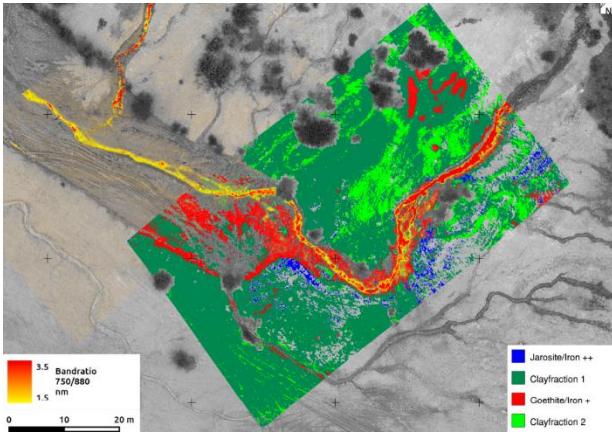
Tablo 5. İHA ile yapılabilen madencilik uygulamaları (Lee & Choi, 2016).

Yer Üstü Madencilik	Yer Altı Madencilik	Terk Edilmiş Maden Alanı
<ul style="list-style-type: none"> • Maden saha yönetimi • 3D haritalama • Şev stabilite analizi • Maden saha güvenliği • Yapı izleme • Tesis izleme 	<ul style="list-style-type: none"> • Jeoteknik karakterizasyonu • Gaz algılama ve ölçümü • Kazazede kurtarma faaliyetleri 	<ul style="list-style-type: none"> • Çökme kontrolü • Rekültivasyon çalışmaları • Peyzaj haritalama • Gaz birikintisi tespiti • Asit drenaj kontrolü

4.7.1. Maden Sahası Haritalama ve Mineral Tespit Çalışmaları

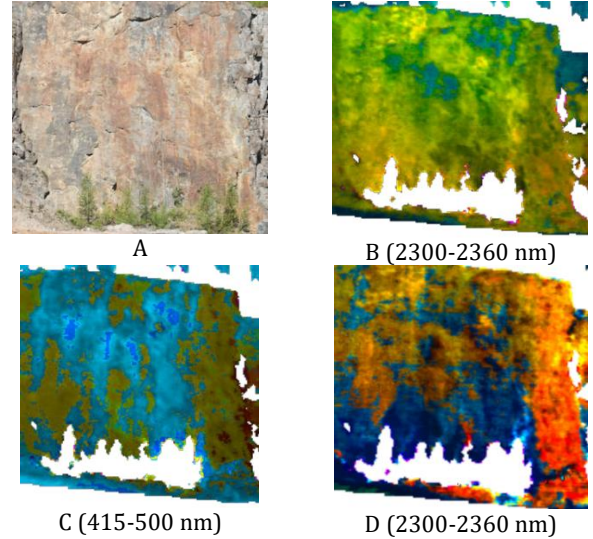
Honkavaara vd., (2016), turba üretimi yapılan bölgenin üç boyutlu modellenmesi ve yüzey neminin hesaplanması için farklı tip hiperspektral kamera taşıyan 2 İHA (*octocopter* ve *hexacopter*) kullanmışlardır. Bölgeden alınan fotoğrafları Agisoft Photoscan bilgisayar yazılımı ile birleştirmişlerdir. Elde ettikleri ortofoto üzerinde makine öğrenmesi (ML-Machine Learning) yöntemlerinden olan destek vektör makinesi (SVM-Support Vector Machine) yöntemleriyle sınıflandırma yapmışlardır. Son olarak, turba üretimi yapılan bölge için *frame* formatlı hiperspektral kamera ile alınan görüntülerin *pushbroom* formatlı hiperspektral kamera ile alınan görüntülere göre daha iyi sonuç verdiğini belirtmişlerdir.

Jackisch vd., (2018) yaptıkları çalışmada kömür madenciliği yapılan bir çalışma alanından hiperspektral kamera ile veriler toplamışlardır. Hem İHA ile hem de yersel ölçüm sonuçlarını karşılaştırarak Fe(II)-ferroz ve Fe(III)-ferrik bileşiklerini tespit etmeye çalışmışlardır. Hiperspektral verilerin ön işleme adımlarının doğru şekilde yapılması sayesinde, çalışmanın başarı oranının artacağını belirtmişlerdir. Çalışmalarında elde ettikleri sonuç görüntüsü Şekil 35' de görülmektedir.



Şekil 35. Hiperspektral haritalama ve yersel veriler elde edilen sınıflandırılmış sonuç görüntüsü (Jackisch vd., 2018).

Kirsch vd., (2018) litoloji haritalama ve analizi üzerine yaptıkları çalışmada, sülfat bakımından zengin bir taş ocağında, Aibotix Aibot X6v2 model *hexacopter* tip İHA ile görüntüler almışlardır. İHA üzerine Senop Rikola (Senop, 2022) model hiperspektral kamera entegre etmişler ve topladıkları verileri Senop tarafından geliştirilen Python programlama dili tabanlı bir bilgisayar yazılımında ön işleme tabi tutmuşlardır. Lens düzeltme, ortoretrifikasyon ve koordinatlandırma işlemlerinin ardından topoğrafik düzeltme, mozaikleme ve atmosferik düzeltme adımlarını tamamlamışlardır. Son olarak Agisoft PhotoScan Pro bilgisayar yazılımında yoğun nokta bulutu oluşturmuşlardır. Elde ettikleri sınıflandırılmış görüntü Şekil 36' da gösterilmiştir.



Şekil 36. Sınıflandırılmış hiperspektral görüntüler (Kirsch, 2018). (A: Orijinal görüntü, B: Magnezyum hidroksit görüntüsü, C: Demir görüntüsü, D: Demir hidroksit görüntüsü)

4.8. Lojistik Uygulamaları

Hava taşımacılığı, lojistik faaliyetlerinin en önemli kolunu oluşturmaktadır. Hava taşımacılığı ve teknolojisinde en büyük gelişim ivmesi ise insansız hava araçlarında yaşanmaktadır (Çalışkan & Erturgut, 2022, Macit, 2021). İnsanlı hava araçlarından bakım, operasyon ve maliyet olarak oldukça düşük olan İHA'lar, lojistik firmaları tarafından da tercih sebebi olmaktadır. Birçok ülkedeki farklı sektörler, taşımacılık için İHA sistemlerine yatırım yapmaktadır (Erturgut, 2022). Ulusal ve uluslararası birçok kurum da bu konuda arge çalışmalarına daha fazla yer vermeye başlamıştır. Lojistik alanında yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda açıklanmıştır.

4.8.1. İlaç Taşımacılığı

Güner vd., (2017) yaptıkları çalışmada, İHA'ların ilaç taşımacılığında kullanımını irdelemişlerdir. Son zamanlarda ilaç kullanımının arttığını ve ilaca olan erişimi kolaylaştırmak adına maliyet-zaman açısından çok performanslı olan İHA teknolojisinin kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

4.8.2. Kargo Taşımacılığı ve Sipariş Teslimat Uygulamaları

Dünyanın en büyük elektronik ticaret şirketlerinden biri olan Amazon, İHA'lar ile kargo teslimatı çalışmalarına 2016 yılında başlamıştır. 2020 yılında Amerikan Havacılık İdaresi ile regülasyonlar konusunda büyük anlaşma sağlayan şirket, hafif ve küçük paketler ile ilk testlerini yapmıştır. Şirket halen arge çalışmalarına devam etmektedir (Austin, 2021).

Merkezi Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan, dünyanın en büyük havayolu kargo taşımacılığı şirketlerinden biri olan UPS (United Parcel Service), dünyanın ilk İHA havayolu şirketi lisansı almıştır. 2020 yılında bir eczane zinciriyle anlaşarak, reçeteli ilaçları taşımak için çalışmalar yapmıştır.

Dünyanın en büyük dağıtım hacmine sahip lojistik firmalarından biri olan DHL, Parcelcopter adında bir *quadcopter* tip İHA geliştirmiştir. İlk uçuşunu 2013 yılında yapan Parcelcopter, 2016 yılında sabit kanat tip olarak tasarlanmış ve kayak turizmi ile ünlü Winklmoosalm Bölgesindeki (Almanya) turistler için iki bölge arasında 130 civarı teslimat gerçekleştirmiştir. Araba ile 30 dakika süren mesafe, İHA ile 8 dakika sürmüştür. Son olarak, VTOL tip tasarlanan Parcelcopter 2018 yılında ise, Doğu Afrika Bölgelerindeki adalarda ilaç teslimatında kullanılmıştır (DHL, 2022).

Sadece Helsinki (Finlandiya), Virginia, Christiansburg (Amerika Birleşik Devletleri), Logan ve Canberra (Avustralya) şehirlerinde hizmet veren Wing şirketi 2012 yılında kurulmuştur. Amerikan Havacılık İdaresi'nden İHA ile hava taşımacılığı lisansı alan ilk şirket olan Wing, 2020 yılında 100.000'den fazla kargo paketi taşımıştır. Akıllı telefon uygulaması ile sipariş veren müşterileri konumuna İHA kargoyu götürür ve kargo ip ile müşteriye sarkıtılmaktadır. Güvenlik nedeniyle müşteri ve İHA temas halinde değildir. Bu da sistemin kullanılabilirliğini arttırmaktadır (Wing, 2022).

2011 yılında kurulan Matternet şirketi, İsviçre Havacılık Otoritesi tarafından onay almıştır ve müşteriler arası uçtan uca teslimat gerçekleştirebilmektedir. 2014 yılında San Fransisco'da (Amerika Birleşik Devletleri) kurulan Zipline firması daha çok tıbbi malzemelerin taşınmasına ağırlık vermiştir. Flytrex, Flirtey, Wingcopter gibi girişimler de büyük yatırımlar almakta ve İHA ile lojistik faaliyetlerini her geçen gün geliştirmektedirler (Emergenresearch, 2022).

4.9. Ticari Uygulamalar

4.9.1. Film Endüstrisi Uygulamaları

Sinema, dizi, reklam veya müzik klipi hazırlamak uzun zaman alan süreçlerdir. Birkaç dakikalık sahneler bile günler süren çekimler ve montaj işlemlerinden geçmektedir (Akgüç, 2021). Film endüstrisinde İHA'ların kullanımı zaman ve maliyet açısından büyük kolaylıklar sağlamaktadır. İHA'larda bulunan veya sonradan entegre edilebilen yüksek çözünürlüklü kameralar sayesinde zorlu sahneler ve farklı planlar kaydedilebilmektedir.

İHA ile çekim teknikleri ise çoğunlukla pilota, İHA üzerinde yapılan uçuş ayarlarına ve kamera ayarlarına bağlıdır. Çekilecek sahneye göre değişmekle birlikte genel olarak İHA'nın yavaş hareket etmesi, mümkünse dönme hareketi (Yaw Spin) yapmaması istenir. İHA çekim teknikleri genel olarak aşağıdaki gibidir (Tutuş, 2018);

- Sinematografik yavaşlık
- Farklı hareket eksenini kullanımı
- Sağ sol hareketler
- Yukarı aşağı hareketler
- Yörüngeye oturtma (point of interest)
- Ortaya çıkartmak
- Üzerinden uçmak
- Takip çekimi (tracking)
- Gimbal hareketleri (gimbal movements)
- Paralaks (parallax)
- 360 derece çevrim (360 degree shoot)

- Gün doğumu, gün batımı
- Düz görüntü profili kullanımı
- Deklanşör hızı ayarı (Shutter speed)
- Hızlı yaklaşma/uzaklaşma (Zoom in/out)
- Hızlandırma/Yavaşlatma (Hyperlapse/Timelapse)
- Filtreli çekim
- Otonom çekim

Sinema sektörü için özel olarak tasarlanan kamera sistemlerine sahip İHA'larda özelleştirilmiş uçuş modları da bulunmaktadır. Uçuş modları, İHA pilotunun ihtiyacı olabilecek sahneleri otomatik şekilde çekebilmesini sağlamaktadır. Pilotlardan alınan tavsiyeler doğrultusunda, İHA üreticileri güncellemeler ile yeni uçuş modları getirmekte veya mevcut uçuş modlarını iyileştirmektedir. Aşağıda DJI firmasının sunduğu bazı uçuş modları yer almaktadır (Şekil 37).



Şekil 37. Akıllı uçuş modları (DJI, 2022).

Ortam parlaklığına göre, güneş açısına göre veya çekilen nesnenin rengine göre çeşitli kamera filtreleri kullanılmaktadır ve genellikle doğal yoğunluk filtreleri (ND-Neutral density) tercih edilir. ND filtresi, ışığın tüm dalga boylarının veya renklerinin yoğunluğunu eşit olarak azaltan veya değiştiren ve renk sunumu tonunda değişiklik yapmayan bir filtredir (Wikipedia, 2015). ND filtresinin orijinal görüntü üzerinde yaptığı değişim Şekil 38'de görülmektedir (Newton, 2017).



A (Orijinal görüntü)



B (ND filtre kullanılarak çekilmiş görüntü)

Şekil 38. ND filtresinin görüntüde yaptığı değişim (Newton, 2017).

Reklam ve tanıtım faaliyetlerinde de sıklıkla kullanılan İHA'lar, son yıllarda sürü şeklinde kullanılmaya başlamıştır. Genellikle led ışıklar entegre edilecek tek bir noktadan kontrol edilen İHA'lar, çeşitli koreografi hareketleri yapabilmektedir. Önemli tarihlerde sıkça tercih edilen havai fişek gösterilerinin yerini almaya başlamıştır. Çevreci yapıları ve havai fişeklere göre çok daha uzun süren gösteriler yapabilen İHA'lar, birçok etkinlikte insanlara sunulmuştur.

2018 Kış Olimpiyatları, 2020 Birleşik Arap Emirlikleri yeni yıl kutlamaları, Katar 2022 Dünya Kupası tanıtımı, Dubai Alış-Veriş Festivali açılışı, 2022 Londra yeni yıl kutlamaları, Şampiyonlar Ligi finali, 2019 Afrika Oyunları, 2020 30 Ağustos kutlamaları gibi organizasyonlarda İHA gösterileri yapılmıştır. Bu gösterilerde 50 ile 500 arasında İHA kullanılmıştır (Skymagic, 2022; Skddrone, 2022; Verge, 2022; Firefly 2022).

4.9.2. Emlak Değerleme

İlk başlarda, emlak ilanlarında İHA fotoğrafçılığı kullanılmazken, reklam ve akılda kalıcılığı açısından İHA fotoğrafçılığı günden güne emlak sektörüne girmeye başlamıştır. İHA fotoğrafları, gayrimenkule farklı bir bakış açısı katmasına, arazinin geniş bir perspektiften görüntülenmesine ve çevrenin vurgulanmasına olanak tanıdığı için geleneksel emlak ilanlarından daha akılda kalıcılık sağlamaktadır. Ayrıca İHA'lar ile çekilen videolar da emlak ilanları için oldukça vurgulayıcı olmaktadır (Photographylife, 2020; Vaned, 2022).

4.9.3. Sigortacılık Uygulamaları

İHA'ların çok kısa sürede veriler toplayabilmesi, hızlı ve analitik çözümler sunabilmesi sigortacılık işlemleri için günümüzde önemli hale gelmiştir. Özellikle kritik noktalardan alınan görüntüler ve yazılımların sağladığı faydalar sigortacılık faaliyetlerini daha rasyonel ve akıllı hale getirmektedir (Adorama, 2021). Yüksek yapı denetimleri, kaza alanı analizleri, afet sonrası hasar incelemeleri, kazan muayeneleri, riskli alanların fotoğraflanması, afet öncesi haritalama gibi birçok sigortacılık faaliyetleri İHA'lar ile yürütülebilmektedir (vHive, 2020).

4.10. Endüstriyel Uygulamalar

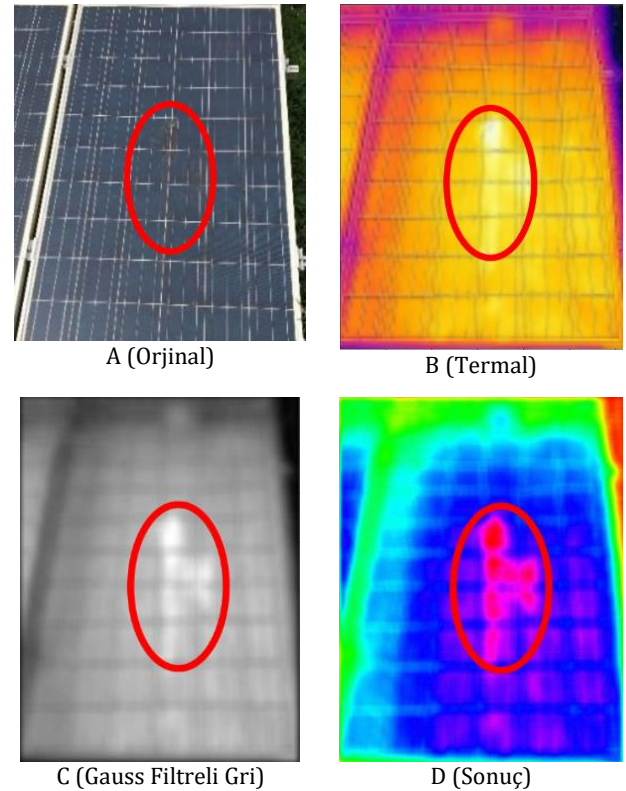
Enerji, insan hayatının vazgeçilmez unsurlarından biridir. Ülkelerin gelişiminde, dolayısı ile sosyal refahın artırılmasında büyük role sahip olmaya devam etmektedir (Öztürk, 2013). Bu kapsamda, ülkeler, çeşitli kurum ve kuruluşlar enerji kaynaklarının ortaya çıkarılması, enerji üretilmesi, dönüşümü ve enerjinin verimli kullanımı konusunda birçok yatırım ve araştırmalar yapmaktadır.

Günümüzde, İHA'lar ile enerji uygulamalarındaki problemlere hızlı ve analitik çözümler üretilebilmektedir. Bu kapsamda yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda açıklanmıştır.

4.10.1. Solar Panel İzleme ve Denetleme

Güneş enerji panellerindeki arıza tespitleri, verimlilik ve ölçeklenebilirlik açısından büyük öneme sahiptir. Bu kapsamda yapılan oldukça fazla çalışma mevcuttur (Quater vd., 2014; Rosende vd., 2020; Hwang vd., 2021).

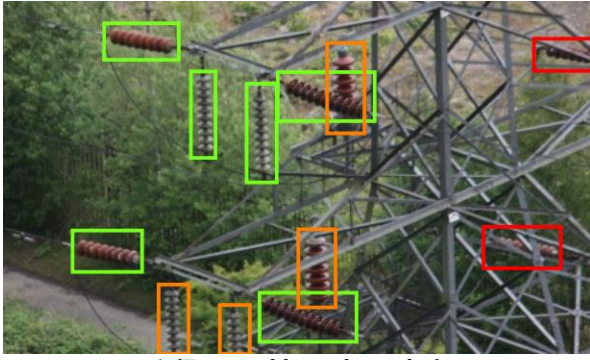
(Liao & Lu, 2021) yaptıkları çalışmada, güneş enerjisi çiftliklerinde arıza tespiti yapabilen İHA sistemi üzerinde çalışmışlardır. *Hexacopter* tip İHA üzerinde entegre ettikleri Flir Duo R model termal kamera ile güneş panellerinin üzerinden görüntüler toplamışlardır. Görüntüleri anlık olarak yer kontrol istasyonu bilgisayarına aktarmışlar. MATLAB bilgisayar yazılımı üzerinde geliştirdikleri bir program ile arızalı hücreleri tespit etmişlerdir. Çalışmaları sonucunda, kullandıkları metodun arızalı panel tespitinde başarıyla kullanılabileceği ve hem küçük ölçekli hem de büyük ölçekli sistemlerde kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Çalışmalarında elde ettikleri sonuç görüntüleri Şekil 39' da verilmiştir.



Şekil 39. İHA ile güneş paneli arıza tespiti (Liao & Lu, 2021).

4.10.2. Yüksek Gerilim Hattı İzleme ve Denetleme

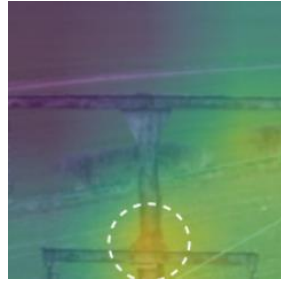
Odo vd., (2022), elektrik iletim hattı kulelerinde kullanılan elemanların, derin öğrenme algoritmalarıyla analizi üzerine çalışmışlardır. 7000 elektrik kulesinden elde edilen 300.000 hava fotoğrafı verisini kullanarak, iletim hattı kulesi elemanlarının sınıflandırmasını yapmış ve arızaların tespit edilebileceğini belirtmişlerdir. Bozulması muhtemel ve çürümeye başlamış elemanların da önceden analiz edilebileceği sonucuna varmışlardır. Çalışmalarında elde ettikleri bazı sonuç görüntüleri Şekil 40' da görülmektedir.



A (Tespit edilmiş elemanlar)



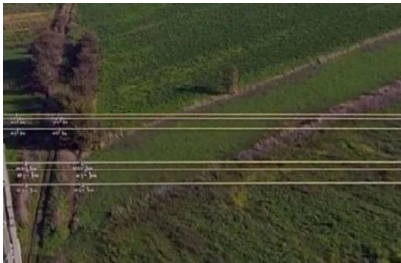
B (Orjinal)



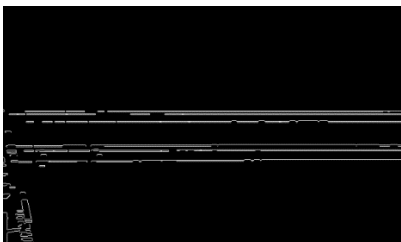
C (Paslanma tespiti)

Şekil 40. Elektrik iletim hattı kuleleri analizi (Odo vd., 2022).

Karakose, (2017) yaptığı çalışmada, elektrik hatlarının izlenmesi ve kontrol edilmesi için İHA görüntüleri kullanmıştır. İHA ile alınan görüntüler üzerinde morfolojik işlemler, kenar filtreleri ve *Hough* dönüşümü kullanarak hatların otomatik tespitini gerçekleştirmiştir. Elde ettiği görüntüler Şekil 41' de gösterilmiştir.



A (Orijinal görüntü)



B (Filtreden geçmiş görüntü)



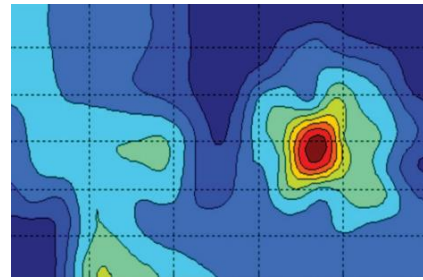
C (Sonuç görüntüsü)

Şekil 41. Elektrik iletim hatlarının İHA görüntüleri ile otomatik tespit edilmesi (Karakose, 2017).

4.10.3. Gaz Ölçümleri

Rossi vd., (2016) yaptıkları çalışma kapsamında gaz kaçağı tespit edebilen bir İHA tasarlamışlardır. 6 motorlu *hexacopter* tip İHA kullanmışlar ve İHA üzerine gaz ölçüm sensörü ile 4G haberleşme modülü entegre etmişlerdir. Geliştirdikleri İHA sistemi otonom uçuş yaparken, gaz konsantrasyonu arttığında hızını düşürerek koordinat ve gaz ölçüm bilgilerini 4G haberleşme modülü üzerinden yer kontrol sistemine aktarmaktadır.

Asad vd., (2017) çalışmalarında, DJI Matrice 100 model bir *quadcopter* kullanarak gaz tespiti yapmışlardır. Faydalı yük olarak, gaz sensörü ve termal kamera kullanmışlardır. CO, CO₂ ve H₂S gaz yoğunluklarını algılayabilen faydalı yükten aldıkları veriler ve GPS verileri, ArcGIS Pro bilgisayar yazılımında, nokta yoğunluk algoritması ile birleştirilmiştir. Elde ettikleri gaz yoğunluk haritası ve termal görüntü (GDM-Gas Distribution Mapping) Şekil 34' de görülmektedir.



A



B

Şekil 34. Gaz yoğunluk haritası (A) ve termal görüntü (B) (Asad vd., 2017).

Gaz ölçümleri ve sızıntı tespit çalışmaları, aynı zamanda inşaat mühendisliği uygulamalarında ve madencilik uygulamalarında da yapılmaktadır. Bu sebeple ilgili başlıklar altında ayrıca değinilmemiştir.

4.10.4. Petrol ve Gaz Boru Hattı İzleme ve Denetleme

Klasik yöntemlerde, petrol ve gaz boru hatlarının denetlenmesi mobil araçlar veya yaya devriyeler ile yapılmaktadır. Ancak bu zaman ve maliyet olarak birçok sorunu beraberinde getirmektedir (Shukla vd., 2016). Bu nedenle hızlı ve analitik çözümler üreten İHA'ların kullanımı kaçınılmaz hale gelmiştir. (Shukla vd., 2016) yaptıkları çalışmada, *Canny* kenar tespit algoritması ve *Hough* dönüşümü algoritması kullanarak lineer boru hatlarının haritalanmasını ve izlenmesi için kontrol mekanizması geliştirmişlerdir.

Bretschneider & Shetti, (2016) ise gaz boru hatlarındaki olası sızıntıların İHA ile tespiti üzerine çalışmalar yürütmüşlerdir. Lazer tabanlı metan gazı ölçüm sensörü yerleştirdikleri İHA ile uygun maliyetli ve hızlı çözüm sunabilen bir sistem oluşturmuşlardır.

4.10.5. Rüzgar Türbini İzleme ve Denetleme

Wang & Zhang, (2017) yaptıkları çalışmada, İHA ile alınan görüntüleri kullanarak rüzgar türbinlerinin bıçakları üzerindeki çatlaklar ve deformasyonları otomatik olarak tespit etmeye çalışmışlardır. Çalışmalarında destek vektör makineleri, karar ağaçları ve *logitboost* sınıflandırma algoritmaları kullanarak orijinal görüntü üzerinde bulunan çatlakları 0.097 sn ile 0.083 sn arasında, %95 ile %97 doğrulukta otomatik şekilde tespit etmişlerdir.

Khadka vd., (2020) yaptıkları çalışmada, İHA üzerine yerleştirilen stereo kameralar ve görünür ışık kamerası ile hareket halindeki rüzgar türbini bıçaklarında meydana gelen titreşimleri ölçümlemeye çalışmışlardır. Bu çalışma sayesinde, yüksek devirlerde çalışan çok bıçaklı rüzgar türbinlerinin yapısal sağlığını izlenmesini amaçlamışlardır.

4.10.6. Sayım Uygulamaları

Amato vd., (2019) yaptıkları çalışmada bir park alanında bulunan araçların sayısını İHA ile alınan görüntüler üzerinden otomatik saymaya çalışmışlardır. *YOLO* algoritması kullanarak %86 ile %97 arasında değişen doğruluk elde etmişlerdir.

Chen & Miao, (2019) yaptıkları çalışmada, İHA ile alınan videoları analiz ederek elektrik dağıtım direklerinin sayısını hesaplamışlardır. *YOLO* algoritması kullanarak direkleri tespit etmişler ve görüntü üzerinde çerçeveleme yöntemiyle, %90 doğruluk oranıyla otomatik olarak saydırmışlardır.

Zhao vd., (2021) yaptıkları çalışmada, bir sigara üretim tesisinde envanter kontrolü ve sayımının İHA kullanılarak yapılmasını irdelemişlerdir.

Kwon vd., (2019) yaptıkları çalışmada ise karanlık, dar ve yüksek olan depolarda envanter sayım işlemi yapabilen otonom bir İHA sistemi önermişlerdir. İHA sistemleri üzerinde Pixhawk3 uçuş kontrolcüsü ve Intel NUC7i7BNH işlemcili 16 GB Ram kapasiteli bir görev bilgisayarı bulunmaktadır. 3 adet görünür ışık kamerasından gelen verileri görüntü işleme algoritmalarına tabi tutup barkod okuma işlemi gerçekleştirmişler ve envanter yönetiminin düşük maliyetli ve hızlı şekilde yapılabileceğini ortaya koymuşlardır.

4.11. Askeri Uygulamalar

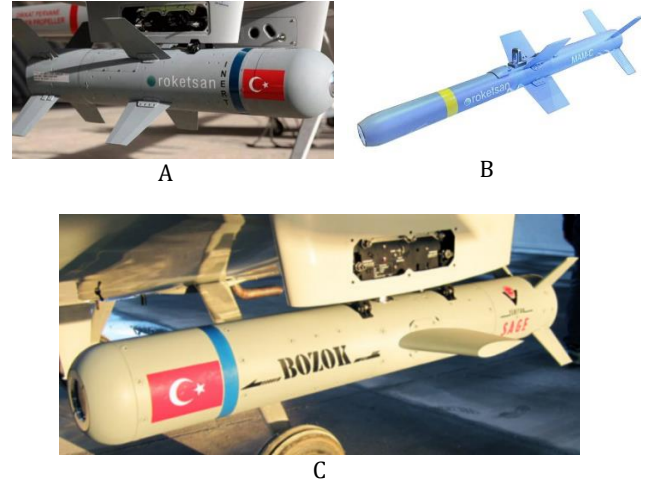
1900'lü yılların başında başlayan ilk İHA çalışmaları, başlarda yavaş ilerlese de sonraları yüksek ivme kazanmıştır (Vietnam Savaşı'ndaki etkilerinden dolayı). Birçok ülkenin yatırım yaptığı ve arge çalışmaları yürüttüğü askeri tip İHA'lar genellikle gözetçi, muharip, hem gözetçi hem muharip, yem, klavuz, lazer işaretleyici veya elektronik harp amacıyla kullanılmaktadır. Faydalı yük olarak; elektro-optik sistemler, süzülen mühimmatlar, uydu haberleşme terminalleri, sentetik açıklıklı radar (SAR-Synthetic Aperture Radar), hızlı haritalama üniteleri, lazer, optik, termal, ataletsel güdümlü füzeler olabilmektedir (ASELSAN, 2022; ROKETSAN, 2022; TUBİTAK, 2022; Lentatek, 2022, Baykar, 2022).

Askeri tip İHA'larda bulunan elektro-optik sistemler oldukça gelişmiş yeteneklere sahiptir. Keşif ve istihbarat yeteneklerinin yanında hedefleme, kamuflaj ve unsur tespiti, hedefe odaklanma, optik yakınlaştırma, termal görüntüleme gibi özellikleri mevcuttur (Cengiz & Çelik, 2021; ASELSAN, 2022; Karaağaç, 2014). Askeri tip İHA'lar bulunan tipik bir elektro-optik sistem Şekil 42' de görülmektedir.



Şekil 42. ASELSAN tarafından geliştirilen elektro-optik sistem (CATS-Common Aperture Targeting System) (ASELSAN, 2022).

Muharebe amacıyla İHA'lara entegre edilebilen, akıllı mühimmat olarak da isimlendirilen hafif füzeler sayesinde atış başarımları yükselmektedir. Şekil 43' de TUBİTAK tarafından üretilen akıllı mühimmat ve ROKETSAN tarafından üretilen itkisiz (süzülen) füze modelleri görülmektedir.



Şekil 43. Süzülen (A ve B) ve güdümlü tip (C) füzeler (ROKETSAN, 2022; TUBİTAK, 2022).

Konvansiyonel uygulamalarda İHA kontrolü radyo frekansı ile gerçekleştirilmektedir ve haberleşme menzili açık alanda 500 metre ile 10 km arasındadır. Ancak askeri tip İHA'ların görevleri gereği, menzillerinin yüksek olması beklenir. Bu nedenle askeri tip İHA'lar uydu kontrollü olarak geliştirilmektedir. Uydu iletişimi sayesinde mesafeye ve yeryüzü şekline bağlı kalmaksızın İHA kontrolü sağlanmakta ve veriler anlık olarak izlenebilmektedir (Baykar, 2022). Bu kapsamda, ASELSAN tarafından geliştirilen uydu haberleşme terminali Şekil 44' de gösterilmektedir.



Şekil 44. ASELSAN tarafından geliştirilen uydu haberleşme terminali - SATCOM (ASELSAN, 2022).

4.12. Hobi ve Spor Uygulamaları

İHA'ların kullanımının sivil alanlarda artış göstermesiyle birlikte, eğlence fotoğrafçılığı veya aksiyon uçuşları yapabilen kabiliyetlere sahip insansız hava araçlarına olan ilgi artmıştır (Hildebrand, 2017). Özellikle yarış veya aksiyon uçuşlarında, birinci şahıs görüşü (FPV-First Person View) kavramı da ortaya çıkmıştır. FPV özelliğe sahip İHA'lar sayesinde, İHA pilotu sanki kokpitte oturuyormuş hissiyle uçuş yapabilmektedir. İHA'nın önünde yer alan kameradan gerçek zamanlı aktarılan görüntü, FPV gözlüğe veya monitöre yansıtılmaktadır (Şekil 45).



Şekil 45. DJI markası tarafından üretilmiş bir FPV özellikli İHA - DJI FPV Drone (DJI, 2022).

Yüksek manevra kabiliyetine sahip ve 210 km/sa hızlara ulaşabilen yapılarıyla dikkat çeken FPV modeller, birçok ülkede *Drone Racing* (Drone Yarışları) yarışmalarında da kullanılmaktadır. Çeşitli engellerin ve keskin dönüşlerin olduğu parkuru (Şekil 46) en kısa sürede tamamlamaya çalışan İHA pilotları, daha iyi verim alabilmek için kendi FPV İHA modellerini modifiye etmektedirler.



Şekil 46. Bir FPV yarış parkuru (Anonim).

Yüksek verimli motorlar, hassas uçuş kontrolcülerini, yüksek ampere dayanıklı motor sürücü devreler ve yüksek akım verebilen piller kullanarak, kendi uçuş karakteristiklerini yansıtan tasarımlar yapmaktadırlar (Şekil 47).



Şekil 47. İHA pilotu tarafından toplanmış ve ayarları yapılmış bir FPV İHA (OscarLiang, 2019).

Ayrıca sinema, reklam ve tanıtım projelerinde yüksek aksiyon sahnelerinde de FPV İHA'lar tercih edilmeye başlanmıştır. Bir araba firmasının ürettiği spor model aracın reklam filmi FPV tip İHA ile çekilmiş ve büyük yankı uyandırmıştır (Şekil 48).



Şekil 48. BMW 1er model aracın reklam filmi için kullanılan FPV model İHA (Helicomicro, 2017).

4.13. Adli Uygulamalar

4.13.1. Kaza Analizi

İHA'lar sadece ticari veya mühendislik uygulamalarında değil aynı zamanda kaza durumlarında da oldukça faydalı olabilmektedir. Kameraları sayesinde geniş alanları yüksek çözünürlükte fotoğraflayabilmektedirler. Dolayısı ile İHA'lar, bir kaza soruşturmasının verimli şekilde yürütülmesi için önemli bir araç haline gelmektedir. Kaza analizi için İHA'ların avantajlarını şu şekilde sıralayabiliriz;

- Kısa sürede veri toplama
- Kayıp veya yaralı kişileri hızlıca tespit etme
- 3 Boyutlu analiz
- Hızlı ve hassas kaza analiz imkanı

Ayrıca trafik kazalarında yolun kapanmasını önlemek ve trafik akışını düzenlemek için İHA'lar kullanılabilir. Sürücü ve yolculara sesli anons yapılarak trafiğin akışı ayarlanabilir (Police1, 2022). Kaza sonrası 3 boyutlu harita oluşturulup (Şekil 49), ardından kazanın yeniden canlandırılması çeşitli animasyon yazılımlarında yapılabilmektedir (Amin vd., 2020).



Şekil 49. Kaza sonrası (solda) ve animasyon görüntüsü oluşturulması (sağda) (Amin vd., 2020).

Havacılık kazalarında sualtı araçlarıyla birlikte İHA'ların kullanımı da günden güne artmaktadır. Malezya Havayollarının ait MH370 sefer sayılı uçuşunda meydana gelen kazada İHA'lar aktif olarak kullanılmıştır (Pix-pro, 2022).

Deniz kazalarında genellikle petrol, kömür, kimyasallar vb. taşıyan yük gemileri büyük çevre kirliliğine neden olmaktadır. İHA'lar mevcut durumu değerlendirme, kirliliğe neden olacak maddenin durumunu havadan izleme, kimyasalların yayılım yönünü tespit etme, dalga ve gelgitleri izleme gibi çözümler sunabilmektedir.

4.14. Denizcilik ve Kıyı Güvenliği Uygulamaları

Denizcilik uygulamaları ve kıyı güvenliği çalışmalarında, İHA'ların kullanımı günden güne artmaktadır. Yüksek çözünürlüklü kameralar sayesinde, izlenmek istenen alan veya kontrol edilmek istenen bölgeler kolaylıkla monitörize edilebilmektedir.

Duan & Zhang, (2014) yaptıkları çalışmada İHA'ların denizcilik uygulamalarında kullanımlarını değerlendirmişlerdir. Kontrol edilecek/izlenecek alanın İHA'lar ile istenen irtifada ve hızda kolaylıkla görüntülenebileceğine değinmişlerdir. Ayrıca İHA'ların petrol veya çeşitli kimyasal atıkların sızıntı tespitinde kullanılabilirliğini, arama-kurtarma faaliyetlerinde etkili ve hızlı çözümler sunabildiğini, gemi tahliyeleri ve acil durumlarda kullanılabileceğini, şamandıra kontrollerinin yapılabileceğini ve hudut izleme ile hudut güvenliği uygulamalarında kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

O'Young & Hubbard, (2007) yaptıkları çalışmada ise zorlu kıyı koşullarına sahip Kanada'nın Newfoundland bölgesi için, istihbarat ve gözetleme amaçlı İHA geliştirmişlerdir. Çalışmanın ayrıca, yerli ve yabancı faaliyetlerin tespiti/izlenmesi ve çevre koruma faaliyetlerine katkı sunduğunu belirtmişlerdir.

Queralta vd., (2020) yaptıkları çalışmada, deniz arama kurtarma faaliyetlerinde ilk tespit ve müdahale için, destek sistemi olarak sürü İHA yaklaşımını öne sürmüşlerdir. Derin öğrenme algoritmalarını kullanarak, sürü İHA'ların keşif görevlerini yapabilmesi ve çevre ekiplere bilgi aktarabilmesinin temellerini ortaya atmışlardır.

5. GELECEKTE İHA

İHA'lar hızlı, hassas, düşük maliyetli ve analitik çözümler sunmaktadır. Ayrıca sensör teknolojilerinin gelişimi, işlemci kapasite ve yeteneklerinin artması, güç ünitelerindeki güncellemeler ve iyileştirmeler günden güne artmaktadır. Ülkelerin yönetimleri ve havacılık otoritelerinin regülasyonlarda esnekliğe gitmesi, özel kurum ve kuruluşların İHA yatırımları, araştırmacıların yapmış olduğu çalışmaların giderek artması diğer önemli gelişmelerdendir. Tüm bu gelişmeler doğrultusunda aşağıdaki İHA çalışmalarının yapılacağı veya daha da geliştirileceği öngörülmektedir.

- Ürüne özel hastalık tespiti ve anlık olarak uygun ilacın seçilip verilmesi (Tarımsal uygulamalar)
- Denizlerde otomatik akıntı tespiti (Ulaşım uygulamaları)
- Kentsel alanlarda yatay ve dikey kaçak yapıların otomatik tespiti (Belediyecilik uygulamaları)
- Spektral imza uygulamaları (Tarımsal uygulamalar, madencilik uygulamaları)
- Kapalı alanların haritalanması (inşaat mühendisliği uygulamaları, arkeolojik çalışmalar)
- Doğal gaz ve petrol tespit çalışmaları (enerji uygulamaları)
- Sürü İHA'ların dikey yapılarda yangınla mücadele uygulamaları
- Elektronik harp uygulamaları (Askeri uygulamalar)
- Sinyal istihbaratı uygulamaları (Askeri uygulamalar)
- Trafik denetleme-hız kontrolü, plaka takip vb. (Güvenlik uygulamaları)
- Organ taşıma uygulamaları (Lojistik/Sağlık uygulamaları)
- Kargo taşımacılığı (Lojistik uygulamaları)
- Baz istasyonu olarak kullanımı (İletişim uygulamaları)
- Drone Taksi çalışmaları (Ulaşım uygulamaları)
- Sürü İHA çalışmaları (Askeri uygulamalar)
- Ekim ve hasat İHA'ları (Tarımsal uygulamalar)
- Balık yemleme, takip, ortalama, ağ serme vb. (Balıkçılık uygulamaları)
- Vahşi hayvan takip/yakalama (Doğa uygulamaları)
- Mayın temizleme çalışmaları (Askeri uygulamalar)
- Rekolte tahmin çalışmaları (Tarımsal uygulamalar)
- Etiketleme, sayım çalışmaları (Perakendecilik uygulamaları)
- Doğal afetlerde otomatik hasar belirleme
- Yüz tanıma çalışmaları (Güvenlik uygulamaları)
- Ormanlık alanlarda otomatik yangın tahmini ve tespiti

6. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında İHA'lar hakkında genel bilgiler verilmiş, İHA'ların sınıflandırılma yöntemlerine değinilmiştir. İHA'larda bulunan elektronik ve mekanik bileşenlerin özellikleri ve görevleri açıklanmış ve faydalı yük tipleri örnekler ile irdelenmiştir.

Literatür çalışmaları derlenmiş, devletlerin ve özel kurumların yapmış olduğu faaliyetlere değinilmiştir. Ülkemizde ve dünyada İHA kullanılarak yapılmış uygulamalara örnekler verilmiştir.

İHA'ların sunmuş olduğu kolaylıklar ve avantajlar anlatılmış ve örneklendirilmiştir. İHA'lar ile elde edilen verilen anlamlandırılması için kullanılan bilgisayar yazılımları da kısaca belirtilmiştir.

Son olarak İHA'nın gelecekteki durumu ortaya konulmuştur ve yine örnekler ile listelenmiştir.

Bilgilendirme/Teşekkür

Bu makalenin ortaya çıkmasında desteklerini ve teşviklerini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Murat YAKAR' a, her daim yanımda olan eşim Özge'ye ve mutluluk kaynağım kızım Eliz'e teşekkür ederim.

Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye olan katkıları eşittir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

- Adorama (2021). How Insurance Providers Are Using Drones. <https://www.adorama.com/alc/how-insurance-providers-are-using-drones/>. Accessed: 30.09.2022.
- Aerospace Composites Market (2021). Aerospace Composites Market Report Coverage. <https://www.gminsights.com/industry-analysis/aerospace-composites-market/>, Accessed 19.06.2022.
- Ahirwar, S., Swarnkar, R., Bhukya, S. & Namwade, G. (2019). Application of Drone in Agriculture. *International Journal Current Microbiology Applied Sciences* 8(01): 2500-2505.
- Aicardi, I., Chiabrando, F., Grasso, N., Lingua, A. M., Noardo, F. & Spanò, A. (2016). UAV Photogrammetry with Oblique Images: First Analysis on Data Acquisition and Processing. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, ISSN 1682-1750.
- Akar, A., Akar, Ö. & Bayata, H. F. (2021). SenseFly eBeeX İHA ile Üretilen Ortofotonun Konum Doğruluğunun İncelenmesi. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2021; 3(2); 65-68.

- Alptekin, A. & Yakar, M. (2020). Heyelan bölgesinin İHA kullanarak modellenmesi. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2 (1), 17-21.
- Alptekin, A. & Yakar, M. (2020). Kaya Bloklarının 3B Nokta Bulutunun Yersel Lazer Tarayıcı Kullanarak Elde Edilmesi. *Türkiye Lidar Dergisi*, 2 (1), 1-4.
- Alptekin, A., Çelik, M. Ö., Doğan, Y. & Yakar, M. (2019). Mapping of a Rockfall Site With an Unmanned Aerial Vehicle. *Mersin Photogrammetry Journal*, 1 (1), 12-16.
- Amato, G., Ciampi, L., Falchi, F. & Gennaro, C. (2019). Counting Vehicles With Deep Learning in Onboard UAV Imagery. In *2019 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)* (pp. 1-6). IEEE.
- Amin, M., Abdullah, S., Abdul, M. S. N., Mohd, Z. M. H. A. & Tahar, K. N. (2020). Reconstruction of 3d Accident Scene from Multirotor UAV Platform. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 43.
- ArduPilot RangeFinder (2021). ArduPilot Peripheral Hardware. <https://ardupilot.org/copter/docs/common-rangefinder-sf02.html/>, Accessed 20.06.2022.
- Asad, M., Aidaros, O. A., Beg, R., Dhahri, M. A., Neyadi, S. A. & Hussein, M. (2017). Development of Autonomous Drone for Gas Sensing Application. *2017 International Conference on Electrical and Computing Technologies and Applications (ICECTA)*, pp.1-6, doi: 10.1109/ICECTA.2017.8252068.
- ASELSAN (2021). İnsansız Hava Aracı Uçuş Kontrol Sistemleri. <https://www.aselsan.com.tr/tr/inovasyon/haber-detay/insansiz-hava-araci-ucus-kontrol-sistemleri-3433/>, Accessed 18.06.2022.
- Austin, P. L. (2021). Amazon Drone Delivery Was Supposed to Start by 2018. Here's What Happened Instead?. <https://time.com/6093371/amazon-drone-delivery-service/>, Accessed 29.06.2022.
- ASELSAN (2022). CATS (Common Aperture Targeting System). <https://www.aselsan.com.tr/tr/cozumlerimiz/elektro-optik-sistemler/>, Accessed 05.07.2022.
- Avdan, U., Şenkal, E., Cömert, R. & Tuncer, S. (2014). İnsansız Hava Aracı ile Oluşturulan Verilerin Doğruluk Analizi. *V. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2014)*, 14-17 Ekim 2014, İstanbul.
- Aydin, B., Selvi, E., Tao, J. & Starek, M. J. (2019). Use of Fire-Extinguishing Balls for a Conceptual System of Drone-Assisted Wildfire Fighting. *Drones 2019*, 3(1), 17,
- Ayemba, D. (2022). Utilizing Drone Technology in Construction. <https://constructionreviewonline.com/2018/03/drones-in-construction/>, Accessed 27.06.2022.
- Barbosa, J., Hernandez, C., Paredes, D. & Jativa, E. R. (2020). Design and Implementation of an Autonomous Vehicle with LIDAR-Based Navigation. *2020 International Conference on Mechatronics, Electronics and Automotive Engineering (ICMEAE)*, 2020, pp. 98-103.
- Baykar (2022). Faydalı Yük Sistemleri. <https://baykartech.com/tr/faydali-yuk-sistemleri/>, Accessed 05.07.2022.

- Bento, M. D. F., (2008). Unmanned Aerial Vehicles: An Overview. *InsideGNSS*, Ocak/Şubat: 54-61.
- Bhandari, A. K., Kumar, A. & Singh, G. K. (2012). Feature Extraction Using Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): A Case Study of Jabalpur City. *Procedia Technology*, 6, pp.612-621.
- Blyenburgh, P. (2006). UAV Systems: Global Review. Conference, Amsterdam, *The Netherlands*, 2006.
- Borky, J. M. (1997). Payload Technologies and Applications for Uninhabited Air Vehicles (UAVs). *1997 IEEE Aerospace Conference*, 1997, pp. 267-283 vol.3.
- Bown, M. & Miller, K. (2018). The Use of Unmanned Aerial Vehicles for Sloped Roof Inspections- Considerations and Constraints. *Journal of Facility Management Education and Research*, 2(1), 12-18.
- Bretschneider, T. R. & Shetti, K. (2015). UAV-Based Gas Pipeline Leak Detection. In Proc. of ARCS.
- Cai, G., Lum, K. Y., Chen, B. M. & Lee, T. H. (2010). A Brief Overview on Miniature Fixed-Wing Unmanned Aerial Vehicles. In *Proceedings of the IEEE ICCA 2010, Xiamen, China, 9-11 June 2010, IEEE: Piscataway, NJ, USA*, pp. 285-290.
- Campana, S. (2017). Drones in Archaeology. State-of-the-Art and Future Perspectives. *Archaeological Prospection*, 24(4), 275-296. doi:10.1002/arp.1569.
- Campbell, D. A. (2018). Drones, Machetes, and Virtual Reality: 21st-Century Tools for Historic Preservation. In *2018 3rd Digital Heritage International Congress (DigitalHERITAGE) Held Jointly with 2018 24th International Conference on Virtual Systems & Multimedia (VSMM 2018)* (pp. 1-4). IEEE.
- Cengiz, Ç. & Çelik, B. (2021). İnsansız Hava Araçlarında Elektro-Optik Kamera Yerleşim Tasarımı. *Journal of Aviation Research*, 3 (1), 53-62. DOI: 10.51785/jar.796510.
- Ceylan, M. C. & Uysal, M. (2021). İnsansız Hava Aracı ile Elde Edilen Veriler Yardımıyla Ağaç Çıkarımı. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 3 (1), 15-21.
- Chang-chun, L., Guang-sheng, Z., Tian-jie, L. & A-du, G., (2011). Quick Image-Processing Method Of UAV Without Control Points Data İn Earthquake Disaster Area. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 21 (2011), pp.523-528.
- Chen, B. & Miao, X. (2020). Distribution Line Pole Detection and Counting Based on YOLO Using UAV Inspection Line Video. *Journal of Electrical Engineering & Technology*, 15(1), 441-448.
- Cilek, A., Berberoglu, S., Donmez, C. & Cilek, M. U. (2020). Journal of Digital Landscape Architecture. *5-2020*, pp. 275-284.
- Cömert, R., Şenkal, E. & Avdan, U. (2012). İnsansız Hava Araçlarının Kullanım Alanları ve Gelecekteki Beklentiler. *IV. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2012)*, 16-19 Ekim 2012, Zonguldak.
- Çalışkan, T. B. & Erturgut, R. (2022). Lojistik Faaliyetlerde İHA Kullanımı: İHA Pilotları Üzerinde Bir Araştırma. *Uygulamalı Bilimler Fakültesi Dergisi*, 4 (1), 1-16.
- DHL (2022). DHL's Parcelcopter: Changing Shipping Forever. <https://www.dhl.com/discover/en-my/business/business-ethics/parcelcopter-drone-technology/>, Accessed 29.06.2022.
- DJI (2020). DJI Matrice 300 RTK. <https://www.dji.com/matrice-300/>, Accessed 07.07.2022.
- DJI Agras T30, (2022). DJI Agras T30 Teknik Özellikleri. <https://www.dji.com/t30/>, Accessed 17.06.2022.
- DJI U10 Laser Methane Leakage Detector, (2020). <https://enterprise-insights.dji.com/blog/m300-third-party-payloads/>, Accessed 20.06.2022.
- Doğan, Y. & Yakar, M. (2018). GIS and three-dimensional modeling for cultural heritages. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3 (2), 50-55.
- Donmez, C., Villi, O., Berberoglu, S. & Cilek, A. (2021). Computer Vision-Based Citrus Tree Detection in a Cultivated Environment Using UAV Imagery. *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 187 (2021), 106273.
- Duan, G. J. & Zhang, P. F. (2014). Research on Application of UAV for Maritime Supervision. *Journal of Shipping and Ocean Engineering*, 4, 322-326.
- Ebeid, E. S. M., Skriver, M. & Jin, J. (2017). A Survey on Open-Source Flight Control Platforms of Unmanned Aerial Vehicle. In *Proc. Euromicro Conf. Digit.Syst. Design (DSD)*, Aug. 2017, pp. 1-7.
- Elmas, E. E. (2019). Bir İnsansız Hava Aracı Gerçekleştirme ve Hareketli Nesnelerin Tespit ve Takibinde Kullanımı. *Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara*, 122s.
- Emergenresearch (2022). Top 10 Companies in the Drone Package Delivery Industry. <https://www.emergenresearch.com/blog/top-10-companies-in-the-drone-package-delivery-industry/>, Accessed 29.06.2022.
- Fahlstrom, P. G., Gleason, T. J. & Sadraey, M. H. (2022). Introduction to UAV Systems Fifth Edition. *John Wiley & Sons, Inc.*, ISBN:978-1-119-80263-1, 464s.
- Firefly (2022). Firefly Drone Shows. <https://www.fireflydrones.com/>, Accessed 29.06.2022.
- Garre, P. & Harish, A. (2018). Autonomous Agricultural Pesticide Spraying UAV. *IOP Conference Series: Materials Science Engineering*, 455, doi:10.1088/1757-899X/455/1/012030.
- Ge, X., Wang, J., Ding, J., Cao, X., Zhang, Z., Liu, J. & Li, X. (2019). Combining UAV-Based Hyperspectral Imagery and Machine Learning Algorithms for Soil Moisture Content Monitoring. *PeerJ* 7:e6926 DOI 10.7717/peerj.6926.
- Goodrich, M. A., Morse, B. S., Gerhardt, D., Cooper, J. L., Quigley, M., Adams J A & Humphrey C (2008). Supporting Wilderness Search and Rescue Using a Camera-Equipped Mini UAV. *Journal of Field Robotics*, 25(1-2), 89-110.
- Güçlü, A., Kurtuluş, D. F. & Arıkan, K. B. (2016). Sabit ve Döner Kanatlı Hava Aracının Yönelim Dinamiklerinin Hibrit Denetimi. *Sürdürülebilir Havacılık Araştırmaları Dergisi*, 1(2), 65-73.
- Güleç Korumaz, A., Dülgerler, O. N. & Yakar, M. (2011). Kültürel Mirasın Belgelenmesinde Dijital Yaklaşımlar. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 26 (3), 67-83.
- 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.
- Haboudane, D., Miller, J. R., Pattey, E., Zarco-Tejada, P. J. & Strachan, I. B. (2004). Hyperspectral Vegetation Indices and Novel Algorithms for Predicting Green LAI of Crop Canopies: Modeling and Validation in the Context of Precision Agriculture. *Remote Sensing of Environment*, Vol:90, Issue 3, 2004 (pp.337-352).
- Hassanalain, M. & Abdelkefi, A. (2017). Classifications, Applications and Design Challenges of Drones: A Review. *Prog. Aerosp. Sci.* 2017, 91.
- Helicomicro (2017). La BMW Serie 1 et Mr Steele. <https://www.helicomicro.com/2017/05/16/la-bmw-serie-1-steele/>, Accessed 09.09.2022.
- Hildebrand, J. (2017). Situating Hobby Drone Practices. *Digital Culture & Society*, 3(2), 207-218.
- Honkavaara, E., Eskelinen, M. A., Pölönen, I., Saari, H., Ojanen, H., Mannila, R., Holmlund, C., Hakkala, T., Litkey, P., Rosnell, T., Viljanen, N. & Pulkkanen, M. (2016). Remote Sensing of 3-D Geometry and Surface Moisture of a Peat Production Area Using Hyperspectral Frame Cameras in Visible to Short-Wave Infrared Spectral Ranges Onboard a Small Unmanned Airborne Vehicle (UAV). *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 54, no. 9, pp. 5440-5454, Sept. 2016, doi: 10.1109/TGRS.2016.2565471.
- Huuskonen, J. & Oksanen, T. (2018). Soil Sampling with Drones and Augmented Reality in Precision Agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 154 (2018), pages 25-35.
- Hwang, Y. S., Schlüter, S., Lee, J. J. & Um, J. S. (2021). Evaluating the Correlation between Thermal Signatures of UAV Video Stream versus Photomosaic for Urban Rooftop Solar Panels. *Remote Sensing*, 2021; 13(23):4770.
- Irizarry, J., Gheisari, M. & Walker, B. (2012). Usability Assessment of Drone Technology as Safety Inspection Tools. *ITcon* Vol. 17, page 194-212.
- Jackisch, R., Lorenz, S., Zimmermann, R., Möckel, R. & Gloaguen, R. (2018). Drone-Borne Hyperspectral Monitoring of Acid Mine Drainage: An example from the Sokolov Lignite District. *Remote Sensing*, 10(3), 385.
- Jang, G., Kim, J., Yu, J., Kim, H., Kim, Y., Kim, D., Kim, K., Lee, C. & Chung, Y. (2020). Review: Cost-Effective Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Platform for Field Plant Breeding Application. *Remote Sens.* 2020, 12, 998; doi:10.3390/rs12060998.
- Jayapandian, N. (2019). Cloud Enabled Smart Firefighting Drone Using Internet of Things. *2019 International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT)*, 2019, pp. 1079-1083, doi: 10.1109/ICSSIT46314.2019.8987873.
- Jiao, Z., Zhang, Y., Xin, J., Mu, L., Yi, Y., Liu, H., & Liu, D. (2019). A Deep Learning Based Forest Fire Detection Approach Using UAV and Yolov3. *In 2019 1st International Conference on Industrial Artificial Intelligence (IAI)* (pp. 1-5). IEEE.
- Junwon, S., Duque, L. & Wacker, J. (2018). Drone-Enabled Bridge Inspection Methodology and Application. *Automation and Construction*. Volume 94, October 2018, pp. 112-126.
- Kahveci, M. & Can, N. (2017). İnsansız Hava Araçları: Tarihçesi, Tanımı, Dünyada ve Türkiye'deki Yasal Durumu. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik ve Teknoloji Dergisi*, 5(4), 511-535.
- Karaağaç, C. (2014). Geleceğin Harekât Ortamında İHA Sistemleri: Askeri Uygulamalar & Teknoloji Gereksinimleri. *III. Ulusal Havacılıkta İleri Teknolojiler Konferansı, İstanbul, 2014*.
- Karaağaç, C. (2016). İHA Sistemleri Yol Haritası Geleceğin Hava Kuvvetleri 2016-2050. *STM-Mühendislik Teknolojik Danışmanlık*.
- Karataş, L., Alptekin, A., Kanun, E. & Yakar, M. (2022). Tarihi kârgir yapılarda taş malzeme bozulmalarının İHA fotogrametrisi kullanarak tespiti ve belgelenmesi: Mersin Kanlıdivane ören yeri vaka çalışması. *İçel Dergisi*, 2(2), 41-49.
- Kaya, Y., Polat, N., Şenol, H. İ., Memduhoglu, A. & Ulukavak, M. (2021). Arkeolojik Kalıntıların Belgelenmesinde Yersel ve İHA Fotogrametrisinin Birlikte Kullanımı. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 3(1), 09-14.
- Kaya, Y., Yiğit, A. Y., Ulvi, A. & Yakar, M. (2021). Arkeolojik alanların dokümantasyonunda fotogrametrik tekniklerinin doğruluklarının karşılaştırmalı analizi: Konya Yunuslar Örneği. *Harita Dergisi*, 165, 57-72.
- Khadka, A., Fick, B., Afshar, A., Tavakoli, M. & Baqersad, J. (2020). Non-Contact Vibration Monitoring of Rotating Wind Turbines Using a Semi-Autonomous UAV. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 138, 106446.
- Kınalı, M. & Çalışkan, E. (2022). Use of Unmanned Aerial Vehicles in Forest Road Projects. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 24(3), 1-1.
- Kirsch, M., Lorenz, S., Zimmermann, R., Tusa, L., Möckel, R., Hödl, P., Booyen, R., Khodadadzadeh, M. & Gloaguen, R. (2018). Integration of Terrestrial and Drone-Borne Hyperspectral and Photogrammetric Sensing Methods for Exploration Mapping and Mining Monitoring. *Remote Sensing*, 10(9), 1366.
- Köşe, K. & Aksoy, T. (2022). İnsansız Hava Aracı Fotogrametrisi Üzerine Bir Çalışma. *GSI Journals Serie C: Advancements in Information Sciences and Technologies*, 5(1), 77-89.
- KraftTeknik Gaz Ölçüm Cihazları (2022). http://www.kraftteknik.com/urun/cnt.php?kid=121&kad=gaz-olcum-cihazlari_gaz-olcum-analiz-cihazlari/, Accessed 20.06.2022.
- Kusak, L., Unel, F., Alptekin, A., Celik, M. & Yakar, M. (2021). Apriori Association Rule and K-Means Clustering Algorithms for Interpretation of Pre-Event Landslide Areas and Landslide Inventory Mapping. *Open Geosciences*, 13(1), 1226-1244.
- Kwon, W., Park, J. H., Lee, M., Her, J., Kim, S. H. & Seo, J. W. (2019). Robust Autonomous Navigation of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) for Warehouses' Inventory Application. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 5(1), 243-249.
- Lee, S. & Choi, Y. (2016). Reviews of Unmanned Aerial Vehicle (Drone) Technology Trends and its Applications in the Mining Industry. *Geosyst. Eng.* 2016, 19, 197-204.
- Lentatek (2022). Karayel-Su Taktik İHA Sistemi. <https://lentatek.com/tr/cozumler/karayel-su-taktik-iha-sistemi/>, Accessed 05.07.2022.

- Liao, K. C. & Lu, J. H. (2021). Using UAV to Detect Solar Module Fault Conditions of a Solar Power Farm with IR and Visual Image Analysis. *Applied Sciences*. 2021, 11(4), 1835.
- Libellium Calibrated Air Quality Sensors for Smart Cities (2015). <https://www.libellium.com/libelliumworld/calibrated-air-quality-gas-dust-particle-matter-pm10-smart-cities/>, Accessed 28.06.2022.
- Lin, Y., Jiang, M., Yao, Y., Zhang, L. & Lin, J. (2015). Use of UAV Oblique Imaging for the Detection of Individual Trees in Residential Environments. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14(2), 404-412.
- Macit, A. (2021). İnsansız Hava Araçlarının (İHA) Sivil Kullanımı ve Filo Sahibi İşletmeler Açısından Stratejik Öneme Yönelik Bir Araştırma. 14. *Uluslararası Güncel Araştırmalarla Sosyal Bilimler Kongresi Tam Metinleri*, s.1189-1195, ISBN: 978-605-74907-8-0.
- Menteşoğlu, B. E. & İnan, M. (2016). İnsansız Hava Araçlarının (İHA) Ormancılık Uygulamalarında Kullanımı. VI. *Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2016)*, 5-7 Ekim 2016, Adana.
- Mırdan, O. & Yakar, M. (2017). Tarihi Eserlerin İnsansız Hava Aracı ile Modellenmesinde Karşılaşılan Sorunlar. *Geomatik*, 2 (3), 118-125.
- Morgenthal, G. & Hallermann, N. (2014). Quality Assessment of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Based Visual Inspection of Structures. *Advances in Structural Engineering*, doi: 10.1260/1369-4332.17.3.289.
- Motawa, I. A. & Kardakou, A. (2018). Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) for Inspection in Construction and Building Industry. *16th International Operation & Maintenance Conference (OMAINTEC 2018)*, 18-20th November 2018, Cairo, Egypt.
- Naidoo, Y., Stopforth, R. & Bright, G. (2011). Development of an UAV for Search & Rescue Applications. *IEEE Africon'11* (pp. 1-6). IEEE.
- Nesbit, P. R. & Hugenholtz, C. H. (2019). Enhancing UAV-SfM 3D Model Accuracy in High-Relief Landscapes by Incorporating Oblique Images. *Remote Sensing*. 11(3):239.
- Newton, M. (2017). ND Filters - In Depth Guide For Beginners. <https://www.theschoolofphotography.com/tutorials/nd-filters-in-depth-guide-for-beginners/>, Accessed 29.06.2022.
- Nex, F. & Remondino, F. (2013). UAV for 3D Mapping Applications: A Review. *Applied Geomatics*, 6(1), 1-15. doi:10.1007/s12518-013-0120-x.
- Odo, A., McKenna, S., Flynn, D. & Vorstius, J. (2020). Towards the Automatic Visual Monitoring of Electricity Pylons from Aerial Images. *15th International Conference on Computer Vision Theory and Applications* (pp. 566-573). VISAPP.
- Oh, S., Ham, S. & Lee, S. (2021). Drone-Assisted Image Processing Scheme using Frame-Based Location Identification for Crack and Energy Loss Detection in Building Envelopes. *Energies*. 14, 6359.
- Ok, A. O. & Ozdarici-Ok, A. (2017). Detection of Citrus Tree from UAV DSMS. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume IV-1/W1, 2017 ISPRS Hannover Workshop: HRIGI 17 - CMRT 17 - ISA 17 - EuroCOW 17, 6-9 June 2017, Hannover, Germany.
- Optronics Hyperspectral (2018). The RIKOLA Product Range. 2018. <http://senop.fi/en/optronics-hyperspectral/>, Accessed 28.06.2022.
- Oscarliang (2019). How to build a Racing Drone Tutorial (2019). <https://oscarliang.com/build-racing-drone-fpv-quadcopter/>, Accessed 11.09.2022.
- O'Young, S. & Hubbard, P. (2007). RAVEN: A Maritime Surveillance Project Using Small UAV. In *2007 IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (EFTA 2007)* (pp. 904-907). IEEE.
- Özcan, O. (2017). İnsansız Hava Aracı (İHA) ile Farklı Yüksekliklerden Üretilen Sayısal Yüzey Modellerinin (SYM) Doğruluk Analizi. *Mühendislik ve Yer Bilimleri Dergisi*, Cilt 2, Sayı 1, 1-7 s.
- Öztürk, H. H. (2013). Yenilenebilir Enerji Kaynakları. *Birsen Yaynevi*, 1, ISBN: 9789755115894, 442s.
- Photographylife (2022). Real Estate Drone Photography: A Complete Beginner's Guide. <https://photographylife.com/real-estate-drone-photography/>. Accessed: 30.09.2022.
- Police1 (2022). How to Use Drones for Crime and Accident Scene Documentation. <https://www.police1.com/police-products/police-drones/articles/how-to-use-drones-for-crime-and-accident-scene-documentation-Ysk5xHDmCiQ5HdQZ/>. Accessed: 30.09.2022.
- Quater, P. B., Grimaccia, F., Leva, S., Mussetta, M. & Aghaei, M. (2014). Light Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) for Cooperative Inspection of PV Plants. *IEEE Journal of Photovoltaics*, vol. 4, no. 4, pp. 1107-1113, doi: 10.1109/JPHOTOV.2014.2323714.
- Quebrajo L, Perez-Ruiz M, Pérez-Urrestarazu L, Martínez G & Egea G. (2018). Linking Thermal Imaging and Soil Remote Sensing to Enhance Irrigation Management of Sugar Beet. *Biosystems Engineering*, 165, 77-87.
- Queralt, J. P., Raitoharju, J., Gia, T. N., Passalis, N. & Westerlund, T. (2020). Autosos: Towards Multi-UAV Systems Supporting Maritime Search and Rescue with Lightweight AI and Edge Computing. *arXiv preprint arXiv:2005.03409*.
- Reinecke, M. & Prinsloo, T. (2017). The Influence of Drone Monitoring on Crop Health and Harvest Size. *IEEE 1st International Conference in Next Generation Computing Applications (NextComp)*, 2017 (pp. 5-10).
- Roketsan (2022). MAM-T Akıllı Mühimmat Sistemleri. <https://www.roketsan.com.tr/tr/urunler/mam-t-akilli-muhimmat/>, Accessed 05.07.2022.
- Rosende, S. B., Sánchez-Soriano, J., Muñoz, C. Q. G. & Andrés, J. F. (2020). Remote Management Architecture of UAV Fleets for Maintenance, Surveillance, and Security Tasks in Solar Power Plants. *Energies*. 2020; 13(21):5712. <https://doi.org/10.3390/en13215712>.
- Rossi, M. & Brunelli, D. (2016). Autonomous Gas Detection and Mapping with Unmanned Aerial Vehicles. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 65, No. 4, April 2016.
- Rossi, P., Mancini, F., Dubbini, M., Mazzone, F. & Capra, A. (2017). Combining Nadir and Oblique UAV Imagery

- to Reconstruct Quarry Topography: Methodology and Feasibility Analysis. *European Journal of Remote Sensing*, 50:1, 211-221, DOI: 10.1080/22797254.2017.1313097.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A. & Deering, D. W. (1973). Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. In S. C. Freden & M. A. Becker (Eds.), *Third ERTS Symposium* (pp.309-317). Greenbelt, MD: NASA Goddard Space Flight Centre.
- Sağiroğlu, Ö. (2004). Yersel Fotogrametrik Rölöve Ölçüm Tekniğinin Ömer Duruk Evi Örneği Üzerinde Uygulanması. *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara*, 182s.
- Samad, A. M., Kamarulzaman, N., Hamdani, M. A., Mastor, T. A. & Hashim, K. A. (2013). The Potential of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for Civilian and Mapping Application. *2013 IEEE 3rd International Conference on System Engineering and Technology, 19-20 Aug. 2013, Shah Alam, Malaysia*.
- Scherer, J., Rinner, B., Yahyanejad, S., Hayat, S., Yanmaz, E., Andre, T., Khan, A., Vukadinovic, V., Bettstetter, C., Hellwagner, H. & Rinner, B. (2015). An Autonomous Multi-UAV System for Search and Rescue. *Proceedings of the First Workshop on Micro Aerial Vehicle Networks, Systems, and Applications for Civilian Use - DroNet '15*. doi:10.1145/2750675.2750683.
- Seyrek, E. C., Narin, Ö. G., Koçak, T. & Uysal, M. (2021). Yüzey Araştırmalarında İHA Fotogrametrisinin Kullanımı: Kolankaya Siperleri Örneği. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 3 (2), 69-75 . DOI: 10.53030/tufod.1021793.
- Shahmoradi, J., Talebi, E., Roghanchi, P. & Hassanaliam, M. (2020). A Comprehensive Review of Applications of Drone Technology in the Mining Industry. *Drones (2020)*, 4, 34.
- Shi, X., Han, W., Zhao, T. & Tang, J. (2019). Decision Support System for Variable Rate Irrigation Based on UAV Multispectral Remote Sensing. *Sensors*, 19, 2880.
- Shukla, A., Xiaoqian, H., & Karki, H. (2016). Autonomous Tracking of Oil and Gas Pipelines by an Unmanned Aerial Vehicle. in *2016 IEEE 59th International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS)* (pp. 1-4). IEEE.
- Silvagni, M., Tonoli, A., Zenerino, E. & Chiaberge, M. (2017). Multipurpose UAV for Search and Rescue Operations in Mountain Avalanche Events. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(1), 18-33.
- Silveira, B., Melo, R. & Costa, D. B. (2020). Using UAS for Roofs Structure Inspections at Post-Occupational Residential Buildings. In *International Conference on Computing in Civil and Building Engineering* (pp. 1055-1068). Springer, Cham.
- Skddrone (2022). International Drone Events. <https://www.skddrone.com/>, Accessed 29.06.2022.
- Skymagic (2022). Drone Light Shows. <https://skymagic.show/>, Accessed 29.06.2022.
- Smith, N. G., Passone, L., Al-Said, S., Al-Farhan M., & Levy, T. E. (2014). Drones in Archaeology: Integrated Data Capture, Processing and Dissemination in the al-Ula Valley, Saudi Arabia. *Near Eastern Archaeology*, 77(3), 176.
- Spieß, T., Bange, J., Buschman, M. & Vörsmann, P. (2007). First Application of the Meteorological Mini-UAV M2-AV. *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 16, No. 2, 159-169.
- Şasi, A. (2020). Ak Camii'nin İnsansız Hava Aracı ile Fotogrametrik 3B Modellenmesi. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2(1), 1-7.
- Şenol, H. İ., Memduhoğlu, A., Ulukavak, M., Çetin, B., Polat, N. & Kaya, Y. (2019). Lazer Tarayıcı ve İnsansız Hava Aracı Kullanılarak Kızılkoyun Kral Kaya Mezarlarının 3 Boyutlu Belgenmesi. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 17. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 25-27 Nisan 2019, Ankara.
- Tanut, B., Waranusast, R. & Riyamongkol, P. (2021). High Accuracy Pre-Harvest Sugarcane Yield Forecasting Model Utilizing Drone Image Analysis, Data Mining, And Reverse Design Method. *Agriculture*, 11(7), 682.
- Thapa, G. J., Thapa, K., Thapa, R., Jnawali, S. R., Wich, S. A., Poudyal, L. P. & Karki, S. (2018). Counting Crocodiles from the Sky: Monitoring the Critically Endangered Gharial (*Gavialis Gangeticus*) Population with an Unmanned Aerial Vehicle (UAV). *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 6(2), 71-82.
- The Shool of Photography (2017). ND Filters – In Depth Guide For Beginners. <https://www.theschoolofphotography.com/tutorials/nd-filters-in-depth-guide-for-beginners/>, Accessed 29.06.2022.
- Tkáč M & Mésároš P (2019). Utilizing Drone Technology in the Civil Engineering. *Selected Scientific Papers - Journal of Civil Engineering*, 14(1) 27-37.
- Tubitak Sage (2022). Bozok Lazer Güdümlü Minyatür Mühimmat. <https://www.sage.tubitak.gov.tr/sites/images/sage/bozok.pdf/>, Accessed 05.07.2022.
- Tucci, G., Gebbia, A., Conti, A., Fiorini, L. & Lubello, C. (2019). Monitoring and Computation of the Volumes of Stockpiles of Bulk Material by Means of UAV Photogrammetric Surveying. *Remote Sensing*. 2019; 11(12):1471.
- Tutuş, Y. (2018). Tanıtım Film Yapım Sürecinde İnsansız Hava Araçlarının Kullanımı: Elazığ İline Yönelik Örnek Bir Uygulama/Usage of the Drons at Promotional Film Production: An Example Practise in Elazığ. *Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Elazığ*, 74s.
- Tükenmez, F. (2021). Harita Mühendisliğinde İHA ile Karayolu Projelendirme. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 3 (2), 53-61. DOI: 10.53030/tufod.1003187.
- Türk, Y., Canyurt, H., Eker, R. & Aydın, A. (2022). İnsansız Hava Aracı ile Orman Yolu Kazı ve Dolgu Hacimlerinin Belirlenmesi: Bolu-Taşlıyayla Örneği. *Ormanlık Araştırma Dergisi, Karok 2021* , 97-104 . DOI: 10.17568/ogmoad.1093695.
- Ulvi, A. (2021). İHA Fotogrametrisine Genel Bakış: Geleneksel Topografik Harita Yapımı Tekniği ile Maliyet Karşılaştırması. *BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 458-471.
- Ulvi, A., Yakar, M., Yiğit, A. & Kaya, Y. (2019). The use of photogrammetric techniques in documenting cultural heritage: The Example of Aksaray Selime Sultan Tomb. *Universal Journal of Engineering Science*, 7(3), 64-73.

- Ulvi, A., Yakar, M., Yiğit, A. Y. & Kaya, Y. (2020). İHA ve Yersel Fotogrametrik Teknikler Kullanarak Aksaray Kızıl Kilise'nin 3 Boyutlu Nokta Bulutu ve Modelinin Üretilmesi. *Geomatik Dergisi*, 5(1), 22-30.
- Uysal, M., Polat, N., Toprak, A. S. & Yakar, M. (2013). 3d modeling of historical doger caravansaries by digital photogrammetry.
- Vacca, G., Dessi, A. & Sacco, A. (2017). The Use of Nadir and Oblique UAV Images for Building Knowledge. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 6(12):393.
- Vaned (2022). Real Estate Drone Photography: A Comprehensive Guide. <https://www.vaned.com/blog/real-estate-drone-photography/>. Accessed: 30.09.2022.
- Verge (2022). Verge Aero Drone Shows. <https://verge.aero/>, Accessed 29.06.2022.
- Vergouw, B., Nagel, H., Bondt, G. & Custers, B. (2016). Drone Technology: Types, Payloads, Applications, Frequency Spectrum Issues and Future Developments. *The Future of Drone Use*, 21-45.
- Vhive (2020). How to Use Drones for Insurance Inspections. <https://www.vhive.ai/how-to-use-drones-for-insurance-inspections/>. Accessed: 30.09.2022.
- Villi, O. (2019). İnsansız Hava Araçlarında Çok Bantlı Kamera Entegrasyonu ve Tarımsal Uygulamaları. *Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana*, 89s.
- Wang, L. & Zhang, Z. (2017). Automatic Detection of Wind Turbine Blade Surface Cracks Based on UAV-Taken Images. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 64(9), 7293-7303.
- Wikipedia (2015). Neutral-Density Filter. https://en.wikipedia.org/wiki/Neutral-density_filter/, Accessed 29.06.2022.
- Wing (2022). Wing Delivery is Easy to Use. <https://wing.com/how-it-works/>, Accessed 29.06.2022.
- Yakar, M. & Yılmaz, H. M. (2008). Using in volume computing of digital close range photogrammetry. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37(3b).
- Yakar, M. (2011). Using close range photogrammetry to measure the position of inaccessible geological features. *Experimental Techniques*, 35(1), 54-59.
- Yakar, M., & Doğan, Y. (2017). Uzuncaburç Antik Kentinin İHA Kullanılarak Eğik Fotogrametri Yöntemiyle Üç Boyutlu Modellenmesi. 16. *Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Ankara.
- Yakar, M., Yıldız, F. & Yılmaz, H. M. (2005). Tarihi ve Kültürel Mirasların Belgelenmesinde Jeodezi Fotogrametri Mühendislerinin Rolü. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası*, 10.
- Yakar, M., Yılmaz, H. M., Mutluoğlu, H. M., (2009). Hacim Hesaplamalarında Laser Tarama ve Yersel Fotogrametrinin Kullanılması, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. *Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara.
- Yakar, M., Yılmaz, H. M. & Mutluoğlu, O. (2010). Close range photogrammetry and robotic total station in volume calculation. *International Journal of the Physical Sciences*. 5(2), 086-096.
- Yılmaz, H. M., Karabörk, H. & Yakar, M. (2000). Yersel fotogrametrinin kullanım alanları. *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 4(1), 1.
- Yılmaz, H. M., Yakar, M. & Yıldız, F. (2008). Digital photogrammetry in obtaining of 3D model data of irregular small objects. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37, 125-130.
- Yiğit, A. Y. & Ulvi, A. (2020). İHA Fotogrametrisi Tekniği Kullanarak 3B Model Oluşturma: Yakutiye Medresesi Örneği. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 2(2), 46-54.
- Yılmaz, H. M. & Yakar, M. (2008). Computing Of Volume Of Excavation Areas By Digital Close Range Photogrammetry. *Arabian J. Sci. Eng.* 33(1A), 63-78.
- Yuan, C., Liu, Z. & Zhang, Y. (2015). UAV-based Forest Fire Detection and Tracking Using Image Processing Techniques. *2015 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS) Denver Marriott Tech Center Denver, Colorado, USA*, June 9-12, 2015.
- Yuan, C., Liu, Z. & Zhang, Y. (2016). Vision-based Forest Fire Detection in Aerial Images for Firefighting Using UAVs. *2016 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS) Arlington, USA*, June 7-10, 2016.
- Zhang, J., Jung, J., Sohn, G. & Cohen, M. (2015). Thermal Infrared Inspection of Roof Insulation Using Unmanned Aerial Vehicles. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40(1), 381.
- Zhao, Z., Dao, R. Zhang, H., Zhang, F., Zeng, J. & Chen, C. (2021). Method of Physical Inventory Checking on Cigarette Stereoscopic Warehouse Based on UAV. *In 2021 3rd International Conference on Pattern Recognition and Intelligent Systems* (pp. 15-19).
- Zhou, R., Wen, Z. & Su, H. (2022). Automatic Recognition of Earth Rock Embankment Leakage Based on UAV Passive Infrared Thermography and Deep Learning. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 191, 85-104.



© Author(s) 2022.

This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>