

TÜRKİYE

# İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI DERGİSİ

E-ISSN 2687-6094

Turkish Journal of  
Unmanned Aerial Vehicles

Cilt/Volume: 5

Sayı/Issue: 2

Aralık/December, 2023





Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi



#### Dergi Hakkında

Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi; İHA gelişimi, kullanımı ve yer bilimleriyle ilgili yapılan çalışmaları yayınlayan ve Uluslararası İndeks ve Veri tabanlarında taranan hakemli bir dergidir. Dergi insansız hava aracı (İHA), İnsansız Hava Aracı Sistemleri (İHAS) ve Uzaktan Pilotlu Uçak Sistemleri vb. dahil olmak üzere insansız hava araçlarının tasarımına ve uygulamalarına odaklanmaktadır. Aynı şekilde insansız su / su altı insansız hava araçlarına ve insansız kara araçlarına dayalı katkılar da memnuniyetle karşılanmaktadır.

#### Amaç & Kapsam

Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi,

- İnsansız Hava Araçlarının kullanımı alanında ulusal ve uluslararası gelişmeleri Harita, Jeoloji, Çevre, Maden, Şehir Plancılığı, Ziraat vb. mühendislik alanı, Arkeoloji ve mimarlık ile ilgilenen bilim insanlarının bilgisine sunmak,
- Konu ile doğrudan veya dolaylı etkinliklerde bulunan bilim insanları, araştırmacılar, mühendisler ve diğer uygulayıcılar arasındaki bilgi ve deneyim paylaşımını güçlendirecek ve hızlandıracak, kolay erişilebilen, geniş katılımlı bir tartışma ortamı sağlamak ve bunları yayma olanağı yaratmak,
- Türkiye'nin teknolojik ve ekonomik kalkınmasında rol oynayabilecek mesleki gelişmelere ilişkin sorunların daha etkin bir şekilde çözüme kavuşturulması açısından büyük önem taşıyan kurumlar arası iş birliğinin başlatılmasına ve geliştirilmesine katkıda bulunmak,
- Türkçe'nin İnsansız Hava araçları alanında bilim dili olarak geliştirilmesini ve yabancı sözcüklerden arındırılmasını özendirmek amaçlarına sahiptir.

Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisinin kapsamı;

- ✓ İHA Tarihçe, Dünyada ve Türkiye'deki Yasal ve Hukuki Durumu
- ✓ İHA Üretimi ve İhracatı
- ✓ Askeri alanlarda İHA kullanımı (Hava-Deniz-Kara Kuvvetleri)
- ✓ Konvansiyonel (Geleneksel) ve Modern Savaşlarda İHA kullanımı
- ✓ İHA Tehditleri ve Güvenlik Yönetimi
- ✓ İHA Sensörleri
- ✓ İHA ile Artırılmış Gerçeklik ve Sanal Gerçeklik Uygulamaları
- ✓ Temel İHA Uygulamaları,
- ✓ İHA ile Yangın İzleme
- ✓ İHA ile Belgeleme Çalışmaları
- ✓ İHA Fotogrametrisi ve İHA ile Uzaktan Algılama,
- ✓ İHA LiDAR ve Uygulamaları,
- ✓ İHA ile Ormancılık Uygulamaları,
- ✓ İHA ile Karayolu Projeleri,
- ✓ İHA ile Coğrafi Bilgi Sistemleri Uygulamaları,
- ✓ İHA ile Endüstriyel Ölçmeler,
- ✓ İHA ile Deformasyon ve Heyelan Ölçmeleri,
- ✓ İHA ile Madencilik Ölçmeleri,
- ✓ İHA ile Şehircilik ve Ulaşım Planları Çalışmaları,
- ✓ İHA ile Hassas Tarım Uygulamaları,
- ✓ İHA ile yapılan tüm multidisipliner çalışmalar,

#### Yayınlanma Sıklığı

Yılda 2 sayı (Haziran-Aralık)

#### ISSN

2687-6094

#### WEB

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/tiha>

#### İletişim

[tiha@mersin.edu.tr](mailto:tiha@mersin.edu.tr) / [aliulvi@mersin.edu.tr](mailto:aliulvi@mersin.edu.tr) / [aulvi78@gmail.com](mailto:aulvi78@gmail.com)



## About Journal

The Journal of Turkish Unmanned Aerial Vehicles is a peer-reviewed journal that publishes studies on UAV development, use, and earth sciences and is scanned in International Indexes and Databases. The journal unmanned aerial vehicle (UAV), Unmanned Aerial Vehicle Systems (UAS), and Remote Piloted Aircraft Systems (RPAS), etc. focuses on the design and applications of unmanned aerial vehicles, including. Likewise, contributions based on unmanned water/underwater drones and unmanned ground vehicles are also welcomed.

## Aim & Scope

Turkish Journal of Unmanned Aerial Vehicles,

- ✚ To inform present to people about the use and developments of UAVs in the fields of Geomatics, Civil, Geology, Environment, Mining, Urban Planning, Agriculture, Archeology and Architecture,
- ✚ To provide an easily accessible and wide-ranging discussion environment that will strengthen and accelerate the sharing of knowledge and experience between scientists, researchers, engineers, and other practitioners who are involved in direct or indirect activities with the following topics.
- ✚ To contribute to the initiation and development of inter-institutional cooperation, which is of great importance in terms of solving the problems related to professional developments that can play a role in technological and economic development in the world and Turkey

The scope of Turkey Unmanned Aerial Vehicles Journal;

- ✓ UAV History, Legal and Legal Status in the World and Turkey
- ✓ UAV Production and Exportation
- ✓ UAV use in military areas (Air-Navy-Army Forces)
- ✓ Use of UAVs in Conventional (Traditional) and Modern Wars
- ✓ UAV Threats and Security Management
- ✓ UAV Sensors
- ✓ Augmented Reality and Virtual Reality Applications with UAV
- ✓ Basic UAV Applications,
- ✓ Fire Monitoring with UAV
- ✓ Documentation Studies with UAV
- ✓ UAV Photogrammetry and Remote Sensing with UAV,
- ✓ UAV LiDAR and Applications,
- ✓ Forestry Applications with UAV,
- ✓ Highway Projects with UAV,
- ✓ Geographical Information Systems Applications with UAV,
- ✓ Industrial Measurements with UAV,
- ✓ Deformation and Landslide Measurements with UAV,
- ✓ Mining Measurements with UAV,
- ✓ Urban Planning and Transportation Planning Studies with UAV,
- ✓ Precision Agriculture Practices with UAV,
- ✓ All multidisciplinary studies with UAV,

## Publication frequency

Biannual (June-December)

## ISSN

2687-6094

## WEB

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/tiha>

## Contact

[tiha@mersin.edu.tr](mailto:tiha@mersin.edu.tr) / [ayasinyigit@mersin.edu.tr](mailto:ayasinyigit@mersin.edu.tr) / [aulvi78@gmail.com](mailto:aulvi78@gmail.com)



Turkish Journal of Unmanned Aerial Vehicles

---

#### EDİTÖR / EDITOR

**Doç. Dr. Ali ULVİ**

Mersin University, Institute of Science and Technology / Remote Sensing and Geographic Information Systems  
Mersin

---

#### EDİTÖR YARDIMCILARI / CO-EDITOR

**Dr. Öğr. Üyesi Fatih VAROL**

Selçuk University, Konya/Turkey

---

#### EDİTÖR KURULU / EDITORIAL BOARD

- **Prof. Dr. Murat YAKAR**, Mersin University  
[myakar@mersin.edu.tr](mailto:myakar@mersin.edu.tr)
- **Prof. Dr. Hacı Murat YILMAZ**, Aksaray University  
[hmuraty@gmail.com](mailto:hmuraty@gmail.com)
- **Prof. Dr. Ömer MUTLUOĞLU**, Konya Technical University  
[omutluoglu@ktu.edu.tr](mailto:omutluoglu@ktu.edu.tr)
- **Prof. Dr. Murat UYSAL**, Afyon Kocatepe University  
[muysal@aku.edu.tr](mailto:muysal@aku.edu.tr)
- **Prof. Dr. Khalil Valizadeh KAMRAN**, University of Tabriz, Faculty of Planning and Environmental Sciences, Department of Remote Sensing and GIS, Tabriz, Iran  
[valizadeh@tabrizu.ac.ir](mailto:valizadeh@tabrizu.ac.ir)
- **Assoc. Prof. Dr. Hayri ULVİ**, Gazi University  
[hayriulvi@gmail.com](mailto:hayriulvi@gmail.com)
- **Assoc. Prof. Dr. Alper AKAR**, Erzincan Binali Yıldırım University,  
[alperakar@erzincan.edu.tr](mailto:alperakar@erzincan.edu.tr)
- **Assoc. Prof. Dr. Özlem AKAR**, Erzincan Binali Yıldırım University  
[oakar@erzincan.edu.tr](mailto:oakar@erzincan.edu.tr)
- **Dr. Nizar POLAT**, Harran University  
[nizarpolat@harran.edu.tr](mailto:nizarpolat@harran.edu.tr)
- **Dr. Atta-ur RAHMAN**, Department of Geography and Geomatics, University of Peshawar-Pakistan  
[atta-urrehman@uop.edu.pk](mailto:atta-urrehman@uop.edu.pk)

---

#### DANIŞMA KURULU / ADVISORY BOARD

- **Prof. Dr. İbrahim YILMAZ**,  
[iyilmaz@aku.edu.tr](mailto:iyilmaz@aku.edu.tr),  
Afyon Kocatepe University
- **Assoc. Prof. Dr. Ferruh YILMAZTÜRK**,  
[yilmazturk@aksaray.edu.tr](mailto:yilmazturk@aksaray.edu.tr),  
Aksaray University
- **Dr. Mehmet Ali DERELİ**,  
[madereli@gmail.com](mailto:madereli@gmail.com),  
Giresun University
- **Dr. Resul ÇÖMERT**,  
[rcomeret@gumushane.edu.tr](mailto:rcomeret@gumushane.edu.tr),  
Gümüşhane University

---

#### TİHA Dergisi Dil Editörleri / TUAV Journal Language Editors

**Assist. Prof. Dr. Savaş ŞAHİN**, Akdeniz University  
[savassahin@akdeniz.edu.tr](mailto:savassahin@akdeniz.edu.tr)

---

#### Mizanpaj

**Doç. Dr. Ali ULVİ**, Mersin University  
[aliulvi@mersin.edu.tr](mailto:aliulvi@mersin.edu.tr)



# İçindekiler

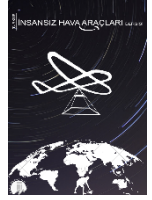
## Contents

### Araştırma Makaleleri; Research Articles\*;

| Sayfa/Page<br>No | Makale Adı ve Yazar Adı<br>Article Name and Author Name                                                                                                                                                                                             |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 43 - 49*         | <i>Arazi Yüzölçümlerinin Üç Boyutlu Hesaplanması'nın Taraflar Açısından Avantajları ve Faydaları</i><br><i>Advantages and Benefits of Three Dimensional Calculation of Land Areas for Parties</i><br><b>Kadir Kundupoğlu &amp; Emin Özgür Avşar</b> |
| 50 - 58*         | <i>Kentsel Hava Hareketliliğinde İHA'ların Geleceği: Toplumsal Algı ve Endişeler</i><br><i>The Future of UAVs in Urban Air Mobility: Public Perception and Concerns</i><br><b>Ertan Çinar &amp; Arif Tuncal</b>                                     |
| 59 - 71*         | <i>Bir Fotogrametrik Bilgisayarlı Görü Tekniği olarak İHA Fotogrametrisi</i><br><i>UAV Photogrammetry as a Photogrammetric Computer Vision Technique</i><br><b>Ozan Arslan</b>                                                                      |
| 72 - 80*         | <i>Sivil Havacılık Şirketlerinin İnsansız Hava Aracı Stratejileri</i><br><i>Unmanned Aerial Vehicle Strategies of Civil Aviation Companies</i><br><b>Muhammed Ali Yetgin &amp; Mithat Baştuğ</b>                                                    |

### Derleme Makaleleri; Review Articles\*\*;

| S. No     | Makale Adı (En./Tr.) ve Yazar Adı                                                                                                                                                                                  |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 81 - 97** | <i>3 Boyutlu Yazıcıların İnsansız Hava Aracı Uygulamalarında Kullanımı</i><br><i>Review on the Use of 3D Printers in Unmanned Aerial Vehicle Applications</i><br><b>Osman Villi , Özge Villi &amp; Murat YakaR</b> |



## Arazi Yüzölçümlerinin Üç Boyutlu Hesaplanmasının Taraflar Açısından Avantajları ve Faydaları

Kadir Kundupoğlu <sup>1\*</sup>, Emin Özgür Avşar <sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Balıkesir Kadastro Müdürlüğü, 10050, Balıkesir, Türkiye; (kadir.kundupoglu@gmail.com)

<sup>2</sup> Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 17100, Çanakkale, Türkiye; (ozguravsar@comu.edu.tr)



\*Sorumlu Yazar:  
kadir.kundupoglu@gmail.com

### Araştırma Makalesi

**Alıntı:** Kundupoğlu, K. & Avşar, E. Ö. (2023). Arazi Yüzölçümlerinin Üç Boyutlu Hesaplanmasının Taraflar Açısından Avantajları ve Faydaları. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 5(2), 43-49.

Geliş : 13.04.2023  
Revize : 31.05.2023  
Kabul : 07.07.2023  
Yayınlama : 31.12.2023

### Özet

Tapu yüzölçümleri topografya yapısına bakılmaksızın iki boyutlu düzleme indirgenerek hesaplanmaktadır. Gerçekte daha büyük alan kullanan çiftçiler yüzey alanı dikkate alınmadığından devletten daha az tarım desteği almaktadırlar. Aynı şekilde devletin de aldığı vergi düşük olmaktadır. Bu çalışmada vergi ve tarımsal desteğin yanında kamulaştırma ve toplulaştırma yönüyle de incelemeler yapılmıştır. İki boyutlu düzlemde yapılan alan hesabı yerine insansız hava araçlarından elde edilen görüntülerden üretilen yüzey modeli kullanılarak alan hesabı gerçekleştirilmiştir. Üç boyutlu olarak hesaplanan alanın, devlet ve hak sahipleri açısından avantajları ve fayda analizleri ortaya konmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Tapu, yüzey alanı, üç boyut, vergi, tarım.

## Advantages and Benefits of Three Dimensional Calculation of Land Areas for Parties

\*Corresponding Author:  
kadir.kundupoglu@gmail.com

### Research Article

**Citation:** Kundupoğlu, K. & Avşar, E. Ö. (2023). Advantages and Benefits of Three Dimensional Calculation of Land Areas for Parties. *Turkish Journal of Unmanned Aerial Vehicles*, 5(2), 43-49 (in Turkish).

Received : 13.04.2023  
Revised : 31.05.2023  
Accepted : 07.07.2023  
Published : 31.12.2023

### Abstract

Natural Land areas are calculated by reducing them to a two-dimensional plane without regarding the topography. Farmers actually using more extensive lands, receive less agricultural support from the government, as the surface area is not considered. Similarly, the taxes collected by the government are lower. In this study, in addition to tax and agricultural support, analyses were also carried out in terms of expropriation and consolidation. Instead of the area calculation on a two-dimensional plane, the surface model produced from images obtained from unmanned aerial vehicles was used to perform the area calculation. The advantages and benefit analyses of the three-dimensionally calculated area in terms of the state and landowners were presented.

**Keywords:** Deed, surface area, three dimensions, tax, agriculture.

## 1. Giriş

Devlet hak sahiplerine mülkiyet hakkını temel olarak tapular vermekte ve tapu güven ilkesi çerçevesinde verdiği tapuların sorumluluğunu üstlenmektedir. Devletin görev ve sorumlulukları 4721 sayılı Türk Medeni Kanunu'nun ve 3402 sayılı Kadastro Kanunu'nun çeşitli maddelerinde tanımlanmıştır. Taşınmazlar üzerindeki hakları göstermek üzere tapu sicili tutulur (TMK, Madde 997). Bir taşınmazın kütüğe kaydı ve belirlenmesinde resmî bir ölçüme dayanan plân esas alınır (TMK, Madde 1003). Tapu sicilinin tutulmasından doğan bütün zararlardan Devlet sorumludur. Devlet, zararın doğmasında kusuru bulunan görevlilere rücu eder (TMK, Madde 1007). Bu Kanunun amacı, ülke koordinat sistemine göre memleketin kadastral veya topografik kadastral haritasına dayalı olarak taşınmaz malların sınırlarını arazi ve harita üzerinde belirterek hukukî durumlarını tespit etmek suretiyle 4721 sayılı Türk Medeni Kanunu'nun öngördüğü tapu sicilini kurmak, mekânsal bilgi sisteminin alt yapısını oluşturmaktır (KK, Madde 1).

Konuyu tapu yönünden ele alan Bağcı (2021); tapu sicilinin, taşınmaz üzerinde bulunan hakları ve taşınmazın yasal statüsünü yansıtan bir sicil olduğunu belirtmiştir. Çalışmada tapu sicilinin doğruluğu ve güvenliğinin devletin koruması altında olduğu vurgulanmıştır. Yakupur (2013) tapunun güven ilkesinin önemini vurgulamıştır. Konuyu vergi yönünden ele alan Kırar (2008); taşınmazlardan alınan emlak vergisinin doğru tespitinin, taşınmazların tapu alım değeri ile piyasa alım değeri arasındaki farkın incelenmesinin ve verginin doğru alınmasından devletin kazancının önemini vurgulamıştır. Sarı (2016) tarım sektöründen alınan verginin önemini belirtmiştir. Ullah vd. (2018) akıllı gayrimenkul sistemlerine geçiş ve bu geçiş sürecinde devlet ile malikler arasında kar, vergi, iş ve diğer faktörler kapsamında ilişkileri incelenmiş, maliklerin ihtiyaçlarının doğru belirlenmesinin iki tarafı da memnun ettiğini ifade etmiştir. Beyaztaş (1995) arazilerin değerlendirme normlarının belirlenmesinde arazinin büyüklüğünün etkili dört etkenden biri olduğunu, gayrimenkullerin değer artışlarının belediye ve tapu gelirlerinde artış meydana getireceğini, kadastro gören yerlerde harita ve planların olması sebebiyle gayrimenkullerin tasarruf etme haklarında gelişme olacağını ve bu durumun ülke ekonomisine katkısı olacağını belirtmiştir. Xi vd. (2018) eğik yüzeylerde sayısal yüzey modeli oluşturulmasında İHA kullanımının avantajlarını açıklamıştır. Dandan vd. (2020) kırsal gayrimenkullerde geleneksel ve eğik fotogrametri yöntemlerinin kullanımının birbirlerine göre avantaj ve dezavantajlarını değerlendirmiş ve elde edilen

haritaların doğruluklarını analiz etmişlerdir. Fisher ve Lentz (1986) emlak vergisinin emlak mülk değeri üzerindeki etkilerini incelenmiş ve verginin gayrimenkul üzerindeki önemini detaylandırmıştır. Nestico ve Galante (2015) emlak vergisinin kadastro gelirlerinin bir işlevi olduğunu ve kadastro gelirlerinin gelir piyasasındaki önemini belirtmiştir. Manganelli vd. (2020) emlak vergisinin gayrimenkul piyasası üzerindeki etkisini ve gayrimenkullerin vergilendirilmesinin yatırım seçimi üzerindeki etkisini açıklamıştır. Pullano ve Dillon (2021) etüt çalışmalarında üç boyutlu kadastro sınır çözümünün yöntemlerini açıklanmış ve topolojik ilişkilerin sınıflandırılmasında üç boyutlu kadastro kullanılmadığını belirtmişlerdir. Yüzey modellerinin nasıl oluşturulacağını açıklayan Solmaz (2010), Şenkal (2018), Selek (2019) ve Beşol (2021) eğimli arazilerin haritalandırılmasında uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri teknolojilerinin kullanılması gerektiğini belirtmiş ve bunun yöntemlerini açıklamışlardır.

Yeryüzü şekilleri ova gibi düzlemlerden oluşmakla beraber, engebeli ve eğimli yüzeylerden de oluşmaktadır. Tapu yüzölçümleri, eğimli ve engebeli yüzeyler dahil tüm yüzeylerde iki boyutlu düzleme indirgendiğinden gerçekte kullanılan yüzölçümlerinden daha düşük tescil edilmektedir. Tapu yüzölçümlerine göre vergi alan devlet ile, aynı şekilde tarımsal desteği tapu yüzölçümleri üzerinden alan çiftçiler gerçekten az bedeller almaktadırlar. Her ne kadar devletin aldığı verginin yükseltilmesinin çiftçilerin gelirlerini düşüreceği düşünülse de; devletin aldığı verginin artması tarıma verdiği desteği de arttıracaktır. Aynı şekilde devlet modern tarım için arazi toplulaştırma çalışmaları yapmaktadır. Dağınık, düzensiz, yolu ve suyu olmayan tarımsal arazilere su ve yol getirmek için toprağın verimlilik yapısını da dikkate alarak yeni tarım parselleri üretmektedir. Toplulaştırma çalışmalarında az eğimli yerden çok eğimli yere veya tam tersi çok eğimli yerden az eğimli yere yerler verilebilmektedir. Tapu yüzölçümleri iki boyutlu hesaplandığından, dolayısıyla zeminin fiili durumu dikkate alınmadığından mağduriyetler ve haksız kazançlar ortaya çıkmaktadır. Bir diğer önemli husus da devlet kamu yararını gözeterek yollar, barajlar ve kamusal alanlar inşa etmektedir. Bunun için sahipli arazilere kamulaştırma uygulayarak hak sahiplerine kamulaştırma bedellerini ödemektedir. Ancak burada da gerçek yüzey alanı yerine iki boyutlu tapu yüzölçümlerine göre ödeme yapıldığından hak sahiplerine daha düşük bedeller ödenmektedir.

Bu çalışmada tapu yüzölçümlerinin iki boyutlu yerine üç boyutlu olarak hesaplanması ve tescil edilmesi durumundaki avantajların ve kazanımlarının ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda iki adet pilot bölge belirlenmiştir. Taşınmazlarının gerçek yüzölçümlerinin

hesaplanmasının hem tapuyu veren devlete hem de tapu sahibine kazanımı olmakla beraber, bu durum Medeni Kanun'da tanımlanan güven ilkesini sağlamlaştıracaktır..

## 2. Yöntem

### 2.1. İnsansız Hava Aracı

Aydeniz (2020), insansız hava aracını (İHA) tanımlarken herhangi bir uçuş taslağına bağımlı veya bağımsız olarak otomatik, yarı otomatik veya el ile hareketi sağlanabilen ya da santralden bir kullanıcı vasıtasıyla uzak bir yerden kontrol edilmek suretiyle uçuşulabilen bir ölçme taşıtı olduğunu ifade etmiştir. İHA'lar el ünitesi ile kumanda edilerek kullanıcı yönlendirilmesiyle uçuşulduğu gibi, uçuş planlarının el ünitesinde belirlenmesi ile otomatik olarak da uçuşulabilmektedir. Farklı açılardan çekilen görüntüler sayesinde yüzey modelleri oluşturulabilmektedir.

Bu çalışmada birinci pilot bölgede kullanılan 30 dakika uçuş süresine sahip Mavic-2 İHA; yaklaşık 650 ile 750 gram ağırlığındadır ve 3830 mAh LiPo batarya kullanmaktadır (Int Kyn. 2). İkinci pilot bölgenin görüntülerinin elde edilmesi amacıyla kullanılan Phantom İHA ise 28 dakika uçuş süresine sahiptir. Yaklaşık 1380 gram ağırlığındaki İHA; 5530 mAh batarya kullanmaktadır (Int Kyn. 3).

### 2.2. Çalışma Alanları

Çalışmada seçilen birinci pilot bölgede analizler; tarımsal destek, vergi ve kamulaştırma yönleriyle ele alınmıştır. Bu amaçla eğimli bir topografyaya sahip tarım parsellerinin bulunduğu Balıkesir İli, Bandırma İlçesi, Bezirci Köyü (Şekil 1) çalışma alanı olarak belirlenmiş ve kamulaştırma bedelleri için çalışma alanına yakın ve benzer koşullara sahip bir bölgenin kamulaştırma bedelleri esas alınmıştır. İkinci pilot bölge olarak belirlenen Balıkesir İli, Gönen İlçesi, Gebeçinar Köyü (Şekil 2) ise daha önce toplulaştırma çalışması uygulanmış bir bölge olduğu için analizler bu doğrultuda gerçekleştirilmiştir.



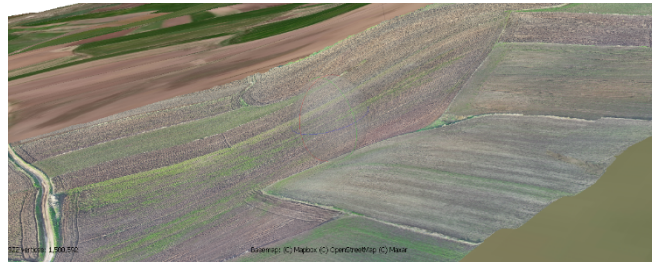
Şekil 1. Birinci pilot bölge.



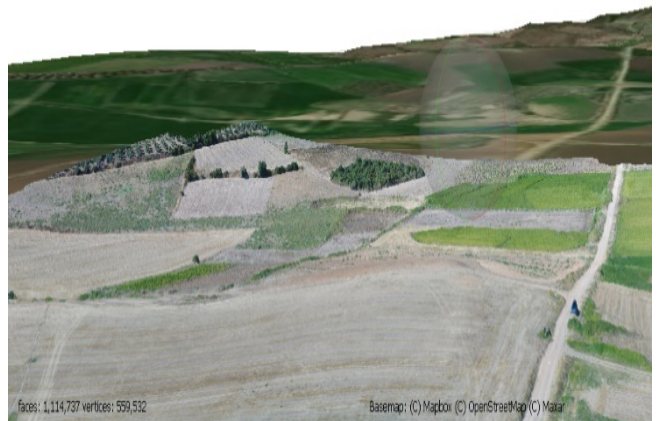
Şekil 2. İkinci pilot bölge.

### 2.3. Yüzey Modellerinin Elde Edilmesi

Birinci pilot bölge için 75 m, ikinci pilot bölge için 100 m yükseklikten gerçekleştirilen uçuşlarda sırasıyla 2.08 cm ve 2.70 cm yer örnekleme aralığı ile veri elde edilmiştir. İHA ile elde edilen birinci pilot bölge için 348 adet ve ikinci pilot bölge için 143 adet hava görüntüsü fotogrametrik olarak değerlendirilerek nokta bulutu üretilmiştir. Çalışmada her iki pilot bölge için gerçekleşen uçuşlarda İHA üzerinde mevcut GNNS algılayıcısının sağladığı veriler kullanılmış ve yer kontrol noktası kullanılmamıştır. Kadastro parsellerinin ortofoto üzerindeki karşılıklarının değerlendirilmesi ile yatay düzlemde karesel ortalama hata birinci pilot bölge için  $\pm 6.8$  cm, ikinci pilot bölge için  $\pm 5.3$  cm olarak hesaplanmıştır. Sırasıyla derinlik haritası, nokta bulutu, yüzey modeli, kiremit model, sayısal yükseklik modeli ve ortomozaik veriler elde edilmiştir (Şekil 3 ve 4). Her iki pilot bölge için değerlendirmeler ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. Birinci pilot bölge yüzey modeli.

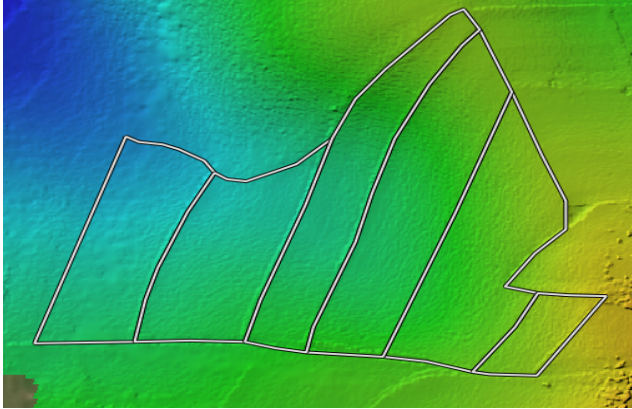


Şekil 4. İkinci pilot bölge yüzey modeli.

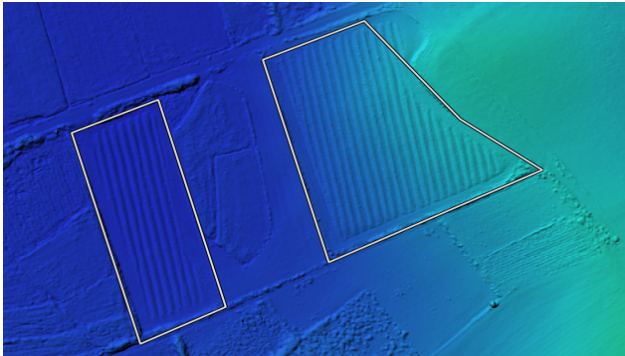


## 2.4. Parsellerin Üç Boyutlu Yüzölçümlerinin Hesaplanması

Kadastro parsellerinin “cad” ortamındaki verileri “shape” formatına dönüştürülerek İHA ile elde edilen görüntülerden üretilen yüzey modelleri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 5 ve 6). Üretilen nokta bulutu ve yüzey modelleri kullanılarak parsel sınır noktalarının yükseklik eksenindeki değerlerinin hesaplanmış ve böylece üç boyutlu koordinatlar elde edilmiştir. Elde edilen değerlerle parsellerin üç boyutlu yüzölçümleri hesaplanmıştır.



Şekil 5. Birinci pilot bölge yüzey modeliyle eşleştirilen kadaströ parselleri.



Şekil 6. İkinci pilot bölge yüzey modeliyle eşleştirilen toplulaştırma parselleri.

## 3. Bulgular ve Değerlendirme

Birinci pilot bölgedeki çalışmada parsellerin elde edilen yüzey modellerine göre hesaplanan üç boyutlu yüzölçümleriyle tescilli tapu yüzölçümleri karşılaştırılarak elde edilen sonuçlar aşağıda tablo halinde verilmiştir (Tablo 1). Çalışılan pilot bölgeye göre üç boyutlu yüzey alanının tapuda tescilli iki boyutlu alana göre %2.3 fazla olduğu hesaplanmıştır. Türkiye Coğrafya Kurumuna göre Türkiye'nin göl ve adalar dahil kapladığı alan 814.578 km<sup>2</sup>, izdüşüm alanı ise 783.562 km<sup>2</sup>'dir. Buna göre Türkiye'nin toplam yüzey alanı, izdüşüm alanına göre yaklaşık %4 daha fazladır. Bu değer pilot bölge için hesaplanan %2.3'lük orandan daha da fazla olduğu dikkate alındığında işlenen tarım alanları gerçekte daha da fazla olacaktır.

Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) 2021 yılı verilerine göre; çayır ve mera arazisi de dahil edilerek toplam tarım alanı 38.603 bin hektardır. Toplam tarım alanının %52,2'sini işlenen alanlar, %9,4'ini uzun ömürlü bitkiler altındaki alanlar (çok yıllık meyvelikler), %38,4'ünü daimi çayır ve mera alanları oluşturmaktadır (Int Kyn. 1). TÜİK verilerine göre sadece işlenen alanlar 20.156,77 bin hektardır. Pilot uygulama yapılan altı parseli göre bir oran belirlenmesi durumunda toplam tapu yüzölçümü 5.57 hektar, toplam yüzey alanı 5.69 hektar olmak üzere aralarında 0.12 hektar fark oluşmaktadır. Bu altı parselin ortalamasından yola çıkılarak TÜİK 2021 verilerine göre Türkiye'deki işlenen tarım alanlarının toplam yüzey alanı 20.591,03 bin hektar olarak hesaplanacaktır.

Tablo 1. Tapu alanları ile yüzey alanlarının karşılaştırılması.

| İlçe     | Ada | Parsel | Tapu Alanı (m <sup>2</sup> ) | Yüzey Alanı (m <sup>2</sup> ) | Tapu- Yüzey Alanı Farkı (m <sup>2</sup> ) |
|----------|-----|--------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------|
| Bandırma | 113 | 99     | 2604.66                      | 2683.80                       | 79.14                                     |
| Bandırma | 113 | 100    | 11465.75                     | 11775.30                      | 309.55                                    |
| Bandırma | 113 | 101    | 12852.77                     | 13132.50                      | 279.73                                    |
| Bandırma | 113 | 102    | 10019.81                     | 10267.80                      | 247.99                                    |
| Bandırma | 113 | 103    | 9636.71                      | 9775.80                       | 139.09                                    |
| Bandırma | 113 | 104    | 9088.66                      | 9292.80                       | 204.14                                    |

Tablo 2. Yüzey alanına göre hesaplanan toplulaştırma öncesi ve sonrası yüzölçümleri.

|               | Parsel | Tapu alanı (m <sup>2</sup> ) | Hesap alanı (m <sup>2</sup> ) | Üç boyutlu yüzey alanı (m <sup>2</sup> ) | Fark (m <sup>2</sup> ) | Oran  |
|---------------|--------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------|------------------------|-------|
| Kadastro      | 783    | 5700                         | 5669.13                       | 6074.8                                   | 405.67                 | 7.16% |
| Toplulaştırma | 154/2  |                              | 5245.19                       | 5424.5                                   | 179.31                 | 3.42% |
| Kadastro      | 790    | 6375                         | 6408.07                       | 6549.6                                   | 141.53                 | 2.21% |
| Toplulaştırma | 154/4  |                              | 8772.67                       | 9079.9                                   | 307.23                 | 3.50% |

### 3.1. Vergi Yönüyle Değerlendirme

Pilot bölge olarak seçilen Bezirci Köyü'nde 2023 yılı için kıraç arazi rayiç değeri metrekare başına 3.76 TL'dir (Int Kyn. 5). Değerlendirilen altı parselin; üç boyutlu olarak hesaplanan yüzey alanı, mevcut tapu kayıtlarından 1259.64 m<sup>2</sup> daha fazla olduğu için devletin alacağı vergi toplamda 9.47 TL daha fazla olacaktır.

TÜİK 2021 verilerine göre işlenen alanlar hesaba katılsa ve bu alanların tamamı için en düşük vergi miktarında sahip kıraç alan seçilse dahi devletin yaklaşık 34 milyon TL daha fazla vergi alacağı hesaplanmaktadır. Tüm değişkenlerin (kıraç-sulak alan farkı, belediye farkı, rayiç değeri farkı vb.) dahil edilmesi halinde ise devletin vergi kazanımının çok daha fazla olacağı ortaya çıkmaktadır.

### 3.2. Tarım Desteği Yönüyle Değerlendirme

Devlet tarımsal desteklerini dekar (1000 m<sup>2</sup>) üzerinden sağlamaktadır. 2023 yılı için Buğday, arpa, çavdar, yulaf ve tritikale için dönüm başı 75 TL mazot, 46 TL gübre olmak üzere toplam 121 TL destek alınmaktadır (Int Kyn. 4).

TÜİK 2021 yılı verileri baz alındığında devletin toplam ödemesi gereken tarım desteği; bu parsellerde yetiştirilen ürünlerin hepsinin buğday, arpa, çavdar, yulaf ve tritikale desteği olduğu kabul edilirse 24,915,146,300 TL olacaktır. Bu değer iki boyutlu tapu yüzölçümüne göre 525,454,600 TL daha fazla tarım destek ödemesi yapılacağını ortaya koymaktadır. Vergi hesabında olduğu gibi tüm değişkenlerin dahil edilmesiyle bu miktar daha da artacaktır.

### 3.3. Kamulaştırma Yönüyle Değerlendirme

Uygulama yapılan parsellere yaklaşık 500 metre uzaklıkta ve aynı tarımsal özelliklere sahip Balıkesir İli, Bandırma İlçesi, Bezirci Köyü, 139 ada 5 parselde organize sanayi bölgesi kurulması için kamulaştırma işlemi yapılmış, 19.590,16 m<sup>2</sup>'lik alan için mahkeme kararıyla 873.133,43 TL bedel tespit edilmiştir.

**Tablo 3.** Kamulaştırma bedel hesabı.

| Ada | Parsel | Tapu-Yüzey Alanı Farkı (m <sup>2</sup> ) | Kamulaştırma Bedel Farkı (TL) |
|-----|--------|------------------------------------------|-------------------------------|
| 113 | 99     | 79.14                                    | 3527.27                       |
| 113 | 100    | 309.55                                   | 13796.64                      |
| 113 | 101    | 279.73                                   | 12467.57                      |
| 113 | 102    | 247.99                                   | 11052.91                      |
| 113 | 103    | 139.09                                   | 6199.24                       |
| 113 | 104    | 204.14                                   | 9098.52                       |

Pilot bölgede seçilen sadece bu altı parselde kamulaştırma işlemi yapıldığı ve alan hesabında tapu yüzölçümleri yerine üç boyutlu yüzey alanına göre

hesaplanan değerler baz alındığı durumda kamulaştırmayı yapan idarenin toplam 56141.15 TL fazla kamulaştırma bedeli ödeyeceği hesaplanmaktadır. Bu da hak sahiplerinin kazancını arttıracaktır.

### 3.4. Toplulaştırma Yönüyle Değerlendirme

Toplulaştırma çalışmalarında toprak endekslerine göre parsel büyüklükleri küçüldüğünden veya büyüdüğünden yapılacak incelemelerde yüzölçümü üzerinden değil üç boyutlu hesaplanan alanın iki boyutlu alana oranı yönüyle değerlendirilmesi daha doğru olacaktır. Bu doğrultuda toplulaştırma yönüyle ele alınan ikinci pilot bölge hesaplanan değerler Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 2'den de anlaşılacağı üzere eğimli bir topografyaya sahip 783 parselin maliki yüzey alanına göre tapu yüzölçümünden 405.67 m<sup>2</sup> daha fazla alan kullanmaktadır. Toplulaştırma çalışmalarında ise kendisine verilen yer mevcut 783 numaralı kadastro parselinden daha az eğimli olup, yüzey alanına göre tapu yüzölçümünden 179.31 m<sup>2</sup> daha fazladır. Sonuç olarak toplulaştırma çalışmaları sonucunda daha fazla eğimli yerden daha az eğimli yere geçmiştir. 790 parsel maliki ise kadastro parselinde daha az eğimli yer kullanmaktadır. Yüzey alanına göre tapu yüzölçümünden 141.53 m<sup>2</sup> fazla alan kullanmaktayken toplulaştırma çalışmaları sonucu kendisine 307.23 m<sup>2</sup> daha fazla alan kullanacağı, kadastro parseline göre daha fazla eğimli bir yer verilmiştir. Tabloda belirtilen oranlardan da anlaşılacağı üzere toplulaştırma çalışmaları sonucu 783 parsel sahibi dezavantajlı duruma geçmişken, 790 parsel sahibi ise avantajlı duruma geçmiştir. Açıklanan örnekten de anlaşılacağı üzere tapu yüzölçümü yerine yüzey alanına göre yapılacak toplulaştırma işlemi ortaya çıkan adaletsiz sonucun önüne geçilmesini sağlayacaktır.

## 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada Çan ilçe merkezinde gerçekleştirilen uçuşlarla üretilen Sayısal Yükseklik Modeli ve Sayısal Yüzey Modeli arasındaki farklılıklar taşkın analizi sonucunda gözlemlenmiştir. Bu çalışma ile iki model arasındaki farktan, taşkın analizlerinin gerçek coğrafyayı yansıtacak şekilde (ağaç, bina vb.'nin olduğu) yapılmasının analiz açısından daha doğru olacağını göstermiştir. Ayrıca bu çalışma ile İHA aracılığıyla yüksek çözünürlüklü 3B modeller üretilebileceği ve bu çıktı ürünlerin yapılacak olan çalışmalarda altlık olarak kullanılabileceği ifade edilebilmektedir.

İnsansız Hava Araçlarının harita üretiminde kullanımının artması ile birlikte RTK (Real Time Kinematic) ve PPK (Post Process Kinematic)

konumlama tekniklerinin kullanılmasını da arttırmıştır. PPK özelliğine sahip olan İHA'ların çalışabilmesi için gerçek zamanlı veri iletimine gereksinim yoktur. Bu yüzden PPK yöntemi RTK yöntemine göre daha güvenilir ve daha hassas sonuçlara sahiptir.(URL-3) Çalışmanın arazi kısmında kullanılan eEbee X model İHA'nın PPK özelliğine sahip olması çalışmanın güvenilirliğini ve hassasiyetini arttırmıştır.

## 5. Sonuçlar

Resmi işlemlerde (vergi ödemeleri, tarım destekleri, kamulaştırma bedelleri, toplulaştırma vb.) yüzeyin iki boyutlu yüzeye indirgenmesiyle hesaplanan yüzölçümleri kullanılmaktadır. Ancak bu değer hak sahiplerinin gerçekte kullandıkları yüzölçümlerinden farklıdır. Yüzölçümünün üç boyutlu hesaplanması sonucu elde edilen değerler bunun gerçekte ilişkisini ve önemini tümüyle ortaya koymaktadır.

Üç boyutlu alanların yersel yöntemle elde edilmesi oldukça zaman alıcı ve maliyetlidir. Bu sebeple pilot bölgelerde İHA kullanılmıştır. Ancak İHA'ların bataryalarının uzun süreli uçuşlara olanak sağlamaması daha büyük alanlarda uçakların kullanılmasının gerekli olduğunu ortaya koymaktadır. Yapılacak uçuşlardan elde edilecek görüntüler ile çalışmada önerildiği üzere yüzey alanlarının hesaplanması hem devlet hem de hak sahipleri açısından en faydalı durum olacaktır.

Ayrıca bu çalışmaların sadece tarımsal alanlarda yapılması daha uygun olacaktır. İmar planı olan yerler kapsam dışında bırakılmalıdır. Çünkü imar planları yapılaşma için yapılmakta ve yapılaşmalarda da yapılar düzlem zeminlere inşa edilmektedir. Bunun için zeminler kazılarak düzleme indirgenmektedir. Kriter olarak imar planı dışındaki tarımsal arazilerin üç boyutlu yüzölçümlerinin hesaplanarak tescil edilmesi ve imar planı dışı tarımsal bir arazinin ilerde imara konu olarak imar planlı bir yer haline gelebilmesi durumu değerlendirildiğinde imar planı uygulaması hesaplarına tapu yüzölçümlerinin iki boyutlu olarak girmesi daha doğru olacaktır.

Avrupa İnsan Hakları Mahkemesi 07/07/2015 tarih ve 40896/05 sayılı kararı ile, Medeni Kanunun 1007. maddesine dayanarak tapu yüzölçümü hatalarında devleti sorumlu tutmuştur (AYM, 2018). Bu karar neticesinde de 27/09/2022 tarihli Resmi Gazete'de yayınlanan Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü Tapu Planlarında Yanılma Sınırının Belirlenmesi Hakkında Yönetmelik ile yanılma sınırı hesapları değiştirilmiştir. Gelecekte de tapu yüzölçümlerinin üç boyutlu yüzey alanına göre tescil edilmesi durumunda Medeni Kanun'da değişiklikler olması gerekecektir.

Sonuç olarak tapu yüzölçümlerinin bu çalışmada önerildiği üzere fiili kullanım durumuna yani yüzey

alanına göre tescillenmesi devlet ve vatandaş yönüyle karşılıklı kazanıma ve bilgide gerçekliğe ulaştıracaktır.

## Bilgilendirme/Teşekkür

Bu çalışma yüksek lisans öğrencisi olan birinci yazarın tezinin bir parçasını oluşturmaktadır.

## Yazarların Katkısı

Yazarların Katkısı:

Birinci yazar: Literatür taraması, analiz ve yorumlama, görselleştirme, makale yazma.

İkinci yazar: Kontrol, düzenleme, makale yazma.

## Çıkar Çatışması Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## Kaynaklar

- Aydeniz, A. B. (2020). İnsansız Hava Aracı İle Çekilen Görüntülerden Ve Videolardan Oluşturulan 3b Modellerin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye.
- Bağcı, B. B. (2021). Devletin Tapu Sicilinin Tutulmasından Doğan Zararlardan Sorumluluğu. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Özel Hukuk Anabilim Dalı, Antalya, Türkiye.
- Beşol, B. (2021). Farklı Sayısal Yüzey Modellerinin Doğruluk Değerlendirmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye.
- Beyaztaş, S. (1995). Tapu Sicilinde Finans İşlemleri Ve Finansal Kavramlar. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Para ve Banka Bölümü, İstanbul, Türkiye.
- Dandan, L. & Quiang, C. (2020). Discussion On The Application Of Uav Oblique Photography In The Registration Of Rural Housing And Real Estate Integration, 2020 IEEE 5th International Conference on Intelligent Transportation Engineering (ICITE), September 11-13, Beijing, China. Doi: 10.1109/ICITE50838.2020.9231411
- Fisher, J. D. & Lentz, G. H. (1986). Tax Reform And The Value Of Real Estate Income Property. Real Estate Economics, 14(2), 287-315. Doi: 10.1111/1540-6229.00388.
- Kırar, B. (2008). Taşınmazlarda Emlak Vergisine Esas Değer, Tapu Değeri Ve Piyasa Değeri Arasındaki

- Farklılıkların İncelenmesi: Beşiktaş Örneği. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Disiplinler Arası Ana Bilim Dalı*, İstanbul, Türkiye.
- Manganelli, B., Morano, P., Rosato, P. & Paola, P. D. (2020). The Effect Of Taxation On Investment Demand in The Real Estate Market: The Italian Experience *Buildings*, 10(7), 115. Doi: 10.3390/buildings10070115
- Nestico, A. & Galante, M. (2015). An Estimate Model Fort He Equalisation Of Real Estate Tax:A Case Study. *Business Intelligence and Data Mining*, 10(1), 19-32. Doi: 10.1504/IJBIDM.2015.069038
- Pullano, Dillon (2021). 3-D Cadastral Boundary Relationship Classification Algorithms Using Conformal Geometric Algebra. A thesis, *University of Calgary, Canada*.
- Sarı, B. (2016). Türkiye’de Tarım Kesiminde Vergi Uyumlu, Vergi Bilinci Ve Tarım Kesiminin Vergilendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Maliye Anabilim Dalı*, Çanakkale, Türkiye.
- Selek, E. (2019). İha İle Üretilmiş Ortofoto, Sayısal Arazi Ve Yüzey Modeli Performanslarının İncelenmesi : Bursa İli Örneği. Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı*, Zonguldak, Türkiye.
- Solmaz, İ. (2010). Eğimli Arazilerin Detaylı Toprak Etüd Ve Haritalanması İçin Uzaktan Algılama Ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Teknolojilerini Kullanarak Yeni Yöntemlerin Geliştirilmesi. Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim Dalı*, Adana, Türkiye.
- Şenkal, E. (2018). İnsansız Hava Aracı İle Elde Edilen Görüntülerden Üretilen Ortofoto Ve Sayısal Yüzey Modellerinin Doğruluğunun Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı*, Eskişehir, Türkiye.
- Ullah, F. (2018). A Systematic Review Of Smart Real Estate Technology: Drivers Of, And Barriers To, The Use Of Digital Disruptive Technologies And Online Platforms”. *Real Estate Economics*, 10(9), 3142. Doi: 10.3390/su10093142
- Xi, W.F., Li, G. Z., Li, D. S., Zhao, Z. L. & Song, J. (2018). Application Of Oblique Photogrammetry In Real Estate Surveying And Mapping, *XXIV ISPRS Congress. July 05-09, Nice, France. XLIII-B2-2021*, 413-418. Doi: 10.5194/isprs-archives-XLIII-B2-2021-413-2021.
- Yakupur, S. (2013). Tapu Güven İlkesi. Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Özel Hukuk Anabilim Dalı*, İstanbul.

### İnternet Kaynakları

1. <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/kisibasina-tarim-alani-i-85832#:~:text=T%C3%9C%C4%B0K'in%202018%20y%C4%B1l%C4%B1%20verilerine,%C3%A7ay%C4%B1r%20ve%20mera%20alanlar%C4%B1%20olu%C5%9Fturmakta%C4%B1r.> (Erişim Tarihi 12.04.2023).
2. <https://www.djiturkiye.com/djimagazasi/mavic-2-pro-dji/> (Erişim Tarihi 12.04.2023).
3. <https://www.dronmarket.com/urun/djiphantom-4-drone> (Erişim Tarihi 12.04.2023).
4. <https://www.tarimorman.gov.tr/Konular/Tarimsal-Destekler/Alan-Bazli-Destekler/Mazot-Gubde-e-Toprak-Analizi-Destegi> (Erişim Tarihi 12.04.2023).
5. <https://ebelediye.bandirma.bel.tr/Rayic/Goruntu> (Erişim Tarihi 12.04.2023).



© Author(s) 2023.

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





## Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/tiha>

e-ISSN 2687-6094



### Kentsel Hava Hareketliliğinde İHA'ların Geleceği: Toplumsal Algı ve Endişeler

Ertan Çınar <sup>1</sup>, Arif Tuncal <sup>2\*</sup>

<sup>1\*</sup> Eskisehir Technical University, Department of Air Traffic Control, 26555, Eskişehir, Türkiye; (ecinar@eskisehir.edu.tr)

<sup>2</sup> General Directorate of State Airports Authority & Air Navigation Service Provider, Department of Air Traffic Control, 06330, Ankara, Türkiye; (atuncal@gmail.com)



\*Sorumlu Yazar:  
atuncal@gmail.com

#### Araştırma Makalesi

**Alıntı:** Çınar, E., & Tuncal, A. (2023). Kentsel Hava Hareketliliğinde İHA'ların Geleceği: Toplumsal Algı ve Endişeler. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 5(2), 50-58. (in English).

Geliş : 25.10.2023  
Revize : 05.12.2023  
Kabul : 11.12.2023  
Yayınlama : 31.12.2023

#### Özet

Bu çalışma, İnsansız hava araçlarının (İHA/UAV-Unmanned Aerial Vehicle) kentsel hava hareketliliği (KHH/UAM-Urban Air Mobility) bağlamındaki toplumsal algısını incelemek ve bu yeni teknolojinin yaygın kabulünü ve uygulanabilirliğini değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, İstanbul ve Ankara illerinde yaşayan 82 katılımcıyla yarı yapılandırılmış görüşme yapılmıştır. Elde edilen veriler, katılımcıların İHA'lar hakkındaki görüşlerini belirli bir yapıda sınıflandırmak amacıyla tematik analiz yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Bu analiz sonucunda katılımcı görüşleri üç ana kategori altında toplanmıştır. Olumlu görüşler arasında katılımcıların İHA'ların acil durum kullanımıyla ilgili beklentileri ön plana çıkmaktadır. Olumsuz görüşlerde ise, İHA'ların güvenlik ve potansiyel riskleri konusundaki endişeler başı çekerken, İHA'ların topluma etkisi, yasal düzenlemeleri ve teknolojik gelişimi hakkındaki karışık düşünceleri nötr kategoriyi oluşturmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** İnsansız hava araçları, kentsel hava hareketliliği, ulaşım, toplum kabulü, otonom araçlar.

### The Future of UAVs in Urban Air Mobility: Public Perception and Concerns

\*Corresponding Author:  
atuncal@gmail.com

#### Research Article

**Citation:** Çınar, E., & Tuncal, A. (2023). The Future of UAVs in Urban Air Mobility: Public Perception and Concerns. *Turkish Journal of Unmanned Aerial Vehicles*, 5(2), 50-58.

Received : 25.10.2023  
Revised : 05.12.2023  
Accepted : 11.12.2023  
Published : 31.12.2023

#### Abstract

This study aims to examine the public perception of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in the context of Urban Air Mobility (UAM) and evaluate the widespread acceptance and applicability of this new technology. In this study, semi-structured interviews were conducted with 82 participants residing in the provinces of Istanbul and Ankara. The data obtained were analyzed using the thematic analysis method to categorize participants' views about UAVs in a specific structure. As a result of this analysis, participant views were categorized into three main themes: positive views, negative views, and neutral perspectives. Among the positive views, participants' expectations regarding the emergency use of UAVs stand out. In the negative views, concerns about the security and potential risks of UAVs took the lead, while mixed thoughts about the impact of UAVs on society, legal regulations, and technological development formed the neutral category.

**Keywords:** Unmanned aerial vehicles, urban air mobility, transportation, public acceptance, autonomous vehicles.

## 1. Introduction

Technological advancements are fundamentally reshaping the transportation sector in today's world. A significant component of this transformation is the small-sized, electrically powered Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) with vertical takeoff and landing capabilities, which have the potential to overcome urban traffic congestion and offer new opportunities for Urban Air Mobility (UAM) (Kai, Jacquillat, & Vaze, 2022). UAVs have emerged as key players in shaping the future of urban transportation with their potential to reduce traffic density and enhance transportation efficiency (Gupta et al., 2021).

UAVs, also known as drones, with their flexibility, low operational costs, eco-friendliness, and energy-saving features, stand out compared to traditional modes of transportation (Li, Liu, & Jiang, 2022). Thanks to these characteristics, UAVs have drawn attention as air vehicles considered part of urban transportation under the concept of UAM.

UAM involves the use of autonomous UAVs in utilizing the third dimension, airspace, to optimize travel routes, reduce travel times, and alleviate traffic congestion in cities (Krull & Muhammad, 2022; Marzouk, 2022). Reiche et al. (2018) estimated the total current market value for UAM in the United States at \$500 billion. Bulusu et al. (2021) analyzed traffic demand for UAM in the San Francisco Bay Area and found that even under heavy traffic conditions, 45% of the demand could be met by UAM.

As technology continues to advance in this vast market, UAVs are poised to play an even more critical role in UAM (Ansari et al., 2021). The public acceptance and applicability of this new technology are crucial for the future of UAM (Al-Dosari & Fetais, 2023; Tuncal & Uslu, 2021). The lack of knowledge about UAVs and their potential applications can create complexity among communities that have not fully grasped the technology's potential, influencing public preferences and concerns (Smith et al., 2022).

As public awareness of technology increases, there is a likelihood that perceptions and attitudes toward UAVs may change (Clothier et al., 2015). Previous studies have revealed that public acceptance of such aerial vehicles can be influenced by public knowledge, awareness, and interactions with UAVs (Melo et al., 2023; Tan et al., 2021). In today's urban environments, there is a lack of information about the use of UAVs equipped with advanced autonomous systems within the scope of UAM (Çınar & Tuncal, 2023; Wang, Mutzner, & Blanchet, 2023). A report published in Australia also supports this view, indicating a neutral attitude stemming from a lack of knowledge about UAV technology (Clothier et al., 2015). The deployment of autonomous vehicles (AVs) is an

exciting goal for many cities, and AV technologies are currently being trialed around the world (Riggs et al., 2019). Currently, there are not enough studies that fully explain why people would or would not use UAVs (Hogreve & Janotta, 2021). Studies have shown that understanding the people's perspective on UAVs, which will impact urban transportation worldwide, is crucial for the successful implementation of UAM (Al Haddad et al., 2020; Chancey & Politowicz, 2020; Silva et al., 2023).

This study aims to analyze public views regarding the use of UAVs within the concept of UAM. This analysis may contribute to a better understanding of the integration and public acceptance of UAVs in urban transportation systems.

## 2. Literature

As part of the transformation driven by technological advancements in the transportation sector, UAVs are increasingly gaining attention in today's world (Papa, 2023; Saraçyakupoğlu, Delibaş, & Özçelik, 2021). As a result of this transformation, a new era has begun in urban transportation and logistics, centered around the concept of UAM (Tang, 2021).

Within UAM, UAVs are considered technological tools that will replace existing traditional structures in various tasks such as surveillance, monitoring, emergency response, exploration, logistics, and transportation in urban areas (Bertrand & Shin, 2023). However, the use of UAVs in urban areas is a significant concern in terms of public acceptance (Al-Dosari & Fetais, 2023; Lee, Hess, & Heldeweg, 2022). Studies have highlighted that the greatest challenge in this regard is the acceptance of the system by public (Chancey & Politowicz, 2020; Cohen, Shaheen, & Farrar, 2021; Hogreve & Janotta, 2021; Janotta, Peine, & Hogreve, 2021; Kim, Lim, & Ji, 2023; Stolz & Laudien, 2022). While UAVs present an opportunity to increase transportation capacity in densely populated metropolitan areas, their successful integration into existing transportation systems is heavily reliant on public acceptance (Johnson, Miller, & Conrad, 2022). The rapid growth of the UAV industry has created a psychological fear of the unknown among communities (Çetin et al., 2022). In this context, the integration of UAVs into existing systems under the UAM framework should consider not only technical aspects such as design, certification, operational aspects, and infrastructure requirements but also public acceptance (Schuchardt et al., 2023).

Some research evaluating public acceptance of UAVs in urban logistics has shown a positive attitude toward the use of these vehicles (Melo et al., 2023). However, a lack of knowledge about the use and technological features of UAVs in logistics and

transportation areas can influence these positive attitudes (Smith et al., 2022). Additionally, the guidance of autonomous vehicles like UAVs by a program can create dilemmas among society. While there is generally a positive acceptance, accidents involving program-guided autonomous vehicles can lead to negative perceptions of this technology (Othman, 2021). Furthermore, the success or failure of a new technology often depends on how well it is embraced by society, including end-users, stakeholders, and decision-makers (Ajibade, Ibietan, & Ayelabola, 2017). This is a crucial factor in ensuring the success of this technology (Taherdoost, 2019). Factors such as perceived benefits, perceived ease of use, social impact, and facilitative conditions can all influence the adoption of new technologies (Hossain et al., 2019; Mohamed & Hassan, 2023).

Although UAVs have been used for military purposes for years, concerns that need to be addressed to gain public acceptance have arisen in recent years, despite the significant potential benefits of high-tech UAVs for civilian use. Society has a wide range of opinions, perceptions, and concerns regarding UAVs, including issues related to privacy (Nelson et al., 2019). Factors such as flight safety, noise, environmental impact are among the most important concerns (Janotta, Peine, & Hogreve, 2021; Miethe et al., 2014; Nelson et al., 2019; Park et al., 2022; Silva et al., 2023; Yedavalli & Mooberry, 2019).

The process of gaining public acceptance of UAVs is complex and unpredictable. This process can be shaped by the emergence of new information and the conduct of data collection and evidence-based information campaigns to inform the public. The European Parliament conducts large-scale, long-term research to support this process (European Parliament, 2023).

### 3. Methodology

This study was conducted using the thematic analysis method. Thematic analysis is an analytical approach used to identify recurring themes or ideas in a text or a collection of texts (Braun & Clarke, 2019; Nowell et al., 2017). In this method, texts are initially segmented into codes to discern meaningful findings. Codes represent specific words or phrases that signify a particular idea or theme within a text. These codes are then grouped into themes, representing common ideas or subjects found within a text or a collection of texts.

In this study, a qualitative approach was employed to examine general perceptions about the use of UAVs in the context of UAM. Data were collected using a semi-structured interview method. The sample consisted of 82 individuals residing in Istanbul and Ankara, two of Türkiye's most populous cities facing

traffic issues. The sample primarily consisted of individuals with undergraduate and postgraduate degrees due to the lack of voluntary participation from those with lower educational backgrounds. However, this selection aimed to enhance the study's effectiveness by involving individuals familiar with research methodologies and innovative approaches. Despite not being fully representative, this group's inclusion was pivotal in enriching the study's insights and ensuring a more rigorous examination of the subject matter, leveraging their academic and innovative thinking.

Participants were asked three open-ended questions allowing them to freely express their views on the use of UAVs within the UAM system. The questions are "What are your general thoughts on the use of UAVs in UAM?", "What concerns or points do you disagree with regarding the use of UAVs in UAM?" and "What aspects of UAV integration in UAM raise uncertainties or undecided thoughts for you?". Additionally, to foster a more in-depth perspective throughout the discussions and follow the responses based on the flow, the following detailed questions were also included to encourage participants to express more specific and detailed thoughts: "How do you think UAVs in urban areas will affect your daily life?", "What positive aspects do you see in the use of UAVs in urban areas?", "What risks do you perceive in the urban use of UAVs?", "Do you think there are potential security issues with UAVs?", "What concerns you the most in terms of security?", "What uncertainties do you face regarding the integration of UAVs into urban transportation?", "What do you think about balancing the benefits and drawbacks of UAV use in urban areas?", "What is your perspective on the impact of UAVs on urban infrastructure?".

The data collection process was concluded due to reaching data saturation, as similar responses were obtained from 82 participants. Achieving a specific sample size was considered crucial to ensure a level of saturation in data collection. The convergence of similar responses indicated the attainment of the set objective and sufficiency in the collected data, leading to the completion of the data collection process.

To enhance the reliability of the study, initially, both researchers independently analyzed participant responses. All responses were carefully read and segmented into codes. During the analysis of these responses, it was observed that sub-themes and quotations overlapped within the categories of positive, negative, and neutral. Subsequently, through discussions, consensus was reached on the findings, and the report was compiled.

#### 4. Findings

In this study, participant views regarding the use of UAVs within UAM, along with their demographic characteristics provided in Table 1, were analyzed. When examining the demographic characteristics of the participants, it is observed that the majority come from Istanbul (61%), and females (54.9%) are slightly more represented than males. The age distribution predominantly consists of young and middle-aged groups, with the largest age group being the 30-39 age range, making up 31.7% of the participants. Their educational levels exhibit a balanced distribution between bachelor's (53.7%) and graduate (46.3%) degrees.

Participant views were analyzed under the themes of positive, negative, and neutral regarding the use of UAVs in the UAM context. This classification enabled to categorize elements perceived as beneficial by participants under the positive theme, concerns they expressed as negative, and uncertainties or indecisions under the neutral theme. The primary reason for categorizing these themes as positive, negative, and neutral was to gain a more detailed and meaningful understanding of participants' perspectives on UAVs and to analyze them effectively. This classification assisted in presenting the perceived benefits, concerns, and impartial perspectives of UAVs more clearly. Furthermore, this categorization allowed us to comprehensively address participants' perspectives on UAVs within a broader analytical framework. Therefore, utilizing these themes as positive, negative,

and neutral facilitated a more in-depth examination and comprehension of participant views.

**Table 1.** Demographic characteristics of participants

|           |                   | Frequency | %    |
|-----------|-------------------|-----------|------|
| City      | İstanbul          | 50        | 61,0 |
|           | Ankara            | 32        | 39,0 |
| Gender    | Female            | 45        | 54,9 |
|           | Male              | 37        | 45,1 |
| Age       | 18-29 years old   | 22        | 26,8 |
|           | 30-39 years old   | 26        | 31,7 |
|           | 40-49 years old   | 21        | 25,6 |
|           | 50 + years old    | 13        | 15,9 |
| Education | Bachelor's Degree | 44        | 53,7 |
|           | Graduate Degree   | 38        | 46,3 |
| Total     |                   | 82        | 100  |

##### • Positive views

Participants believe that UAVs can provide significant benefits when used in emergency situations. There are expectations that UAVs can be effective tools in scenarios such as the rapid transportation of medical supplies or aid. Additionally, it is thought that UAVs can be beneficial in logistics processes and transportation. It is believed that in areas with heavy traffic, the use of UAVs will reduce traffic-related stress, decrease time losses, and reduce air pollution. Positive views include the perception that UAVs will save time, reduce environmental impacts, and assist in reducing CO2 emissions. In Table 2, these positive contributions and participant quotations' examples are presented under two subthemes.

**Table 2.** Subthemes of Positive Views and Participant Quotations' Examples

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Expectations of the Benefits of Using UAVs in Emergency Situations                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>(27) I believe they will be very helpful in emergencies, especially in transporting perishable items like organs, needles, blood, etc.</li> <li>(31) They can provide fast and efficient intervention, especially in emergency situations.</li> <li>(73) They can save time in terms of aiding after potential disasters in the country, both in terms of speed and aid.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 2. Expectations of the Benefits of UAVs in Logistics Processes and Transportation                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>(8) I believe that especially in areas with high population density exposed to heavy traffic, it will reduce the stress of living due to traffic and positively impact the increase in quality time by reducing the time spent in traffic during the day.</li> <li>(12) I also think it will be beneficial in logistics. It will affect cargo costs, etc.</li> <li>(71) ... I have no doubt that it will both save time and provide great flexibility.</li> <li>(72) ... I view it positively in terms of reducing traffic.</li> <li>(52) Time savings will be particularly important.</li> <li>(59) It can be used as a tool to reduce the increasing CO2 emissions, especially in today's world.</li> </ul> |

- **Negative views**

Participants express concerns about the security risks associated with UAVs. Concerns include the potential use of UAVs in terrorist activities, vulnerability to cyberattacks, and invasion of personal privacy. Additionally, there are concerns that UAVs may contribute to noise pollution and increase air traffic. It is believed that UAVs could complicate air traffic in cities and lead to an increase in accidents. Concerns also revolve around the high cost of UAVs

and their potential impact on the existing economic structure. There is a fear that while UAVs may create new economic opportunities, they could also reduce existing job opportunities. Furthermore, difficulties related to the integration of UAVs into the existing airspace and transportation network are among the negative views. In Table 3, these concerns and participant quotations' examples are presented under seven subthemes.

**Table 3.** Subthemes of Negative Views and Participant Quotations' Examples

|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Concerns about the Security of UAVs                                                                                                                                                                                                                                                      |
| -  | (4) I have security concerns, both because they are unmanned and automatic, and because they can reach any place at any time, making them vulnerable to terrorist activities.                                                                                                            |
| -  | (45) ...especially cyberattacks are a serious concern.                                                                                                                                                                                                                                   |
| -  | (50) The biggest danger is the possibility of being "hacked" and used as a weapon against my country.                                                                                                                                                                                    |
| -  | (54) I also have concerns about issues like privacy or the restriction of freedom areas, or dangerous manipulations, due to the vulnerability of the easily "hackable" computer system.                                                                                                  |
| -  | (81) The security issue is the most fundamental problem in my mind.                                                                                                                                                                                                                      |
| 2. | Concerns about the Integration of UAVs into the Existing Transportation Network (Roads, Rail Systems, etc.)                                                                                                                                                                              |
| -  | (1) ...integration into transportation systems is quite challenging.                                                                                                                                                                                                                     |
| 3. | Concerns about the Noise Generated by UAVs                                                                                                                                                                                                                                               |
| -  | (1) The contribution of low-level flights in UAVs, especially to noise pollution, is undeniable.                                                                                                                                                                                         |
| -  | (2) ...in the vicinity of the environment, with increasing movement and potentially dense traffic, excessive noise pollution could occur.                                                                                                                                                |
| -  | (45) Although it is electric, there will still be noise due to the propellers.                                                                                                                                                                                                           |
| -  | (53) As long as the propeller structure continues, there will be a serious noise problem. Regulations regarding this issue should be made.                                                                                                                                               |
| 4. | Concerns about UAVs Increasing Air Traffic                                                                                                                                                                                                                                               |
| -  | (7) It could create a new traffic problem.                                                                                                                                                                                                                                               |
| -  | (22) I fear the dangers that too many UAVs in airspace may pose.                                                                                                                                                                                                                         |
| -  | (31) ...it may pose a danger to flight safety by increasing air traffic in general use.                                                                                                                                                                                                  |
| -  | (60) I believe that instead of car accidents, UAV accidents may increase and be more lethal.                                                                                                                                                                                             |
| -  | (65) As the number increases, I think accidents will become inevitable, and the consequences of such accidents could be highly destructive. I approach this cautiously.                                                                                                                  |
| 5. | Concerns about the High Cost of UAVs                                                                                                                                                                                                                                                     |
| -  | (20) Adding vertical plane management to the horizontal plane will be quite challenging, and instead of building expensive bridges, tunnels, highways, etc., there will likely be significant costs associated with creating radar or similar systems to make flying machines very safe. |
| 6. | Concerns about the Impact of UAVs on the Existing Economic Structure and Labor Market                                                                                                                                                                                                    |
| -  | (1) If they become widespread, new job opportunities may arise, but it is likely that job opportunities related to existing transportation will decrease.                                                                                                                                |
| -  | (19) Issues such as unemployment or the creation of new job sectors are likely to create problems in the short term.                                                                                                                                                                     |
| -  | (45) With new infrastructure requirements and increased costs, the existing economic environment will be affected despite new economic opportunities.                                                                                                                                    |
| -  | (51) It will not be economically beneficial due to job losses.                                                                                                                                                                                                                           |
| 7. | Concerns about the Integration of UAVs into the Existing Airspace                                                                                                                                                                                                                        |
| -  | (1) ... integration into airspace seems quite challenging and complex when considering current procedures.                                                                                                                                                                               |
| -  | (9) I believe it will have a significant impact on the safety of other air traffic in the airspace.                                                                                                                                                                                      |
| -  | (41) I anticipate challenges regarding regulations related to airspace.                                                                                                                                                                                                                  |



- **Neutral Views**

Some participants hold neutral views regarding the barriers and opportunities for the proliferation of UAVs. It is mentioned that the infrastructure is not yet ready, financial difficulties need to be overcome, and issues like artificial intelligence need careful consideration. Neutral views exist concerning the impact of UAVs on society. It is stated that time is needed for UAVs to be used safely by people and that

they may take time to adapt to urban planning. Additionally, neutral views include the need for further innovation in the technological development of UAVs and the necessity of regulations in the legal and regulatory aspects of UAVs. In Table 4, these views and participant quotations' examples are presented under four subthemes.

**Table 4.** Neutral Views Subthemes and Participant Quotations' Examples

|                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Barriers and Opportunities for the Growth of UAVs | <ul style="list-style-type: none"> <li>- (10) Currently, the infrastructure is lacking; there is a long way to go before operations can begin.</li> <li>- (78) Financial challenges must be overcome; it should be accessible to everyone.</li> <li>- (80) I would like its usage to increase cautiously, but I am in favor of paying attention to artificial intelligence; precautions should be taken for potential concerns.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 2. The Impact of UAVs on Society                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- (13) I believe convincing the public in terms of Autonomous 5 will be the most challenging situation.</li> <li>- (27) Although it provides significant benefits in other areas, adapting to urban planning and people will take time.</li> <li>- (38) I think it will take some time for people to trust and use UAVs.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 3. The Technological Development of UAVs             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- (35) More innovation is needed, and city infrastructures should be prepared accordingly.</li> <li>- (47) ... It will take many years for UAVs to be put into use and become an accessible option for everyone.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 4. The Legal and Regulatory Aspects of UAVs          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- (30) With the necessary regulations and the resolution of logistical challenges, it can become a widespread transportation option.</li> <li>- (36) ... if initial planning is based on low traffic percentages in the air, the result may resemble the situation we experience in road traffic. Strong regulations and planning are highly needed.</li> <li>- (66) Very effective and strictly defined rules for air mobility should be established.</li> <li>- (39) With the introduction of eVTOL vehicles into our lives, urban air mobility is expected to increase, and therefore, work should be done on the design of airspace.</li> </ul> |

## 5. Conclusion and Discussion

The research results indicate that society does not yet have a clear view regarding the use of UAVs in the context of UAM. There seems to be a balance between positive and negative views of this technology, highlighting the need for the public to gain more information about the benefits and risks of this technology.

Among the positive views, the importance of using UAVs in emergency situations has been emphasized. UAVs are seen as effective tools for rapid delivery and rescue operations. Additionally, UAVs have been positively evaluated for their potential to save time in urban logistics processes and transportation while reducing environmental impacts.

However, negative perspectives have centered around the potential risks and challenges. Security concerns, particularly regarding terrorist attacks and

cyberattacks, may limit the acceptance of UAVs. Also, factors such as noise pollution and increased air traffic can complicate the use of UAVs in urban areas.

Neutral views in the study outline challenges and opportunities for widespread UAV use. Infrastructure deficiencies, high costs, and the need for technological advancements may limit the use of UAVs in UAM. Nevertheless, some participants hold the belief that these problems can be gradually overcome, leading to an easier integration of UAVs.

There is a critical need for a flexible and comprehensive legal framework to adapt to the rapid evolution of UAV technologies. As UAVs become increasingly sophisticated and their applications expand, existing regulations may prove inadequate to ensure the safe, secure, and equitable operation of these vehicles in densely populated urban environments. To foster public acceptance and trust in UAVs, regulations must be transparent, accessible, and

informed by public engagement. Addressing security concerns, data protection, autonomous navigation integration into ATM and public transportation system, and environmental impacts will be essential to ensure the safe, secure, and equitable operation of UAVs in urban environments.

To sum up, gaining public acceptance of UAVs' use in UAM involves a range of complex factors. These factors include security, regulations, technological development, environmental impacts, and economic effects. Future research should delve more deeply into these factors to promote wider acceptance of UAVs in urban areas. Additionally, policymakers need to take appropriate measures to integrate this potential mode of transportation sustainably and safely. Society should be informed about UAV technology, ethical considerations should be enhanced, and regulations should aim to address public concerns. UAVs have great potential in the field of UAM, but the concerns and needs of the public must be considered to realize this potential.

#### Author contributions

All authors have contributed with maximum contribution. All authors have contributed with maximum contribution.

#### Conflicts of interest

There are no conflicts of interest in any part of the research paper.

#### Statement of Research and Publication Ethics

For this type of study formal consent is not required.

#### References

- Ajibade, O., Ibieta, J., & Ayelabola, O. (2017). E-governance implementation and public service delivery in Nigeria: The technology acceptance model (TAM) application. *Journal of Public Administration and Governance*, 7(4), 165-174. DOI:10.5296/JPA.G.V7I4.11475
- Al Haddad, C., Chaniotakis, E., Straubinger, A., Plötner, K., & Antoniou, C. (2020). Factors affecting the adoption and use of urban air mobility. *Transportation research part A: policy and practice*, 132, 696-712.
- Al-Dosari, K., & Fetais, N. (2023). A new shift in implementing unmanned aerial vehicles (UAVs) in the safety and security of smart cities: a systematic literature review. *Safety*, 9(3), 64. Doi: 10.3390/safety9030064
- Ansari, S., Taha, A., Dashtipour, K., Sambo, Y., Abbasi, Q. H., & Imran, M. A. (2021). Urban air mobility—A 6G use case?. *Frontiers in Communications and Networks*, 2, 729767. Doi: 10.3389/frcmn.2021.729767
- Aydin, B. (2019). Public acceptance of drones: Knowledge, attitudes, and practice. *Technology in society*, 59, 101180. Doi: 10.1016/j.techsoc.2019.101180
- Bertrand, S., & Shin, H. S. (2023). Special Issue on Unmanned Aerial Vehicles. *Applied Sciences*, 13(7), 4134. Doi: 10.3390/app13074134
- Braun, V., & Clarke, V. (2019). Reflecting on reflexive thematic analysis. *Qualitative research in sport, exercise and health*, 11(4), 589-597. Doi: 10.1080/2159676X.2019.1628806
- Bulusu, V., Onat, E. B., Sengupta, R., Yedavalli, P., & Macfarlane, J. (2021). A traffic demand analysis method for urban air mobility. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 22(9), 6039-6047. Doi: 10.1109/TITS.2021.3052229
- Çetin, E., Cano, A., Deransy, R., Tres, S., & Barrado, C. (2022). Implementing mitigations for improving societal acceptance of urban air mobility. *Drones*, 6(2), 28. Doi: 10.3390/drones6020028
- Chancey, E. T., & Politowicz, M. S. (2020). Public trust and acceptance for concepts of remotely operated Urban Air Mobility transportation. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 64(1), 1044-1048. Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications. Doi: 10.1177/1071181320641251
- Çınar, E. & Tuncal, A. (2023). A Comprehensive Analysis of Society's Perspective on Urban Air Mobility. *Journal of Aviation*, 7 (3), 353-364. Doi: 10.30518/jav.1324997
- Clothier, R. A., Greer, D. A., Greer, D. G., & Mehta, A. M. (2015). Risk perception and the public acceptance of drones. *Risk analysis*, 35(6), 1167-1183. Doi: 10.1111/risa.12330
- Cohen, A. P., Shaheen, S. A., & Farrar, E. M. (2021). Urban air mobility: History, ecosystem, market potential, and challenges. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 22(9), 6074-6087. Doi: 10.1109/TITS.2021.3082767
- Eibfeldt, H., & Biella, M. (2022). The public acceptance of drones—Challenges for advanced aerial mobility (AAM). *Transportation Research Procedia*, 66, 80-88. Doi: 10.1016/j.trpro.2022.12.009
- European Parliament. (2023). Unmanned Aircraft Systems integration into European airspace and operation over populated areas. [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2023/733124/IPOL\\_STU\(2023\)733124\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2023/733124/IPOL_STU(2023)733124_EN.pdf)
- Gupta, A., Afrin, T., Scully, E., & Yodo, N. (2021). Advances of UAVs toward future transportation: The state-of-the-art, challenges, and opportunities. *Future transportation*, 1(2), 326-350. Doi: 10.3390/futuretransp1020019
- Hogreve, J., & Janotta, F. (2021). What Drives the Acceptance of Urban Air Mobility—A Qualitative Analysis. In *Künstliche Intelligenz im Dienstleistungsmanagement: Band 2: Einsatzfelder—*

- Akzeptanz-Kundeninteraktionen (pp. 385-408). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. Doi: 10.1007/978-3-658-34326-2\_15
- Hossain, N., Yokota, F., Sultana, N., & Ahmed, A. (2019). Factors influencing rural end-users' acceptance of e-health in developing countries: a study on portable health clinic in Bangladesh. *Telemedicine and e-Health*, 25(3), 221-229. Doi: 10.1089/tmj.2018.0039
- Janotta, F., Peine, L., & Hogreve, J. (2021). Public opinions on Urban Air Mobility-The significance of contributing to the common good. Doi: 10.31219/osf.io/5m924
- Johnson, R. A., Miller, E. E., & Conrad, S. (2022). Technology Adoption and Acceptance of Urban Air Mobility Systems: Identifying Public Perceptions and Integration Factors. *The International Journal of Aerospace Psychology*, 32(4), 240-253. Doi: 10.1080/24721840.2022.2100394
- Kai, W., Jacquillat, A., & Vaze, V. (2022). Vertiport planning for urban aerial mobility: an adaptive discretization approach. *Manufacturing & Service Operations Management*, 24(6), 3215-3235. Doi: 10.1287/msom.2022.1148
- Kim, Y. W., Lim, C., & Ji, Y. G. (2023). Exploring the user acceptance of urban air mobility: extending the technology acceptance model with trust and service quality factors. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 39(14), 2893-2904. Doi: 10.1080/10447318.2022.2087662
- Krull, L. F., & Muhammad, B. (2022). Urban Air Mobility: Insights into Potentials and Challenges. In *2022 25th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC)*, 267-272. IEEE. Doi: 10.1109/WPMC55625.2022.10014836
- Lee, D., Hess, D. J., & Heldeweg, M. A. (2022). Safety and privacy regulations for unmanned aerial vehicles: A multiple comparative analysis. *Technology in Society*, 71, 102079. Doi: 10.1016/j.techsoc.2022.102079
- Li, Y., Liu, M., & Jiang, D. (2022). Application of unmanned aerial vehicles in logistics: a literature review. *Sustainability*, 14(21), 14473. Doi: 10.3390/su142114473
- Marzouk, O. A. (2022). Urban air mobility and flying cars: Overview, examples, prospects, drawbacks, and solutions. *Open Engineering*, 12(1), 662-679. Doi: 10.1515/eng-2022-0379
- Melo, S., Silva, F., Abbasi, M., Ahani, P., & Macedo, J. (2023). Public Acceptance of the Use of Drones in City Logistics: A Citizen-Centric Perspective. *Sustainability*, 15(3), 2621. Doi: 10.3390/su15032621
- Miethe, T. D., Lieberman, J. D., Sakiyama, M., & Troshynski, E. I. (2014). Public attitudes about aerial drone activities: Results of a national survey. Center For Crime and Justice Policy Ccjp 2014-02. [https://www.unlv.edu/sites/default/files/page\\_files/27/Research-PublicAttitudesaboutAerialDroneActivities.pdf](https://www.unlv.edu/sites/default/files/page_files/27/Research-PublicAttitudesaboutAerialDroneActivities.pdf)
- Miron, M., Whetham, D., Auzanneau, M., & Hill, A. (2023). Public Drone Perception. *Technology in Society*, 73, 102246. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2023.102246>
- Mohamed, M. J., & Hassan, S. A. (2023). Studying the Factors that Influence the Adoption of Educational Technology in Mogadishu Secondary Schools Using UTAUT Model. *International Journal of Information and Education Technology*, 13(7). DOI:10.18178/ijiet.2023.13.7.1906
- Nelson, J. R., Grubestic, T. H., Wallace, D., & Chamberlain, A. W. (2019). The view from above: A survey of the public's perception of unmanned aerial vehicles and privacy. *Journal of urban technology*, 26(1), 83-105. DOI:10.1080/10630732.2018.1551106
- Nowell, L. S., Norris, J. M., White, D. E., & Moules, N. J. (2017). Thematic analysis: Striving to meet the trustworthiness criteria. *International journal of qualitative methods*, 16(1). DOI:10.1177/1609406917733847
- Othman, K. (2021). Public acceptance and perception of autonomous vehicles: a comprehensive review. *AI and Ethics*, 1(3), 355-387. <https://link.springer.com/article/10.1007/s43681-021-00041-8>
- Papa, U. (2023). Unmanned Aircraft Systems with Autonomous Navigation. *Electronics*, 12(7), 1591. DOI:10.3390/electronics12071591
- Park, G., Park, H., Park, H., Chun, N., Kim, S. H., & Lee, K. (2022). Public Perception of UAM: Are we ready for the new mobility that we have dreamed of?. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting (Vol. 66, No. 1, pp. 40-44)*. Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications. <https://doi.org/10.1177/1071181322661187>
- Reiche, C., Goyal, R., Cohen, A., Serrao, J., Kimmel, S., Fernando, C., & Shaheen, S. (2018). Urban air mobility market study. *Economics*. DOI:10.7922/G2ZS2TRG
- Riggs, W., Larco, N., Tierney, G., Ruhl, M., Karlin-Resnick, J., & Rodier, C. (2019). Autonomous vehicles and the built environment: exploring the impacts on different urban contexts. In *Road Vehicle Automation 5* (pp. 221-232). Springer International Publishing.
- Saraçyakupoğlu, T., Delibaş, H. D., & Özçelik, A. (2021). Bir İnsansız Hava Aracının İtki ve Manevra Hareketlerinde Gövde İçi Basıncı Hava Kullanımı. *Avrupa Bilim Ve Teknoloji Dergisi*(24), 81-86. <https://doi.org/10.31590/ejosat.898449>
- Schuchardt, B. I., Geister, D., Lükken, T., Knabe, F., Metz, I. C., Peinecke, N., & Schweiger, K. (2023). Air Traffic Management as a Vital Part of Urban Air Mobility—A Review of DLR's Research Work from 1995 to 2022. *Aerospace*, 10(1), 81. <https://doi.org/10.3390/aerospace10010081>
- Silva, A. T., Duarte, S. P., Melo, S., Witkowska-Konieczny, A., Giannuzzi, M., & Lobo, A. (2023). Attitudes towards Urban Air Mobility for E-Commerce Deliveries: An Exploratory Survey Comparing

- European Regions. *Aerospace*, 10(6), 536. Doi: 10.3390/aerospace10060536
- Smith, A., Dickinson, J. E., Marsden, G., Cherrett, T., Oakey, A., & Grote, M. (2022). Public acceptance of the use of drones for logistics: The state of play and moving towards more informed debate. *Technology in Society*, 68, 101883. Doi: 10.1016/j.techsoc.2022.101883
- Stolz, M., & Laudien, T. (2022). Assessing Social Acceptance of Urban Air Mobility using Virtual Reality. In *2022 IEEE/AIAA 41st Digital Avionics Systems Conference (DASC)*, 1-9. IEEE. Doi: 10.1109/DASC55683.2022.9925775
- Taherdoost, H. (2019). Importance of technology acceptance assessment for successful implementation and development of new technologies. *Global Journal of Engineering Sciences*, 1(3). Doi: 10.33552/GJES.2019.01.000511
- Tan, L. K. L., Lim, B. C., Park, G., Low, K. H., & Yeo, V. C. S. (2021). Public acceptance of drone applications in a highly urbanized environment. *Technology in Society*, 64, 101462. Doi: 10.1016/j.techsoc.2020.101462
- Tang, A. C. (2021). A review on cybersecurity vulnerabilities for urban air mobility. In *AIAA Scitech* 2021 *Forum*, 0773. <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20205011115/downloads/A%20Review%20of%20Cybersecurity%20Vulnerabilities%20for%20UAM%20Final%20Draft.pdf>
- Tuncal, A., & Uslu, S. (2021). Two Important Factors in the Development of the Urban Air Mobility Concept: ATM and Society. *KMU Journal of Social and Economic Research*, 23(41), 564-577.
- Wang, N., Mutzner, N., & Blanchet, K. (2023). Societal Acceptance of Urban Use of Drones: A Scoping Literature Review. Available at SSRN 4509569. Doi: 10.2139/ssrn.4509569
- Yedavalli, P., & Mooberry, J. (2019). An assessment of public perception of urban air mobility (UAM). Airbus UTM: Defining Future Skies, 2046738072-1580045281. <https://www.airbus.com/sites/g/files/jlcbta136/files/2022-07/Airbus-UTM-public-perception-study%20-urban-air-mobility.pdf>



© Author(s) 2023.

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



## Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/tiha>

e-ISSN 2687-6094



### Bir Fotogrametrik Bilgisayarlı Görü Tekniği olarak İHA Fotogrametrisi

Ozan Arslan <sup>1</sup>

<sup>1\*</sup> Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 41001, Kocaeli, Türkiye; (oarslan@kocaeli.edu.tr)



\*Sorumlu Yazar:  
oarslan@kocaeli.edu.tr

#### Araştırma Makalesi

**Alıntı:** Arslan, O. (2023). Bir Fotogrametrik Bilgisayarlı Görü Tekniği olarak İHA Fotogrametrisi. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 5(2), 59-71. (in English).

Geliş : 18.11.2023  
Revize : 12.12.2023  
Kabul : 19.12.2023  
Yayınlama : 31.12.2023

#### Özet

Geleneksel fotogrametriden farklı olarak, düşük maliyetli metrik olmayan dijital kameralarla farklı yüksekliklerden ve farklı açılardan çekilmiş görüntü verilerinin toplanmasına olanak sağlayan İHA-fotogrametrisi, bilgisayarlı görü ve fotogrametrinin kombinasyonunu içeren yöntemler ve iş akış sürecine sahiptir. Bu kapsamda kullanılmakta olan Hareket Tabanlı Yapısal Algılama (SfM) tekniği, İHA- tabanlı ortofoto ve 3B arazi modeli üretiminin standart tekniği haline gelmiştir. Bu nedenle literatürde SfM fotogrametrisi terminolojisi de kullanılmaya başlamıştır. Bu çalışmada birbirine yakın terminolojiye sahip ve iç içe geçmiş yöntem ve algoritmalara sahip bu teknikler (fotogrametri, İHA-fotogrametrisi, SfM fotogrametrisi) arasındaki ayrım ve benzerlikler kavramsal olarak ve bir uygulama pratiği açısından analiz edilecektir.

**Anahtar Kelimeler:** İHA- fotogrametrisi, SfM, çoklu- görüntü stereo, SIFT, demet dengelemesi.

### UAV Photogrammetry as a Photogrammetric Computer Vision Technique

\*Corresponding Author:  
oarslan@kocaeli.edu.tr

#### Research Article

**Citation:** Arslan, O. (2023). UAV Photogrammetry as a Photogrammetric Computer Vision Technique. *Turkish Journal of Unmanned Aerial Vehicles*, 5(2), 59-71.

Received : 18.11.2023  
Revised : 12.12.2023  
Accepted : 19.12.2023  
Published : 31.12.2023

#### Abstract

Unlike conventional photogrammetry, UAV-photogrammetry, which allows the collection of image data taken obliquely from different heights with low-cost non-metric digital cameras, has methods and workflow processes that include the combination of computer vision and photogrammetry. In this context, the Structure from Motion (SfM) technique has become the standard technique for UAV-based orthophoto and 3D terrain model production. For this reason, SfM photogrammetry terminology has also started to be used in the literature. In this study, the distinctions and similarities between these techniques (photogrammetry, UAV-photogrammetry, SfM photogrammetry), which have close terminology and intertwined methods and algorithms, will be analysed conceptually and in terms of application practice.

**Keywords:** UAV-photogrammetry, SfM, multi-view stereo, SIFT, bundle adjustment.



## 1. Introduction

Günümüzde İHA'ların sivil ve ticari görevler için yüksek bir potansiyele sahip olduğu bilinmektedir ve çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Çevresel izleme, doğal afet izleme ve acil durum yönetimi, tarım, karayolu trafik gözetimi, elektrik ve boru hattı denetimi, yenilenebilir enerji, doğal kaynaklar, yapısal izleme ve diğer yer gözlemlerinin yanı sıra İHA'ların fotogrametrik uygulamaları yaygınlaşmış olup mühendislik ve yer bilimlerinde yüksek talep görmektedir. Hava fotoğrafçılığı ve lidar kullanan dijital haritalama da hızla artmaktadır. Günümüzde yaygın olarak İHA fotogrametrisi olarak da adlandırılan İHA- tabanlı fotogrametri, topografik haritalama, sayısal arazi modelleme, kadastral haritalama, 3B haritalama ve modelleme, ortomozaik üretim, hacimsel araştırmalar, havadan incelemeler, jeolojik ve hidrolojik haritalama dahil olmak üzere birçok uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır. (Greenwood vd., 2019; Liu vd., 2014; Nex & Remondino, 2014).

Son yıllarda Hareket Tabanlı Yapısal Algılama (SfM: Structure from Motion) tekniği, ticari yazılımlar aracılığıyla İHA araçlarından elde edilen görüntülerin işlenerek yüksek çözünürlüklü sayısal yeryüzü modeli ve ortofoto haritaların üretilmesinde kullanılmaktadır. SfM tekniği, son yıllarda oldukça popüler olan, yüksek çözünürlüklü veri kümeleri üzerinde geniş ölçekte çalışmayı mümkün kılan, devrimsel nitelikte, düşük maliyetli ve kullanıcıya çeşitli avantajlar sağlayan bir fotogrametrik bilgisayarlı görü tekniğidir. SfM ve çoklu-stereo görüntü (MVS: Multi view stereo) gibi özellik belirleme algoritmalarını kullanan İHA- tabanlı fotogrametri tekniği, İHA ile ilişkili konum belirleme/kestirim sorunlarını en aza indirmektedir. SfM yönteminin çeşitli aşamalarında farklı algoritmalar kullanılmaktadır. Fotogrametrik prensipler SfM iş akışına dahil edilmiş olup bilgisayarlı görü (computer vision) algoritmalarındaki gelişmelerden kaynaklanan yönleri de vardır (Micheletti vd., 2015; Iglhaut vd., 2019; Fonstad vd., 2013).

Belirtilen gelişmelere paralel olarak ilgili bilimsel topluluklar ve yayınlanmış bilimsel çalışmalarda konu ile ilgili kavram ve terminolojilerde bir karışıklık olduğu da gözlenebilmektedir. Literatürde SfM fotogrametrisi, SfM-MVS fotogrametrisi, İHA fotogrametrisi, İHA-SfM fotogrametrisi vb. şeklinde isimlendirmelere rastlanmakta; bu adlandırmaların geleneksel fotogrametriden olan farklılıkları ve benzerlikleri konusunda net ayrımlar yapılmaksızın birbirleri yerine kullanıldığı gözlenebilmektedir. Bu açıdan öncelikle geleneksel fotogrametri ile İHA fotogrametrisi arasındaki ayrımı açık biçimde ortaya

koymak yararlı olacaktır. Buradaki soru, bu iki farklı adlandırmayı hak edecek kadar farklı olup olmadıklarıdır.

İlk bakışta farklılaşmanın ana noktası, İHA-fotogrametrisinin insansız hava araçlarına yerleştirilmiş görüntü sensörlerine dayalı 3B uzay/ nesne modellemesine atıfta bulunması, geleneksel fotogrametrisinin ise klasik insanlı hava platformlarına dayanmasıdır. Ancak ayrımı oluşturan tek unsur platformlar değildir, kullanılan teknik süreç ve prosedürler açısından farklılıklar söz konusudur. Her ikisi de aynı analitik ve geometrik kavramlara, aynı fotogrametrik ölçüm sistemine ve güvenilir jeo-mekansal veriler üretmek için aynı arazi uygulamalarına dayanmaktadır. Bu konuyu açıklığa kavuşturmak için, son kullanıcının bakışı açısından, İHA-fotogrametrisi olarak adlandırılan bir işlemin geleneksel bir uygulamaya kıyasla çok daha kolay, erişilebilir, daha ucuz, daha hızlı ve çoklu-görev niteliğinde olduğu kabul edilmelidir. Geleneksel fotogrametri olarak adlandırılan yöntemde görüntülerin, fotogrametri uzmanları tarafından geliştirilen yüksek performanslı fotogrametrik iş istasyonlarında işlenecek düzenli resim blokları oluşturarak, iyi tanımlanmış boyuna ve enine bindirmelerle, iyi işlenmiş bir ortamda, nesnenin/ arazinin nadir doğrultusunda çekilen geniş formatlı dijital metrik kameralarla elde edildiği hatırlanmalıdır. Öte yandan, İHA-fotogrametrisi olarak adlandırılan yöntem, düşük maliyetli metrik olmayan dijital kameraların, değişik açılardan/eğik görüntülerinin kullanılmasına ve farklı yüksekliklerden görüntü verilerinin toplanmasına izin vererek bu kısıtlamaları azaltmaktadır. Ayrıca, veri işleme, genel olarak, fotogrametrik haritalama konusunda çok az deneyime sahip bilgisayarlı görü uzmanları tarafından geliştirilen programlarla kolaylıkla gerçekleştirilebilmektedir.

Bu iki teknik yaklaşımın sonucu olarak, analitik veri işleme ve kullanıcı arayüzleri oldukça farklıdır. Geleneksel fotogrametri, iyi bilinen doğrusallık denklemlerine, görüntü eşleştirmeye ve blok demet dengelemesi ile fotogrametrik hava nirengisine dayanır. Öte yandan, İHA-fotogrametrisi ise, bilgisayarlı görü ve görüntü işlemenin entegrasyonu, Çoklu- Görüntü Stereo (MVS) algoritmaları ve 'ölçekten bağımsız özellik dönüşümü (SIFT)' operatörleri ile eşleştirilen SfM tekniğiyle sonuçlanmıştır (Lowe, 2004; Snavely vd., 2008). Bu da çok az kullanıcı etkileşimi ile uzayda kamera konumlandırma ve yöneltme ile geometrik problemi otomatik olarak çözerek, İHA-fotogrametrisi olarak adlandırılan tekniği fotogrametrisi olmayanlar tarafından jeo-mekansal veri toplamak için kullanımı kolay bir araç haline getirmiştir. Sonuçta kamera

kalibrasyonu, iç yöneltme, bağlama (anahtar) noktaları tespiti, YKN ölçümleri veya dış yöneltme için IMU sistemi kurulumlarıyla eşleştirilmiş doğrudan GNSS coğrafi konumlandırmasını içeren tüm işlem adımları her ikisi için de aynı olsa bile, İHA-fotogrametrisi kullanıcıları bunu neredeyse hiç fark etmemektedir.

Bir İHA'dan görüntülenen bir sahnenin veya nesnenin üç boyutlu (3B) doku kaplanmış modelinin oluşturulmasında, otomatik dış yöneltme ve 3B nokta bulutu oluşturma sürecinde SfM tekniğinin, kullanıcısı için 'kara kutu' niteliğinde, yani kapalı özellikte oluşu göz önünde bulundurulmalıdır. Kavramsal düzeyde ve algoritmik açıdan bakıldığında, SfM tekniğinin bazı örtüşmelerin varlığına rağmen fotogrametride olduğu gibi 'metrik kalite'de sonuç ürünler veren ve görüntüye dayalı bir 3B ölçüm, nesne yeniden yapılandırma ve haritalama süreci olarak değerlendirilmesi tartışmalı bir konudur. Buna rağmen bu teknikle fotogrametri disiplini arasında belirgin bir etkileşim, geçişlilik ve entegrasyon olması nedeniyle literatürde bazen 'SfM fotogrametrisi' adlandırması da yapılmıştır (ki tartışmalıdır!). Öte yandan SfM tekniğini, özensiz bir dil kullanımıyla ve yalnızca bir 'görüntü eşleştirme algoritması' olarak ele alan/adlandıran bazı yerli çalışmalar da mevcuttur. Şekil 1'den de açıkça görülebileceği gibi bu teknik, bir görüntü eşleştirme yönteminden daha fazlasıdır. Diğer taraftan ilgili meslek camialarında İHA fotogrametrisinde kullanılan yöntem ve algoritmaların birebir geleneksel fotogrametri ile aynı olduğunu varsayan ve aralarındaki farklılığın sadece platformdan ve platformla ilgili bazı kısıtlardan kaynaklandığını düşünenlerin sayısı az değildir. Bu nedenle belirtilen tüm bu teknikleri, kavramsal süreç ve kullanılan prosedürler açısından karşılaştırmalı olarak inceleyen ve özelliklerini bir uygulama örneği ile irdeleyerek tartışan bu çalışma, makalenin odak noktasını oluşturmaktadır.

## 2. Fotogrametrik Bilgisayarlı Görü

Fotogrametri ve bilgisayarlı görü, özünde farklı disiplinler olsa da hem fotogrametri hem de bilgisayarlı görü, ortak ve geniş ölçüde örtüşen bir teorik temeli paylaşmaktadır. Bu durum özellikle hava fotogrametrisinin tarihsel mirası göz ardı edildiğinde ve yakın resim fotogrametrisi daha genel bir durum olarak düşünüldüğünde ve böylelikle topografik uygulamalar için hava görüntüleri özel örnekler olarak ele alındığında geçerlidir. Fotogrametrinin talep ettiği 'metrik bütünlük', her zaman geometrik doğruluktan ziyade nesne yeniden yapılandırmanın (rekonstrüksiyon) 'gerçekçiliğine' odaklanan bilgisayarlı görü ile çalışmaktadır. Bilgisayarlı görü ve fotogrametrideki yöneltme modelleri temelde eşdeğer

olsa bile, fotogrametride benimsenmiş olan kesin kurallara bağlı doğrusal olmayan çözümler, bilgisayarlı görüde doğrusal olarak ele alınmaktadır. Ama yine de bu durum bilgisayarlı görünün fotogrametride potansiyeli olan yönlerini vurgulamamıza engel değildir. İki disiplin arasındaki örtüşme, geçişlilik ve etkileşim, gittikçe daha fazla entegrasyon ve işbirliğine yol açmakta ve "fotogrametrik bilgisayarlı görü"(photogrammetric computer vision) disiplini olarak adlandırılmaktadır. Öte yandan iki disiplin arasında dil birliği açısından 'epipolar' ve "demet dengelemesi" gibi birçok ortak terim olmasına rağmen, Tablo 1'de gösterildiği gibi terminolojik açıdan bazı farklılıklar da mevcuttur (Granshaw & Fraser, 2015).

**Tablo 1. Terminolojik Karşılaştırma.**

| Bilgisayarlı Görü                         | Fotogrametri               |
|-------------------------------------------|----------------------------|
| Stereo eşleme problemi                    | Görüntü eşleştirme/eşleme  |
| Temel matris (fundamental matrix) yöntemi | Karşılıklı yöneltme        |
| Temel (fundamental) matris                | Eş düzlemsellik koşulu     |
| İçsel parametreler                        | İç yöneltme parametreleri  |
| Dışsal parametreler                       | Dış yöneltme parametreleri |
| Mutlak konik görüntüsü                    | Self-kalibrasyon teorisi   |
| Triangulasyon                             | Uzaysal Kestirme           |
| Trifokal tensör                           | Üçlü-stereoskopik görüntü  |
| Maliyet fonks. min. yapma                 | En küçük kareler kestirimi |
| Kamera veya optik merkezi                 | İzdüşüm merkezi            |
| Kamera koordinat sistemi                  | Resim koordinat sistemi    |
| Dünya koordinatları                       | YKN /cisim koordinatları   |
| Kanonik yapılandırma                      | Normal durum               |

Fotogrametrik bilgisayarlı görü genel bir ifade ile; kamera kalibrasyonu ve yöneltme ile geometrik görüntü özelliklerine dayalı nesne/ sahne yeniden yapılandırması (geriçatım, rekonstrüksiyon) için gerekli olan çoklu görüntü analizinin geometrik yapısına istatistiksel bir bakış açısı sunmaktadır.

Günümüzde, yüksek kaliteli kameralar kullanılarak havadan yapılan topoğrafik haritalama uygulamalarında geleneksel fotogrametrinin hakimiyeti tartışılmazdır. Çalışma alanı veya "nesne"si sıklıkla dünya yüzeyinin bir bölümüdür. Öte yandan, bilgisayarlı görü tamamen dijital bir ortamda, metrik olmayan kameralar kullanılarak çok az kısıtlama ile gerçekleştirilebilir. Ayrıca bilgisayarlı görüde görüntülenen nesnelerin çoğu insan yapımıdır ya da dünya yüzeyinin bir kısmı değil insanların kendisidir. Sıklıkla hava fotogrametrisinin 3B koordinatları bilgisayarlı görüde yalnızca 2.5B olarak kabul edilir. Fotogrametrik sistemler, doğruluk, güvenilirlik ve

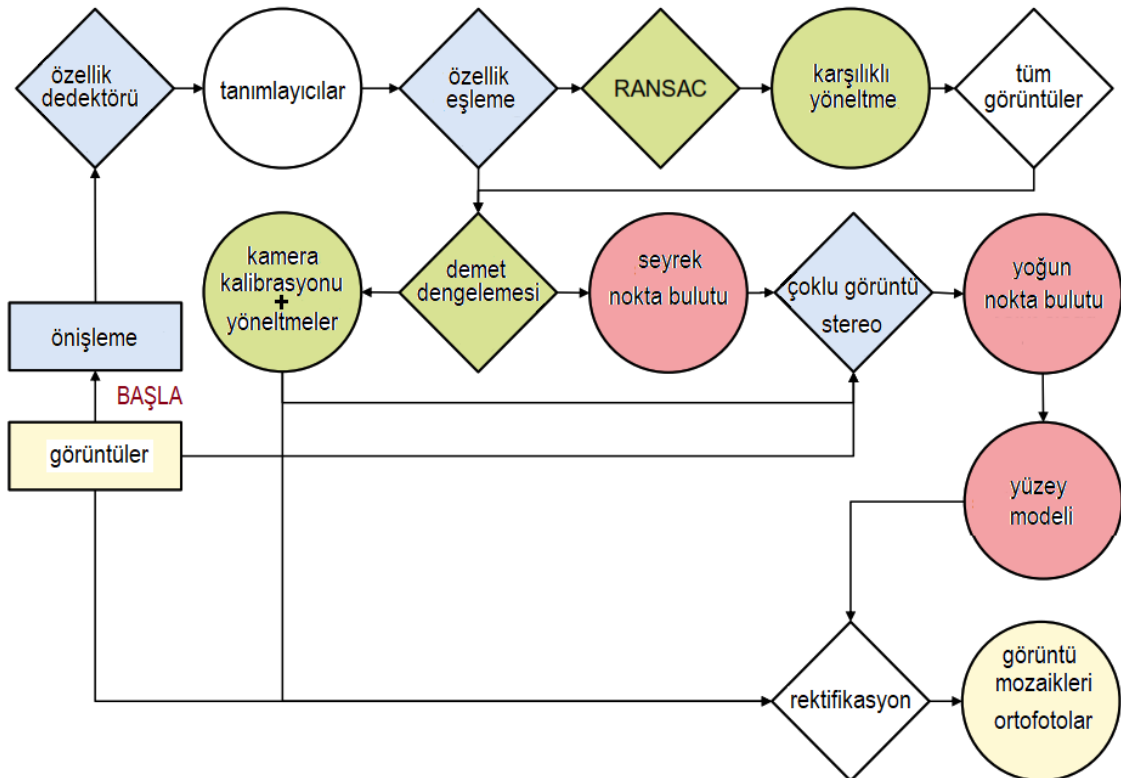
süreç sağlamlığı ve performansı konusunda zorlu gereksinimleri olan ve "metrik ölçüm yapan" bir son kullanıcı topluluğu için geliştirilmiştir. Bilgisayarlı görü ise herhangi bir 'son kullanıcı' topluluğuna karşı sorumluluk taşımadan, hakkında minimum ön bilgi bulunan görüntülerin otomatik olarak işlenmesi yoluyla mümkün olduğunca fazla bilgi çıkarımına odaklanmıştır. Fotogrametrik teknikler ve bilgisayarlı görü teknikleri iç içe geçmiştir ve aralarında geçişlilik vardır, öyle ki bir şekilde "bilgisayarlı görü topluluğundan çıktığı" söylenebilecek bazı ticari sistemler/yazılımlar, fotogrametrik modeller içermektedir ve belki de bu sayede geniş bir ticari pazara sahip olabilmişlerdir.

## 2.1. Hareket Tabanlı Yapısal Algılama (SfM)

En az 1979 yılına dayanan bir geçmişe sahip olan SfM tekniği, bir nesnenin veya yapının (structure) bir kameranın hareketinden (motion) üç boyutlu olarak yeniden oluşturulmasını sağlar. Burada 'hareket' teriminden kamera hareketini/ yer değiştirmesini, 'yapı' teriminden ise hem nesneyi hem de geometrisini anlamak gerekir. Hedeflenmemiş görüntü setleri için, Hareket Tabanlı Yapısal Algılama (SfM) terimi altında, kategorize edilebilecek bir dizi yerleşik yöntem ve algoritma vardır (Vasuki vd., 2014; Westoby vd., 2012). Tipik olarak, aslında ön bilgiye ihtiyaç duymadan bir görüntü çiftinin karşılıklı (eşleşen) noktalarından karşılıklı yöneltmesi için kapalı biçimde bir çözüm

vardır. Denenmiş ve test edilmiş iş akışları, görüntü işleme algoritmaları, sağlam (robust) yöneltme yöntemleri, self-kalibrasyon ile demet dengelemesi, stereo görüntü analizi ve nokta bulutu işlemenin bir kombinasyonunu kullanmaktadır (bkz. Şekil 1).

Bu iş akışlarının SfM tarafından başlatıldığı, ancak daha sonra bir fotogrametrik süreci takip ettiği söylenebilir. Genellikle SIFT olan bir ilgi veya özellik dedektörü uygulanmadan önce tüm görüntüler ön işleme tabi tutulur. Tespit edilen özellikler eşleştirildikten sonra bu detaylar, bir ilk görüntü çiftinin RANSAC tabanlı karşılıklı yöneltmesinde kullanılır. Bu başlangıç stereo modelinin seçimi kritik öneme sahiptir. Bu işlemin ardından kalan tüm görüntüler, bir demet dengelemesi ile işlenmeden önce 'başlangıç modeli'ne göre yönlendirilir. İsteğe bağlı ek veri koşulları (referans noktaları) eklenebilir ve eş zamanlı kamera kalibrasyonu hesaplanabilir. Bu aşamada, demet dengelemesi ile kestirimi yapılan nesne koordinatları halihazırda bir seyrek nokta bulutunu temsil eder. Daha yoğun bir yüzey modeli gerekli olduğunda, sıklaştırılmış- yoğun bir nokta bulutu ve dolayısıyla tam bir yüzey modeli oluşturmak için çoklu-görüntü stereo (MVS) yöntemi kullanılabilir. Yöneltilmiş görüntülerden ve yüzey modellerinden ortofotolar veya görüntü mozaikleri elde edilebilir (Ullman, 1979; Carrivick vd., 2016; Förstner & Wrobel, 2016; Westoby, 2012; Javernick vd., 2014; Sith vd., 2015).



Şekil 1: SfM tekniği diyagramı (Förstner & Wrobel, 2016).

İyi bir yüzey dokusu, uygun şekilde çekilmiş bindirmeli görüntüler ve önceden kalibre edilmiş veya görüntü alımı sırasında en azından stabil bir kamera kullanılmışsa, SfM tekniği genellikle başarılı sonuçlar vermektedir.

Otomatik olarak yönltilmesi gereken çoklu görüntü konfigürasyonunda işlem genellikle tüm görüntülerde özellik (detay) çıkarma ve ardından özellik tabanlı eşleştirmeden (matching) oluşur. RANSAC yöntemleriyle, potansiyel olarak tekrarlanan demet dengelemesi ile birleştirilmiş karşılıklı yönltilmenin sağlam (robust) hesaplanmasından sonra, tüm görüntüler için son bir demet dengelemesi hesaplanır. Tüm bu strateji sürecinin adımları Şekil 1’de özetlenmiştir.

Görüntü setlerinden yoğun nokta bulutu elde edilmesini sağlayan SfM sürecinin şematik iş akışı (giriş verileri, temel iş adımları, prosedürler ve sonuç çıktılar) ise Şekil 2’de gösterilmektedir. Nokta bulutu, görüntüler ve/veya yer kontrol noktaları için konumsal bilgiler sağlanarak coğrafi olarak referanslandırılır. SfM, bindirmeli 2D görüntü dizilerinden 3D modelleri kestirmek/ hesaplamak için kullanılır. Önceki bölümde belirtildiği üzere kamera parametreleri hakkında önceden bilgi sahibi olmadan sırasız ve heterojen görüntü kümeleriyle çalışabilme yeteneği nedeniyle son yıllarda popülerlik kazanmıştır. SfM tekniği, geleneksel fotogrametriden temel olarak üç açıdan farklıdır:

(1) farklı ölçeklerdeki, görüş açılarındaki ve yönlerdeki görüntülerde özellikler (detaylar) otomatik olarak tanımlanabilir ve eşleştirilebilir, bu da özellikle küçük ve stabil olmayan platformlar düşünüldüğünde fayda sağlar,

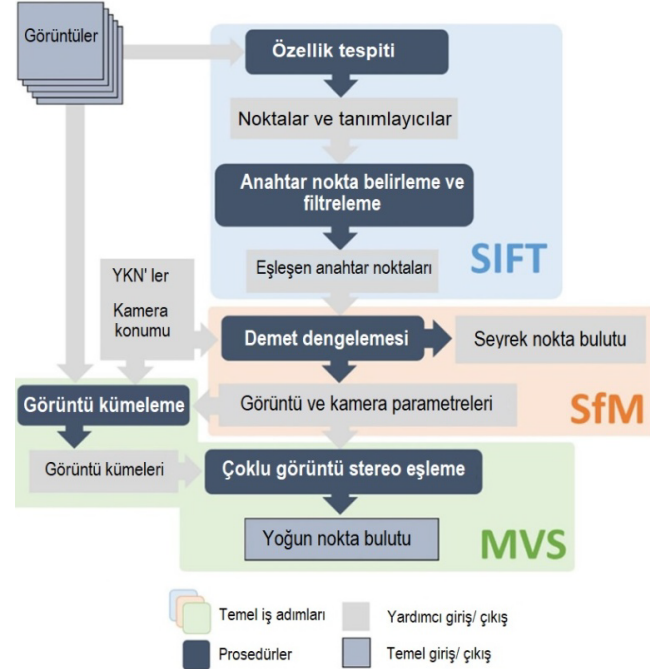
(2) algoritmada kullanılan denklemler kamera konumları veya yer kontrol noktaları bilgisi olmaksızın çözülebilir, ancak her ikisi de algoritmaya eklenebilir ve kullanılabilir,

(3) kamera kalibrasyonu işlem sırasında otomatik olarak çözülebilir veya sonradan iyileştirilebilir.

Böylece SfM, bindirmeli görüntülerde, kamera pozlarında ve kalibrasyonlarda kesin bir homojenlik gerektirmeden otomatik olarak fotogrametrik modeller üretebilir. 'SfM fotogrametrisi' genellikle görüntü setinden yoğun nokta bulutuna kadar tüm yeniden yapılandırma iş akışını tanımlamak için kullanılır. Bazı çalışmalar seyrek nokta bulutunu nihai ürün olarak kullansa da, çoğu durumda MVS gibi yoğun görüntü eşleştirme algoritmaları, nokta bulutunu yoğunlaştırmak/sıklaştırmak için sonraki bir adımda kullanılır. Bu nedenle tüm süreç bazı kaynaklarda SfM-MVS olarak da adlandırılmıştır. Şekil 2 tüm SfM-MVS sürecinin şematik iş akışını içermektedir.

SfM süreci, görüntülerdeki anahtar noktaların (yani belirgin kontrast veya dokuya sahip noktalar/ piksel

kümeleri) otomatik olarak çıkarılmasıyla başlar. Anahtar noktalar tüm görüntülerde tanımlanır ve daha sonra izdüşüm yaptıkları görüntüler arasında eşleştirilir. SIFT yöntemi ve versiyonları, SfM’de anahtar nokta (key point) tanımlama ve eşleştirme için kullanılan en yaygın algoritmalar (Lowe, 2004; Juan & Gwun, 2009; Remondino & El-Hakim, 2006).



Şekil 2: SfM tekniğinde iş akışı (Iglhaut vd., 2019).

SIFT, her görüntüdeki her nokta için sayısal 'tanımlayıcılar' üretir. Bu tanımlayıcılar ölçek ve dönüklüğe karşı değişmezdir, bu nedenle farklı perspektiflerden ve farklı koşullar altında çekilen resimlerdeki noktaları veya nesneleri tanımlamak için uygundur. Ardından, anahtar nokta eşleşmelerinin tutarlılığı, görüntülerin geometrisinin kaba/ yaklaşık bir yeniden yapılandırması ve anahtar noktaların bunlar üzerindeki karşılıklı konumu kullanılarak kontrol edilir.

Yeterli sayıda görüntü ve anahtar nokta eşleşmesi verildiğinde, SfM kamera poz bilgilerini (kamera konum ve yöneltme) ve parametrelerini ve sahnenin seyrek bir 3B nokta bulutunu (farklı görüntülerde eşleşen anahtar noktaların konumundan oluşan) eşzamanlı olarak hesaplamak için demet dengelemesini gerçekleştirir. Demet dengelemesi, (i) rastgele seçilen eşleşen anahtar noktaların dizilerinden elde edilen başlangıç değerleri ve tamamlayıcı olarak kamera ve pozlardan elde edilen parametreler ve (ii) doğrusal olmayan bir iyileştirme kullanılarak çözülür. Ardından, SfM'nin çıktıları, yer kontrol noktalarına (YKN'ler) ve/veya kameradan veya platformundan navigasyon cihazlarından gelen verilere dayalı olarak ölçeklendirilir ve coğrafi olarak referanslandırılır.

SfM'den elde edilen kamera poz bilgileri ve parametreleri daha sonra MVS algoritmaları kullanılarak yoğunlaştırılmış bir nokta bulutu oluşturmak için uygulanır. MVS sıklaştırma işleminden önce, hesaplama verimliliği ve hatta uygulanabilirlik için, görüntüler konumlarına göre gruplandırılır. Bu şekilde, her bir kümenin (yani görüntü grubunun) yoğun nokta bulutu ayrı ayrı hesaplanır. Giriş görüntülerinden türetilen renk/spektral bilgileriyle yoğun bir nokta bulutu, SfM iş akışının birincil çıktısını temsil eder. Sonraki işleme adımları tipik olarak bir dijital yüzey modelinin (DSM) ve bir ortomozağin türetilmesini sağlar.

Geleneksel fotogrametride elde edilecek sonuçlar büyük ölçüde giriş verilerine (sensör ve görüntü verileri, uçuş planlaması ve parametrelerin tasarımı vb.) bağlı olarak etkilenir. Bilgisayarlı görü ile özellikleri tanımlamak ve eşleştirmek için otomatik bir süreç kullanan SfM ise temelde görüntü kalitesine bağlıdır. Sensörler, ayarlama/ kurulumlar ve alım tasarımları büyük bir dikkatle değerlendirilmelidir. Her durumda, (i) ortamdan gelen etkiler (aydınlatma koşulları), (ii) platform (İHA, direk, tripod veya el tipi) ve (iii) kamera ve lens kombinasyonu ('pozlama üçgeni: ISO, örtücü hızı ve açıklık', odak uzaklığı, sensör boyutu) gibi bir dizi kısıtlama göz önüne alındığında optimum görüntü verilerinin elde edilmesini sağlamak için kamera ayarlamalarının dikkate alınması gerekir.

Özel test alanlarında gerçekleştirilmiş ve SfM tekniğini kullanan bir sistem/ yazılım aracılığıyla üretilen haritaların ve 3B modellerin kalitesi hakkındaki teknik bulguları paylaşan deneysel çalışmalara literatürde sıklıkla rastlanmaktadır. Bu çalışmada ise tasarlanmış özel bir test alanı ve farklı uçuş parametre kombinasyonu kullanmaksızın rutin olarak gerçekleştirilen bir mesleki uygulamanın sonuçları irdelenecektir.

## 2.2. Literatürde Konuyla İlgili Çalışmalar

Esnek yapıları ve insanlı hava platformlarına kıyasla düşük maliyetleri nedeniyle fotogrametrik veri toplama için popüler bir platform haline gelen İHA'lar aracılığıyla; yoğun nokta bulutları, sayısal yükseklik modelleri ve ortomozaikler gibi ürünler, sadece az sayıda yüksek hassasiyetli YKN kullanılarak santimetre düzeyinde doğrulukla rutin olarak elde edilebilmektedir (Lucieer vd., 2014; Peppas vd., 2016; Reshetyuk & Martensson, 2016; Murthy vd. & Grussenmeyer, 2017).

Geleneksel GPS destekli hava triyngulasyonunda olduğu gibi, İHA görüntüleri güçlü bir blok geometrisi içeriyorsa, görüntü bağlama noktalarının yoğun ve düzenli bir dağılımını sağlamak için iyi, tutarlı bir sahne dokusu varsa, kamera (izdüşüm merkezi)

yükseklikleri blok demet dengelemesinde yüksek doğrulukla hesaplanabilir. Dahası, bu konfigürasyonda, mevcut hafif IMU gözlemlerinin nispeten düşük doğruluğu, geleneksel entegre sensör yöneltmesine göre demet dengelemesinde çok az ek kısıtlama getirir (Rehak & Skaloud, 2015; Stöcker vd., 2017). Bu nedenlerle, İHA fotogrametrisinde YKN'leri kaldırmaya yönelik yaklaşımlar genellikle yalnızca kamera konumlandırması ile ilgilidir (Gerke & Przybilla, 2016).

Doğrudan jeoreferanslama kullanılarak elde edilen İHA nokta bulutlarının doğruluğunu etkileyen önemli bir faktör (dolayısıyla YKN'lerin yokluğunda) GPS tabanlı kamera konumlarının kalitesidir. Blok geometrisi, görüntü ölçüm kalitesi ve yer örnekleme aralığı (YÖA) gibi diğer faktörlerin yanı sıra, santimetre düzeyinde doğruluğa sahip GPS konumları da santimetre hassasiyetinde haritalama yapılmasına yardımcı olmaktadır (Turner vd., 2014).

İHA fotogrametrisi ile elde edilen ürünlerin doğruluğunu değerlendirmek için çok sayıda çalışma yapılmıştır. Birçok yazar belirli parametrelerin, elde edilen ürünlerin doğruluğu üzerindeki etkisini incelemiştir. Agüera-Vega vd. (2016), uçuş yüksekliği, arazi morfolojisi ve YKN sayısının Sayısal Yüzey Modeli (DSM) ve ortofoto doğruluğu üzerindeki etkisini incelemiştir. Amrullah vd. (2016), İHA fotogrametri projelerinde hassasiyeti ve doğruluğu artırmak için metrik olmayan eğik ve düşey kameranın YKN'lerin konfigürasyonu ile birlikte kombinasyonunun etkisini test etmiştir. Dandois vd. (2015), orman yapısının bilgisayarlı görü İHA kestirimleri için en uygun yükseklik, bindirme oranı ve hava koşullarını incelemiştir. Mesas-Carrascosa vd. (2016), arkeolojik alanların araştırılması için İHA ortomozaiklerinin oluşturulmasında uçuş parametrelerinin (yer seviyesinden uçuş yüksekliği, boyuna ve enine bindirme ve YKN'lerin kullanımı veya eksikliği) etkisinin bir analizini gerçekleştirmiştir.

Vautherin vd. (2016) geleneksel (sarmal deklanşör/örtücü olmayan) kamera modellerini, hem coğrafi referanslı kontrol noktalarının doğruluğu hem de hareket tabanlı kestirimin kalitesi açısından yeni uygulanan bir sarmal deklanşör modeliyle karşılaştırmıştır. Ayrıca, İHA'nın hızının (ve yönünün) yalnızca kameranın sarmal deklanşör etkisinden tahmin edilebileceğini göstermeyi başarmışlardır. Jaud vd. (2016) ile Murthy vd. & Grussenmeyer (2017), farklı yazılım uygulamaları tarafından hesaplanan 3B yeniden yapılandırmanın doğruluğunu değerlendirmiştir. Wierzbicki vd. (2015) İHA görüntü kalitesinin ortofoto üretimi üzerindeki etkisini incelemiştir. Yapılan doğruluk analizine göre, kötü hava koşullarında (bulutlu, yağışlı) elde edilen görüntülerin fotogrametrik ürünün nihai kalitesini ve doğruluğunu ortalama %25 oranında düşürdüğü

belirtilmiştir. Eisenbeiss ve Sauerbier (2011) fotogrametrik uygulamalar için İHA sistemleri ve uçuş modları üzerine bir araştırma gerçekleştirmiştir.

Optik ve lazer tarama sistemleri gibi nokta bulutu üretim teknolojileri arasında lazer tarayıcılar, yoğunluk/yansıtma değerleri ile birlikte doğrudan 3B konumsal veri sağlamaktadır. Bu tür bir ölçüm sistemi, yersel lazer tarayıcılarda (TLS), havadan lazer tarayıcılarda (ALS), el tipi veya sırt çantası lazer tarayıcılarda veya LiDAR monte edilmiş İHA haritalama sisteminde ortaya çıkmaktadır (Chen vd., 2019). İHA görüntüleri ve LiDAR nokta bulutu verileri birbirini tamamlayıcı niteliktedir ve birinin zayıflığı diğerinin gücü ile aşılabildiğinden, bu ikisinin kombinasyonu; 3B yeniden yapılandırma ve modellemenin doğruluğunu, eksiksiz olma özelliğini ve verimliliğini artırır. Yapılan birçok çalışma, 3B modelleme (Remondino & El-Hakim, 2006), değişiklik tespiti (Islam vd., 2018), bina çıkarımı (Dornaika vd., 2016), nesne tanımlama (Kent vd., 2015), 3B nesne modelleme (Prieto vd., 2020) ve 3B ağaç taç örtüsü analizi gibi çok sayıda uygulama için, bu veri füzyonunun önemini doğrulamıştır. Bir İHA fotogrametrisi projesinde YKN tesis, ölçü ve hesaplama işlemlerinin zaman alıcı ve maliyet açısından verimsiz görevler olması nedeniyle, İHA fotogrametrik ağında hava triangulasyonu gerçekleştirmek için 3B LiDAR mobil haritalama sistemi ölçümlerinden de yararlanılmaktadır. Tamamlayıcı bilgi olarak İHA görüntülerinin entegrasyonu, bir üretim hattındaki otomasyon seviyesini artırmanın yanı sıra ölçüm süresini de azaltmayı sağlamaktadır. Test veri setleri üzerinde gerçekleştirilen analizlerin yeniden- projeksiyon hatası, birkaç santimetre doğruluğuna karşılık gelen yarım piksel boyutunda bir doğruluk göstermiştir (Naimae vd., 2023).

İHA fotogrametrisi sonucu elde edilen ürünlerin doğruluğunu etkileyen faktörler arasında, YKN'lerin sayısının ve çalışma alanındaki dağılımının etkisi özellikle önemlidir. İHA fotogrametrisi ile elde edilen ürünleri optimize etmeye çalışmak için farklı YKN dağılımları incelenmiştir. Test edilen tüm dağılımlar arasında en iyi sonuçlar, kenar dağılımı ve katmanlı dağılım ile elde edilmiştir. Buna göre planimetrik hataları en aza indirmek için YKN'leri çalışma alanının kenarına yerleştirmek gerektiği ifade edilmiştir. Buna ek olarak, yükseklik hatalarını en aza indirmek için çalışma alanı içinde yaklaşık  $0,5-1 \text{ YKN} \times \text{ha}^{-1}$  yoğunluğunda katmanlı bir dağılım oluşturulması tavsiye edilmiştir. Bu iki dağılımın kombinasyonu elde edilen toplam hatayı minimum seviyeye indirebilmektedir (Martínez-Carricondo vd., 2018). Rangel vd. (2018) YKN'lerin görüntü bloğuna göre (çevresel ve dahili olarak) mekansal dağılımını incelemiş ve YKN'lerin bloğun içine dahil edilmesinin

planimetrik hatayı önemli ölçüde iyileştirmediğini; ancak yükseklik hataları söz konusu olduğunda, YKN sayısı arttıkça hatanın önemli ölçüde azaldığını ortaya koymuşlardır. Ayrıca yazarlar, en iyi sonuçlar için, üç ila dört zemin taban mesafesi (uçuş bazı) yatay ayrımı ile blok içindeki YKN'lerin düzgün bir dağılımının sağlanması gerektiğini ifade etmişlerdir. Martínez-Carricondo vd. (2018) YKN'lerin sayısının ve mekansal dağılımlarının etkisini araştırmış; planimetrik hataların en aza indirilmesi için YKN'leri çalışma alanının kenarına yerleştirmenin ve altimetrik hataları en aza indirmek için yaklaşık  $1,7 \text{ GCP/ha}$  yoğunlukta katmanlı bir dağılım oluşturma gerekliliğini ortaya koymuşlardır.

İHA tabanlı görüntü bloklarını oluştururken ele alınması gereken bir diğer konu, demet dengelemesi esnasında iç yöneltme parametrelerinin yeterli doğrulukta kestirilmesi gerekliliğidir. Bu süreç, kameranın fiziksel kararlılığı bilinmediği için ek olarak başka bir belirsizlik kaynağı oluşturabilir. Çapraz uçuş modelleri ve farklı uçuş yüksekliklerinin self-kalibrasyon sürecini daha güvenilir hale getirebileceği gösterilmiştir. İlgili birçok makalede, İHA tabanlı görüntü bloklarının dolaylı sensör yöneltmesini desteklemek için YKN'lerin kullanımı analiz edilmiştir. Bir husus, YKN'lerde ihtiyaç duyulan konumsal doğrulukla ilgilidir. Görüntü yöneltmesinde piksel düzeyinde mutlak doğruluk hedefleniyorsa, bu durum uygun referans bilgisine ihtiyaç duyulduğu anlamına gelmektedir. Günümüzde, İHA projelerinde 2 - 3 cm'lik bir YÖA kolayca elde edilebildiğinden; arazideki 3B noktaların en azından son teknoloji GNSS-RTK teknolojisi veya yersel elektronik ölçme aletleri ile ölçülmesi gerektiği anlamına gelmektedir (Gerke & Przybilla, 2016).

Sanz-Ablanedo vd. (2018) doğrudan coğrafi konumlandırma doğruluğunun belirlenmesine ilişkin farklı çalışmaları derlemişler ve genel bir sonuç olarak, yükseklik doğruluğunda desimetrenin altında bir doğruluk isteniyorsa, YKN'lerin proje tasarımına dahil edilmesi gerektiğini ortaya çıkarmışlardır. SfM tabanlı İHA ile sayısal yükseklik modeli (SYM) üretimi ile ilgili olarak hassas yer kontrol noktalarına dayalı uygun coğrafi konumlandırma kullanılırsa, birkaç desimetreden daha az çözünürlük ve doğrulukta bir SYM üretimi mümkündür (De Haas vd., 2014). Aynı sahaya odaklanmış zaman serileri biçiminde SYM'ler arasındaki koordinat farklılıkları, jeoreferanslama için yalnızca YKN'ler kullanılması durumunda sadece YKN konumlarına ve koordinatlarının ölçüm doğruluğuna bağlıdır (Clapuyt vd., 2016). İHA-SfM ile elde edilen SYM'ler sadece hava fotoğraflarından kaynaklanan dönüklük hatalarını değil, aynı zamanda jeoreferanslama belirsizliği ile ilgili ölçek hatalarını da içerir (Carbonneau & Dietrich, 2017).



### 2.3. SfM Tabanlı İHA Fotogrametrisi Uygulama Örneği

Son yıllarda, Gerçek Zamanlı Kinematik (RTK-GNSS'li) insansız hava sistemleri, İHA fotogrametrik uygulamalarında son teknoloji ürünü olarak görülmektedir. RTK-GNSS ile donatılmış İHA sistemlerinin kullanımı, bu sensörlerle ulusal koordinat sisteminde 2-3 cm'lik bir konumlandırma doğruluğu sunmaktadır. Sonuçta kontrol noktalarının önemli ölçüde azaltılması mümkün hale gelmiştir, bu da RTK-GNSS tabanlı platformların kullanımını birçok uygulama için daha esnek ve verimli hale getirmiştir. Farklı İHA tabanlı kamera sistemleri için havai fotogrametrik nirenginin geometrik kalitesine ilişkin sonuçlar halihazırda yayınlanmıştır (Gerke & Przybilla, 2016; Przybilla vd., 2019; 2020; Kersten & Lindstaedt, 2022; Kersten vd., 2020; Zhao vd.; 2020; 2021).

Bu çalışmada Gaziantep iline bağlı olan Tahta Köprü Barajında (Şekil 3) İHA kullanarak 45 MP Zenmuse P1 kamerası ile engebeli arazinin yaklaşık 210 m yükseklikten 423 adet yüksek çözünürlükte görüntüleri elde edilmiştir. DJI Matrice 300 RTK ile yüksek konumlandırma hassasiyetine sahip ve yüksek çözünürlüklü bir kamera ile donatılabilen bir sistem mevcuttur.

DJI Matrice 300 RTK (Şekil 4), Çinli üretici DJI Technology' ye ait 6,3 kg ağırlığında bir quadcopter olup maksimum 55 dakikalık uçuş süresiyle 5000 m'ye kadar irtifalarda kullanılabilir. Otomatik Bağımlı Gözetim -Yayın (ADS-B) çarpışma önleme sistemi ile donatılmış olan İHA, RTK-GNSS kullanarak 1,0-1,5 cm + 1 ppm konumlandırma doğruluğu elde edebilir.



Şekil 3: Çalışma alanı: Tahta Köprü Barajı.

DJI Zenmuse P1 kamera (Tablo 2) DJI tarafından Matrice 300 RTK için sunulmaktadır. Bu, farklı odak uzunluklarında sunulan çeşitli lenslerle çalıştırılabilen full-frame (35,9 mm × 24 mm) CMOS sensörle donatılmış 45 megapiksel (piksel boyutu 4,39 µm) bir dijital kameradır.



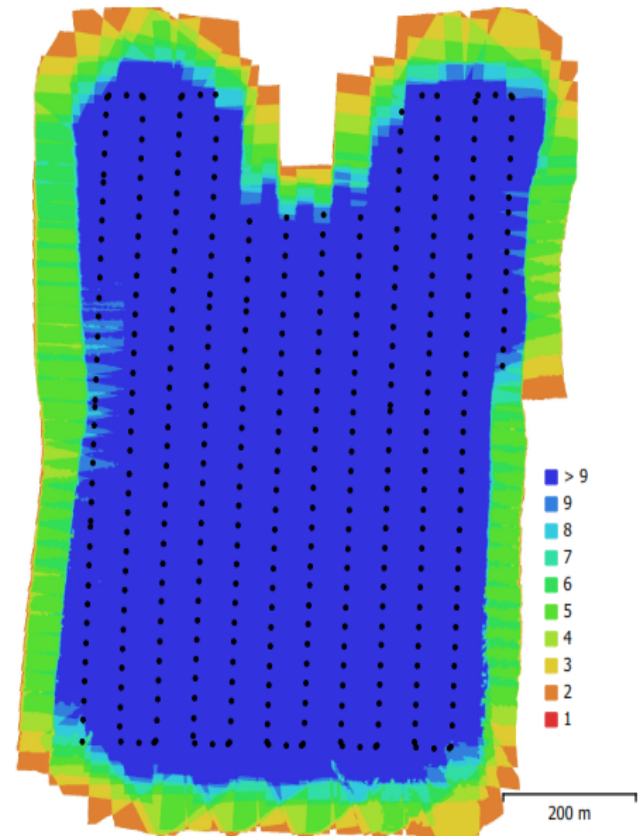
Şekil 4: DJI Matrice 300 RTK.

Bu çalışmadaki kamerada 63,5° görüş alanına (FOV) sahip olan ve F2,8 ila F16 diyafram aralığında (F-Stops) fotoğraf çekebilen 35 mm odak uzaklığına sahip bir lens kullanılmıştır.

Tablo 2. Kamera özellikleri.

| Model             | Çözünürlük       | Odak Uzaklığı | Pixel Boyutu |
|-------------------|------------------|---------------|--------------|
| Zenmuse P1 (35mm) | 8192x5460 (45MP) | 35 mm         | 4.39x4.39 µm |

Baraj alanında gerçekleştirilen bu çalışmada, üretilen harita ve yüzey modelinin doğruluk değerleri ile sistemde gerçekleştirilen prosedürlerin parametrelerini incelemek üzere Agisoft Metashape Professional (1.8.5 build 15368 version) yazılımı kullanılmıştır. Gerçekleştirilen uçuşla ilgili parametreler (Tablo 3) ve kamera konumları ile görüntü bindirmeleri Şekil 5' te sunulmuştur.



Şekil 5: Kamera konumları ve görüntü bindirmeleri.

**Tablo 3:** Uçuş proje parametreleri.

| Parametre              | Değer                 |
|------------------------|-----------------------|
| Görüntü sayısı         | 423                   |
| Uçuş yüksekliği        | 208 m                 |
| Yersel çözünürlük      | 2.5cm/pix             |
| Kaplanan alan          | 0.763 km <sup>2</sup> |
| Kamera noktası         | 390                   |
| Bağlama noktaları      | 168 917               |
| YKN sayısı             | 5                     |
| Geriprojeksiyon hatası | 1.09 pix              |
| DEM çözünürlüğü        | 9.99 cm/pix           |
| Projeksiyon            | 1338740               |
| Koordinat sistemi      | TUREF/ TM36           |

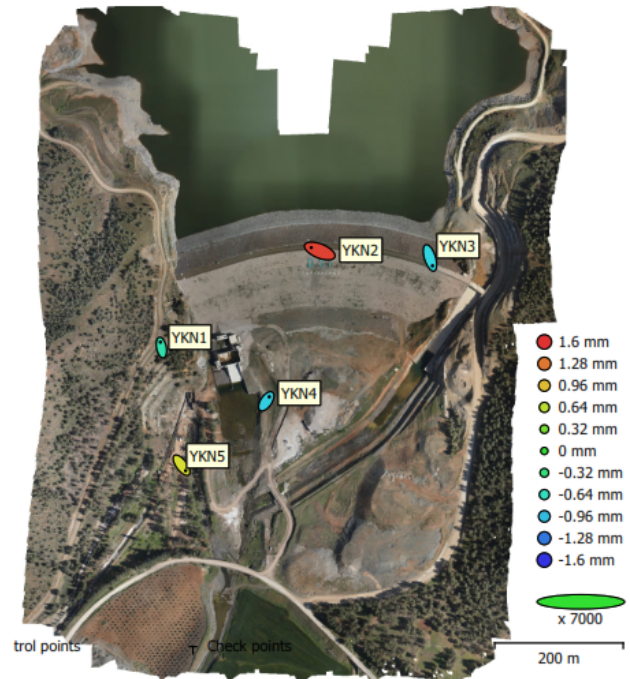
Aynı cihazın kullanıldığı benzer bir çalışma, bir test alanında Matrice 300 RTK/Zenmuse P1 sistemi ile çekilen görüntü uçuşlarında ve farklı yüksekliklerde gerçekleştirilmiştir. Uçuşlarda nadir ve eğik görüntülerin bir kombinasyonu kullanılmıştır. Bunun sonucunda ilk uçuşta 60°'lik bir açıda nadir görüntüler için 8,8 mm ve eğik görüntüler için 10,2 mm YÖA elde edilirken, ikinci nadir uçuşta YÖA 11,3 mm olmuştur. Detaylı doğruluk incelemeleri için, demet blok dengelemesi farklı sayıda ve mekansal olarak uygun dağılmış yer kontrol noktalarına bağlı olarak hesaplanmıştır. Demet dengelemesinde dış yöneltmenin konumlandırma koordinatları 11 ila 16 mm aralığında bir RMSE gösterirken, yükseklik değerlerinin sapmaları yaklaşık 11 mm olarak hesaplanmıştır (Kersten vd., 2022). Bu çalışmada gerçekleştirilen demet dengelemesinde ise dış yöneltmenin konumlandırma koordinatları 11 cm civarında bir RMSE üretirken, yükseklik değerlerinin sapmaları yaklaşık 13 cm olarak hesaplanmıştır (Tablo 4). Elde edilen bu değerler yukarıda anılan benzer çalışmadan ve genel olarak literatürde yapılan diğer çalışmalarda elde edilen doğruluk değerlerinden düşüktür. Çalışmada İHA görüntülerinden 2.5cm/pix yersel çözünürlüklü ortofoto görüntüler elde edilmiştir (Şekil 7). Engebeli arazi yüzeyine göre uygun dağılmış noktalarda tesis edilen kontrol noktalarına dayalı olarak hesaplanan ortofoto haritada ülke nokta koordinatları için min. YÖA 0.74 cm ve max. 1.08 cm olarak elde edilmiştir. Özel bir uçuş konfigürasyonu yapılmadan elde edilen bu doğruluk değerleri, ilgili yönergelerde talep edilen sınır değerlere uygundur. Çalışmanın temel konusu tasarlanmış bir test alanında doğruluk araştırması olmadığı için, farklı uçuş modları ve parametre seçimlerine yer verilmediğini belirtmek gerekir.

Çalışma alanına toplam 5 adet YKN noktası tesis edilmiştir, bu noktaların konumları ile RTK-GNSS ile belirlenen iç duyarlıkları Şekil 6'da gösterilmiştir. YKN'lerin projeye dahil edilmesinin özellikle yükseklik hatalarını azalttığı önceki bölümde belirtilmişti. YKN'lerin blok içinde yerleştirilmesinde literatürde önerilen şekilde bir mekansal dağılım

düzeni (kenar dağılımı, katmanlı yapı vb.) gözetilmemiştir. Ayrıca uçuş yükseklikleri değiştirildiğinde ve farklı uçuş modları denendiğinde, konumlandırma doğrulukları üzerine nasıl bir etki yapacağı konusu incelenmemiştir. Belirtilen nedenlerle, çalışmada elde edilen doğruluk değerlerinin, literatürde bulunan benzer örneklerle karşılaştırıldığında; öngörülen ve kabul edilebilir duyarlık sınırları içinde olduğu söylenebilir.

**Tablo 4:** Ortalama kamera konum hataları (RMSE).

| X (cm) | Y (cm) | Z (cm) | Toplam (cm) |
|--------|--------|--------|-------------|
| 11.2   | 11.3   | 12.6   | 20.3        |

**Şekil 6:** YKN noktaları ve duyarlıkları.

## 2.4. Bulgular ve Tartışma

SfM-tabanlı İHA fotogrametrisi çalışmalarında doğruluk değerlendirmesi için, son on yılda uygun YKN sayısı ve mekânsal dağılımını belirlemek için çeşitli çalışmalar yürütülmüş olsa da, genel bir kural oluşturulamamıştır ve bu sorun hala devam etmektedir. Bu durumun sebebi, İHA görüntülerinin yöneltmesinden sonra elde edilen nihai ürünlerin doğruluk düzeylerinin çeşitli faktörlerden etkileniyor olmasıdır. Bu faktörler arasında kameranın odak uzaklığı, YÖA, görüntü bloğu yapılandırması, görüntü çözünürlüğü, kullanılan özel yazılım, İHA sistemi yapılandırması ve YKN ölçümünün doğruluğu (hem sahada hem de görüntülerde) vb. sayılabilir. Kontrol noktaları tesisi ve ölçümünün zaman alıcı ve maliyetli faaliyetler olduğunu hatırlatmak gerekir. Alternatif olarak, mevcut GNSS/INS konumlandırma ve yöneltme sistemleri sayesinde doğrudan coğrafi konumlandırma, herhangi bir YKN'ye ihtiyaç



duymadan görüntü dış yöneltme parametrelerinin kolayca türetilmesini sağlayabilir. Ne yazık ki, sınırlı dayanıklılık ve faydalı yük kısıtlamaları nedeniyle; mevcut düşük maliyetli İHA tabanlı haritalama sistemleri genellikle tüketici sınıfı coğrafi referanslama birimleri ve hafif görüntüleme sistemleri ile donatılmıştır. Araştırma sınıfı GNSS/INS birimleri ile karşılaştırıldığında, düşük maliyetli sistemler nispeten küçüktür ve hatalı konum ve yöneltme bilgileri üretmektedir.

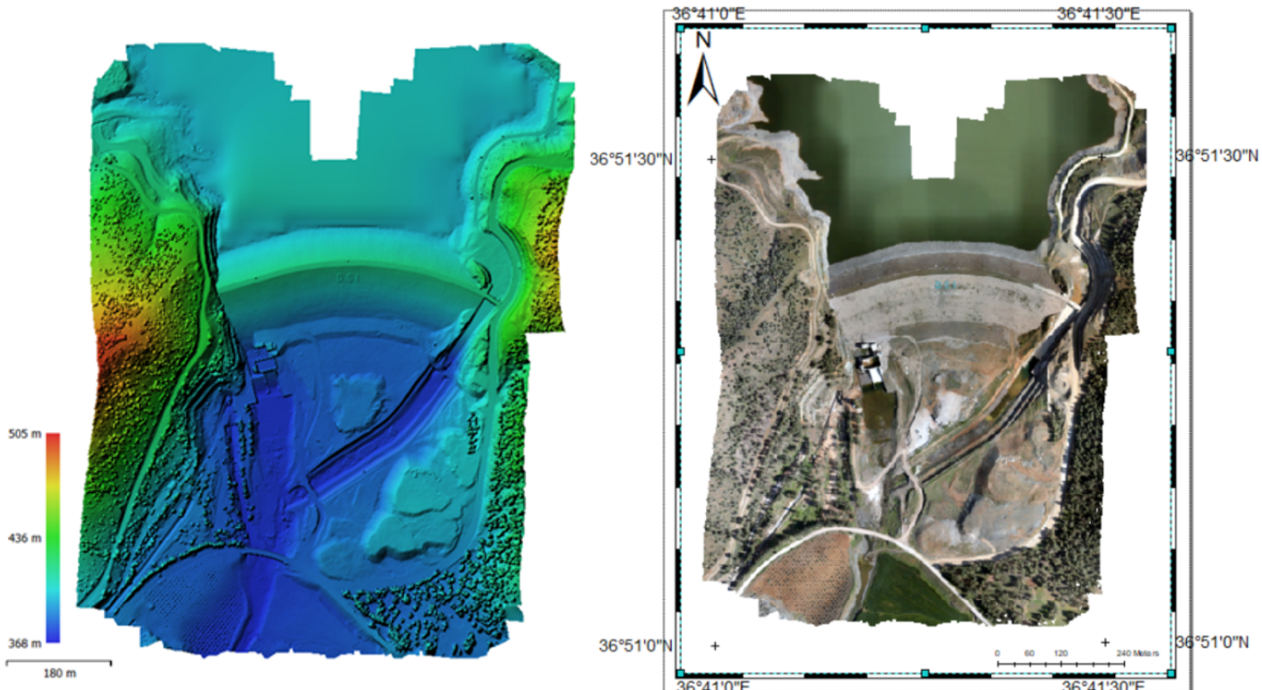
Mevcut ticari yazılımlar, İHA görüntü tabanlı 3B nesne yeniden yapılandırma için SfM sürecini otomatik hale getirmiş olsa da; bazı gelişmekte olan uygulamalar için, hassas İHA tabanlı haritalama işleri hala zorlu bir görev olmaya devam etmektedir. Bunun başlıca nedenlerinden bir tanesi, yukarıda bahsedilen faktörlerin yanında; elde edilen görüntülerin genellikle zayıf veya tekrarlayan doku içermesi ve bunun da ilgili stereo çiftler için karşılıklı yöneltme işleminin çözümünü ciddi şekilde etkileyebilmesidir.

Bu çalışmada kullanılan yazılımın sonuç işlem raporu incelendiğinde; yapılan uçuşla ilgili parametrelere, kamera kalibrasyonu bilgilerine, kamera konumları ile hesaplanan YKN ortalama konum hatalarına ve dijital yükseklik modeli (DEM) ile ortofoto çözünürlük ve doğruluk bilgilerine yer verildiği görülmektedir. Ayrıca görüntü yöneltme, üretilen nokta bulutu, DEM ve ortomozaik ile ilgili bazı 'işlem parametreleri'ne yer verilmektedir. Ancak bu rapor yukarıda anlatılan iş akışında yer alan prosedür ve işlemlerin "metrik kalitesi" yönünden yeterli bilgiye sahip değildir. Kullanıcının, iş akışı içinde kullanılan bir algorithmada elde edilen işlem

sonucunun hangi parametrelere bağlı olarak değiştirilebileceğini/ iyileştirilebileceğini tespit etmesi açık ve kolay değildir. Bu anlamıyla 'kapalı kutu' özelliğinde olduğu söylenebilir.

Yazılım ortamında kullanıcıya sunulan bazı seçenekler (anahtar nokta sayısı sınırlamaları, doğruluk seviyeleri (medium, high vb.) sonuç işlem kalite raporuna yansıyor olsa da bunlar, dijital hava fotogrametrisi blok dengelemesi raporundaki ayrıntılı kalite kontrol bilgileri (ölçütler, hata sınırları, nokta koordinat duyarlılıkları vb.) ile karşılaştırılacak düzeyde değildir.

Fotogrametride geometrik ağ tasarımı, metrik kamera işlemleri, doğruluk optimizasyonu ve hata yayılma yasası, sistematik hata giderme ve uyumsuz ölçü tespiti, sahneden bağımsız kamera kalibrasyonu, güvenilirliği artırmak için fazla ölçü kullanımının benimsenmesi ve fotogrametrik veri işleme sürecinin tüm aşamalarında kalite kontrol prosedürleri gibi mühendislik ilkelerinin tümü kesin, değişmez doğrusal olmayan matematiksel modellerle desteklenirken; SfM tekniğinde karşılaştırılabilir düzeyde benzer prosedürlerin olmayışı dikkat çekicidir. SfM tabanlı kamera konumlandırma ile başlatılan ancak daha sonra fotogrametri ilkelerini takip eden bir veri işleme sürecinin artık SfM değil, aslında standart fotogrametri olduğu da iddia edilebilir. Bir fotogrametri ölçümünü SfM çözümü ile eşdeğer görmek, sadece elde edilen çözümün olduğundan daha az 'metrik' özellikte olduğunu kabullenmek anlamına gelir.



Şekil 7: Çalışmada üretilen sayısal yüzey modeli ve ortofoto harita.

### 3. Sonuçlar

Günümüzde dijital haritalama uygulamalarında yaygın olarak kullanılan düşük maliyetli, kolay erişilebilir, daha hızlı ve kullanıcıya çeşitli avantajlar sağlayan İHA-fotogrametrisi, 'fotogrametrik bilgisayarlı görü' teknik ve yöntemlerini içeren bir iş akış sürecine sahiptir. Bu kapsamda kullanılmakta olan SfM tekniği, İHA- tabanlı ortofoto harita ve 3B arazi modeli üretiminin standart yöntemi haline gelmiştir. İHA- tabanlı fotogrametriyi geleneksel fotogrametriden ayıran bir özellik de bu teknikten kaynaklanmakta olup, literatürde SFM ( veya İHA-SfM) fotogrametrisi olarak da adlandırılmaktadır. Bu ayrıma karşın her ikisi 3B uzaysal nesne modellemesi için tamamen farklı teknolojiler olarak da düşünülemezler. Hem SfM tekniği hem de fotogrametri görüntü tabanlı konumlandırma ve haritalama süreçleridir; her ikisi de değişken geometrik düzenlemelerle bindirmeli çoklu görüntülerin kullanımını içermektedir. Görüntüler arasında karşılıklı yöneltme belirlerken aynı zamanda tek bir koordinat referans çerçevesi içinde 3B nokta bulutu verileri oluştururlar. Her ikisi de aynı analitik ve geometrik kavramlara, aynı fotogrametrik ölçüm sistemlerine ve güvenilir jeo-mekansal konum verileri üretimi için aynı arazi uygulamalarına dayanmaktadır.

SfM tekniği, çok az kullanıcı etkileşimi ile uzaysal kamera konumlandırma ve yöneltme problemini otomatik olarak çözerek, İHA-fotogrametrisini uzman olmayanlar tarafından da jeo-mekansal veri toplamak için kullanımı kolay bir araç haline getirmiştir. Özünde, kamera kalibrasyonu (iç yöneltme), bağlama (tie points) noktaları tespiti, YKN ölçümleri, dış yöneltme için doğrudan GNSS coğrafi konumlandırmasını içeren tüm işlem adımları her ikisi için de aynı olsa bile, İHA-fotogrametrisi kullanıcıları bunu neredeyse hiç fark etmeyebilir. Unutulmamalıdır ki; iyi bir görüntü seti, güvenilir kamera kalibrasyonu, hassas kontrol noktaları veya nitelikli GNSS-IMU tesisleri vb. olmadan, güvenilir fotogrametrik ürünler elde edilemeyecektir. Fotogrametri disiplini hakkında bilgi eksikliğinin veya gerekli bazı temel prosedürlere uyulmamasının, teknolojinin doğru kullanılması halinde bile beklenmeyen veya uygunsuz sonuçlara yol açtığı bilinmektedir.

Bu çalışmada İHA fotogrametrisinde kullanılan süreç ve yöntemlerin geleneksel fotogrametri ile tümüyle özdeş olmadığı bilgisinden hareketle, aralarındaki örtüşme ve benzerlikleri açığa kavuşturmak üzere; yukarıda açıklanan farklı özellikler ve prosedürler göz önünde bulundurularak, birbirine yakın terminolojiye sahip olan bu teknikler kavramsal olarak açıklanmış ve bir pratik uygulama örneği ile analiz edilmiştir.

### Bilgilendirme/Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan verilerin temininde destek olan KOÜ Harita Müh. Bölümü öğrencileri Hasan Bütüner ve Furkan Kaya ile EFA Harita Müh. Prj. İnş. Taah. Gyr. Değ. Dnş. Ltd. Şti.' ne teşekkürlerimi sunarım.

### Yazarların Katkısı

Çalışma tek yazarlıdır. Tüm katkı yazara aittir.

### Çıkar Çatışması Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

### Kaynaklar

- Agüera-Vega, F., Carvajal-Ramírez, F., & Martínez-Carricondo, P. (2017). Accuracy of digital surface models and orthophotos derived from unmanned aerial vehicle photogrammetry. *Journal of Surveying Engineering*, 143(2), 04016025.
- Amrullah, C., Suwardhi, D., & Meilano, I. (2016). Product accuracy effect of oblique and vertical non-metric digital camera utilization in UAV-photogrammetry to determine fault plane. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 3, 41-48.
- Balázsik, V., Tóth, Z., & Abdurahmanov, I. (2021). Analysis of Data Acquisition Accuracy with UAV. *Int. J. Geoinf*, 17, 1-10.
- Grayson, B., Penna, N. T., Mills, J. P., & Grant, D. S. (2018). GPS precise point positioning for UAV photogrammetry. *The photogrammetric record*, 33(164), 427-447.
- Boon, M. A., Greenfield, R., & Tesfamichael, S. (2016). Unmanned aerial vehicle (UAV) photogrammetry produces accurate high-resolution orthophotos, point clouds and surface models for mapping wetlands. *South African Journal of Geomatics*, 5(2), 186-200.
- Carbonneau, P. E., & Dietrich, J. T. (2017). Cost-effective non-metric photogrammetry from consumer-grade sUAS: implications for direct georeferencing of structure from motion photogrammetry. *Earth surface processes and landforms*, 42(3), 473-486.
- Carrivick, J. L., Smith, M. W., & Quincey, D. J. (2016). *Structure from Motion in the Geosciences*. John Wiley & Sons.
- Chen, Y., Chen, Y., & Wang, G. (2019). Bundle adjustment revisited. *arXiv preprint arXiv:1912.03858*.

- Clapuyt, F., Vanacker, V., & Van Oost, K. (2016). Reproducibility of UAV-based earth topography reconstructions based on Structure-from-Motion algorithms. *Geomorphology*, 260, 4-15.
- Dandois, J. P., Olano, M., & Ellis, E. C. (2015). Optimal altitude, overlap, and weather conditions for computer vision UAV estimates of forest structure. *Remote sensing*, 7(10), 13895-13920.
- de Haas, T., Ventra, D., Carbonneau, P. E., & Kleinhaus, M. G. (2014). Debris-flow dominance of alluvial fans masked by runoff reworking and weathering. *Geomorphology*, 217, 165-181.
- Dornaika, F., Moujahid, A., El Merabet, Y., & Ruichek, Y. (2016). Building detection from orthophotos using a machine learning approach: An empirical study on image segmentation and descriptors. *Expert Systems with Applications*, 58, 130-142.
- Eisenbeiss, H., & Sauerbier, M. (2011). Investigation of UAV systems and flight modes for photogrammetric applications. *The Photogrammetric Record*, 26(136), 400-421.
- Fonstad, M. A., Dietrich, J. T., Courville, B. C., Jensen, J. L., & Carbonneau, P. E. (2013). Topographic structure from motion: a new development in photogrammetric measurement. *Earth surface processes and Landforms*, 38(4), 421-430.
- Förstner, W., & Wrobel, B. P. (2016). *Photogrammetric computer vision*. Springer International Publishing Switzerland.
- Gerke, M., & Przybilla, H. J. (2016). Accuracy analysis of photogrammetric UAV image blocks: Influence of onboard RTK-GNSS and cross flight patterns. *Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation*, (1), 17-30.
- Granshaw, S. I., & Fraser, C. S. (2015). Computer vision and photogrammetry: Interaction or introspection?. *The Photogrammetric Record*, 30(149), 3-7.
- Iglhaut, J., Cabo, C., Puliti, S., Piermattei, L., O'Connor, J., & Rosette, J. (2019). Structure from motion photogrammetry in forestry: A review. *Current Forestry Reports*, 5, 155-168.
- Islam, K., Jashimuddin, M., Nath, B., & Nath, T. K. (2018). Land use classification and change detection by using multi-temporal remotely sensed imagery: The case of Chunati wildlife sanctuary, Bangladesh. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 21(1), 37-47.
- Jaud, M., Passot, S., Le Bivic, R., Delacourt, C., Grandjean, P., & Le Dantec, N. (2016). Assessing the accuracy of high resolution digital surface models computed by PhotoScan® and MicMac® in sub-optimal survey conditions. *Remote Sensing*, 8(6), 465.
- Javernick, L., Brasington, J., & Caruso, B. (2014). Modeling the topography of shallow braided rivers using Structure-from-Motion photogrammetry. *Geomorphology*, 213, 166-182.
- Juan, L., & Gwun, O. (2009). A comparison of sift, pca-sift and surf. *International Journal of Image Processing (IJIP)*, 3(4), 143-152.
- Kent, R., Lindsell, J. A., Vaglio Laurin, G., Valentini, R., & Coomes, D. A. (2015). Airborne LiDAR detects selectively logged tropical forest even in an advanced stage of recovery. *Remote Sensing*, 7(7), 8348-8367.
- Kersten, T., & Lindstaedt, M. (2022). UAV-basierte Bildflüge mit RTK-GNSS-brauchen wir da noch Passpunkte. *DVW-Schriftenreihe Band 100/2022*, 39-58.
- Kersten, T., Wolf, J., & Lindstaedt, M. (2022, May). Investigations into the accuracy of the UAV system Dji Matrice 300 Rtk with the sensors Zenmuse P1 and L1 in the Hamburg test field. In *XXIV ISPRS Congress "Imaging today, foreseeing tomorrow"*, 6-11 June 2022, Nice, France (pp. 339-346). Copernicus.
- Kršák, B., Blišťan, P., Pauliková, A., Puškárová, P., Kovanič, L. M., Palková, J., & Zelizňáková, V. (2016). Use of low-cost UAV photogrammetry to analyze the accuracy of a digital elevation model in a case study. *Measurement*, 91, 276-287.
- Lowe, D. G. (2004). Distinctive image features from scale-invariant keypoints. *International journal of computer vision*, 60, 91-110.
- Lucieer, A., Jong, S. M. D., & Turner, D. (2014). Mapping landslide displacements using Structure from Motion (SfM) and image correlation of multi-temporal UAV photography. *Progress in physical geography*, 38(1), 97-116.
- Martínez-Carricondo, P., Agüera-Vega, F., Carvajal-Ramírez, F., Mesas-Carrascosa, F. J., García-Ferrer, A., & Pérez-Porras, F. J. (2018). Assessment of UAV-photogrammetric mapping accuracy based on variation of ground control points. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 72, 1-10.
- Mesas-Carrascosa, F. J., Notario García, M. D., Meroño de Larriva, J. E., & García-Ferrer, A. (2016). An analysis of the influence of flight parameters in the generation of unmanned aerial vehicle (UAV) orthomosaicks to survey archaeological areas. *Sensors*, 16(11), 1838.
- Micheletti, N., Chandler, J. H., & Lane, S. N. (2015). Structure from motion (SfM) photogrammetry. *Br Soc Geomorphol*.
- Murtiyoso, A., & Grussenmeyer, P. (2017). Documentation of heritage buildings using close-range UAV images: dense matching issues, comparison and case studies. *The Photogrammetric Record*, 32(159), 206-229.
- Naimae, R., Saadatseresht, M., & Omidalizarandi, M. (2023). Automatic Extraction of Control Points from 3d LIDAR Mobile Mapping and Uav Imagery for Aerial Triangulation. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 10, 581-588.
- Peppas, M. V., Mills, J. P., Moore, P., Miller, P. E., & Chambers, J. E. (2016). Accuracy assessment of a UAV-based landslide monitoring system. *The*

- International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 41, 895-902.
- Prieto, S. A., Adán, A., & Quintana, B. (2020). Preparation and enhancement of 3D laser scanner data for realistic coloured BIM models. *The Visual Computer*, 36(1), 113-126.
- Przybilla, H. J., Bäumker, M., Luhmann, T., Hastedt, H., & Eilers, M. (2020). Interaction between direct georeferencing, control point configuration and camera self-calibration for RTK-based UAV photogrammetry. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 43, 485-492.
- Rangel, J. M. G., Gonçalves, G. R., & Pérez, J. A. (2018). The impact of number and spatial distribution of GCPs on the positional accuracy of geospatial products derived from low-cost UASs. *International Journal of Remote Sensing*, 39(21), 7154-7171.
- Rehak, M., & Skaloud, J. (2015). Fixed-wing micro aerial vehicle for accurate corridor mapping. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2, 23-31.
- Remondino, F., & El-Hakim, S. (2006). Image-based 3D modelling: a review. *The photogrammetric record*, 21(115), 269-291.
- Remondino, F., & El-Hakim, S. (2006). Image-based 3D modelling: a review. *The photogrammetric record*, 21(115), 269-291.
- Reshetyuk, Y., & Mårtensson, S. G. (2016). Generation of highly accurate digital elevation models with unmanned aerial vehicles. *The Photogrammetric Record*, 31(154), 143-165.
- Sanz-Ablanedo, E., Chandler, J. H., Rodríguez-Pérez, J. R., & Ordóñez, C. (2018). Accuracy of unmanned aerial vehicle (UAV) and SfM photogrammetry survey as a function of the number and location of ground control points used. *Remote Sensing*, 10(10), 1606.
- Smith, M. W., Carrivick, J. L., & Quincey, D. J. (2016). Structure from motion photogrammetry in physical geography. *Progress in physical geography*, 40(2), 247-275.
- Snavey, N., Seitz, S. M., & Szeliski, R. (2008). Modeling the world from internet photo collections. *International journal of computer vision*, 80, 189-210.
- Stöcker, C., Nex, F., Koeva, M., & Gerke, M. (2017). Quality assessment of combined IMU/GNSS data for direct georeferencing in the context of UAV-based mapping. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 355-361.
- Turner, D., Lucieer, A., & Wallace, L. (2013). Direct georeferencing of ultrahigh-resolution UAV imagery. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 52(5), 2738-2745.
- Ullman, S. (1979). The interpretation of structure from motion. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B. Biological Sciences*, 203(1153), 405-426.
- Vasuki, Y., Holden, E. J., Kovesi, P., & Micklethwaite, S. (2014). Semi-automatic mapping of geological Structures using UAV-based photogrammetric data: An image analysis approach. *Computers & Geosciences*, 69, 22-32.
- Vautherin, J., Rutishauser, S., Schneider-Zapp, K., Choi, H. F., Chovancova, V., Glass, A., & Strecha, C. (2016). Photogrammetric accuracy and modeling of rolling shutter cameras. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 3, 139-146.
- Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., & Reynolds, J. M. (2012). 'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179, 300-314.
- Wierzbicki, D., Kedzierski, M., & Fryskowska, A. (2015). Assesment of the influence of UAV image quality on the orthophoto production. *The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*, 40, 1-8.
- Zhao, B., Li, J., Wang, L., & Shi, Y. (2020, April). Positioning accuracy assessment of a commercial RTK UAS. In *Autonomous Air and Ground Sensing Systems for Agricultural Optimization and Phenotyping V*, 11414, 47-53.
- Zhao, S. (2021). A Commercial PPK Solution for Phantom 4 RTK. *GIM International, Business Guide*, (1), 30-32.



© Author(s) 2023.

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





## Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/tiha>

e-ISSN 2687-6094



### Sivil Havacılık Şirketlerinin İnsansız Hava Aracı Stratejileri

Muhammed Ali Yetgin<sup>1</sup>, Mithat Baştuğ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Karabuk University, Social Sciences Vocational School, 78050, Karabük, Türkiye; (m.ali.yetgin@karabuk.edu.tr)

<sup>2\*</sup> MA. International Relations, 22000, Edirne, Türkiye; (mithatbstg@gmail.com)



\*Sorumlu Yazar:  
mithatbstg@gmail.com

#### Araştırma Makalesi

**Alıntı:** Yetgin, M. A., & Baştuğ, M. (2023). Sivil Havacılık Şirketlerinin İnsansız Hava Aracı Stratejileri. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 5(2), 72-80. (in English).

Geliş : 13.11.2023  
Revize : 15.12.2023  
Revize : 25.12.2023  
Kabul : 27.12.2023  
Yayınlama : 31.12.2023

#### Özet

İnsansız hava araçları (İHA) savaşın seyrini değiştirmek ve zafiyetleri ortadan kaldırmak için geliştirilmiştir. Başlangıçta istihbarat, keşif ve gözetleme amacıyla kullanılan İHA'ların hizmet kapasitesi, teknolojik gelişmelerin yanı sıra doğal ve beşeri faktörlerden kaynaklanan ihtiyaçlar nedeniyle genişlemiştir. Gelişen pazarların taleplerini karşılamak ve verimliliği artırmak için sivil havacılık şirketleri İHA'lar geliştirmeye başlamıştır. Gelişmekte olan pazarların taleplerini karşılamak ve verimliliği artırmak için sivil havacılık şirketleri İHA'lar geliştirmeye başladı. Başlangıçta İHA'ların işlevsel yük taşıma kapasitesinin artırılmasına odaklanılırken, farklı sektörlerin ilgi göstermeye başlamasıyla birlikte insansız hava araçları diğer endüstriler tarafından da tasarlanmaya başlandı. COVID-19 pandemisi, özellikle ilaçların hızlı ve temassız dağıtımının gerekli olduğu durumlarda veya sokağa çıkma yasağı kısıtlamalarının ihlallerinin denetlenmesi veya karantinalardaki vatandaşların izlenmesi sırasında İHA'lara olan talebin artmasına neden olmuştur. Bu çalışma, sivil havacılık alanında faaliyet gösteren şirketlerin İHA'lara yönelik yatırım ve faaliyetlerini analiz etmektedir. Çalışmada Türk Hava Yolları, Boeing ve Henan SunHawk firmalarının İnsansız Hava Aracı stratejileri İçerik Analizi ve Tematik Analiz yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışma, Türk Hava Yolları, Boeing ve Henan SunHawk şirketlerinin İnsansız Hava Aracı stratejilerini İçerik Analizi ve Tematik Analiz yöntemlerini kullanarak analiz etmiştir. Metin, açık ve özlü dil kullanımı, mantıksal yapı, resmi dil ve doğru kelime seçimi gibi istenen özelliklere uyacak şekilde revize edilmiştir. Metinde dilbilgisi hataları, yazım yanlışları, imla ve noktalama hataları bulunmamaktadır. Araştırma bulgularına dayanarak, İHA teknolojilerinin son 25 yılda hem hükümetler hem de özel şirketler tarafından etkin bir şekilde kullanıldığı açıktır. Çalışma ayrıca önümüzdeki 25 yıl içinde İHA'ların daha geniş bir sektör yelpazesinde kullanımında önemli bir artış olacağını öngörmektedir. Güçlü Yönler, Zayıf Yönler, Fırsatlar ve Tehditler (SWOT) analizi, İHA'ların mevcut potansiyelini gelecekteki yapıları ve yeni teknolojilerin şirket politikaları üzerindeki etkisi açısından değerlendiriyor. İHA'ların yüksek teknoloji ürünleri olarak kırılganlığı nedeniyle siber saldırılara karşı önlemler de tartışılmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** İHA, sivil havacılık, Covid 19, şirketler.

### Unmanned Aerial Vehicle Strategies of Civil Aviation Companies

\*Corresponding Author:  
mithatbstg@gmail.com

#### Research Article

**Citation:** Yetgin, M. A., & Baştuğ, M. (2023). Unmanned Aerial Vehicle Strategies of Civil Aviation Companies. *Turkish Journal of Unmanned Aerial Vehicles*, 5(2), 72-80.

Received : 13.11.2023  
Revised : 15.12.2023  
Revised : 25.12.2023  
Accepted : 27.12.2023  
Published : 31.12.2023

#### Abstract

Unmanned aerial vehicles (UAVs) were developed to alter the course of warfare and eliminate vulnerabilities. Initially used for intelligence, reconnaissance, and surveillance, their service capacity has expanded due to technological advancements and evolving needs arising from natural and human factors. To meet the demands of emerging markets and increase efficiency, civil aviation companies have begun developing UAVs. To meet the demands of emerging markets and increase efficiency, civil aviation companies have begun developing UAVs. Initially, the focus was on increasing the functional load-carrying capacity of UAVs, but as different sectors began to express interest, unmanned aerial vehicles were designed by other industries. The COVID-19 pandemic has increased demand for UAVs, particularly for the rapid and contactless distribution of medicines required when inspecting for violations of curfew restrictions or monitoring citizens in quarantine. This study analyses the investments and activities of companies operating in civil aviation for UAVs. The study analyzed the Unmanned Aerial Vehicle strategies of Turkish Airlines, Boeing, and Henan SunHawk companies using Content Analysis and Thematic Analysis methods. The study analyzed the Unmanned Aerial Vehicle strategies of Turkish Airlines, Boeing, and Henan SunHawk companies using Content Analysis and Thematic Analysis methods. No additional aspects have been added to the content. The study analyzed the UAV strategies of Turkish Airlines, Boeing, and Henan SunHawk companies using Content Analysis and Thematic Analysis methods. The text has been revised to adhere to the desired characteristics, including clear and concise language, logical structure, formal register, and precise word choice. The text is free from grammatical, spelling, and punctuation errors. Based on the research findings, it is evident that both governments and private companies have effectively utilized UAV technologies over the past 25 years. The study also predicts a significant increase in the use of UAVs in the next 25 years across a wider range of sectors. The Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats (SWOT) analysis evaluates the current potential of UAVs in terms of their future structure and the impact of new technologies on company policies. Precautions against cyber-attacks are also discussed due to the vulnerability of UAVs as high-tech products.

**Keywords:** UAV, civil aviation, Covid 19, companies.

## 1. Introduction

UAVs were originally developed for military purposes in the 20th century. Since then, they have found applications in the 21st century, including organ transportation, cargo delivery, intelligence gathering, surveillance and reconnaissance, firefighting, and border security. The development of the Internet has been a driving force behind technological advancements, including the emergence of the Internet of Things (IoT). This has facilitated cyberspace expansion, providing excellent features for objects (Liu et al., 2020). UAVs are frequently used in civil aviation and other sectors due to recent technological advancements. They are highly mobile, cost-effective, and have flexible deployment options and advanced technical structures. Government agencies and private companies worldwide actively produce UAVs. The availability of UAV models that cater to various sectors globally has led national and international civil aviation companies to incorporate them into their policies. UAVs are now extensively used for drug delivery, humanitarian intervention, first aid, organ transplants, and cargo transportation, making them indispensable for companies working with UAVs. Although our study primarily focuses on the contribution of civil aviation companies to UAV projects and their future investments and projects, our main questions concern the physical, human, and biological factors that have influenced changes in UAV policies following the global epidemic. Additionally, we aim to investigate the reasons behind the recent increase in support for UAV projects and new project studies in the last quarter.

The main purpose of our study is to analyse the opportunities and challenges arising from the transformation of the UAV sector in the light of technological developments, and to evaluate the strategies of states and companies in overcoming the challenges through a SWOT analysis. The SWOT analysis analysed the UAV policies, investments and technology transfers of the reference civil aviation companies, and in this context the future policies of the companies were highlighted. The findings of the SWOT analysis were determined through content and document analysis. This included statements, news and academic studies, as well as the mission and vision of the companies.

## 1. Literature Review

### 1.1. Historical Development and Technological Innovation of UAVs

UAVs have primarily been developed for military purposes, taking advantage of technological

advancements. The U.K. initiated the first UAV studies 1920 in Iraq, India, Egypt, and Ireland to monitor and control uprisings. The first UAVs, the Larynx and Ram, were developed in this context (Satia, 2014; Kindervater, 2016). After World War II, the U.S. administration recognized the significance of UAVs and began studying and developing them. They integrated technological advancements into photographic and radar systems (Kindervater, 2016). The technology race that began during the Cold War led to the development of UAVs for espionage and intelligence activities. In this context, Lockheed Martin developed the Lockheed Aquila UAV in 1970. However, the project was eventually abandoned due to the failure to achieve the desired performance and increased accidents (Demirkıran, 2010). Technological developments that were insufficient at the time have since led to the birth of a new field. The Israeli Scout and Pioneer were the first examples of medium and long-range UAVs (Demirkıran, 2010).

As per the definition provided by the U.S. Federal Aviation Administration, a UAV is an aircraft that autonomously follows a predetermined flight path without a human pilot (Ekmekcioğlu & Yıldız, 2018). The term 'unpiloted aircraft' refers to an aircraft that operates without a pilot-in-command and is controlled remotely or from another location, as defined in 'Doc 9854' published by the Global Air Traffic Management Operational Concept. This definition is by Article 8 of the Convention on International Civil Aviation (ICAO, 2015), which specifies that such aircraft are flown without a responsible pilot and are controlled remotely or from another location. A UAV is an aircraft that can autonomously travel to a designated location and return without needing a Global Positioning System (GPS) --controlled pilot on board (Kahveci & Can, 2017). While this is the general definition, reports also highlight some limitations. The lack of specificity is due to UAVs' varying technological capabilities and structural designs today. UAVs are classified based on their weight, helpful load capacity, wing and fuselage, flight control systems, and intended use, in addition to their current definitions. The ICAO circular divides this classification into two main classes: automatic and remote-controlled (Kahveci & Can, 2017).

UAVs are classified based on their weight and range. They are categorized as micro, light, medium, heavy, and heavy (Ariomandi et al., 2006). Additionally, they can be classified as nano, micro, mini, lightweight, small, tactical, MALE, HALE, rich, and very heavy, divided into ten categories (Singhal et al., 2018). UAVs are divided into three categories: pilotless target aircraft used for training and unmanned combat aircraft for intelligence, surveillance, and reconnaissance purposes (Keane & Carr, 2013).

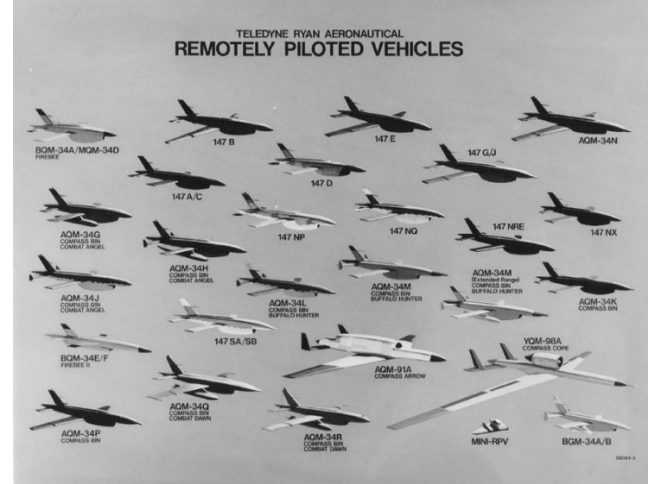
The history of UAVs may date back to the 1400s, as evidenced by Leonardo da Vinci's aerial gyroscope drawing (Demirkiran, 2010). However, the modern development of UAVs began in 1888 when Louis Brennan proposed remotely flying and firing torpedoes with cable assistance (Cuerno-Rejado et al., 2016). Although René Lorin, a French officer, conceived the idea of a jet-propelled bomb that could be flown using radio signals in 1908, the technology of the time was inadequate, and it could not be implemented due to the circumstances of World War II (Cuerno-Rejado et al., 2016).

In 1911, shortly after the introduction of manned flights, Elmer Sperry, the inventor of the gyroscope, conducted studies on the application of radio control in aircraft. He received financial support from the U.S. Navy and conducted 58 flight tests between August 31 and October 4, 1913. These tests formed the basis of UAVs (Keane & Carr, 2013). While the United States is not the only country developing UAVs, England has also employed UAV systems as a cost-effective measure to prevent mass uprisings and attacks in Iraq, which it occupied in the 1920s, and later in other Middle Eastern countries. This led England to increase investment in UAV systems (Satia, 2014). However, worldwide investments in UAVs were interrupted by the onset of World War II (Yetgin & Bastug, 2021).

Following the end of the Second World War, due to the threat posed by Soviet Russia and their attempts to export communism, the United States underwent a significant shift in their use of UAVs. Using this information for intelligence activities, they began collecting data from UAVs, including photographic images, radar cross-sections, and electronic signals. This marked the beginning of a new era (Kinderwater, 2016). To counter the growing Soviet submarine force between 1950 and 1960, the USA began actively using UAVs after the U-2 spy plane was shot down on Soviet territory in 1960 (Keane & Carr, 2013). Ryan Aeronautical Company (Figure 1) produced UAVs for the U.S. Army until the 1990s. Teledyne acquired Ryan Aeronautical in 1968, and the company merged with Allegheny-Ludlum Corporation in 1996 before being acquired by Northrop Grumman Corporation in 1999 (OAC, 2022).

Satellites are increasingly being used to control UAVs, leading to the emergence of long-endurance (HALE - High Altitude Long Endurance) and medium-endurance (MALE - Medium Altitude Long Endurance) UAVs (Yetgin & Baştuğ, 2021). UAVs have become indispensable in military and intelligence activities throughout their historical development. Unmanned aerial vehicles (UAVs), advanced technological products, have been increasingly used in

various fields such as commerce, society, economy, culture and art. Their scope has expanded significantly, particularly due to the social needs arising from COVID-19, such as cargo services, emergency drug delivery, disease prevention and surveillance. As a result, civil aviation companies have entered the UAV market and expanded their service offerings.



**Figure 1.** UAVs manufactured by Ryan Aeronautical (Source<sup>1</sup>).

## 1.2. UAV Policies of Companies Operating in the Field of Civil Aviation

The growing importance of UAVs in strategic positions has led national and international companies to develop new action plans and strategies to meet their needs and compete in the global UAV market. The COVID-19 pandemic has further highlighted the importance of UAVs in recent years. The pandemic has had negative economic repercussions in Turkey and worldwide. Despite the coexistence of certain sectors, such as transportation, cargo services, and the pharmaceutical industry, the COVID-19 pandemic has significantly impacted many industries and companies, including civil aviation and aircraft manufacturing. Commercial aviation activities decreased by 40%, and aviation travel activities decreased by 36% (Şen & Bütüm, 2021). To mitigate the effects of COVID-19, several airlines have implemented cost-cutting measures such as salary cuts and layoffs. For example, Canadian Airlines put 15,000 employees on leave and temporarily laid off 1,300 managers; American Airlines helped pilots retire early; British Airlines cut pilots' salaries by 50%; and Qatar Airways laid off 200 employees (Şen & Büyük, 2021). The COVID-19 pandemic has had a detrimental impact on civil and commercial aviation activities and the development of aviation technologies. UAVs have been increasingly used for contactless and efficient cargo distribution, medical equipment and medicines

<sup>1</sup> <https://www.flickr.com/photos/13476480@N07/30925677595/>

transportation, and social distance monitoring, largely due to the surge in online shopping during the pandemic. Companies have also introduced new products and prototypes in response to these challenges. The research analyzed the technology investments in unmanned aerial vehicles made by Turkish Airlines, Boeing, and Henan SunHawk, which were selected as samples, and the results were discussed.

### **Turkish Airlines**

The aviation industry must closely follow technological advancements and has turned to innovative solutions to alleviate the economic challenges caused by the COVID-19 pandemic. One such solution is the use of UAVs for transport. Turkish Airlines has also introduced Esinti (Figure 1) to mitigate the economic impact of COVID-19 and expand its transport network by taking advantage of technological advances. Manufactured by Turkish Airlines, Esinti has a functional payload of 80 kg and is designed for cargo and air taxi transport (Havauzay, 2022). The aircraft is expected to be actively used in cargo transportation, emergency medicine delivery, firefighting, and airport runway security.

### **Boeing**

Founded 1916 in the USA, Boeing has become a leading manufacturer of commercial aeroplanes, defence products, and space systems for over 150 systems in over 150 countries (Boeing, 2022). Like other civil aviation and aircraft manufacturing industries, Boeing was severely affected by the Covid-19 pandemic. Despite the challenges faced by the company following the 737 Max accidents and the impact of COVID-19, more than 12,000 employees, including 6,770 volunteers, chose to leave their jobs in the U.S. (Euronews, 2020). Boeing manufactures aircraft for both civil aviation and the U.S. military, as well as military aircraft, missiles and space technology. Boeing Defense, Space and Security and Insitu, a subsidiary of Boeing, produces civil and military UAVs. Insitu, which typically produces multirole UAVs for the U.S. Army, has also developed aerial refuelling tanker UAVs (see Figure 2) to demonstrate the versatility and range of applications of UAVs. 2019 the Boeing MQ-25 tanker UAV completed a 2.5-hour test flight, enhancing military operational capabilities (Bayindir, 2021). The Boeing Company is using UAVs to maintain communication channels and transmit

television broadcasts that natural disasters may disrupt by incorporating narrowband communication relays into the UAVs that reactivate communication systems that may have collapsed as a result of natural disasters, thus preventing communication disruptions (Tuna et al., 2012). The Boeing Company is currently developing small experimental UAV projects to address issues related to power line security, oil pipeline security, forest health, and border security monitoring (Mathews et al., 2007).

### **Henan SunHawk Aviation Industry Co.**

The production of civil and military aircraft, space technologies and UAVs in China has grown rapidly. Private Chinese Aerospace Defense Companies, a book published by the China Institute of Aerospace Studies, is an in-depth study of the companies operating in this field. The book explains the relationship of these companies with the Communist Party of China (CPC) and the People's Liberation Army of China (PLA) (Hull et al., 2021). Henan SunHawk Company is a major Chinese aviation and UAV company that designs, develops and sells cargo, long-range unmanned aerial vehicles and propeller-driven aircraft (Hull et al., 2021). While the company focuses primarily on combat UAVs for military use, it also develops new products to meet the needs of various sectors. The Zephyr S-50 UAV (Figure 3) is a product developed for crop protection and agricultural spraying tailored to the needs of the sector (Sunhawk, 2022). The table below shows pictures of the vehicles mentioned in these companies' unmanned aerial strategies.

Beijing Lingkong Tianxing Technology is one of the companies developing unmanned aircraft strategies for civil aviation. In response to the COVID-19 pandemic, various campaigns and innovative approaches have been implemented to mitigate the significant damage caused to the industry. Among these investments is the hypersonic spaceplane project developed by Beijing Lingkong Tianxing Technology. In this project (Zhen, 2021), Beijing Lingkong Tianxing has raised over \$46.3 million in the third round of its search for investors, securing 300 million yuan (Jones, 2021), and has been described by Chinese state media as a crucial symbol of China's rise from a space power to a super space power. The project aims to develop a 12-seat civilian aircraft capable of travelling from Shanghai to New York in just two hours at a speed of one mile per second (CNN Turk, 2022).

**Table 1.** UAVs in Sectors.

| Picture explanation                                                                                           | Picture                                                                              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Picture 1.</p> <p>Turkish Airlines Technical Company Aircraft<br/>Produced By: Esinti <sup>2</sup></p>     |    |
| <p>Picture 2.</p> <p>The refueling Unmanned Aerial Vehicle produced<br/>by the Boeing Company<sup>3</sup></p> |   |
| <p>Picture 3.</p> <p>Zephyr S-50 Unmanned Aerial Vehicle produced<br/>by Henan SUNHAWK<sup>4</sup></p>        |  |

\*Source: Created by the author.

## 2. Methodology

Thematic analysis was applied to Turkish Airlines, Boeing, and Henan SunHawk Aviation Industry companies in our research. We used the thematic analysis method to identify theme groups in qualitative data and applied the SWOT analysis method to these themes. Thematic analysis is a useful method for analyzing and interpreting qualitative data (Clarke & Braun, 2017). In simpler terms, the thematic analysis method is a technique that bridges quantitative and qualitative data (Terry et al., 2017).

The selected companies are large in terms of global market share, have similar growth and development policies, and face similar internationalisation and sustainability issues. Furthermore, we selected companies from Europe, America, and Asia to investigate whether regional factors influence their policies. Our research is based on official statements, corporate policies, academic studies, and news analyses of the companies. We evaluated and analysed this information using content analysis methods to draw conclusions.

<sup>2</sup> <https://www.havauzay.org/thy-teknik-a-s-yeni-hava-araci-esintiyi-tanitti.html>.

<sup>3</sup> <https://www.savunmasanayist.com/mq-25-stingray-tanker-iha/>.

<sup>4</sup> <https://en.sunhawk.cc/product/1.html>.



## 2.1. SWOT Analysis Created by Thematic Analysis

The issues and research findings related to UAV projects and future strategies of the sampled international civil aviation companies were identified through the SWOT analysis.

The SWOT analysis revealed the sectoral strengths, weaknesses, opportunities, and threats of Unmanned aerial vehicles in Civil Aviation. The practical implications of these themes are presented below.

**Table 2.** Civil Aviation Companies Themes by SWOT.

| Strengths                                    | Weaknesses               | Opportunities                 | Threads                                                    |
|----------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Staff education                              | Insufficient R&D culture | Formation of new market areas | Increasing external dependence on parts                    |
| R&D (Research and Development) opportunity   | Spare parts problem      | Few competitors               | Infiltration of technological information and cyber attack |
| Wide range of products                       | Political problems       | Mass production possibility   | Economic instability                                       |
| Education and occupational health and safety | Meteorological problems  |                               |                                                            |

\*Source: Created by the author.

## 2.2. Practical Implications of Findings

In the research, a SWOT analysis was carried out. The results were obtained from Turkish Airlines, Boeing and Henan SunHawk companies. These companies were chosen because they are large companies operating in the global arena, and the findings are generally valid for other companies, although there are many civil aviation companies operating on a large and small scale. Table 3 shows the practical implications of the findings on the strengths of unmanned aerial vehicles.

Table 4 presents the practical implications of the findings on the weaknesses of unmanned aerial vehicles.

Table 5 presents the practical implications of the findings for the opportunities of unmanned aerial vehicles.

Table 6 presents the practical implications of the findings for unmanned aerial vehicles. These findings are general and applicable to both military and civilian companies utilizing UAVs.

The SWOT analysis evaluated the research findings as a theme, and the results and discussion were presented.

**Table 3.** Strengths.

| No | Thema                                        | Definition                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Staff education                              | Like other aerial vehicles, unmanned aerial vehicles are controlled from the command centre. This situation allows for the training of a large number of personnel. The presence of adequate test centres leads to an increase in the number of Unmanned Aerial Vehicle operators. The provision of operator courses, including commercial and individual, leads to an increase in the population of Unmanned Aerial Vehicles, as well as to the rise in the area of use of Unmanned Aerial Vehicles.               |
| 2  | R&D (Research and Development) opportunity   | Unmanned Aerial Vehicles, which have emerged with high technological knowledge, are constantly being modernized and cause new areas of use. Initially produced for military and intelligence purposes, unmanned aerial vehicles are now made for humanitarian aid, transportation, cargo, agriculture, and education. The increasing diversity here allows the development of Unmanned aerial vehicles by current requirements and the integration of new technologies.                                             |
| 3  | Wide range of products                       | Nowadays, Unmanned aerial vehicles are actively used in many fields, such as military, intelligence, transportation, cargo and logistics support, agriculture, humanitarian aid, border security, migration monitoring, and monitoring and prevention of natural and human disasters. The development process, which started with the aim of carrying out military and intelligence activities, has led to the development of the product range for different sectors and the changing areas of use of these tools. |
| 4  | Education and occupational health and safety | Unmanned aerial Vehicles training is given in two main categories: theoretical and practical. Technically, the training efficiency is high because the safety distance between Unmanned aerial vehicles and the operator in controlling Unmanned aerial vehicles is healthy and in compliance with occupational health and safety procedures.                                                                                                                                                                       |

Source: Created by the author.

**Table 4. Weakness.**

| No | Thema                    | Definition                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Insufficient R&D culture | Unmanned Aerial Vehicles, which have actively entered our lives in the last quarter century, have emerged as a specific technological product and have developed along with developing technological opportunities. However, the general impression on the people's axis is that Unmanned aerial vehicles are used only for military and surveillance elements. Today, while Unmanned aerial Vehicles even carry out activities such as commercial transportation, the general impression is that this situation will be impossible. This situation negatively impacts the development of unmanned aerial vehicles.                                                                                       |
| 2  | Spare parts problem      | When companies develop Unmanned Aerial Vehicles projects, they do it by using their resources, including a certain proportion. Other critical technological parts (engine, shaft, radar, sensor, etc.) can collect some or all of them from different producers. Any accident after the companies start mass production of Unmanned aerial Vehicles will likely disrupt the supply chain due to Crimea, the lack of spare parts they received from a different company during their maintenance or the cessation of production.                                                                                                                                                                           |
| 3  | Political problems       | Due to governments' policies, each company's approach may be different. The most significant reason behind this difference is political interest. In this case, the process of governments to companies may remain politically solid or weak.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 4  | Meteorological problems  | Unmanned aerial vehicles mostly find their positions by communicating with ground control systems and satellites and creating navigation routes. Most commercial Unmanned aerial Vehicles are frequently affected by meteorological elements due to their navigation at high altitudes. To avoid being affected by these elements, companies are trying to take several security measures by instantly tracking current meteorological data and transferring it to the artificial intelligence of Unmanned Aerial Vehicles. However, being able to intervene in the elements that change immediately stands before us as a problem that needs to be solved even with the current technological knowledge. |

Source: Created by the author.

**Table 5. Opportunities.**

| No | Thema                         | Definition                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Formation of new market areas | The diversification of the areas of use of Unmanned aerial vehicles and the lack of many manufacturers in the global market allows companies to export a lot, and the high demand for Unmanned aerial vehicles in different areas in different regions leads to the emergence of new markets.                                                                                                                                                                   |
| 2  | Few competitors               | Considering that the technology of Unmanned aerial Vehicles is just developing, companies are primarily supporting companies that are already manufacturing by providing financing, as well as the fact that there are not many companies that directly manufacture globally, which causes the Market share not to be divided into too many segments.                                                                                                           |
| 3  | Mass production possibility   | Due to their size, unmanned aerial vehicles can go into mass production faster because they do not have complicated structures like other aircraft. Because you do not need large and numerous hangars where other aircraft are produced, more than one vehicle can be made in a single structure. Unmanned aerial vehicles used in different fields allow the production process, which is already fast, to be produced more efficiently and in large numbers. |

Source: Created by the author.

**Table 6. Threads.**

| No | Thema                                                      | Definition                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Increasing external dependence on parts                    | Companies may experience supply problems because they supply parts from different companies from outside during the mass production of Unmanned aerial VehiclesJul. In addition, the political and economic embargoes imposed on the states where the companies belong cause Jul-tain manufacturing Unmanned aerial vehicles to experience difficulties procuring parts.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 2  | Infiltration of technological information and cyber attack | Unmanned Aerial Vehicles, because they are high-tech products and are controlled remotely, can be defined as the most open-air vehicles for cyber attacks. Especially in the recent period, the realization of control via satellites instead of the ground command centre to create more range puts it in a position open to cyber attacks. As it is highly likely that direct cyber attacks against Unmanned aerial vehicles will be carried out and their source codes will be seized, there is a risk that trade secrets may be taken through cyber attacks against manufacturer companies. Companies' future-oriented Unmanned Aerial Vehicle projects and prototype information are seized, causing companies to experience significant commercial losses. |
| 3  | Economic instability                                       | Companies want economic stability to exist in the countries where they operate. The manufacturing company wants financial stability for foreign and domestic investors to contribute to their companies and for healthy exports to be realized.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

Source: Created by the author.

### 3. Conclusion and Evaluation

Due to technological advances and the needs of states, as well as the desires and opinions of non-state actors, structural changes have been made to UAVs. Both states and companies have implemented these changes with the advent of Industry 4.0. Due to their low cost and fast response time, UAVs are now used for various purposes, including migration monitoring, firefighting, border security, agriculture and cargo transport. UAVs have become essential in the fight against the COVID-19 epidemic, particularly in tasks such as drug delivery, public compliance monitoring and early intervention. The impact of COVID-19 on public transport and the need for non-contact delivery has led to increased investment by civil aviation companies in unmanned aerial vehicles for civil transport purposes, resulting in new missions.

As governments tailor their UAVs to their specific needs, companies have also begun developing unmanned aerial vehicles for various sectors, recognizing the potential opportunities in this area. Civil aviation companies and related industries are also entering the unmanned aerial vehicle market and continuously improving their production facilities and services. The growth trend of UAVs is expected to increase due to the opportunities presented by Turkish Airlines, Boeing, and Henan SunHawk companies. These opportunities include creating new market areas, scarcity of competitors, and the possibility of mass production. Additionally, the companies offer personnel training, R&D opportunities, a wide product range, and strengths in training and occupational health and safety.

UAVs are expected to be widely used in the next 25 years in diverse areas such as health, tourism, agriculture, migration, transport, and intervention in social events. They will likely be actively deployed. The increasing use of unmanned aerial vehicles in various sectors is leading to increased investment by information and technology companies, as well as civil aviation companies, which will result in the allocation of significant resources to develop UAV technologies. UAVs are expected to become increasingly common in certain areas of our lives within the next quarter of a century.

#### Author contributions

All authors have contributed with maximum contribution.

#### Conflicts of interest

There are no conflicts of interest in any part of the research paper.

### Statement of Research and Publication Ethics

For this type of study formal consent is not required.

### References

- Arjomandi, M., Agostino, S., Mammone, M., Nelson, M., & Zhou, T. (2006). Classification of unmanned aerial vehicles. *Report for Mechanical Engineering class, University of Adelaide, Australia*, 1-48.
- Clarke, V., & Braun, V. (2017). Thematic analysis. *The journal of positive psychology*, 12(3), 297-298.
- Cuerno-Rejado, C., Garcia-Hernandez, L., Sanchez-Carmona, A., Carrio, A., Sanchez Lopez, J. L., & Campoy, P. (2016). Historical evolution of Unmanned Aviation Vehicles to the present. *Dyna*, 91(3), 282-288. DOI: 10.6036/7781.
- Demirkıran, Z. K. (2010). Uçan Torpidodan Günümüze İnsansız Hava Araçlarının Gelişimi. *TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi*, Retrived from: <https://edergi.tubitak.gov.tr/edergi/yazi.pdf?dergiKodu=4&cilt=44&sayi=719&sayfa=28&yaziid=31054>, (Accessed: 21.10.2023).
- Ekmekcioğlu, A., & Yıldız, M. (2018). İnsansız Hava Araçlarının Askeri ve Sivil Alanlarda Kullanımı: ABD ve Türkiye Örnekleri ve Bazı Politika Önerileri. *Türk İdare Dergisi*, (486), 169-218.
- Hull, A. W., Markov, D. R., & Griffin, E. (2021). Private Chinese Aerospace Defense Companies, *China Aerospace Studies Institute*, 1-97.
- ICAO. (2015). Global Air Traffic Management Operational Concept, [https://www.icao.int/Meetings/anconf12/Document%20Archive/9854\\_cons\\_en\[1\].pdf](https://www.icao.int/Meetings/anconf12/Document%20Archive/9854_cons_en[1].pdf), (Accessed: 18.11.2023).
- Kahveci, M., & Can, N. (2017). İnsansız hava araçları: Tarihçesi, Tanımı, Dünyada ve Türkiye'deki Yasal Durumu. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(4), 511-535.
- Keane, J. F., & Carr, S. S. (2013). A brief history of early unmanned aircraft. *Johns Hopkins APL Technical Digest*, 32(3), 558-571.
- Kindervater, K. H. (2016). The emergence of lethal surveillance: Watching and killing in the history of drone technology. *Security Dialogue*, 47(3), 223-238.
- Liu, Y., Dai, H. N., Wang, Q., Shukla, M. K., & Imran, M. (2020). Unmanned aerial vehicle for the Internet of Everything: Opportunities and challenges. *Computer communications*, 155, 66-83.
- Mathews, S., Datar, V., & Johnson, B. (2007). A practical method for valuing real options: The Boeing approach. *Journal of Applied Corporate Finance*, 19(2), 95-104.
- OAC. (2022). The Descriptive Finding Guide for the Ryan Aeronautical Special Collection SDASM, <http://pdf.oac.cdlib.org/pdf/casdam/ryanaeronautica1.pdf>, (Accessed: 27.10.2023).

- Satia, P. (2014). Drones: a history from the British Middle East. *Humanity: An International Journal of Human Rights, Humanitarianism, and Development*, 5(1), 1-31.
- Singhal, G., Bansod, B. & Mathew, L. (2018). Unmanned Aerial Vehicle Classification, Applications, and Challenges: A Review. *Preprints*, 2018110601, 1-19. doi 10.20944/preprints201811.0601.v1.
- Şen, G. & Bütün, E. (2021). Covid-19'un pandemi salgınının havacılık sektörüne etkisi: Gig ekonomisi alternatifi. *Journal of Aviation Research*, 3(1), 106-127.
- Terry, G., Hayfield, N., Clarke, V., & Braun, V. (2017). Thematic analysis. *The SAGE handbook of qualitative research in psychology*, 2, 17-37.
- Tuna, G., Mumcu, T. V., & Gulez, K. (2012, December). Design strategies of unmanned aerial vehicle-aided communication for disaster recovery. In *High Capacity Optical Networks and Emerging/Enabling Technologies*, 115-119.
- Yetgin, M. A. & Baştuğ, M. (2021). Devletlerin Değişen Güvenlik Algısında İnsansız Hava Araçları. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 3(2), 55-64.
- CNN Türk (13.04.2022). Şanghay-New York İki Saat. <https://www.cnnturk.com/dunya/sanghay-new-york-iki-saat?page=1>, (Accessed: 05.05.2023).
- Euronews (2020). Havacılık sektöründe Covid-19 krizi: Boeing 12 bin, Easyjet 4 bin 500 kişiyi işten çıkarıyor, <https://tr.euronews.com/2020/05/28/havacilik-sektorunde-covid-19-krizi-boeing-12-bin-easyjet-4-bin-500-kisiyi-isten-cikariyor>, (Accessed: 05.05.2023).
- Hava Uzay (2021). THY Teknik AŞ Yeni Hava Aracı Esintiyi Tanıttı. (22.09.2021). <https://www.havauzay.org/thy-teknik-a-s-yeni-hava-araci-esintiyi-tanitti.html>, (Accessed: 05.05.2023).
- Jones, A (2021). Chinese hypersonic spaceplane company raises \$46 million. <https://spacenews.com/chinese-hypersonic-spaceplane-company-raises-46-million/>, (Accessed: 05.05.2023).
- Sun Hawk (2023) <https://en.sunhawk.cc/product/1.html>, (Accessed: 2023).
- Zhen, L. (2021). China a step closer to developing space plane with test flight hailed as Symbol of country's country's rise as a "space superpower'superpower", <https://www.scmp.com/news/china/science/article/3141498/china-takes-step-towards-developing-space-plane-test-flight>, (Accessed: 05.05.2023).

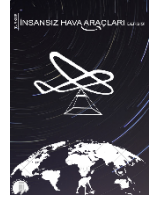
### Internet Resources

- Bayındır, Z. (2021). MQ-25 Stingray Tanker İHA ilk görevini tamamladı. <https://www.savunmasanayist.com/mq-25-stingray-tanker-ih/>, (Accessed: 05.05.2023).
- Boeing (2023). Boeing in Brief, <https://www.boeing.com/company/general-info/>, (Accessed: 05.05.2023).



© Author(s) 2023.

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



### 3 Boyutlu Yazıcıların İnsansız Hava Aracı Uygulamalarında Kullanımı

Osman Villi <sup>1\*</sup>, Özge Villi <sup>2</sup>, Murat Yakar <sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Toros Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, 33140, Mersin, Türkiye; (osman.villi@toros.edu.tr)

<sup>2</sup> Toros Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, 33140, Mersin, Türkiye; (ozgevilli@gmail.com)

<sup>3</sup> Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 33110, Mersin, Türkiye; (myakar@mersin.edu.tr)



\*Sorumlu Yazar:  
osman.villi@toros.edu.tr

#### Araştırma Makalesi

**Ahntı:** Villi, O., Villi, Ö. & Yakar, M. (2023). 3 Boyutlu Yazıcıların İnsansız Hava Aracı Uygulamalarında Kullanımı. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 5(2), 81-97.

Geliş : 14.07.2023  
Revize : 13.11.2023  
Kabul : 30.11.2023  
Yayınlama : 31.12.2023

#### Özet

İnsansız hava araçları (İHA) ilk geliştirildiği yıllarda, nispeten az sayıda bileşenden oluşmuştur. Son yıllarda ise teknolojinin gelişmesiyle birlikte birçok mekanik, elektro-mekanik ve elektronik bileşenden meydana gelmektedir. Bu bileşenlerin, özellikle mekanik ve yapısal elemanların üretimi çeşitli teknikler ile yapılmakta ve çoğu zaman maliyetli olmaktadır. İHA üretiminde yaygın olarak kullanılan ve konvansiyonel üretim tekniklerinden olan kalıp enjeksiyon veya talaşlı imalat, zaman ve maliyet açısından giderleri arttırabilmektedir. Son yıllarda oldukça gelişen 3 boyutlu (3B) yazıcı teknolojisi, İHA bileşenlerinin üretiminde kullanılmaya başlanmıştır. 3B yazıcı teknolojilerinde kullanılan baskı malzemeleri, termoplastik ve türevleridir. Bu malzemeler geleneksel üretimde yaygınlıkla kullanılan metallere kıyasla çok daha hafif ve işlenmesi kolaydır. 3B yazıcılar sadece İHA bileşenlerinin basımında değil aynı zamanda İHA görüntüleri ile elde edilen 3B modellerin ölçekli şekilde baskısının elde edilmesinde de kullanılmaktadır. Literatürde, özellikle kültürel miras ve arkeolojik çalışmalar başta olmak üzere, mühendislik uygulamalarında ve doğal afetlerin izlenmesinde önemli sonuçlar elde edildiği çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında 3B yazıcıların, İHA bileşenlerinin üretiminde ve İHA kullanılarak elde edilen görüntü çıktılarında kullanımı irdelenmiş, ilgili literatür çalışmalarına yer verilmiştir. Son olarak gelecekteki beklentiler sıralanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** İHA, 3B yazıcı, 3B model, nokta bulutu.

### Review on the Use of 3D Printers in Unmanned Aerial Vehicle Applications

\*Corresponding Author:  
osman.villi@toros.edu.tr

#### Research Article

**Citation:** Villi, O., Villi, Ö. & Yakar, M. (2023). Review on the Use of 3D Printers in Unmanned Aerial Vehicle Applications. *Turkish Journal of Unmanned Aerial Vehicles*, 5(2), 81-97 (in Turkish).

Received : 14.07.2023  
Revised : 13.11.2023  
Accepted : 30.11.2023  
Published : 31.12.2023

#### Abstract

Unmanned aerial vehicles (UAVs), in their early development years, consisted of a relatively small number of components. However, in recent years, with the advancement of technology, they are composed of numerous mechanical, electro-mechanical, and electronic components. The production of these components, especially mechanical and structural elements, involves various techniques and is often costly. Commonly used in UAV manufacturing, conventional production techniques such as mold injection or machining can increase time and cost expenditures. The rapidly evolving 3D printing technology has been increasingly employed in the production of UAV components in recent years. The printing materials used in 3D printing technologies are thermoplastics and their derivatives. These materials are much lighter and easier to process compared to metals commonly used in traditional production. 3D printers are not only used in the printing of UAV components but also in the scaled printing of 3D models obtained from UAV images. In the literature, significant results have been achieved in various studies, particularly in cultural heritage, archaeological research, engineering applications, and natural disaster monitoring. In the context of this study, the utilization of 3D printers in the production of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) components and in the generation of imagery outputs obtained through the use of UAVs has been scrutinized. Relevant literature studies have been referenced. Finally, future expectations are delineated.

**Keywords:** UAV, 3D printer, 3D model, point cloud.



## 1. Giriş

İHA en genel tanımıyla, içinde bir pilot bulunmayan ve çeşitli haberleşme protokolleri ile kablosuz kontrol edilebilen, otonom, yarı otonom veya yerdeki bir pilot tarafından yönlendirilen hava araçlarıdır (Menteşeoğlu & İnan, 2016; Yakar & Villi, 2022). Amaç ve kabiliyetlerine göre farklı boyut, şekil ve ağırlıkta olan İHA'ların sınıflandırılması da bu doğrultuda görev irtifasına, ağırlığına veya kanat tipine göre yapılmaktadır. Sivil amaçlı İHA'lar göz önüne alındığında, kanat tipine göre yapılan sınıflandırma en yaygın olanıdır. Buna göre 3 ana gruba ayrılan İHA'lar sabit kanat, döner kanat ve hibrit tip olarak isimlendirilmektedir (Erdoğan vd., 2022a; Kabadayı vd., 2020; Yakar vd., 2023).

İHA sistemleri, ilk zamanlarda sabit kanat tipli olarak askeri uygulamalar için geliştirilmiştir. Ancak artan ihtiyaçlar doğrultusunda bilimsel araştırmalarda ve mühendislik çalışmalarında da kullanımı her geçen gün artmaktadır. Bu alanlarda genellikle döner kanat tip tercih edilse de geniş alanların taranması ve görüntü toplama söz konusu olduğunda sabit kanat veya hibrit tip İHA sistemleri daha avantajlı olabilmektedir (Erdoğan vd., 2022b; Kabadayı & Erdoğan, 2023).

Hangi amaç ile kullanılırsa kullanılsın, İHA sistemlerinde en önemli husus havada kalma süresidir. Havada kalma süresini etkileyen en önemli parametre ise kalkış ağırlığıdır (takeoff weight). Kalkış ağırlığını düşürmeye yönelik çalışmaların başında da hafif ve dayanıklı malzemelerin üretilmesi gelmektedir (Anand & Mishra, 2022).

İHA üretiminde kullanılan geleneksel imalat yöntemlerine örnek olarak; köpük ve balsa ağacı şekillendirmesi için sıcak tel kesme, kompozit malzemelerin kullanıldığı durumlarda ise bu malzemelerin uygun yerleştirilmesini içeren ilgili üretim yöntemleri kullanılmaktadır. Eklemeli imalat yöntemi ise İHA üretiminde kullanılan geleneksel olmayan yöntemdir. (Goh vd., 2017). Hem konvansiyonel fabrikasyon teknolojileri hem de eklemeli imalat yöntemlerinin avantajları olduğu kadar dezavantajları da bulunmaktadır. Çoklu işlem basamaklarının olması (Goh vd., 2017; Cairns & Skramstad, 2000), emek-yoğun üretim (Goh vd., 2017; Atzeni vd., 2010), kalıp maliyetlerinin fazla olması ve işlem sürecinin uzun olması (Goh vd., 2017; Kruth vd., 1998), geleneksel imalat yöntemlerinin dezavantajlarındandır.

Geleneksel olmayan üretim yöntemlerinden olan 3B baskı teknolojisi eriyik yığılma modelidir. Bu teknik ile İHA bileşenlerinin üretimi her yıl giderek artmaktadır. Ayrıca sadece İHA'ya ait parçalar değil, aynı zamanda tüm İHA gövdesinin yapımı

sağlanabilir (Zagidullin vd., 2021). Aşağıdaki şekilde eklemeli imalat yöntemine göre çalışan kartezyen, polar ve delta tipindeki 3B yazıcılar görülmektedir (Şekil 1).



**Şekil 1.** Eriyik yığarak modelleme (FDM: Fused Deposition Modeling) prensibine göre çalışan 3B yazıcı örnekleri.

İHA üretiminde 3B yazıcı kullanmanın önemli avantajlarından biri, otomasyonun daha hızlı olması ve malzeme israfının minimum seviyede olmasıdır. Bu da uygulamayı maliyet açısından etkin kılmaktadır. Kompozit malzemelerin kullanıldığı yöntemler ile kıyaslandığında, kompozit malzemelerin üretilmesi için gerekli bileşen maliyetini on kata kadar azaltmaktadır (Erdoğan vd., 2021; Kabadayı, 2022; Kabadayı & Erdoğan, 2022; Anand & Mishra, 2022; Fasel vd., 2020).

Geleneksel üretim yöntemlerine göre kıyaslandığında daha az atık malzeme ortaya çıkmaktadır. Ayrıca işe yaramayan parçalar (kırılmış, tamamlanamamış, hatalı üretilmiş vb.) eritilerek tekrar filament haline getirilebilir (Easter vd., 2013).

Eklemeli imalat yönteminin avantajları bulunmasına rağmen bazı sınırlamaları da mevcuttur. Bu yöntemde kullanılan malzemelerin yük dayanımının düşüklüğü, anizotropik özellikler, karakterizasyon yöntemlerinin eksik olması ve küçük yapı hacimleri, eklemeli imalat yönteminin uygulanabilir bir ticari çözüm olmasını sınırlandırmaktadır (Goh vd., 2017).

İHA'nın uygulama alanına göre değişmekle birlikte, kompozit, polimerler ve metaller gibi mühendislik malzemeleri yaygınlaştıkça kullanılmaktadır. Kompozit malzemeleri ele aldığımızda, havacılık uygulamalarında en yaygın olarak kullanılan karbon fiber takviyeli kompozitlerdir (CFRP). Metallere göre kıyaslandığında üstün bir sertlik/yoğunluk oranına sahiptir. Ayrıca yorulmaya, korozyona ve neme karşı dirençlidir (Anand & Mishra, 2022; Zhu vd., 2018).

Bir diğer kompozit çeşidi olan fiberglas veya cam elyaf takviyeli plastik, karbon elyafa göre maliyeti daha az olmakla birlikte yaygınlıkla titreşimin çok olduğu gövde ve iniş takımına ait bileşenlerin yapımında kullanılır. Gövde ve iniş takımlarının ani darbe yüklerine karşı dayanımını arttırmak için kullanılan "kevlar" malzemesi bir diğer kompozit

çeşididir. Havacılık ve uzay endüstrilerinde uygulama alanına bağlı olarak alaşım malzemeler de tercih edilebilmektedir. En çok kullanılan alaşımlar arasında titanyum, alüminyum ve magnezyum yer almaktadır. Alüminyum alaşımları, yoğunluğunun düşük olması, imalatının kolay olması, kırılma tokluğu ve mukavemetinin yüksek olması sebebi ile İHA sistemlerinin gövde bileşenlerinde kullanılabilir. Yüksek mukavemetli bir diğer alaşım olan titanyum alaşımları, düşük ağırlıkta olup, korozyona, ısıya ve yorulmaya karşı dayanıklıdır. Ancak pahalı bir malzemedir. Magnezyum alaşımları, doğa dostu geri dönüştürülebilir bir malzeme olmakla birlikte yüksek sıcaklıklara karşı dayanımı azdır (Anand & Mishra, 2022).

Polimer olarak, “akrilonitril bütadiyen stiren” (ABS) ve “polylactic acid” (PLA) en yaygın olan malzemeler olup, ABS maliyetinin düşük olmasından, PLA ise hafif bir malzeme olmasından dolayı tercih edilmektedir (de Oliveira & Carvalho, 2021; Shin vd., 2020). Diğer bir polimer malzeme olarak “Polietilen tereftalat” (PET), yüksek elastikiyet ve gerilme mukavemetine sahip bir malzeme olmasından dolayı İHA yapımında kullanılmaktadır (Anand & Mishra, 2022; Niemand vd., 2020).

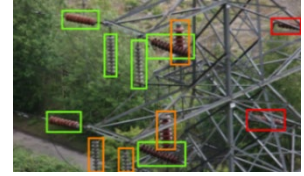
## 2. İnsansız Hava Araçları

Birçok teknolojik gelişme gibi İHA'lar da başlarda askeri amaçlar doğrultusunda geliştirilmiştir. Ancak gelişen teknoloji ve artan ihtiyaçlar doğrultusunda bilimsel araştırmalarda ve endüstriyel faaliyetlerde sivil amaçlı olarak kullanılmaya başlamıştır. İHA sistemleri günümüzde 15'ten fazla sektörde ve 100'den fazla uygulama alanıyla her geçen gün daha popüler hale gelmektedir (Ahmed vd., 2022; Villi & Yakar, 2022; Yakar vd., 2023). Günümüzde İHA sistemleri çoğunlukla haritalamada, madencilik alanında, arkeolojik uygulamalarda, ormancılık ve hassas tarım uygulamalarında, inşaat ve mimari projelerde, sinema ve reklam sektöründe, arama kurtarma ve doğal afet izleme uygulamaları gibi majör alanlarda kullanılmaktadır (Mohsan vd., 2022; Sivakumar & Turlapati, 2021). Orman yangınlarının izlenerek yayılım yönlerinin tespiti, duman ve alevlerin görüntü işleme ve yapay zeka teknikleri ile deteksiyonu (Jiao vd., 2019), elektrik hatlarında meydana gelen arızaların ve paslı elemanların otomatik şekilde tespiti (Odo vd., 2020), tarımsal alanlarda hastalık ve su stresi tespitleri (Akkamış & Çalışkan, 2020), tarihi yapıların deformasyon tespitleri ile ilgili çalışmalar (Karataş vd., 2022), arkeolojik alanlar ve yapıların belgeleme çalışmaları için 3B modellenmesi ve rölöve çalışmaları (Kanun vd., 2021; Şasi & Yakar, 2017; Yakar & Doğan, 2017; Alptekin & Yakar, 2021), kaya düşmesinden

kaynaklı afetlerin izlenmesi ve analizleri (Yakar vd., 2022), heyelan bölgelerinin 3B modellenerek veya çeşitli yapay zeka yöntemleri ile analiz edilmesi (Alptekin vd., 2019; Kusak vd., 2021), iklim ve çevresel değişikliklere bağlı olarak kıyı ve kıyı kenar değişikliklerinin izlenmesi (Ünel vd., 2020) literatür çalışmalarından bazılarıdır (Şekil 2).



Orman yangını  
afetlerinin izlenmesi  
(Jiao vd., 2019)



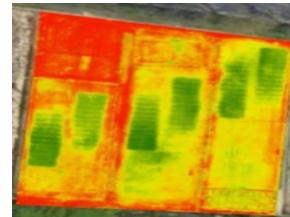
Elektrik hattı izleme ve  
arıza tespiti (Odo vd.,  
2020)



Arkeolojik çalışmalar  
(Kanun vd., 2021)



Sayım uygulamaları



Hassas tarımsal  
uygulamaları (Akkamış  
& Çalışkan, 2020)



Termal izleme  
uygulamaları

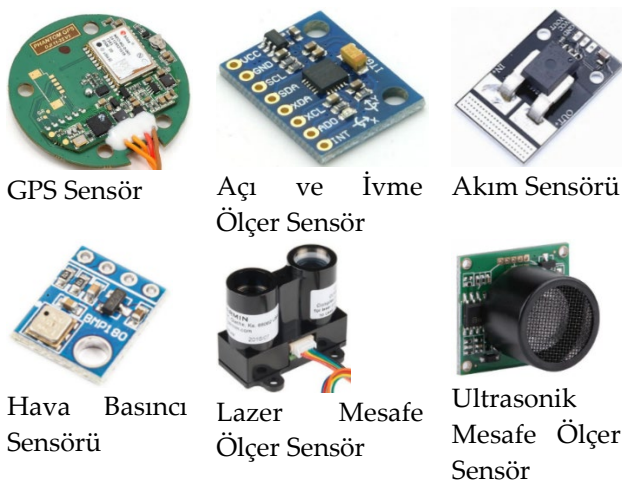
**Şekil 2.** İHA Kullanım alanlarından bazıları.

İHA'lar genellikle bir uçuş rotasına bağlı olarak otonom, yarı otonom veya pilot tarafından kumanda edilmektedir. Görev kabiliyetlerine ve amaçlarına göre farklı boyut, şekil ve ağırlıkta olabilmektedirler. Üzerlerinde bulundurdıkları algılayıcı sistemler sayesinde çevre ile ilgili ölçümler yaparak kayıt altına almaktadırlar. Bu algılayıcı sensörlerden en yaygın kullanım alanına sahip olanı kameralardır (Menteşoğlu & İnan, 2016; Villi & Yakar, 2022; Avdan vd., 2014). İHA'ların üzerine entegre edilebilen kamera türleri genellikle görünür ışık kameralarıdır. Ancak termal, multispektral, hiperspektral, oblik veya optik yakınlaştırma yapabilen kameraların kullanımı da gittikçe artmaktadır (Cilek vd., 2020; Çelik vd., 2020) (Şekil 3).



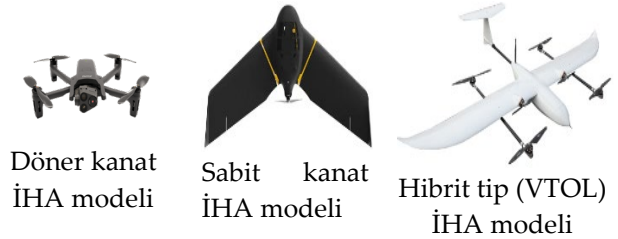
**Şekil 3.** İHA üzerinde entegre edilebilen kamera türleri (Villi & Yakar, 2022).

İHA'ların görevlerini doğru şekilde yapabilmeleri ve pilot komutlarını doğru şekilde yerine getirebilmeleri için üzerlerinde birçok elektronik bileşen bulunmaktadır (Donmez vd., 2021). Uçuş kontrol ünitesi, sensörlerden gelen verileri toplayarak İHA'nın uçuş güvenliğini ve komutların eksiksiz yürütülmesini sağlar. Bu sensörlerden bazıları şunlardır; eğim ve açı sensörü, hava basıncı sensörü, akım ve voltaj sensörü, motor devir sayıcı sensör, ısı sensörleri, akışkan hızı sensörüdür (Villi & Yakar, 2022) (Şekil 4).



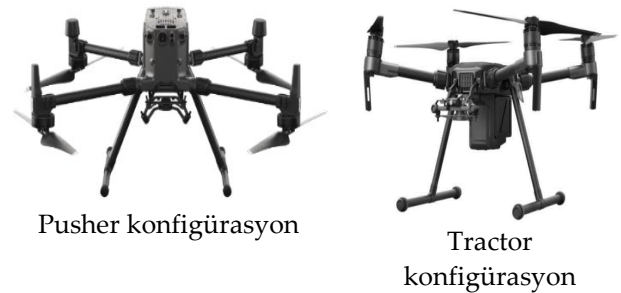
**Şekil 4.** İHA üzerinde bulunan sensörlerden bazıları.

İHA sistemleri çeşitli kategorilerde sınıflandırılmaktadır. Teknik kabiliyetlerine göre, fiziksel yapılarına göre, aerodinamik yapılarına göre, kanat yapılarına göre, motor ve batarya tiplerine göre, menzil ve irtifa değerlerine göre yapılan sınıflandırmalar en yaygın sınıflandırma metodlarıdır (Elmas, 2019). Türkiye Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü'ne (SHGM) göre İHA'lar ağırlıkları temel alınarak sınıflandırılmaktadır. Buna göre 500 gr. ile 4 kg arasında olan İHA'lar İHA0, 4 kg ile 25 kg arasında olan İHA'lar İHA1, 25 kg ile 150 kg arasında olan İHA'lar İHA2 ve 150 kg'dan ağır olan İHA'lar İHA3 olarak sınıflandırılmıştır. (Bento, 2008) İHA'ları görev ve menzillerine göre sınıflandırmıştır. Örneğin 150 km'den düşük menzile sahip İHA'ları "çok yakın menzil", 150 km – 500 km arası menzile sahip İHA'ları "orta menzil" olarak sınıflandırmıştır. Bir başka yaygın kullanılan sınıflandırma olan kanat tiplerine göre sınıflandırmada ise "sabit kanat", "döner kanat" ve "hibrit" olarak ayrımlar mevcuttur (Şekil 5).



**Şekil 5.** Kanatlarına göre İHA tipleri.

Döner kanat İHA'lar da kendi içinde alt sınıflara ayrılabilir. 2 motora sahip döner kanat İHA'lar "bicopter", 3 motora sahip olanlar "tricopter", 4 motora sahip olanlar "quadcopter", 6 motora sahip olanlar "hexacopter" ve 8 motora sahip olanlar "octocopter" olarak isimlendirilmektedir (Yakar vd., 2023). Bu motorların yerleşim yerlerine göre de "pusher" veya "tractor" tasarımlar vardır. Motorların yukarı yönlü olduğu tasarımlar "tractor", aşağı yönlü olduğu tasarımlar "pusher" olarak sınıflandırılmaktadır (Şekil 6).

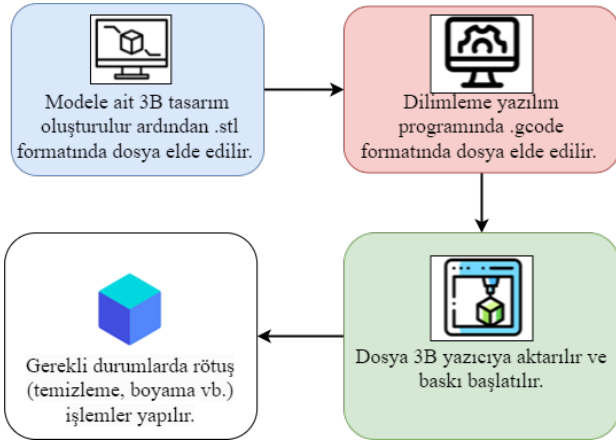


**Şekil 6.** Pusher ve Tractor tip tasarımlar.



### 3. 3 Boyutlu Yazıcı Teknolojileri

3B yazıcılardan baskı elde etme işlemi, katmanlı (eklemeli) üretim prensibine dayanmaktadır. Katmanlı üretim, farklı türde malzemelerin (plastik, metal, kompozit vb.) dijital verileri kullanılarak, katmanların üst üste yığılması tekniğidir (Sürmen, 2019). 3B baskı için öncelikle baskı modelin bilgisayar desteli 3B yazılım programında tasarımının yapılması gerekmektedir. Daha sonra tasarım, “.stl” dosyası uzantılı olarak kaydedilir ve bu dosya dilimleme programına aktarılır. Dilimleme programında, gerekli baskı parametre ayarlamaları yapılarak katmanlı üretim için gerekli olan “.gcode” formatında dosya elde edilir. Gcode dosyası 3B yazıcıya yüklenerek, baskı işlemi başlatılır. Baskı işlemi tamamlandıktan sonra eğer gerekiyorsa destek elemanlarının temizlenmesi, boyama gibi rötuş işlemi yapılır ve nihai ürün elde edilir. 3B yazıcıdan baskı elde edilmesine ait aşamaları gösteren iş akışı, Şekil 7’ de yer almaktadır.



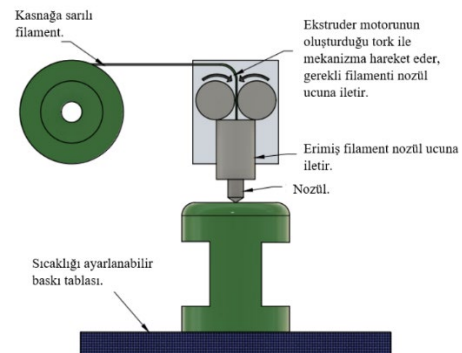
**Şekil 7.** 3B yazıcıdan baskı elde etmeye yönelik tipik iş akışı.

3B yazıcıların uygulama ve yöneme göre farklılaştığı birçok çeşidi bulunmaktadır. İlk olarak 1980’lerde 3B Systems şirketi tarafından sterolitografi (Stereolithography-SL) yöntemi ortaya çıkarılmış olup, bu yöntemi takiben geliştirilen diğer yöntemler, lamine nesne imalatı (Laminated Object Manufacturing-LOM), eriyik yığarak modelleme (Fused Deposition Modeling-FDM), seçmeli lazer sinterleme (Selective Laser Sintering-SLS), katı zemin kürleme (Solid Ground Curing-SGC), 3B baskı (Three-Dimensional Printing-3BP) olarak sıralanabilir (Sürmen, 2019).

SLS teknolojisi, toz malzemenin karbondioksit lazer ışını ile eritilmesini esas alır. Uygulama sırasında ortam malzemenin erime noktasına kadar ısıtılır. Lazer ışını tasarımda belirtilen her katman için belirli bir konumda toz malzemeleri birleştirir. Katmanlar tamamlandığında baskı yüksekliği, tabakanın kalınlığı kadar aşağı inen bir piston tarafından kontrol edilir

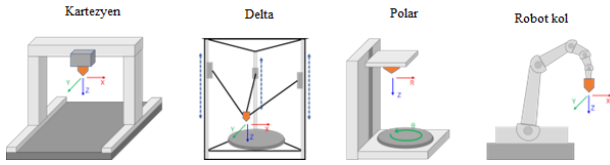
(Wong & Hernandez, 2012). SL yönteminde, fotosensitif monomer reçinelerin, UV ışınına maruz kaldığında reçinelerin foto polimerizasyonu yöntemine dayanır. SLA tekniğini kullanan cihazlarda, reçine banyosuna daldırmak için platform ile gerekli donanım ve yazılıma sahip lazer kaynağı bulunur. CAD (Computer-aided desing: Bilgisayar destekli tasarım) ve dilimleme programında elde edilen veriler doğrultusunda, reçine yüzeyinde lazer ışını taramasından sonra ilk katman oluşur. Ardından platform katmanı, katman kalınlığı mesafesinde reçine içerisine daldırılır ve diğer katman oluşturularak önceki katmana bağlanır (Bikas vd., 2016). LOM, malzemelerin katman katman kesilmesi ve laminasyonuna dayanan bir üretim yöntemidir. Ardışık katmanlar, mekanik bir kesici ve lazer kullanılarak kesilir ve daha sonra bir araya getirilir. Bir araya getirilmesi sırasında önceden şekil verilmiş katmanlar kullanılabilir ya da birleştirme işleminden sonra şekil verilebilir (Ngo vd., 2018). SGC yöntemi foto-polimer esastır her bir katmana ait geometrilerin üretimi, güçlü bir UV lamba ya da lazer kaynağı ve maske yardımı ile gerçekleşir (Bikas vd., 2016; Gebhardt, 2003). 3BP yönteminde, toz bazlı bir malzeme katman katman olacak şekilde, ince ince serilir. Mürekkep püskürtmeli baskı kafası vasıtası ile toz parçaları üzerine iletilen sıvı yapıştırıcı parçacıkları bir araya getirir (Jadhav vd., 2019).

FDM teknolojisi 1980’li yıllarda geliştirilen eklemeli imalat yöntemleri arasında birçok endüstri tarafından yaygınlıkla kullanılan bir yöntemdir (Villi vd., 2023). Bu teknolojiye termoplastik malzemeden yapılmış filament malzemesi, makaraya tel şeklinde sarılır. Sonraki aşamada makara kısmı, tahrik dişlisi ile dönüş hareketi yapar. Haznede eriyen filament, baskı kafasında yer alan “nozzle” (nozül) ucundan (eriyik halde) baskı tablasına iletilir. Önceden belirenmiş olan koordinat bilgileri ile baskı kafası hareket eder, böylelikle nozül ucundan eriyik filament, katmanları oluşturularak, 3B baskı üretimi sağlanır. Şekil 8’ de FDM 3B yazıcıların çalışma prensibini gösteren şematik diyagram yer almaktadır.



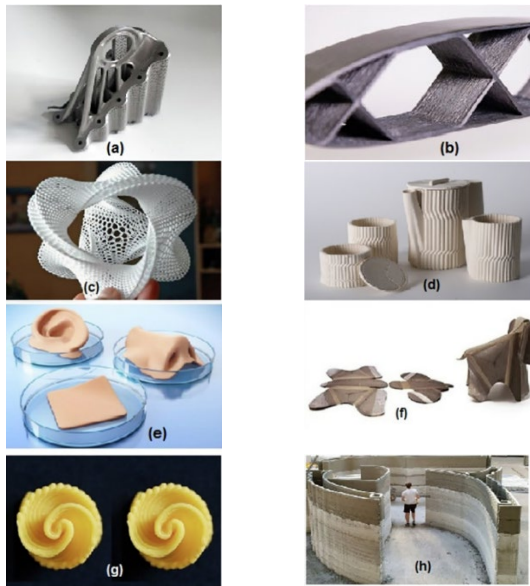
**Şekil 8.** FDM 3B yazıcı şematik diyagramı.

FDM 3B yazıcılar, konfigürasyonun değişikliği ile kartezyen, polar, delta ve robot kol olmak üzere, 4 farklı çeşide ayrılmıştır. Kartezyen FDM 3B yazıcılar, lineer bağlantılar ve ilgili mafsallardan oluşur ve x, y ve z eksenleri boyunca hareket sağlar. Baskı tablası z eksenini boyunca, baskı kafası ise x ve y eksenleri boyunca hareket edebilir. Polar FDM yazıcılarda, baskı tablası z ekseninde dönüş hareketi yapar, baskı kafası ile x ve y eksenleri boyunca doğrusal hareket yapar. Delta FDM 3B yazıcılarda yuvarlak formda olan baskı tablası sabit olup, baskı kafasına bağlantılı her yöne hareket edebilen üç kol bulunmaktadır. Robotik kollu FDM 3B yazıcılarda, baskı kafası, robotik kolun uç kısmına yerleştirilir. Konum ve yön tamamen robotik kolun konfigürasyonu tarafından belirlenir (Dhanunjayaro vd., 2020). Şekil 9' da farklı 3B FDM yazıcıların sınıflandırılması gösterilmektedir.



Şekil 9. 3B FDM yazıcıların sınıflandırılması (Fabweaver, 2022).

3B yazıcılar, fonksiyonel parçaları çeşitli malzeme türlerinde üretebilme yeteneğine sahiptirler. Bu malzemeler; seramik, metalik, polimer ile bunların hibrit ve kompozit kombinasyonları olabilir. (Shahrubudin vd., 2019; Tofail vd., 2018). Şekil 10' da farklı türde malzemeler kullanılarak elde edilen örnek baskılar yer almaktadır.



Şekil 10. (a) metal ve alaşımları; (b) kompozit; (c) polimer; (d) seramik; (e) biyomalzemeler; (f) akıllı malzemeler (g) gıda malzemesi; (h) yapı malzemeleri (Ranjan vd., 2022).

3B baskı işlemlerinde en çok tercih edilen malzemeler polimerlerdir. Kullanılabilirlik, yüksek mekanik özellikler, düşük maliyet, farklı 3B yazıcı çeşitlerinde kullanıma adaptasyon olabilmesi, polimer malzemelerin tercih edilmesinin başlıca nedenleridir. Polimer çeşitleri olarak; naylon, "Acrylonitrile-butadienestyrene" (ABS), "Polyethylene terephthalate" (PET), "High-impact polystyrene" (HIPS), "Polycarbonate" (PC), "Polylactic acid" (PLA), "Thermoplastic polyester" (TPC) ve "Polyether ether ketone" (PEEK) karmaşık yapıda geometrilere sahip baskıların elde edilmesinde sıklıkla kullanılırlar (Ranjan vd., 2022).

#### 4. İHA Bileşenlerinin 3 Boyutlu Yazıcı ile Basılmasına Yönelik Literatür Çalışmaları

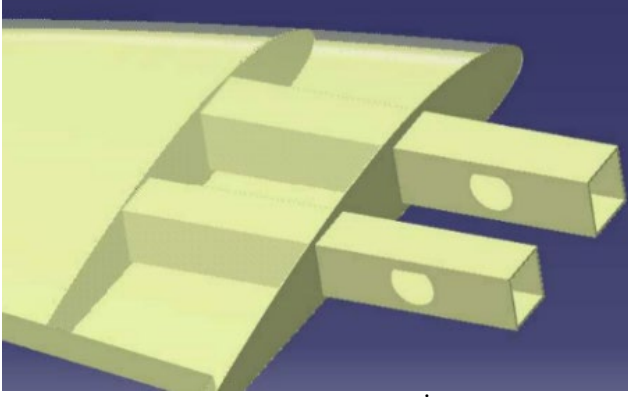
Bir İHA ne kadar fazla süre havada kalırsa o kadar çok veri toplayabilir. Dolayısı ile İHA kullanılan uygulamalarda en kritik parametre zamandır. Uçuş süresini arttırmak için yapılan çok sayıda çalışma mevcuttur. Motor verimini arttırma, batarya ve yakıt sistemlerini iyileştirme, kanat ve pervane performanslarını arttırma bu çalışmalardan bazılarıdır. Ancak bu iyileştirmelerde çoğu zaman başka teknik sorunlar ortaya çıkabilmektedir. Örneğin motor veriminin artması daha büyük pervane/kanat gerekliliğine sebebiyet verebilir veya batarya kapasitesinin artması motor ve elektronik hız kontrolcüsünün ısınmasına neden olabilmektedir. Uçuş süresini arttıracak bir diğer önemli parametre ise uçuş ağırlığıdır. Uçuş ağırlığı düştükçe motorların çektiği akım miktarı azalacak dolayısı ile batarya/yakıt tüketimi düşecektir. İHA tasarımında kullanılan ve kritik olmayan malzemelerde, metaller yerine plastik ve türevlerinin tercih edilmesi, ağırlıkların düşürülmesinde büyük öneme sahiptir. Ancak yüke veya ısıya karşı dayanıklı olması istenen parçalarda, polimerler malzemelerin tercihi daha kötü sonuçlara yol açabileceği için, İHA tasarımında kullanılan malzeme seçimlerinin iyi planlanmış olması gerekmektedir.

3B yazıcılar ile kritik olmayan İHA parçalarının üretilmesi son yıllarda oldukça popülerleşmiştir. Sadece İHA sistemlerinde değil Boeing, Airbus, SpaceX, Blue Origin, Rocket Lab gibi havacılık alanındaki büyük üreticiler dahi 3B yazıcı teknolojilerini ürünlerinde kullanmaktadırlar (Zagidullin vd., 2021).

(Ahmed & Page, 2013) yapmış oldukları çalışmada, 3B yazıcı ile bir İHA tasarımı üzerinde durmuşlardır. 3B yazıcıların hızlı ürün prototipleme ve konsept üretim yeteneklerinden faydalanmışlardır. Acil durumlarda kullanılmaya uygun, özellikle arama kurtarma faaliyetlerinde başarılı sonuçlar almak için,



montajı ve sahada kullanımı kolay, kabul edilebilir bir dayanıma sahip, 3B yazıcı ile üretilabilir bir sabit kanatlı İHA tasarımı yapmışlardır. Toplamda 3 kg ağırlığa sahip 3B baskı modeli, muadil İHA tiplerine göre oldukça hafif bir tasarıma sahiptir. Ayrıca kanatların bükülme ve burulma yüklerini sönmölemek için ekstra destek yapıları tasarlanarak İHA kanadının mukavemeti de artırılmıştır. Bu sayede baskı malzemesinin dezavantajları da azaltılmıştır (Şekil 11).



Şekil 11. Tasarlanan sabit kanat tip İHA kanadının iç tasarımı (Ahmed & Page, 2013).

Uçuş esnasında kanada etkiyen kuvvetler uçuş güvenliğini ve hava aracının stabilizasyonunu etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Araştırmacılar bu sebeple kanada etkiyen kuvvetlerin yatay ve dikey etkilerini en aza indirmek için montaj borularının yuvalarını kare şekilde tasarlamışlardır. Son olarak, 3B yazıcıdan baskı alınan model rüzgar tüneline test edilmiştir. Araştırmacılar, geliştirdikleri İHA modelinin fabrikasyon modellere göre (kabul edilebilir parametreler ile) çok daha düşük maliyetli olabileceğini belirtmişlerdir.

Moon ve arkadaşları (Moon vd., 2014) yaptıkları çalışmada, sabit kanatlı bir İHA için optimum elastik performansa sahip şişirilebilir kanat tasarımları üzerinde durmuşlardır. Bu tasarımların basınç dayanımlarını analiz etmişlerdir. Çalışmalarında Objekt 350 3B yazıcı kullanmışlar ve foto polimer baskı malzemesi olarak polipropilen benzeri olan Objekt DurusWhite RGD430 tercih etmişlerdir (Şekil 12).



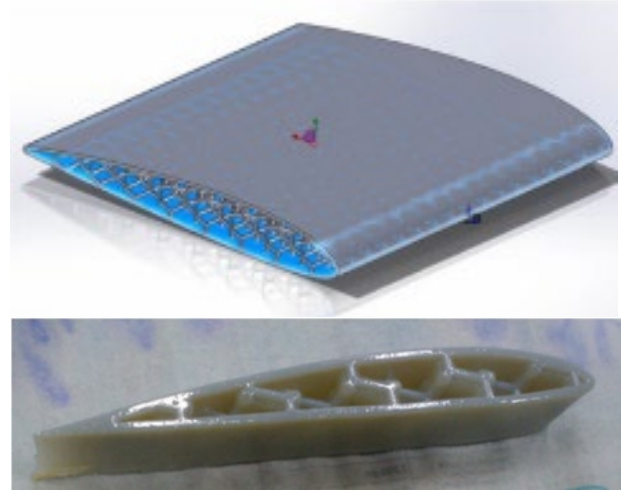
Şekil 12. Kullanılan 3B yazıcı ve baskı malzemesi.

Geliştirdikleri ve test ettikleri tasarımlar “3B Kagome”, “hexagonal diamond” ve “cross pyramidal” tipte olan yapılardır (Şekil 13).



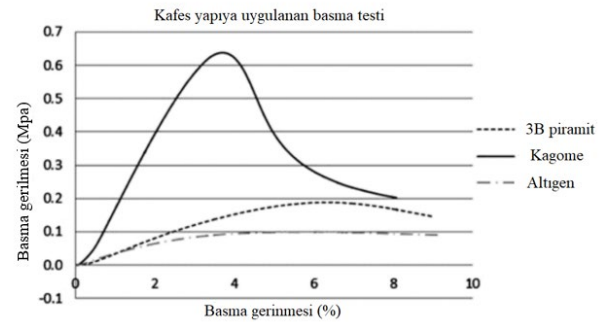
Şekil 13. Önerilen 3B kafes yapıları (Moon vd., 2014).

Bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımı ile önerdikleri kafes yapıları doğrultusunda oluşturulan kanat tasarımları üzerinde dayanım testleri yapmışlardır (Şekil 14).



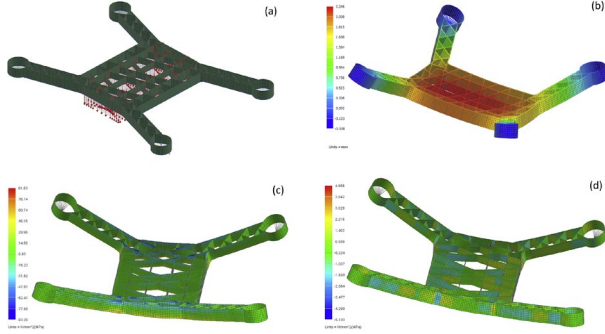
Şekil 14. CAD model olarak tasarlanan ve 3B olarak üretilen kanat yapısı (Moon vd., 2014).

Önerilen kafes yapıları, Instron 5900 Tabletop Universal Testing System test cihazı ile standart basma testlerine tabi tutulmuştur. Buna göre araştırmacılar, “3B Kagome” yapısı modeli ile oluşturulan kanat yapısının en iyi, altigen modeli ile oluşturulan kanat yapısının ise en düşük dayanıma sahip olduğu sonucuna varmışlardır (Şekil 15).



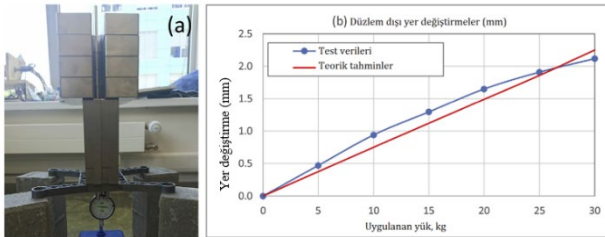
Şekil 15. Yapılan standart basma testi sonuçları (Moon vd., 2014).

Azarov vd. (2019), küçük boyuttaki bir İHA için kompozit şasisin tasarımı, analizi ve 3B yazıcı ile üretimi üzerine çalışmışlardır. Kompozit malzeme olarak karbon fiber takviyeli plastik (CFRP) kullanmışlardır. Baskı alınan test numuneleri üzerinde çekme deneyi ve üç nokta eğme deneyi yapılarak malzemenin mekanik özellikleri hakkında veri elde etmişlerdir. Bu verileri kullanarak da sonlu eleman analizi yapmışlardır. Şekil 16' da sonlu eleman analiz sonuçları yer almaktadır.



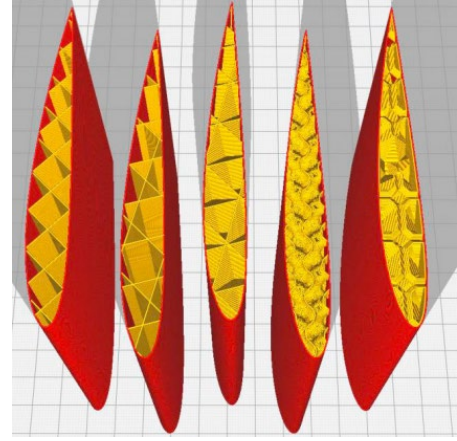
**Şekil 16.** Sonlu eleman analizi sonuçları (a) sonlu eleman modeli; (b) düzlem dışı yer değiştirmeler (mm); (c) boyunca hareket eden normal gerilmeler lifler (MPa); (d) Katmanlar arası kayma gerilmeleri (MPa) (Azarov vd., 2019).

Elde edilen İHA şasisinin düşük ağırlık ile birlikte yüksek rijitlik ve dayanıklılık sergilediği gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda, küçük boyutlu İHA parçalarının üretiminde 3B yazıcıların alternatif bir üretim yöntemi olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Sonlu eleman analizi sonuçları ile deneysel sonuçlara ait karşılaştırma grafiği Şekil 17' de yer almaktadır.



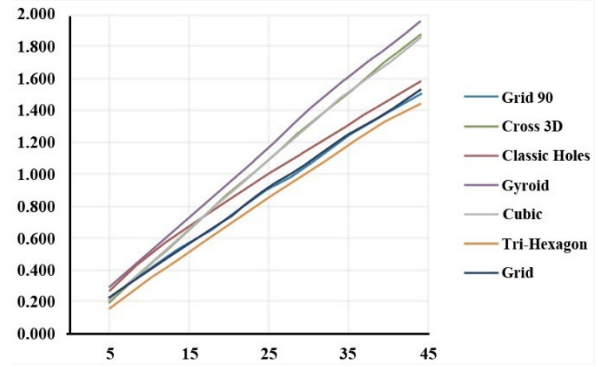
**Şekil 17.** Küçük boyutlu İHA şasisinin test edilmesi: (a) test; (b) sapma miktarı (Azarov vd., 2019).

Pecho vd. (2019) optimum hafiflik ve yük dağılımına sahip kanat modelleri üzerinde çalışmışlardır. Çalışmalarında baskı materyali olarak PLA (poli laktik asit) kullanmışlardır. Creality CR-10S model 3B yazıcı ile, NACA2412 standart kanat profilini (airfoil) baz alarak, CURA dilimleme yazılımı (slicer software) yardımıyla ürettikleri kanat içi yapılarını (Şekil 18) karşılaştırmışlardır.



**Şekil 18.** CURA yazılımında farklı doluluk tiplerine göre dilimlenen kanat yapıları (Soldan sağa doğru: Grid, Tri-hexagon, Cubic, Gyroid, Cross-3D) (Pecho vd., 2019).

Farklı baskı parametreleri kullanarak ve doluluk tipini (infill type) değiştirerek tasarlanan kanat yapılarını stres testlerine tabi tutmuşlardır. 211 °C baskı sıcaklığında, yaklaşık %10 doluluk oranıyla, 15mm/sn baskı hızı ile üretilen numunelerin baskı süresi ortalama 10 saat sürmüştür. Üretilen kanat tiplerinin analizi sonucunda en sağlam olan yapının "Tri-Hexagon" doluluk tipine sahip kanat profil olduğunu, en esnek yapının ise "Gyroid" doluluk tipine sahip kanat profili olduğunu ortaya koymuşlardır (Şekil 19).



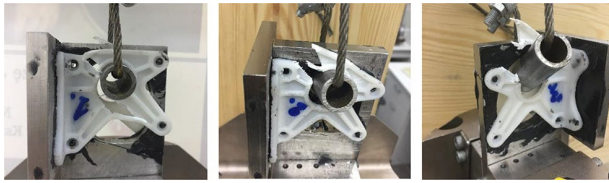
**Şekil 19.** Farklı doluluk tiplerine sahip kanatların kuvvet-gerinim grafiği (Pecho vd., 2019).

Mieloszyk vd. (2019), İHA bağlantı parçalarının 3B yazıcı kullanılarak üretilmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. İnsansız hava aracına etki edecek yükleri C23 uçuş yönetmeliğine göre belirlemişlerdir. Bağlantı parçaları üzerine etki eden tepki kuvvetlerini hesaplamışlardır. Sonlu eleman analizi yöntemi ile bağlantı parçalarının tepki kuvvetleri altındaki mukavemetlerini hesaplamışlardır. Tasarımını yaptıkları bağlantı parçalarının üretiminde 3B yazıcı kullanmışlardır. Filament yönünün baskı kalitesine etkisini incelemek için farklı doğrultularda baskılar almışlardır (Şekil 20).

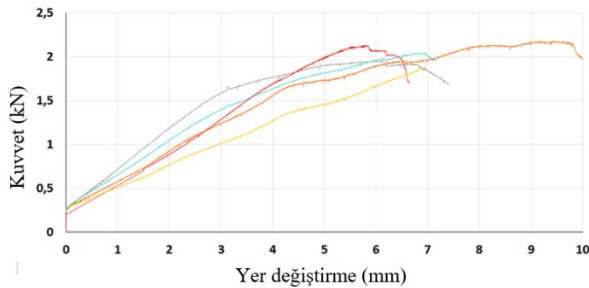


**Şekil 20.** Farklı doğrultularda basımı yapılmış bağlantı parçasına ait baskılar (Mieloszyk vd., 2019).

Elde ettikleri teorik sonuçları, çekme testi deneyi ile karşılaştırmışlardır. Elde edilen sonuçlarda güvenlik faktörünün 3 değerinde olup, öngörülen değerden yüksek olduğunu görmüşlerdir. Yapmış oldukları bu çalışmada, 3B yazıcı teknolojisini İnsansız hava araçlarının yüksek yük altında çalışan yapısal kritik parçalarının üretiminde bile kullanılabilir bir teknoloji olduğunu çıkarımına ulaşmışlardır. Şekil 21' de deneysel çalışmaya ait görseller ve veriler yer almaktadır.



a

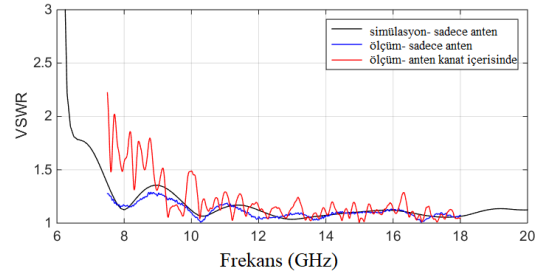


b

**Şekil 21.** (a) Bağlantı parçalarına uygulanan deneysel çalışmalar; (b) uygulana kuvvete karşılık boyunda uzama miktarı (Mieloszyk vd., 2019).

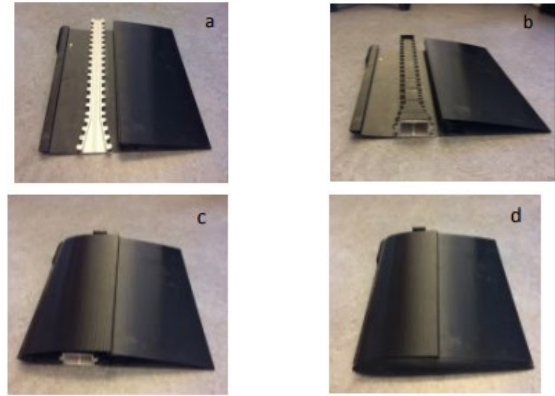
Hoel vd. (2016), Bir İHA kanadına gömülü 3B baskı ile elde edilen geniş bantlı dalga kılavuzu ve boynuz anten yapısının karakterizasyonu üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında, 7.5 ile 18 GHz aralığını kapsayan gömülü geniş bant dalga kılavuzu ve anten yapısına sahip bir İHA kanat kesitini ele almışlardır. Kanat yapısı tasarımını Solidworks bilgisayar desteli yazılım programında tamamlamışlardır. Ardından, ABS malzemesi kullanarak, 3B yazıcıda (Stratasys Fortus 400mc) üretimini yapmışlardır. HFSS kullanılarak, antenin tek başına ve tüm dalga kılavuzu anten yapısı için VSWR

ölçümünü yapmışlardır. Bununla birlikte, Keysight'in N5245A ağ analizörü kullanarak, VSWR ölçümü yapıp, sonuçları karşılaştırmışlardır. Elde edilen sonuçlar Şekil 22' de yer almaktadır.



**Şekil 22.** VSWR değerinin simülasyon ve ölçüm sonuçları (Hoel vd., 2016).

Elde edilen sonuçlara göre, simülasyonlar ile ölçümler arasında iyi bir uyum göstermekle birlikte, simülasyonlarda belirtilenden biraz daha düşük bir kazanç elde edildiğini görmüşlerdir. (frekansa bağlı olarak 1-4 dB arasında). Bu durumun uygulanan gümüş bazlı boyanın mükemmel iletken özelliklere sahip olmamasından kaynaklandığını ortaya koymuşlardır. Üretim aşamasında, gerektiğinde elektro kaplama yapılarak bu sorunun aşılabileceğini belirtmişlerdir. Şekil 23' de üretilen kanat yapıları görülmektedir.



**Şekil 23.** Kanat içi bölünmüş dalga kılavuzu(a), kanat içi kaplanmış dalga kılavuzu (b), kanat kaplaması (c) ve radom (d) (Hoel vd., 2016).

Mosaddek vd. (2018), yaptıkları çalışmada, geri dönüştürülmüş plastik şişe malzemesinden (PET) elde edilen filamentlerin kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Elde ettikleri filament, katlanılabilir İHA gövdesi üretiminde kullanmışlardır. Oluşturdıkları filament malzemesini, 3B baskıda sıklıkla kullanılan diğer malzemeler ile karşılaştırmışlar ve sonuçlarını sunmuşlardır. Bu çalışma kapsamında, İHA'nın üretim maliyetinin düşürülmesi, üretim süresinin kısaltılması ve çevresel atıkların azaltılması amaçlanmıştır.

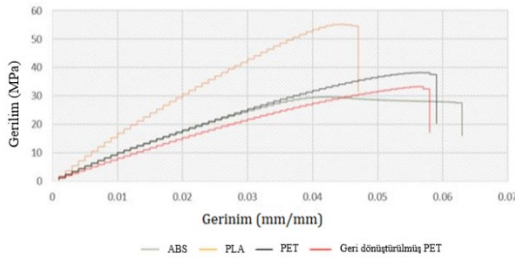
Geri dönüştürülmüş PET filamentinden, numune test parçasının basımını yapıp çekme testine tabi



tutmuşlardır. Malzeme özelliklerini karşılaştırmak için, ABS, PLA ve PET kullanarak 3B yazıcıda numune test üretimi yapmışlar ve bu numuneleri çekme testine tabi tutmuşlardır. Malzemelerin çekme deneyi sonucunda elde edilen mekanik özelliklerine ait değerler ve gerilim-gerinim grafiği Tablo 1 ve Şekil 24' de yer almaktadır.

**Tablo 1.** Çekme testi deney sonuçları (Mosaddek vd., 2018).

| Filament - Test | ABS   | PLA   | Orjinal PET | Geri Dönüştürmüş PET |
|-----------------|-------|-------|-------------|----------------------|
| Gerilme         | 29    | 55    | 38          | 33                   |
| Kırılma         | 27    | 54    | 37          | 31                   |
| Elastite        | 0.745 | 1.528 | 0.836       | 0.738                |
| Akma            | 1.24  | 2.89  | 2.529       | 2.05                 |
| Uzama           | 4.8   | 2.7   | 2.9         | 3.2                  |



**Şekil 24.** ABS, PLA, PET ve geri dönüştürülmüş PET malzemelerine ait çekme testi deney sonuçları grafiği (Mosaddek vd., 2018).

Araştırmacılar ayrıca, malzemelerin sıcaklık dayanımı ile ilgili mekanik özelliklerinin analizi için termal testlere tabi tutmuşlardır. Geri dönüştürülmüş PET filamentin camısı geçiş sıcaklığını, İHA'nın çalışma sıcaklığının üzerinde bir değer olan 200°C olarak bulmuşlardır. İHA üretiminde 3B yazıcı ile ürettikleri parçaları montajlayarak birleştirmişlerdir. Hava aracı gövdesi üzerinde yapılan sonlu eleman analizi simülasyonları ve fiziksel testler ile sistemin uçuş için güvenli ve işlevsel olduğunu kanıtlamışlardır. Katlanabilir geri dönüştürülmüş İHA, Şekil 25' de yer almaktadır.



**Şekil 25.** Çalışma sonucunda elde edilen katlanabilir geri dönüştürülmüş İHA (Mosaddek vd., 2018).

Yeh (2020) yapmış olduğu çalışmada, PLA ve karbon fiber kompozit malzeme kullanarak, 3B

yazıcıdan numune test parçaları elde etmiştir. Elde ettiği numune test parçalarının mekanik dayanımını belirlemek için çekme testi, bükme testi ve kayma testi uygulamıştır. Yaptığı testler sonucunda, dayanıklılık ve bükülme direnci bakımından karbon fiber kompozit malzemenin avantajlı olduğunu, orta boyutlu bir İHA pervanesi üretmek için kullanılabileceğini belirtmiştir. Uçuş testlerinde kullanmak üzere 8 inç ebatında İHA pervanesi tasarlamış ve FDM yazıcıda baskı almıştır. Şekil 26' da CAD yazılımında tasarımı yapılmış pervane ve İHA üzerindeki görüntüsüne yer verilmiştir.



**Şekil 26.** Pervane tasarımı ve İHA üzerindeki görüntüsü (Yeh, 2020).

## 5. İHA Çıktılarının 3 Boyutlu Yazıcı ile Basılmasına Yönelik Literatür Çalışmaları

İHA'lar hızlı, hassas, düşük maliyetli ve analitik çözümler sunmaktadır. İHA' nın uydu görüntülerine göre düşük maliyetli ve yüksek çözünürlüğe sahip olması birçok alanda kullanımını artırmaktadır. İHA ile alınan görüntülerden, fotogrametrik değerlendirme yazılımları ile (Pix4D, Agisoft vb.) işlenerek çeşitli haritalar üretilebilmektedir. Ortofoto harita üretimi, sayısal yükseklik modeli görüntüsü, indeks haritaları, nokta bulutu görüntüleri ve 3B model haritaları üretimi bu çalışmalardan bazılarıdır.

3B harita üretimi sayesinde yeryüzü veya yerleşim yerlerine ait yapılar daha iyi anlaşılmaktadır. Örneğin 2 boyutlu bir ortofoto haritada binaların yan yüzeylerinin bilgisi bulunmaz. Sayısal yükseklik modeli görüntüsünde ise sadece renklendirmeler mevcuttur ve objeye ait görsel verisi yoktur (Kanun vd., 2021; Yakar & Mırdan, 2017). Nesnelerin gerçek görüntüsünün 3B model üzerine eklenmiş hali, gerçekçilik bağlamında büyük avantajlar sağlayarak o nesnenin durumunun daha net anlaşılmasını ve analizini kolaylaştırmaktadır (Yakar & Mırdan, 2017; Yakar & Doğan, 2017).

Özellikleri ve türleri önceki bölümlerde açıklanan 3B yazıcılar ile ölçekli şekilde baskılar elde edilebilmektedir. İHA görüntüleri kullanılarak oluşturulan 3B haritaların 3B çıktısının elde edildiği literatür çalışmalarında oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Hem İHA görüntüleri hem yersel ölçümler hem de katı modelleme yazılımlarının birlikte kullanımı ise en verimli çıktıları ortaya koymuştur (Yakar & Mırdan, 2017).

Arkeolojik alanların, antik yapıların veya objelerin 3B modellenmesi çalışmaları, kültürel mirasın korunması açısından önem arz etmektedir (Kanun vd., 2021; Şasi & Yakar, 2017). Ayrıca bu çalışmalar restorasyon ve bakım işlerinin de aslına uygun şekilde yapılmasını sağlamaktadır (Yakar & Doğan, 2019).

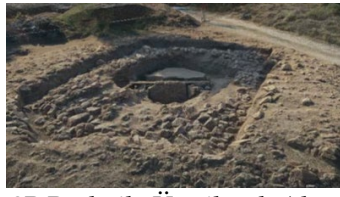
İHA çıktılarının 3B yazıcı ile üretildiği literatür çalışmalarına aşağıda yer verilmiştir.

Yakar ve Doğan (2017), restorasyon işlemleri için İHA fotogrametrisi tekniklerinden faydalanmışlar ve Mezgit Kale Anıt Mezarı' nı 3B modelleyerek belgelemişlerdir.

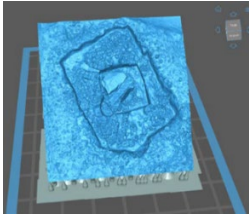
Fiz vd. (2022) yaptıkları çalışmada, arkeolojik kalıntıların İHA görüntülerini toplamışlar ve 3B modelini oluşturmuşlardır. Görünür ışık kamerası, termal kamera ve multispektral kamera kullanan araştırmacılar, Pix4D Capture, QGIS ve GIS SAGA yazılımlarını kullanarak ortofoto, indeks haritaları ve 3B modelleme yapmışlardır. Oluşturdukları 3B model görüntüyü CURA dilimleme yazılımında ölçeklendirerek düzenlemişler ve hem FDM hem de SLA teknikleriyle üretmişlerdir (Şekil 27).



Çalışma Alanı



3B Baskı ile Üretilecek Alan



Dilimleme



SLA Baskı Süreci



SLA Baskı

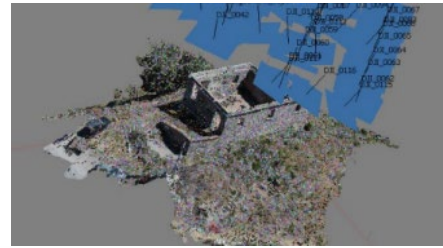


FDM Baskı

**Şekil 27.** FDM ve SLA teknikleriyle üretilmiş arkeolojik yapı (Fiz vd., 2022).

Araştırmacılar hem belgeleme hem de farklı lokasyonlarda sergilenme açısından arkeolojik yapıların 3B baskı teknikleriyle üretilmesinin büyük öneme sahip olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca arkeolojik yapıların görme engelli bireyler tarafından da incelenip anlaşılabilceği sonucuna varmışlardır.

Fotia vd. (2021), İtalya'nın Kalabriya Bölgesi'nde bulunan antik bir kulenin 3B modellenmesi üzerinde çalışmışlardır. Yapının hava görüntülerini toplamak için Phantom 4 Pro model bir İHA kullanmışlar, %80 bindirme ve "double grid" yöntemle uçuş planı oluşturmuşlardır. Toplam 42 dakikalık uçuş yaparak 881 adet görüntü elde etmişlerdir. Metashape bilgisayar yazılımı ile görüntülerden 3B model oluşturmak için bir dizi prosedürler işletmişlerdir. İlk olarak görüntülerdeki ortak noktaları belirlemişler, ardından yoğun nokta bulutu oluşturmuşlardır. Yersel lazer tarama sistemleri ile yapının iç kısmının da nokta bulutunu oluşturmuşlardır. Yoğun nokta bulutlarını birleştirerek 3B çokgenler elde etmişler, son olarak ise dokuları ve 3B nihai modeli oluşturmuşlardır (Şekil 28).



Oluşturulan nokta bulutu



Yoğun nokta bulutu



Yersel lazer tarama sonucu elde edilen nokta bulutu



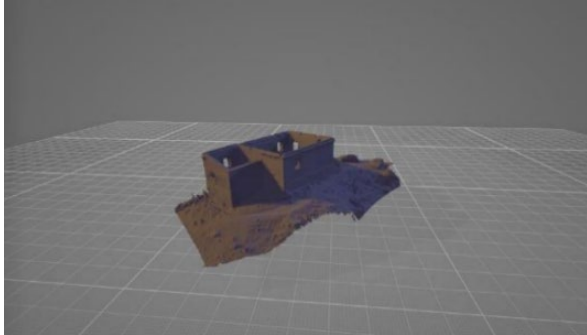
3B model

**Şekil 28.** Elde edilen çıktılar (Fotia vd., 2021).

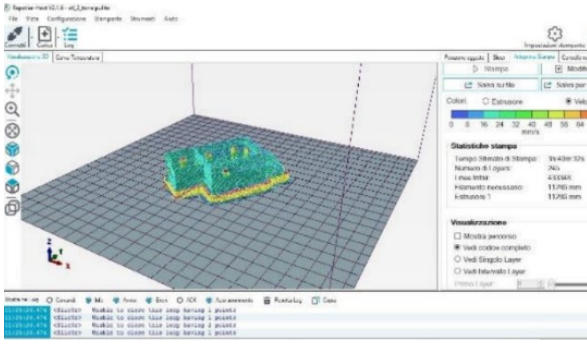
Araştırmacılar tarihi yapının 3B modelini elde ettikten sonra 3B yazıcıdan 1:50 ölçekli olacak şekilde üretim sürecine geçmişlerdir. "Bq Hephestos 2" model bir yazıcı ve PLA kullanarak (FDM tekniği ile) modeli



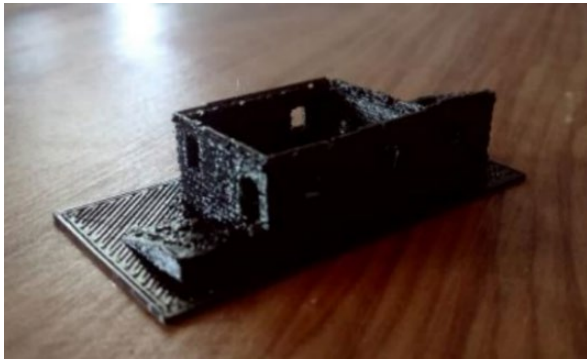
üretmişlerdir. Modeli üretirken 0.2 mm çözünürlük, %20 doluluk oranı, 80mm/sn yazma hızı ve 200 °C baskı sıcaklığı parametrelerini kullanmışlardır. Slic3r dilimleme yazılımı ile modelin kenarlarında kalan önemsiz alanları silmişler, böylece baskı süresini ve malzeme kullanımını azaltmışlardır. Baskı süresini 5 saat 30 dakika olarak ölçümlemişlerdir (Şekil 29).



Düzenleme işlemi



Baskı ayarlarının Slic3r ile yapılması

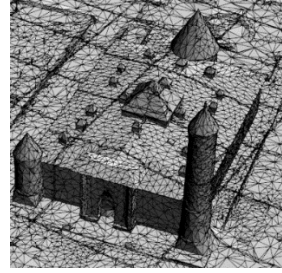


Üretilen 3B model

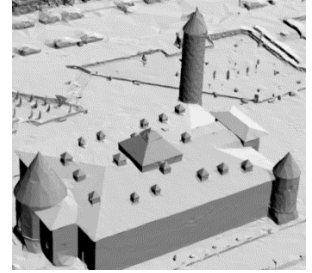
Şekil 29. Slic3r dilimleme programında düzenleme (Fotia vd., 2021).

Yiğit ve Ulvi (2020) yaptıkları çalışmada, Erzurum İli'nde bulunan Yakutiye Medresesi'nin İHA fotogrametrisi tekniği ile 3B modelini oluşturmuşlardır. Çalışmalarında Phantom 3 Pro model İHA kullanarak 65 adet fotoğraf toplamışlar ve fotogrametrik değerlendirme yazılımı olarak Context Capture programını kullanmışlardır. Context Capture'da öncelikle fotoğraf ekleme, fotoğraf işaretleme, yönlendirme (aerotriangulation) işlemleri yapılmış son olarak 3B üçgen model (mesh) ve ürün görselleştirme adımları tamamlanmıştır. Ardından Sketchup

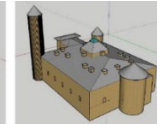
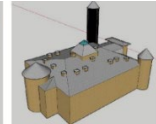
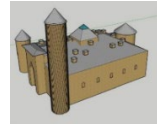
yazılımında geometrik şekiller çizilerek, 3B yazıcı ile üretililecek model nihai halini almıştır (Şekil 30).



3B üçgen model



3B katı model



Sketchup ile çizilen katı model

Şekil 30. 3B modelleme süreci (Yiğit & Ulvi, 2020).

Yakar vd. (2015) çalışmalarında Konya İli'nde bulunan Beyşehir Bezariye Hanının İHA ile 3B modelini oluşturmuşlardır. Çalışmalarında DJI Phantom 2 model bir İHA üzerine Canon A810 model görünür ışık kamerası entegre etmişlerdir. 30 metre irtifadan 274 fotoğraf toplamışlar ve Photomodeler fotogrametrik değerlendirme yazılımı ile dengeleme ve kamera kalibrasyonlarını tamamlamışlardır. Ardından çizim aşamasına geçilmiş ve detaylar oluşturulmuştur. Çizim işleminden sonra yüzeyleri kapatarak doku giydirmesi yapılmış ve nihai katı model oluşturulmuştur (Şekil 31).



Cephe görüntüsü



Çatı görüntüsü



Detayların çizilmesi



3B katı model

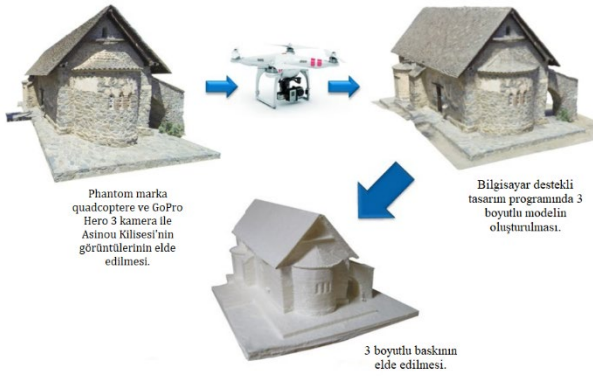


Doku giydirilmiş nihai model

Şekil 31. Beyşehir Bezariye Hanı'nın 3B modellenmesi (Yakar vd., 2015).

Araştırmacılar elde edilen 3B modelin belgeleme çalışmalarında, restorasyon süreçlerinde ve ölçeklendirilmiş 3B çıktı olarak üretilmesinde kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Themistocleous vd. (2015), Asinou Kilisesi'nin Kıbrıs'taki kültürel miras alanının belgelenmesine yönelik bir çalışma yapmışlardır. Tarihi alan üzerinden görüntü almak için, DJI Phantom marka "quadcopter" tip İHA üzerine GoPro Hero 3 model kamera takmışlardır. 1000 den fazla görüntü elde etmişlerdir. 3B model elde etmek için, Agisoft PhotoScan Professional programı ile elde ettikleri görüntüler üzerinde rötuş işlemlerini yapmışlardır. Ardından 3B yazıcı kullanarak kiliseye ait baskı modelin üretimini yapmışlardır. İnsansız hava aracı kullanarak elde ettikleri görüntüleri 3B baskı modele dönüşümüne ait yöntem Şekil 32' de yer almaktadır.



**Şekil 32.** Asinou Kilisesi'nin 3B belgelenmesi için İHA ile elde edilen görüntülerin kullanımına ait işlem basamakları (Themistocleous vd., 2015).

Leeds Üniversitesi' nde yapılan bir araştırmada, İHA üzerine 3B tarayıcı ve 3B yazıcı ünitesi entegre edilmiştir. Araştırmada, İHA' nın bir asfalt boyunca uçarak çatlak, kırık ve yarıkları tespit etmesi ve onarması istenmektedir. İHA üzerine entegre edilen 3B tarayıcının onarılabilecek alanı tarayarak 3B model oluşturması ve ardından İHA' ya entegre olan 3B yazıcının, onarılabilecek alana hassas şekilde asfalt malzemesi eklemesi amaçlanmaktadır. Halen geliştirme aşamasında olan çalışmada çözülmesi gereken problemler de mevcuttur. Örneğin ağır malzeme olan asfaltın İHA üzerine eklenmesi uçuş sürelerini oldukça düşürecektir. Aynı şekilde 3B tarayıcı ve 3B yazıcının tükettiği enerji doğrudan İHA' nın batarya sistemine bağlıdır. Bu da uçuş sürelerini oldukça düşürecektir. Onarılabilecek alanın büyüklüğüne bağlı olarak harcanan asfalt malzemesinin sürekli olarak bir noktadan temin edilmesi, çalışmanın en büyük dar boğazlarından biridir (Fabbaloo, 2018). Aşağıdaki şekilde projeye ait bazı görsellere yer verilmiştir (Şekil 33).



**Şekil 33.** Asfalt onarım İHA sistemine ait görseller (Fabbaloo, 2018).

## 6. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada ilk olarak İHA' nın tanımı ve İHA modelleri açıklanmıştır. İHA ile yapılan literatür çalışmalarına örnekler verilmiştir. 3B yazıcıların çalışma prensiplerine değinilmiş ve 3B yazıcılarda kullanılan baskı malzemelerinin özellikleri açıklanmıştır. Ardından, İHA'yı oluşturan elemanların 3B yazıcı ile üretildiği literatür çalışmaları irdelenmiştir. Son olarak, İHA görüntüleri ile 3B model oluşturulduğu ve oluşturulan modellerin 3B yazıcıdan üretildiği çalışmalara yer verilmiştir.

Çalışmalar göstermektedir ki, 3B yazıcılar ile İHA parçalarının üretilmesi çoğu eleman için avantaj sağlamaktadır. Parçanın hızlı üretilmesi, maliyetinin düşük olması, parçanın çeşitli katı modelleme programları ile özelleştirilebilmesi ve hafiflik en büyük avantajlar olarak sayılabilir. Ancak 3B baskıların ısıya ve darbelere karşı dayanımı yüksek olmadığı için, İHA elemanlarının üretilip kullanılmasında dikkat edilmesi gerekmektedir.

İHA görüntülerinin 3B modellenmesi için çeşitli yazılımlar ve teknikler bulunmaktadır. Elde edilen 3B modeller, özellikle afet izleme, afet yönetimi ve analizi, arkeolojik çalışmalar ve mimari projelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Elde edilen 3B modellerin 3B yazıcıdan ölçekli olarak üretilmesi de arkeolojik eserlerin belgelenmesi, restorasyonu ve rölye çalışmalarına için oldukça verimli sonuçlar sunmaktadır.

3B modellerin üretilmesi ile görme engelli bireylerin arkeolojiyi anlaması kolaylaştırılabilir. Ayrıca, üretilen modellerin turistik eşya olarak

kullanılması da turizmin gelişmesine büyük katkılar verecektir.

### Bilgilendirme/Teşekkür

Bu makalenin ortaya çıkmasında desteklerini ve teşviklerini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Murat YAKAR' a, desteklerinden ve katkılarından dolayı Sayın Öğr. Gör. Özge VİLLİ' 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.

### Kaynaklar

- Ahmed, F., Mohanta, J. C., Keshari, A., & Yadav, P. S. (2022). Recent Advances in Unmanned Aerial Vehicles: A Review. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 47(7), 7963-7984.
- Ahmed, N. A., & Page, J. R. (2013). Manufacture of an unmanned aerial vehicle (UAV) for advanced project Design using 3D printing technology. *In Applied Mechanics and Materials*, 397, 970-980.
- Akkamış, M. & Çalışkan, S. (2020). İnsansız Hava Araçları ve Tarımsal Uygulamalarda Kullanımı. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2(1), 8-16.
- Alptekin, A., & Yakar, M. (2021). 3D Model of Üçayak Ruins Obtained from Point Clouds. *Mersin Photogrammetry Journal*, 3(2), 37-40.
- Alptekin, A., Çelik, M. Ö., Kuşak, L., Ünel, F. B., & Yakar, M. (2019). Anafi Parrot'un Heyelan Bölgesi Haritalandırılmasında Kullanımı. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 1(1), 33-37.
- Anand, S., & Mishra, A. K. (2022). High-Performance Materials used for UAV Manufacturing: Classified Review. *, International Journal of All Research Education and Scientific Methods (IJARESM)*, ISSN: 2455-6211, 10,(7).
- Atzeni, E., Iuliano, L., Minetola, P., & Salmi, A. (2010). Redesign and Cost Estimation of Rapid Manufactured Plastic Parts. *Rapid Prototyping Journal*, 16(5), 308-317.
- 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.

- Aydeniz, A. B. (2020). İnsansız Hava Aracı İle Çekilen Görüntülerden Ve Videolardan Oluşturulan 3b Modellerin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye.
- Azarov, A. V., Antonov, F. K., Golubev, M. V., Khaziev, A. R., & Ushanov, S. A. (2019). Composite 3D Printing for the Small Size Unmanned Aerial Vehicle Structure. *Composites Part B: Engineering*, 169, 157-163.
- Bento, M. D. F. (2008). Unmanned Aerial Vehicles: An Overview. *InsideGNSS*, Ocak/Şubat: 54-61.
- Bikas, H., Stavropoulos, P., & Chrysosouris, G. (2016). Additive Manufacturing Methods and Modelling Approaches: A Critical Review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 83, 389-405.
- Cairns, D. S., & Skramstad, J. D. (2000). Evaluation of Hand Lay-Up and Resin Transfer Molding in Composite Wind Turbine Blade Manufacturing (No. SAND2000-1425). Sandia National Lab. (SNL-NM), Albuquerque, NM (United States); Sandia National Lab. (SNL-CA), Livermore, CA (United States).
- Cilek, A., Berberoğlu, S., Dönmez, C., & Ünal, M. (2020). Generation of High-Resolution 3-D Maps for Landscape Planning and Design Using UAV Technologies. *Journal of Digital Landscape Architecture*, 5(1).
- Çelik, M. Ö., Alptekin, A., Ünel, F. B., Kuşak, L., & Kanun, E. (2020). The Effect of Different Flight Heights on Generated Digital Products: DSM and Orthophoto. *Mersin Photogrammetry Journal*, 2(1), 1-9.
- de Oliveira, T. L., & de Carvalho, J. (2021). Design and numerical evaluation of quadrotor drone frame suitable for fabrication using fused filament fabrication with consumer-grade ABS. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 43(9), 436.
- Dhanunjayarao, B. N., Naidu, N. S., Kumar, R. S., Phaneendra, Y., Sateesh, B., Olajide, J. L., & Sadiku, E. R. (2020). 3D Printing of Fiber Reinforced Polymer Nanocomposites: Additive Manufacturing. *Handbook of Nanomaterials and Nanocomposites for Energy and Environmental Applications*, 1-29.
- Donmez C, Villi O, Berberoğlu S & Cilek A (2021). Computer Vision-Based Citrus Tree Detection in a Cultivated Environment Using UAV Imagery. *Computers and Electronics in Agriculture*, 187, 106273.
- Easter, S., Turman, J., Sheffler, D., Balazs, M., & Rotner, J. (2013, May). Using Advanced Manufacturing to Produce Unmanned Aerial Vehicles: A Feasibility Study. In *Ground/Air Multisensor Interoperability, Integration, and Networking for Persistent ISR IV*, 8742, 20-35.
- 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.
- Erdoğan, A., Görken, M., & Kabadayı, A. (2022a). Study on the use of unmanned aerial vehicles in open mine sites: A case study of Ordu Province Mine Site. *Advanced UAV*, 2(2), 35-40.
- Erdoğan, A., Görken, M., Kabadayı, A., & Temizel, S. (2022). Evaluation of green areas with remote sensing and GIS: A case study of Yozgat city center. *Advanced Remote Sensing*, 2(2), 58-65.
- Erdoğan, A., Kabadayı, A., & Akın, E. S. (2021). Kültürel mirasın fotogrametrik yöntemle 3B modellenmesi: Karabıyık Köprüsü Örneği. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 3(1), 23-27.
- Fabbaloo. (2018). Repairing Potholes with 3D Printers?. <https://www.fabbaloo.com/2018/07/repairing-potholes-with-3d-printers>. Erişim Tarihi: 12.06.2023.
- Fabweaver, 2022. Types of 3D Printing : FFF, Most Popular 3D Printer. <https://blog.fabweaver.com/3d-printing-method-fff-most-popular-3d-printer-0>. Erişim Tarihi: 02.06.2023.
- Fasel, U., Keidel, D., Baumann, L., Cavolina, G., Eichenhofer, M., & Ermanni, P. (2020). Composite Additive Manufacturing of Morphing Aerospace Structures. *Manufacturing Letters*, 23, 85-88.
- Fiz, J. I., Martín, P. M., Cuesta, R., Subías, E., Codina, D., & Cartes, A. (2022). Examples and Results of Aerial Photogrammetry in Archeology with UAV: Geometric Documentation, High Resolution Multispectral Analysis, Models and 3D Printing. *Drones*, 6(3), 59. MDPI AG.
- Fotia, A., Modafferi, A., Nunnari, A., & D'Amico, S. (2021). From UAV Survey to 3D Printing, Geomatics Techniques for the Enhancement of Small Village Cultural Heritage. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, 17, 479-489.
- Gebhardt IA (2003) Rapid prototyping: industrial rapid prototyping system: prototyper: solid ground curing, *Cubital*, 105-109.
- Goh, G.D., Agarwala, S., Goh, G. L., Dikshit, V., Sing, S. L., & Yeong, W. Y. (2017). Additive Manufacturing in Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): Challenges and Potential, *Aerospace Science and Technology*.
- Hoel, K. V., Kristoffersen, S., Moen, J., Holm, G., & Lande, T. S. (2016). Characterization of a 3D Printed Wideband Waveguide and Horn Antenna Structure Embedded in a UAV Wing. In *2016 10th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*, 1-4.
- Jadhav, T. R., Kamble, N. K., & Padave, P. R. (2019). A Review on Additive Manufacturing for Bio-Implants. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 8(11).
- 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)*, 1-5.
- Kabadayı, A. (2022). Maden Sahasının İnsansız Hava Aracı Yardımıyla Fotogrametrik Yöntemle Haritalanması. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 4(1), 19-23.
- Kabadayı, A., & Erdoğan, A. (2022b). İHA Fotogrametrisi Kullanarak Kadastroda Binaların Konum Doğruluğunun İncelenmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 4(2), 66-72.
- Kabadayı, A., & Erdoğan, A. (2023). İHA Fotogrametrisi Kullanarak Yozgat Çilekçi Türbesi'nin 3 Boyutlu Nokta Bulutu ve Modelinin Üretilmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 5(1), 29-35.
- Kabadayı, A., Yunus, K., & Yiğit, A. Y. (2020). Comparison of documentation cultural artifacts using the 3D model in different software. *Mersin Photogrammetry Journal*, 2(2), 51-58.
- Kanun, E., Alptekin, A., & Yakar, M. (2021). Cultural Heritage Modelling Using UAV Photogrammetric Methods: A Case Study of Kanlıdivane Archeological Site. *Advanced UAV*, 1(1), 24-33.
- Karataş, L., Alptekin, A., & Yakar, M. (2022). Detection and Documentation of Stone Material Deterioration in Historical Masonry Structures Using UAV Photogrammetry: A Case Study of Mersin Aba Mausoleum. *Advanced UAV*, 2(2), 51-64.
- Karataş, L., Alptekin, A., Karabacak, A., & Yakar, M. (2022). Detection and Documentation of Stone Material Deterioration in Historical Masonry Buildings Using UAV Photogrammetry: A Case Study of Mersin Sarisih Inn. *Mersin Photogrammetry Journal*, 4(2), 53-61.
- Kruth, J. P., Leu, M. C., & Nakagawa, T. (1998). Progress in Additive Manufacturing and Rapid Prototyping. *Cirp Annals*, 47(2), 525-540.
- Kusak, L., Unel, F. B., Alptekin, A., Celik, M. O., & 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.
- 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.
- Mieloszyk, J., Tarnowski, A., Kowalik, M., Perz, R., & Rządowski, W. (2019). Preliminary Design of 3D Printed Fittings for UAV. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 91(5), 756-760.
- Mirdan, O., & Yakar, M. (2017). Tarihi eserlerin İnsansız Hava Aracı ile modellenmesinde karşılaşılan sorunlar. *Geomatik*, 2(3), 118-125.
- Mogan, J., Sandanamsamy, L., Halim, N. A., Harun, W. S. W., Kadrigama, K., & Ramasamy, D. (2021). A Review of FDM and Graphene-Based Polymer Composite. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1078(1).
- Mohsan, S. A. H., Khan, M. A., Noor, F., Ullah, I., & Alsharif, M. H. (2022). Towards the Unmanned



- Aerial Vehicles (UAVs): A Comprehensive Review. *Drones*, 6(6), 147.
- Moon, S. K., Tan, Y. E., Hwang, J., & Yoon, Y. J. (2014). Application of 3d Printing Technology for Designing Light-Weight Unmanned Aerial Vehicle Wing Structures. *International Journal of Precision Engineering And Manufacturing-Green Technology*, 1, 223-228.
- Mosaddek, A., Kommula, H. K., & Gonzalez, F. (2018). Design and Testing of a Recycled 3D Printed and Foldable Unmanned Aerial Vehicle for Remote Sensing. In *2018 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, 1207-1216.
- Mr. Digital (2011). Quadcopter Frame Design. <https://n000000000icisdigital.wordpress.com/2011/06/22/frame-design/>. Erişim Tarihi: 02.06.2023.
- Ngo, T. D., Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K. T., & Hui, D. (2018). Additive Manufacturing (3D printing): A Review of Materials, Methods, Applications and Challenges. *Composites Part B: Engineering*, 143, 172-196.
- Niemand, J., Mathew, S. J., & Gonzalez, F. (2020, September). Design and Testing of Recycled 3D Printed Foldable Unmanned Aerial Vehicle for Remote Sensing. In *2020 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, 892-901.
- 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, 566-573.
- Pecho, P., Azaltovic, V., Kander, B., & Bugaj, M. (2019). Introduction Study of Design and Layout of Uavs 3D Printed Wings in Relation to Optimal Lightweight and Load Distribution. *Transportation Research Procedia*, 40, 861-868.
- Ranjan, R., Kumar, D., Kundu, M., & Moi, S. C. (2022). A Critical Review on Classification of Materials Used in 3D Printing Process. *Materials Today: Proceedings*.
- Shahrubudin, N., Lee, T. C., & Ramlan, R. J. P. M. (2019). An overview on 3D Printing Technology: Technological, Materials and Applications. *Procedia Manufacturing*, 35, 1286-1296.
- Shin, D., Kim, H., Gong, J., Jeong, U., Jo, Y., & Matson, E. (2020). Stealth UAV through Coanda Effect. In *2020 Fourth IEEE International Conference on Robotic Computing (IRC)*, 202-209.
- Sivakumar, M., & TYJ, N. M. (2021). A Literature Survey of Unmanned Aerial Vehicle Usage for Civil Applications. *Journal of Aerospace Technology and Management*, 13, e4021.
- Sürmen, H. K. (2019). Eklemeli İmalat (3b Baskı): Teknolojiler ve Uygulamalar. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24(2), 373-392.
- Şasi, A., & Yakar, M. (2017). Photogrammetric Modelling of Sakahane Masjid Using an Unmanned Aerial Vehicle. *Turkish Journal of Engineering*, 1(2), 82-87.
- Themistocleous, K., Ioannides, M., Agapiou, A., & Hadjimitsis, D. G. (2015). The Methodology of Documenting Cultural Heritage Sites Using Photogrammetry, UAV, And 3D Printing Techniques: The Case Study of Asinou Church in Cyprus. In *Third International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (Rscy2015)*, 9535, 312-318.
- Tofail, S. A., Koumoulos, E. P., Bandyopadhyay, A., Bose, S., O'Donoghue, L., & Charitidis, C. (2018). Additive Manufacturing: Scientific and Technological Challenges, Market Uptake and Opportunities. *Materials today*, 21(1), 22-37.
- Ünel, F. B., Kuşak, L., Çelik, M., Alptekin, A., & Yakar, M. (2020). Kıyı Çizgisinin Belirlenerek Mülkiyet Durumunun İncelenmesi. *Türkiye Arazi Yönetimi Dergisi*, 2(1), 33-40.
- Villi, O., & Yakar, M. (2022). İnsansız Hava Araçlarının Kullanım Alanları ve Sensör Tipleri. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 4(2), 73-100.
- Villi, Ö., Villi, O., & Yavuz, H. (2023). Concept Design for Optimizing Mass Production Processes with 3D Printer in the Industry. *Ases III. International Scientific Research Conference*, pp. 59-60, Trabzon, Türkiye.
- Wong, K. V., & Hernandez, A. (2012). A Review of Additive Manufacturing. *International Scholarly Research Notices*.
- Yakar, M., & Dogan, Y. (2019). 3D Reconstruction of Residential Areas with SfM Photogrammetry. In *Advances in Remote Sensing and Geo Informatics Applications: Proceedings of the 1st Springer Conference of the Arabian Journal of Geosciences (CAJG-1)*, Tunisia 2018, 73-75.
- Yakar, M., & Doğan, Y. (2017). Mersin Silifke Mezgit Kale Anıt Mezarı Fotogrametrik Rölöve Alımı ve Üç Boyutlu Modelleme Çalışması. *Geomatik*, 2(1), 11-17.
- 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., Toprak, A. S., Ulvi, A., & Uysal, M. (2015). Konya Beyşehir Bezariye Hanının (Bedesten) İHA ile Fotogrametrik Teknik Kullanılarak Üç Boyutlu Modellenmesi. *Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 25, 28.
- Yakar, M., Ulvi, A., Fidan, Ş., Karabacak, A., Villi, O., Yiğit, A. Y., Çelik, M. Ö., & Hamal, S. N. G. (2023). İnsansız Hava Aracı Teknolojisi ve Operatörlüğü Eğitim Kitabı. *Mersin Üniversitesi Harita Mühendisliği Kitapları*.
- Yakar, M., Ulvi, A., Yiğit, A. Y., & Alptekin, A. (2022). Discontinuity Set Extraction from 3D Point Clouds Obtained by UAV Photogrammetry in a Rockfall Site. *Survey Review*, 1-13.
- Yeh, Y. L. (2020). The Standard Strength Test of 3D Printing Materials and its Application for UAV Propellers. *Modern Physics Letters B*, 34(07n09), 2040017.



- Yiğit, A. Y., & Ulvi, A. (2020). İHA fotogrametrisi tekniği kullanarak 3B model oluşturma: Yakutiye Medresesi Örneği. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 2(2), 46-54.
- Zagidullin, R. S., Zezin, N. I., & Rodionov, N. V. (2021). Improving the Quality of FDM 3D Printing of UAV and Aircraft Parts and Assemblies by Parametric Software Changes. *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1027(1), 012031.
- Zagidullin, R. S., Zezin, N. I., & Rodionov, N. V. (2021). Improving the Quality of FDM 3D Printing of UAV

- and Aircraft Parts and Assemblies by Parametric Software Changes. *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1027(1), 012031.
- Zhu, L., Li, N., & Childs, P. R. N. (2018). Light-Weighting in Aerospace Component and System Design. *Propulsion and Power Research*, 7(2), 103-119.



© Author(s) 2023.

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