

TÜRKİYE

# İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI DERGİSİ

E-ISSN 2687-6094

Turkish Journal of  
Unmanned Aerial Vehicles

Cilt/Volume: 4  
Sayı/Issue: 1  
Haziran/June, 2022





Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi



### Dergi Hakkında

Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi; İHA gelişimi, kullanımı ve yer bilimleri ile 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 özendirme 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) / [ayasinyigit@mersin.edu.tr](mailto:ayasinyigit@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

**Dr. Öğr. Üyesi 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)
- **Assoc. Prof. Dr. Murat UYSAL**, Afyon Kocatepe University  
[muysal@aku.edu.tr](mailto:muysal@aku.edu.tr)
- **Assist. Prof. Dr. Bilgehan KEKEÇ**, Konya Technical University  
[kekec@ktu.edu.tr](mailto:kekec@ktu.edu.tr)
- **Dr. Nizar POLAT**, Harran University  
[nizarpolat@harran.edu.tr](mailto:nizarpolat@harran.edu.tr)
- **Dr. Hayri ULVİ**, Gazi University  
[hayriulvi@gmail.com](mailto:hayriulvi@gmail.com)
- **Dr. Alper AKAR**, Erzincan Binali Yıldırım University,  
[alperakar@erzincan.edu.tr](mailto:alperakar@erzincan.edu.tr)
- **Dr. Özlem AKAR**, Erzincan Binali Yıldırım University  
[oakar@erzincan.edu.tr](mailto:oakar@erzincan.edu.tr)

#### 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**,  
[rcomert@gumushane.edu.tr](mailto:rcomert@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)

**Res. Asst. Halil İbrahim ŞENOL**, Harran University  
[hse nol@harran.edu.tr](mailto:hse nol@harran.edu.tr)

#### Mizanpaj

**Res. Asst. Abdurahman Yasin YİĞİT**, Mersin University  
[avasinyigit@mersin.edu.tr](mailto:avasinyigit@mersin.edu.tr)

**Res. Asst. Yunus KAYA**, Harran University  
[yunuskaya@harran.edu.tr](mailto:yunuskaya@harran.edu.tr)

# İçindekiler

## Contents

### Araştırma Makaleleri; Research Articles\*;

<b>Sayfa/Page No</b>	<b>Makale Adı ve Yazar Adı Article Name and Author Name</b>
01-07*	<i>Problems and Prospects of Flying Rotor Drones Particularly Quadcopters</i> <b>D. Vohra, Pradeep Garg &amp; Sanjay Ghosh</b>
08- 18*	<i>Kentsel Hava Sahasında İnsansız Hava Aracı Sistemleri Trafik Yönetimi için Verilmesi Gereken Hizmetler ve Kullanılabilecek Bazı Teknolojiler</i> <i>Some Services to Be Provided and Technologies to Be Used for UAS Traffic Management (UTM) in Urban Airspace</i> <b>Abdullah Yılmaz &amp; Hayri Ulvi</b>
19-23*	<i>Maden Sahasının İnsansız Hava Aracı Yardımıyla Fotogrammetrik Yöntemle Haritalanması</i> <i>Mapping of the Mine Site by Photogrammetric Method with the Help of Unmanned Aerial Vehicle</i> <b>Adem Kabadayi</b>
24- 28*	<i>İHA Video Verileri ile 3B Modelleme</i> <i>3D Modeling with UAV Video Data</i> <b>Ceyda Ulvi</b>

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

<b>S. No</b>	<b>Makale Adı (En./Tr.) ve Yazar Adı</b>
29-37**	<i>Açık Maden Sahalarında İnsansız Hava Araçlarının Kullanımı</i> <i>Use of Unmanned Aerial Vehicles in Open Mine Sites</i> <b>Gülsüm Yüksel</b>





## Problems and Prospects of Flying Rotor Drones Particularly Quadcopters

Dara Vohra<sup>1</sup>, Pradeep Garg<sup>2</sup>, Sanjay Ghosh<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Indian Institute of Technology (IIT) Roorkee, India  
<sup>2</sup>IIT Roorkee, India

### Keywords

UAV,  
Drone,  
Power Management,  
Flight Controller,  
Acoustic Signature.

### Abstract

Rotor type drones are used as a source for acquiring intelligence from areas which are remotely located. This intelligence can be used for ensuring crop insurance, knowing post-disaster assessments, knowing information of restricted security zones, etc. Apart from various advantages, rotor type drones, like quadcopters, have certain drawbacks also. These drawbacks need to be researched and addressed in detail so that the information can be acquired in a manner which is deliberate and very effective, while obtaining information from various sensors attached to the drones. These drawbacks are the problems pertaining to sound of propellers, selection of flight controller, power management issues, flying in non-conducive weather, collision avoidance, videography during night and extended communication ranges, which have been discussed in this paper.

## 1. INTRODUCTION

Rotor type drones are used for multifarious activities that include gathering intelligent information from far flung places which are not accessible by humans, post damage disaster assessments, agricultural insurance (Hartanto et al, 2019; Jun et al, 2017), civil applications (Hayat et al, 2016), air quality measurements (Villa et al, 2016), etc. The rotor type drones are easy to build and requires very less resources for manufacturing. On the other hand, the satellite, and fixed-wing UAVs (unmanned aerial vehicles), which are also used for similar roles, require large amount of funds for manufacturing purpose. In addition, rotor type drones have an exclusive facility of hovering over a place,

which is not there with fixed-wing UAV or aircraft. The large number of sensors in the form of various cameras can also be mounted which can provide live feed of scenarios which are as such out of reach from human beings. The satellites were used earlier for transmitting live pictures and videos. The operating cost of using the satellite was, however, very high. Aircraft was used in place of them. The operating cost of using them for relaying, surveying was moderate but costly in nature. The degree of availability was moderate for aircraft in comparison to satellite, though. A rotor drone, on the other hand, bridges the gap and provides high spectral imagery at a very low cost. Rotor drones are being used in majorly two broad areas viz., civil applications and military applications.

\* Sorumlu Yazar (\*Corresponding Author)

Kaynak Göster (APA) / Cite this;

\*(ds\_vohra@ce.iitr.ac.in) ORCID ID 0000-0001-6120-6174  
(p.garg@ce.iitr.ac.in) ORCID ID 0000-0002-7126-3698  
(sanjay.ghosh@ce.iitr.ac.in) ORCID ID 0000-0001-7849-9313

Vohra, D. S., Garg, P. K. & Ghosh, S. K. (2022). Problems and Prospects of Flying Rotor Drones Particularly Quadcopters. Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi, 4(1), 01-07

## 1.1. Civil Applications and Military Applications

Various civil applications in which rotor drones being used are elucidated below.

- (A) Providing wireless coverage
- (B) Remote sensing applications
- (C) Inspection of power lines
- (D) Counting wildlife
- (E) Delivering medical supplies to inaccessible regions
- (F) Forest fire detection and monitoring
- (G) Humanitarian aid
- (H) Landslide measurement
- (J) Illegal landfill detection
- (K) Construction
- (L) Crowd monitoring
- (M) Crop surveying
- (N) Agriculture insurance
- (O) Soil examination
- (P) Irrigation monitoring
- (Q) Inspection of airport

## 1.2. Military applications

Various military applications (throughout the globe) in which rotor drones being used are elucidated below.

- (A) Real-time monitoring
- (B) Surveillance
- (C) Patrolling
- (D) Demining
- (E) Natural Disaster Management
- (F) Convoy Protection
- (G) Landslide investigation
- (H) Aerial photography

Instead of the various applications (as per specific advantage), no drone has been manufactured till now which doesn't have any basic drawback. The reason behind the same is drone(s) are manufactured without paying adequate heed to the basic inherent drawbacks. They are manufactured as per specific application only. It is therefore of paramount significance to understand the drawbacks in detail. These basic drawbacks further need to be researched and addressed in detail so that the information can be acquired in a manner which is deliberate and very affective, while obtaining information from various sensors attached to the rotor drones.

## 2. AN IDEAL QUADCOPTER

An ideal quadcopter may have the following characteristics, which are very important for providing intelligent information to managers, seating at the hinterland, so that the orient, observe, decide, act (OODA) loop for them, may be shortened to a great extent (Chen and Liu, 2016).

- Light in weight
- Best microcontroller
- Correct usage of Lithium Polymer (LiPo) battery in comparison of weight
- Higher sustenance in air
- Automatic collision avoidance mechanism
- Extended communication ranges

All the above aspects are basically the drawbacks or research gaps, which are still being researched in detail to home on to an ideal quadcopter.

## 3. PLANNING PARAMETERS OF ROTOR DRONE OR QUADCOPTER

The planning parameters based upon which a quadcopter should be manufactured are very important, as based upon them the genesis of an ideal quadcopter (free from major limitations) can be built upon. Characteristics of a quadcopter incorporating some salient planning parameters are discussed below.

1. Quadcopter should provide best pictures and videos using the multispectral, hyperspectral and thermal sensors.
2. Quadcopter planned to be used should have maximum stay time in air by employing appropriate LiPo battery. The additional details may be found in Vohra et al (2021).
3. Quadcopter should create less noise through rotors, by designing the propellers and using material at a safe distance from propellers of the drone.
4. Quadcopter should easily relay the pictures/videos through communication medium to rearward- maximum distance.
5. Quadcopter must have a collision avoidance mechanism. The novel artificial algorithm needs to be incorporated in the flight controller of the drone.
6. Quadcopter should have the best flight controller, with the capability of taking various sensors and making the drone as efficient for intended task as possible.
7. Quadcopter, so used should have the capability of performing with its best capability even in harsh terrains and non-conductive weather conditions.

All the above objectives which are research gaps still existing in the industry, are covered below in greater details.

## 4. RESEARCH GAPS REQUIRED TO BE ADDRESSED

The various drawbacks associated with drones, which are still being researched and where study gap still exists, are enunciated below in succeeding paragraphs.

#### 4.1. Acoustic Signature of Quadcopter

The acoustic signature made by the propeller gives advance warning that someone is nearing by (Kloet et al, 2017). It gives the security personnel the time cushion to react so that the drone can be put down. This acoustic signature can be muffled by use of following techniques.

##### (A) Using shrouds

Shrouds around propeller is a way of putting the noise of drones down to many decibels. These shrouds can be in the form of rubber, foam or aluminum foil. The solution, however, reduces the sound of drones, increases the weight, thereby decreasing the overall flight time of drone. The concept is to surround the drone with an anechoic chamber type environment. It was found that the quadcopter with light high-quality foam can dampen the noise of the quadcopter to a great extent in comparison of aluminum foils or a combination of foam and aluminum foils.

##### (B) Using specially designed propellers

The propellers can be designed in a manner which are large in number but specifically designed which reflect the air with propellers in a manner that the sound gets muffled (Abdelwahid et al, 2019). The DJI Mavic Air 2 is an example of such a rotor with blades which are specially designed so that the propeller emits less sound. Propellers, which are larger in size, can even with less speed, produce the same pressure against air to lift the drones as against smaller propellers, which produce a lot of noise.

##### (C) Using brushless motors

Motors on which propeller run are available in varying forms, which by virtue of their continuous rotation, also produce sound. It is found that using good quality brushless motors for propeller also reduces the sound of propeller to a great extent.

#### 4.2. Choosing Appropriate Flight Controller

Flight controller is the brain of drone, which controls the altitude, and helps in achieving stable flight for drones even in stormy conditions. All the sensors are controlled using flight controller which is controlled by the transmitter at ground (Baris et al, 2019). The flight controllers are available in varying forms depending upon the nature of drone to be flown (Glock and Meyer, 2020). The varying forms of flight controllers make them a subject to study, as it becomes very confusing sometimes, to select the appropriate flight controller that fulfills the requirement.

#### 4.3. Cost comparison of various flight controllers

The cost comparison of various flight controllers is given below in table 1. The user as per his requirement can use various flight controllers after detailed scrutiny of the technical details.

**Table 1.** Cost comparison of flight controllers

Name	Cost	Remarks
CC 3 D	Rs*.1200.00	Programming possible with PC
KK 2.1 (Red switches)	Rs. 1500.00	No PC required for programming
K2K 1.5 (Black switches)	Rs. 1800.00	PC required for programming
APM 2.8	Rs. 3000.00	PC required for programming
Pixhawk	Rs. 6000.00	PC required for programming
APM + GPS	Rs 7000.00	PC required for programming
DJI Naza M Lite	Rs. 8000.00	PC required for programming
DJI Naza M Lite + GPS	Rs. 18000.00	PC required for programming
DJI Naza M V2	Rs. 15000.00	PC required for programming
DJI Naza M V2 with GPS	Rs. 25000.00	PC required for programming

Note: \* Rs. is equivalent to Asian Rupees

#### 4.4. Power Management of Drones

The drones are used for diverse activities right from surveillance, express shipping, precision crop monitoring, geographic mapping of inaccessible terrain and locations etc. To perform affectively in ibid actions, the drones must keep flying for some time in air. Remaining in air for a longer duration is therefore a necessity for drones, but their stay duration is totally dependent upon the batteries used. The batteries which are normally used in drones are LiPo batteries which are rechargeable. The options are now available to recharge them once the drone comes back to ground or to recharge them using Poles/ Recharging Stations (Huang and Savkin, 2020). In addition, there are methods through which they can be recharged using other drones also while in flight (Jain and Mueller, 2020). Further details can be found in Vohra et al (2021).

#### 4.5. Collision Avoidance

The sensors are installed in drone at front and back, right, and left, above and below, which alert the drone that the obstacle is near-by. The drone can be formed with two sensor/side-guarded, four sensor/ side-guarded, six sensor/ side-guarded. Once the obstacle comes in front of a drone, it must decide whether to take a turn from side with some radius, or it is flown above the obstacle (Devos et al, 2021). Although multiple algorithms have been developed written in this regard but the problem is still under research and a lot more is to be done. The decision to maneuver around the target is taken autonomously by the drone following an algorithm which is programmed in the flight controller of the drone (Singh and Dhuheir, 2020).



#### 4.6. Extension in Communication Ranges

The drones need to transfer information to the receiver, where the pilot based upon the information received, diverts the drone to a different path to obviate any collision or further instruct it to perform some tasks which is to be notified to the drone through instructions. There are instances where the drones move out of the range and further communication is, therefore, not possible. In such cases, the need to increase the communication ranges of drones becomes quite prevalent. Same can be achieved by two methods. The drone which is in air passes the information to the receiver which is present on the ground. The communication network which is already deployed in ground is used in such cases. In other method, there are instances where the ground communication is not enough to provide seamless communication to drone. Drones are at some places used in relay roles where for some time of the day, they act as a small relay for extending communication ranges (Arribas and Mancuso, 2019).

#### 4.7. Weather Conditions

The weather conditions also play a pivotal role in determining the correct flight of drones. Weather conditions can be classified as given in Table 2. The drones need to be flown, only when the weather supports them. The weather on an average remains conducive for drones to fly, except in situations as described in Table 2. The drones must not be flown during severe conditions where there are very high chances of drones to get damaged (Luers, 2003). The propellers, flight controllers will get seriously damaged in weather conditions which come under the category of adverse and severe weather (Ranquist et al, 2016).

**Table 2.** Severity of weather (Gao and Hugenholtz, 2021)

Severity	Hazards	Weather Types	Flying drone
Moderate	Reduced visibility	Fog, Haze, Glare , Cloud cover	Not advisable
Adverse	Loss of communication, Loss of control, Loss of command, Diminished aerodynamic performance, Reduced operator	Wind and turbulence, Rain, Solar storms, Temperature and humidity, Snow and ice	Not to be flown, Only for proving some facts of experiments
Severe	Severe damage to or loss of aircraft, Unacceptable risk to operator and person	Lightning, Hail, Tornadoes, Hurricanes	Strict No

#### 4.8. Videography during Unfavourable Conditions

The drones are required to be used for videography even at unfavourable weather conditions. Video from drones can only be transmitted at night if drone has requisite thermal sensors, which can pick the heat signature of various bodies (Bürkle, 2009). Normal cameras do not have facility of picking the heat signatures and therefore will not be able to record anything at night-time (Dilshad et al, 2020; Nalamati et al, 2007). Moving vehicles can also be tracked by drones even at night using heat signatures emitted by the vehicles (Yeom and Nam, 2021). As the drones are not able to sustain in rains, so, videography is also not possible during rains. Research is being done for drones to sustain in rainy conditions. Similarly, the drones generally do not sustain in stormy weather conditions, affecting videography in such situations (Jeon and Lee, 2020). Good flight controllers with multiple sensors are used in such cases to make drones sustain in such conditions.

### 5. PROPOSED METHODS TO BRIDGE THE GAPS

#### (A) Reduction of Noise

For reducing the noise of propellers, foam will be used at a safe distance from the propellers (Vijayanandh et al, 2019). The frame will accordingly be used by the drone to give adequate spacing from propellers.

#### (B) Collision Avoidance

For taking care of the collision avoidance aspect, telemetry method is to be planned, which will provide command to the drone to return to home (Chen et al, 2016). In addition, the drone will be fitted with sensors from all six directions. Obstacle sensing techniques using artificial intelligence (AI) may be used (Aswini et al, 2018).

#### (C) Videography in Extreme Weather Condition

For facilitating videography in extreme weather conditions, good flight controller with proper gimbal positioning is to be used with the drone frame. Camera will be adjusted in such a manner, in case the drone moves in a random direction, the camera remains at the same position, so that focus of the camera is not affected.

#### (D) Extended Ranges of Providing Video and Pictures

To facilitate longer ranges of communication, a second drone may be used as a relay so that video/ pictures are made available through maximum ranges. The placing of type of antenna with polarization aspects need to be considered.

#### (E) Power Management

The LiPO battery to be used in a manner, keeping the voltage, capacity, and discharge rate etc. parameters, under consideration so that maximum sustenance by drone in air is made possible.

#### (F) Flight Controller

For selection of flight, different flight controllers can be used and programmed through hardwired switches or through laptop/PC (Ding et al, 2014). The best flight controller decision will be taken once all the flight controllers need to be checked in practicality, so that their theoretical aspects can be matched with their ground results (Ebeid et al, 2017).

## 6. IMPRESSIONS OF A QUADCOPTER

The impressions from a quadcopter affected by the above drawbacks are tabulated in Table 3, to to better assimilate, how a quadcopter provide false readings when being affected by the drawbacks covered above.

**Table 3.** Impressions of a quadcopter

Serial No.	Type of rotor drone	Type of drawback	Disadvantage of drawback	Remarks
1.	Quadcopter	High acoustic signature	The audio and videos transmitted have a humming effect	This drawback may be minimized using shrouds or using specially designed propellers.
2.	Quadcopter	Wrong use of flight controller	The sensors were not giving the requisite details as per requirement	The flight controller is the brain of the quadcopter, therefore, need to be properly chosen as per the function envisaged.
3.	Quadcopter	Power management of drones	The rotor drone stayed in air for only 45 minutes	For a rotor drone to stay in air for a longer duration, high end Lithium Polymer (LiPO) battery to be used but the caveat is weight. So, we need to strike a balance whether we want more sensors or more duration in air.
4.	Quadcopter	Collision avoidance	The rotor drone got engaged between high trees and was not able to understand the obstacle	Collision avoidance cameras to be put so that necessary indications from right, left, top and below may be given by the sensor to flight controller which can subsequently guide the rotor drone in terms of collision avoidance.
5.	Quadcopter	Extension in communication ranges	Absence of long-range video/ audio transmitting aerials led to shorter communication ranges	There are aerials which provide higher ranges. In addition, rotor drone (in air) ca also acts as a relay for extending communication viz. audio and video.
6.	Quadcopter	Weather conditions	The drone did not fly during rains and heavy wind conditions	Some changes in the physical attributes especially by shielding flight controller, GPS antenna and other sensors from the water droplets of rain will help in sustenance during rains also.

## 7. CONCLUSION

Rotor drones, right from the nano to huge ones, have varied usages depending upon the task for which they are specifically made. As they, being complex systems, the drawbacks or research gaps in either of these terms viz., power management, flight time, communication relay limitation, sustenance in unconducive weather etc., will still prevail. These basic research gaps are therefore identified in this paper and various prospects/ solutions for solving them, up to great extent, are also discussed in brief. The drone, so developed, devoid of all such basic drawbacks, will avoid collision, automatically adjust its power, and will re-energize itself so that longer sustenance in air is possible. In addition, with some minor changes in the physical attribute, if a rotor drone, performs effectively in rains and high-altitude terrains, then the same rotor drone will be able to

give data in real time from far-flung places which are almost impossible for humans to reach. It is therefore the need of the hour to make an ideal quadcopter which proves as single point of contact (SPOC) for any task irrespective of its application. This will only be possible if creation of one such ideal quadcopter is made possible. Out of all the drawbacks mentioned above, the drawback in relation with acoustic signature and collision avoidance mechanism are of great interest to the researchers in present era as it will involve innovative thinking in the paradigm of supervised learning which is part of machine learning or artificial intelligence. On the contrary instead of making an ideal quadcopter, if all kinds of rotor drone are aimed to be studied, then that exercise will be futile as the number of different kinds of rotor drones (as per application) existing are mind-boggling and are in the figures of billions.

## 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

- Abdelwahid, B., Marija, S., Lamine, R., Zoran, R. & Takieddine, M. (2019). UAV aerodynamic design involving genetic algorithm and artificial neural network for wing preliminary computation. *Aerospace Science and Technology*, 84, 464-83, <https://doi.org/10.1016/j.ast.2018.09.043>
- Ali, R., Mohammed, R., Muhammad, T. & Kim, S.H. (2018). Development of Intelligent Drone Battery Charging System based on Wireless Power Transmission. *MDPI Journal on Application Systems*, 1(4), 44.
- Arribas, E. & Mancuso, V. (2019). Fair cellular throughput optimization with the aid of coordinated drones. *Proc. MISARN*
- Aswini, N., Kumar, E. K. & Uma, S.V. (2018). UAV's obstacle sensing techniques - a perspective. *International Journal of Intelligent Unmanned Systems*, 6, 32-46, <https://doi.org/10.1108/IJIUS-11-2017-0013>
- Baris, O., Majumder, S. & Strøm, T. B. (2019). Demonstration of a Time-predictable Flight Controller on a Multicore Processor. *ISORC*, <https://doi.org/10.1109/ISORC.2019.00029>
- Bürkle, A. (2009). Collaborating miniature drones for surveillance and reconnaissance. *Proc of SPIE 7480, Unmanned/ Unattended Sensors and Sensor Networks VI*, 74800H (24 September 2009), <https://doi.org/10.1117/12.830408>
- Cai, G., Jorge, D. & Lakmal, S. (2014). A survey of small-scale unmanned aerial vehicles: Recent advances and future development trends. *Journal on Unmanned Systems*, 2(2), 175-199,
- Chen, J., Liu, T. & Shen, S. (2016). Online generation of collision-free trajectories for quadrotor flight in unknown cluttered environments. *ICRA*, <https://doi.org/10.1109/ICRA.2016.7487283>
- Chen, J. & Liu, T. (2016). Tracking a moving target in cluttered environments. *IROS*, <https://doi.org/10.1109/IROS.2016.7759092>
- Devos, A., Ebeid, E. & Manoonpong, P. (2021). Development of Autonomous Drones for Adaptive Obstacle Avoidance. *DSD*, <https://doi.org/10.1109/DSD.2018.00009>
- Ding, J., Fan, Q., Luo, D. & Shen, X. (2014). Research of A Multi-UAV Flight Controller. *Conference on Control & Automation (ICCA)*, <https://doi.org/10.1109/ICCA.2014.6871017>
- Ebeid, E., Skriver, M. & Jin, J. (2017). A Survey on Open-Source Flight Control Platforms of Unmanned Aerial Vehicle. *DSD*, <https://doi.org/10.1109/DSD.2017.30>
- Fujii, K., Higuchi, K. & Rekimoto, J. (2013). Endless Flyer: A Continuous Flying Drone with Automatic Battery replacement. *IEEE 10th International Conference on Ubiquitous Intelligence & Computing*.
- Gao, M. & Hugenholtz, C. H. (2021). Weather constraints on global drone flyability. *Nature*, <https://doi.org/10.1038/s41598-021-91325-w>
- Glock, K. & Meyer, A. (2020). Mission Planning for Emergency Rapid Mapping with Drones. *Transportation Science Conference*, 54(2), 534-560, <https://doi.org/10.1287/trsc.2019.0963>
- Gomes, F., Hormigo, T. & Ventura, R. (2020). Vision based real-time obstacle avoidance for drones. *SSSS*, <https://doi.org/10.1109/SSRR50563.2020.9292597>
- Grace, S. M. & Dropkin A. (2016). Experimental Study of Quadcopter Acoustics and Performance at Static Thrust Conditions. *Aeroacoustics Conferences*, <https://doi.org/10.2514/6.2016-2873>
- Guvenc, I. & Saad, W., (2016). Wireless communications, networking, and positioning with unmanned aerial vehicles. *Communications*, <https://doi.org/10.1109/MCOM.2016.7470931>
- Hartanto, R., Arkeman, Y., Hermadi, I., Sjaf, S. & Kleinke, M. (2019). Intelligent Unmanned Aerial Vehicle for Agriculture and Agroindustry. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ*, 3-4, <https://doi.org/10.1088/1755-1315/335/1/012001>
- Hayat, S., Yanmaz, E. & Muzaffar, R. (2016). Survey on Unmanned Aerial Vehicle Networks for Civil Applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 18(4), 2624-2661
- Huang, H. & Savkin, A. V. (2020). A Method of Optimized Deployment of Charging Stations for Drone Delivery. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 6, 2.
- Jeon, B. & Lee, Y. (2020). Integrated Motion Planner for Real-time Aerial Videography. *ICRA*, <https://doi.org/10.1109/ICRA40945.2020.9196703>
- Jain, K. P. & Mueller, M. W. (2020). Flying Batteries: In-flight battery switching to increase multirotor flight time. *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*.
- Hassanalain, M. & Abdelkefi, A. (2017). Classifications, applications, and design challenges of Drones: A Review. *Progress in Aerospace Sciences*, 91, 99-131, <https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2017.04.003>
- Jun, N., Lili, Y., Jingchao, Z., Weixing, C., Yan, Z. & Xiuxiang, T. (2017). Development of an unmanned aerial vehicle-borne crop-growth monitoring system. *Sensors*, 17, 502-525, <https://dx.doi.org/10.3390%2Fs17030502>
- Kemal, N., Chowdhary, G., How, J.P., Vavrina, M.A. & Vian, J. (2015). An Automated Battery Management System to enable persistent missions with multiple Aerial Vehicles. *IEEE Transactions on Mechatronics*, 20, 1.
- Kloet, N., Watkins, S. & Clothier, R. (2017). Acoustic signature measurement of small multi-rotor unmanned aircraft systems. *International Journal of Micro Air Vehicles*, 9, 3-14

- Lee, D., Zhou, J. & Lin, W.T. (2015). Automated Battery Swapping System for Quadcopter. *IEEE International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*.
- Luers D. (2003). Heavy rain effects on aircraft. *AIAA 21st Aerospace Sciences Meeting*, 83-0206, <https://doi.org/10.2514/6.1983-206>.
- Mohamud, A. & Ashok, A. (2018). Drone noise reduction through audio waveguiding. *Dronet ACM Conference*, <https://doi.org/10.1145/3213526.3213543>
- Motlagh, N.H., Taleb, T. & Arouk, O. (2016). Low-altitude unmanned aerial vehicles-based internet of things services: Comprehensive survey and future perspectives. *IEEE Internet of Things Journal*, 3(6), 899-922
- Nalamati, M., Kapoor, A., Saqib, M., Sharma, N. & Blumenstein, M. (2007). Drone Detection in Long-range Surveillance Videos. *IEEE Conference on Drones and Intelligent Systems*.
- Raciti, A., Rizo, S.A. & Susinni, G. (2018). Drone Charging Stations over the buildings based on a Wireless Power Transfer System. *IEEE/ IAS Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference (ICPS)*.
- Ranjan, C., Akhtar, S.J. & Kumar, P. (2019). Design and fabrication of quad copter with rechargeable solar power source. *AIP Conference Proceedings 2200, 020004*, <https://doi.org/10.1063/1.5141174>
- Ranquist, E.A., Steiner, C.M. & Argrow, B. (2016). Exploring the Range of Weather Impacts on UAS Operations. *Journal of National Center for Atmospheric Research (NCAR)*, Boulder, Colorado.
- Shah, F. A., Sheikh, S. S., Mir, U.I. & Akhtar, S. (2019). Battery Health Monitoring for Lithium-ion Batteries", *International Conference on Power Generation Systems Renewable Energy Technologies (PGSRET)*
- Singh, J. & Dhuheir, M. (2020). Navigation and Obstacle Avoidance System in Unknown Environment. *CCECE*, <https://doi.org/10.1109/CCECE47787.2020.9255754>
- Vijayanandh, R., Ramesh M., G, Ram., Thianesh, U.K., Venkatesan, K. & Senthil, M., (2019). Research of Noise in the Unmanned Aerial Vehicle's Propeller using CFD. *IJEAT*, <https://doi.org/10.35940/ijeat.F1031.0886S19>
- Villa, T. F., Gonzalez, F., Miljievic, B., Ristovski, Z. D. & Morawsk, L. (2016). An overview of small unmanned aerial vehicles for air quality measurements: Present applications and future prospective. *Sensors*, 4, 23-29, <https://doi.org/10.3390/s16071072>
- Vohra, D.S., Garg, P. K. & Ghosh S. K. (2021). Power management of drones. *2nd International Conference on Unmanned Aerial Systems in Geomatics*.
- Yeom, S. & Nam, D. H. (2021). Moving Vehicle Tracking with a Moving Drone Based on Track. *MDPI Journal on Association of Applied Sciences*, <https://doi.org/10.3390/app11094046>



© Author(s) 2022.

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



## Kentsel Hava Sahasında İnsansız Hava Aracı Sistemleri Trafik Yönetimi için Verilmesi Gereken Hizmetler ve Kullanılabilecek Bazı Teknolojiler

Abdullah Yılmaz<sup>\*1</sup>, Hayri Ulvi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trafik Planlaması ve Uygulaması ABD, Ankara, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

HTY,  
Hava Trafik Yönetimi,  
İHA,  
Kentsel Hava Hareketliliği,  
İTY.

### Öz

İnsansız hava araçları, günümüzde eğlence ve hobi amacıyla tercih edilmesinin yanı sıra, tarımsal faaliyetlerde, güvenlik amaçlı gözetlemede, arama-kurtarma faaliyetlerinde ve daha birçok alanda etkin bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Yaşanan gelişmeler başta ulaşım ve havacılık sektörü olmak üzere diğer birçok sektörün de ilgisini çekmiştir. Dronlar, uzaktan pilotlu hava aracı sistemleri (UPHAS), otonom hava araçları, henüz konsept teknolojiler olarak karşımıza çıkan sürücülü ve sürücüsüz kişisel hava araçları (KHA) gelecekte günlük yaşamımızın bir parçası olarak insanların yaşadığı yerleşim yerleri ve civarında ciddi bir kentsel hava hareketliliği (KHH) oluşturacaktır. Kentsel hava sahasında gerçekleşecek olan bu hareketliliğin, mevcut hava trafik yönetimi (HTY) ile uyumlu bir şekilde yönetilmesi büyük önem arz etmektedir. İnsansız hava aracı sistemleri trafik yönetiminin (İTY) ihtiyaçları mevcut hava trafik yönetiminden farklıdır. Ancak mevcut teknolojilerle beraber yeni teknolojiler kullanılarak insansız hava araçları trafik yönetimi için çözümler sunulabilir. Bu çalışmada, kentsel hava sahasını kullanacak insansız hava araçlarının emniyetli ve düzenli trafik yönetimi için verilmesi gereken hizmetler ve kullanılabilecek bazı teknolojiler önerilerek kentsel hava hareketliliği sistem altyapısı için temel bir model oluşturulmaya çalışılmıştır.

## Some Services to Be Provided and Technologies to Be Used for UAS Traffic Management (UTM) in Urban Airspace

### Keywords

ATM,  
Air Traffic Management,  
UAV,  
Urban Air Mobility,  
UTM.

### Abstract

In addition to being preferred for entertainment and hobby purposes, unmanned aerial vehicles have begun to be used effectively in agricultural activities, security surveillance, search and rescue activities and many other areas. The developments have been experienced so far attracted the attention of many other sectors, especially the transportation and aviation sector. As a part of our daily life in the future, drones, autonomous air vehicles, remotely piloted aircraft systems (RPAS), and personal air vehicles (PAV, DPAV) that some are still concept technologies will create a serious urban air mobility (UAM) over and around settlements where people live. It is of great importance that this mobility, which will take place in the urban airspace, is managed in harmony with the existing air traffic management (ATM). Unmanned aircraft systems traffic management (UTM) needs are different from ATM. However, solutions for UTM can be offered by using new technologies together with existing technologies. In this study, it has been tried to create a basic model for urban air mobility system infrastructure by suggesting some services that should be provided and technologies that can be used for the safe and regular traffic management of unmanned aerial vehicles that will use the urban airspace.

\* Sorumlu Yazar (\*Corresponding Author)

Kaynak Göster (APA) / Cite this;

<sup>\*</sup>(dumanharun63@gmail.com) ORCID ID 0000-0002-9477-8248  
(hayriulvi@gazi.edu.tr) ORCID ID 0000-0003-2988-6215

Yılmaz, A. & Ulvi, H. (2022). Kentsel Hava Sahasında İnsansız Hava Aracı Sistemleri Trafik Yönetimi için Verilmesi Gereken Hizmetler ve Kullanılabilecek Bazı Teknolojiler. Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi, 4(1), 08-18

## 1. GİRİŞ

Gün geçtikçe adını daha sık duymaya başladığımız insansız hava araçları (İHA) ve henüz konsept teknolojiler olarak karşımıza çıkan kişisel hava araçları (KHA) ile kent içi ulaşım sorunlarının büyük ölçüde çözülebileceği ve seyahat sürelerinin çok daha kısılacacağı düşünülmektedir. Sürdürülebilirlik açısından düşündüğümüzde, gelecekte kent içi ulaşımında mevcut sistemlerle birlikte yeni nesil teknolojilerin kullanılması kaçınılmaz görünmektedir.

Günümüzde “dron” ve “insansız hava aracı” isimleri çoğu zaman birbirinin yerine kullanılmaktadır. Ancak ilk çıkan dronlar genellikle askeri amaçlar doğrultusunda kullanıldığından dron kavramı olumsuz izlenim de bırakabilmektedir. Bu nedenle genellikle insansız hava aracı ifadesi tercih edilmektedir.

İçinde pilotu olmayan, tamamen otonom ya da uzaktan kontrollü, denizde veya havada seyahat edebilen her türlü araç aslında dron olarak kabul edilmektedir (Kahveci, 2017). Dolayısıyla uzaktan kumanda ile kontrol edilebilen ya da otonom bir uçak veya gemi dron olarak nitelendirilebilir. Havada seyahat edebilen dronlar da “İHA (insansız hava aracı)” ya da İngilizce kısaltması ile “UAV (unmanned aerial vehicle)” olarak adlandırılmaktadır.

İnsansız hava araçları kullanım alanlarına göre sivil ve askeri olarak iki temel kategoriye ayrılır. Sivil İHA’lar da kanat yapılarına göre kendi içinde sabit kanatlı, döner kanatlı ve dikey iniş-kalkış yapan (VTOL) İHA’lar olarak 3’e ayrılabilir.

İnsansız hava araçları kent içi hava taşımacılığının yanı sıra tarımsal faaliyetlerde, güvenlik amaçlı gözetlemede, arama-kurtarma faaliyetlerinde, doğal afetlerin, yangınların izlenmesinde ve daha birçok alanda etkin olarak kullanılabilirdiği gibi eğlence ve hobi amaçlı olarak da kullanılmaktadır. Bu nedenle insanların yaşadığı yerleşim yerleri ve civarında, düşük seviyede gerçekleşecek hava trafiği, kentsel hava ulaşımı yerine kentsel hava hareketliliği olarak adlandırılmıştır.

Türkiye’nin askeri İHA alanında gerçekleştirdiği atılımlar ülkemizdeki İHA sektörü açısından çok büyük öneme sahiptir. Askeri İHA çalışmalarıyla birlikte gelişen endüstride tedarikçi ve alt yüklenici firma sayısı artmış, elde edilen teknoloji ve bilgi birikiminin sanayi sektöründe de yayılması sağlanarak paydaş sayısı artırılmış, bunlara paralel olarak yapılan araştırma ve akademik çalışmalar ciddi oranda artış göstermiştir. Tüm bunların, sivil insansız hava araçları alanındaki gelişmelere de ivme kazandıracığı açıktır.

Öte yandan, Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü tarafından yapılmış olan çalışmalar ve yayınlanmış olan İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatı (SHGM, 2019), yeni bir sektörün doğuşuyla birlikte ortaya çıkan mevzuat ihtiyacını gidermenin yanı sıra İHA’ların kayıt altına alınmasını da sağlamaya çalışmaktadır.

Mevzuatı belirlemek, kullanılacak İHA’ları kayıt altına almak ve bir hava sahasını kullanım için belirlemek, insanlı/insansız hava araçlarının yerleşim yerleri üzerinde emniyetli şekilde uçurulabilmesi için yeterli değildir. Emniyetsiz bir hava sahası yalnızca uçuşu gerçekleştirenler ve hava araçları için değil; o yerleşim yerinin sakinleri açısından da büyük bir risk demektir.

Emniyetli bir kentsel hava hareketliliği sağlamak için ihtiyaç duyulan alt yapının da adım adım hazır hale getirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmanın amacı, kentsel hava sahasını kullanacak insansız hava araçlarının emniyetli ve düzenli trafik yönetimi için verilmesi gereken hizmetler ve kullanılacak bazı teknolojiler önererek kentsel hava hareketliliği sistem altyapısı için temel bir model oluşturmaktır.

## 2. KENTSEL HAVA SAHASINDA VERİLMESİ GEREKEN HİZMETLER VE KULLANILACAK SİSTEMLER

### 2.1 Kentsel Hava Hareketliliği (UAM) Uçuş Bilgi Paylaşım Sistemi

Mevcut hava trafik yönetimi için bir uçuştan önce, uçuş emniyetini etkileyebilecek önemli durumlarla ilgili yayımlanmış güncel bildirimler (notam), hava sahası kısıtlamaları gibi bilgilere sahip olmak uçuşun sorunsuz gerçekleştirilebilmesi açısından önem arz etmektedir. Bu nedenle hava yolu işleticilerinin veya özel uçuş gerçekleştirecek olanların söz konusu bilgilere bir paylaşım ortamı vasıtasıyla erişebilmesi, kullanıcılar için büyük kolaylık sağlamaktadır.

Bu açıdan, Kentsel Hava Hareketliliği için de uçuşlara ait planların sunulabileceği, plan kabul işlemlerinin yapılabileceği ve hava seyrüsefer yardımcı cihazları, uçuş rotaları, terminal sahaları, tahditli sahalarla ait birçok hava sahası bilgisi ile notamlı sahalarla ilişkin bilgilere erişilebilmeyi sağlayacak bir uçuş bilgi paylaşım sistemi ihtiyaç vardır.

Ocak 2022’de, Almanya Hava Seyrüsefer Hizmet Sağlayıcısı olan DFS (Deutsche Flugsicherung GmbH), insansız hava araçları için bir platform geliştirdiğini ilan etti. Dipul (Digitale Plattform Unbemannte Luftfahrt) adı verilen bu platform, Almanya’daki dron operasyonlarına ilişkin tüm bilgi, kural ve prosedürleri tek bir merkezde bir araya getirmenin yanı sıra coğrafi bölgelere ait veriler, hava saha verileri ve dron verileri gibi önemli bilgileri de sağlamaktadır. 2022 yılı sonuna kadar hava durumu ve rota planlayıcı gibi yeni araçların eklenmesi hedeflenmektedir (DFS, 2022).

Kentsel hava sahası daha küçük ve daha dinamik olacağı için söz konusu bilgi paylaşım sisteminin de daha ayrıntılı, daha dinamik ve interaktif olması gerekir. Hava sahası bilgileri, notamlı sahalar, rotalar, hava durumu, dron verileri, uçuş planı verileri, manialar, rotaların kullanım kapasitesi ve doluluk oranları gibi birçok bilgiyi barındırması gereken UAM Bilgi Paylaşım Sistemi hem kullanıcıların hem de hizmet sağlayıcıların operasyonel ihtiyaçlarını karşılayacaktır. Örneğin, kullanıcı sisteme giriş yaptıktan sonra uçuşa ait bazı bilgileri girecek (tarih, saat, amaç...), daha sonra harita üzerinden bir uçuş rotası oluşturacak. Sistem tarafından rotanın kapasitesi, doluluk oranı ve uygunluk durumu anlık olarak paylaşılacak, rota uygun değil ise alternatif bir rota önerilecek. Kullanıcının onaylaması durumunda söz konusu uçuşa ait rota dâhil tüm veriler sisteme işlenmiş ve uçuş planı oluşturulmuş olacak. Oluşturulan plan, kontrolör arayüzüne de servis edilecek.

Tek Avrupa Hava Sahası ATM Araştırmaları Ortak Girişimi (Single European Sky ATM Research Joint Undertaking [SESAR]) 2020 Programı Uzaktan Pilotlu



Hava Aracı Sistemleri (RPAS) Araştırma Çağrısı kapsamında başlatılan araştırma projelerinden biri olan IMPETUS (Information Management Portal to Enable the Inegration of Unmanned Systems) ile hava araçlarının hangi bilgilere ihtiyaç duyduğuna, bu bilgilerin nasıl elde edileceğine ve kullanılacağına ilişkin çalışmalar yapılmıştır. Sonuç olarak, bilgi paylaşım sistemi için, kullanıcı taleplerini karşılamak amacıyla büyüyen, büyüdükçe karmaşıklaşan tek tip, tek programlama dili kullanılarak geliştirilmiş monolitik bir yapı yerine; küçük, bağımsız ancak yüksek düzeyde bağlantılı (interoperable) hizmetlere dayalı bir mimarinin (microservices) uygun olacağı önerilmiştir (SESAR IMPETUS, 2019).

İçeriği, kapsamı, sunulacak hizmetler ve mimari yapısı ile ilgili yapılan çalışmalar ışığında hazırlanacak olan UAM Uçuş Bilgi Paylaşım Sistemi'nin profesyonel ve amatör tüm pilotların, işleticilerin ve hizmet sağlayıcıların, kısaca tüm paydaşların ihtiyaçlarına cevap verebilecek, başka sistemlerle esnek çalışabilecek dinamik bir yapıda olması şarttır.

## 2.2 Kentsel Hava Sahasında Hava Trafik Kontrol Arayüzü

Genel havacılık için hava trafik kontrol hizmeti (Air Traffic Control, ATC), hava araçları arasında ve manevra sahasındaki hava araçları ile manialar arasında çarpışmaları önlemek ve düzenli hava trafik akışını hızlandırmak ve sürdürmek için sağlanan hizmettir. Bu hizmet bir hava aracının inişinden kalkışına kadar aşağıdaki safhalardan oluşur.

Hava trafik yönetiminde benzer uçuş safhaları kentsel hava sahasındaki uçuşlar (VLL [Very Low Level]) için de olacaktır. Kentsel hava hareketliliğinde emniyetli, güvenli ve hızlı bir trafik akışı için dron, kişisel hava araçları ve hava sahasını kullanacak diğer tüm insanlı/insansız hava araçlarının gerçek zamanlı izlenmesi ve görüntülenmesi gerekir. Genel havacılıkta olduğu gibi izleme (tracking) için radar veya başka gözetim sensörlerine; görüntüleme (monitoring) için de bir kontrolör arayüzüne ihtiyaç vardır.

Sivil Havacılık Talimatı'na göre, İHA0 ve İHA1 sınıfındaki İHA'lar sadece görerek meteorolojik koşulların sağlandığı durumlarda, gündeğümü-günbatımı saatleri arasında ve en az 2 km görüşe açık havalarda uçuş gerçekleştirilebilir, İHA2 ve İHA3 sınıfındaki İHA'lar ise hava trafik usulleri açısından VFR uçuş gerçekleştirilen hava aracı statüsünde kabul edilirler (SHGM, 2019). Özetle, ilk aşamada kentsel hava

sahasında gerçekleştirilecek uçuşların, limitleri bu sahaya özgü olarak değişse de Görerek Uçuş Kurallarına (VFR) uçuş gerçekleşeceğinden, düşük görüşte veya gece uçuşa izin verilmeyecektir. Dolayısıyla ATM'deki gibi Aletli Uçuş Kurallarına (IFR) göre yapılan uçuşlara hizmet verilmediğinden, uçuşları kontrol yükümlüğü olmayacak, ayırma zorunluluğu olmayacak; yalnızca tavsiye hizmeti amacıyla kontrolörlük hizmeti verilecektir.

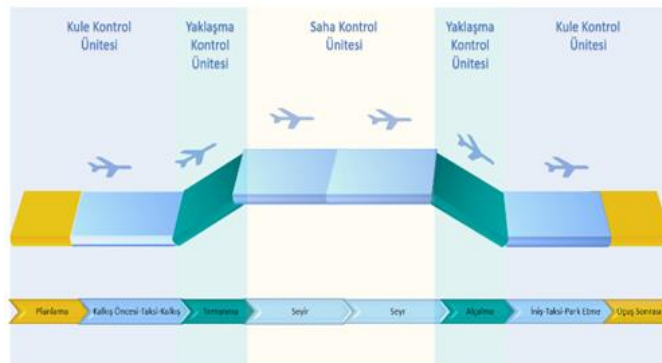
Hava araçlarının bir kısmının tamamen otonom, diğerlerinin de pilotlu veya uzaktan pilotlu olduğu UAM'de, hava trafik hizmeti de bir anlamda yarı otonom olacak, tüm trafıklere değil, yalnızca kurallara uygun uçuş gerçekleştirilmeyen (paylaştığı rotanın dışına çıkan, kendisi için belirlenmiş coğrafi çit (geo-fencing) sahasının dışına çıkan, girmemesi gereken bir coğrafi çit sahasına giren veya olması gerektiği seviyede uçmayan gibi...) trafıklere hizmet verilecektir.

Yalnızca gözetim ve uçuş planı verileri değil, uçuşa yardımcı coğrafi uçuş bölgelerine ait harita bilgileri, hava durumu verileri, çakışmalara ait anlık veriler (deconfliction) gibi diğer önemli veriler de hem kontrolör hem de hava aracı operatör arayüzü ile paylaşılmalıdır.

## 2.3 Kentsel Hava Sahası Haberleşme, Seyrüsefer ve Gözetim (Communication Navigation Surveillance-CNS) Hizmetleri

Hava trafik hizmetleri, hava sahasının gözetilmesi, uçak pozisyonlarının doğru bir şekilde belirlenmesi ve bu uçaklarla sağlıklı bir haberleşmenin sağlanması ile mümkündür. Haberleşme, seyrüsefer ve gözetim hizmetleri olarak adlandırılan bu hizmet mevcut hava sahası yönetiminde olduğu gibi kentsel hava sahası yönetiminde de verilmesi gereken hizmetlerden biridir.

Günümüzde hava trafik kontrol hizmetinin verilmesinde iniş-kalkış safhaları hariç genellikle gözetim (surveillance) hizmetlerinden yararlanılmaktadır (Büyük havalimanlarında iniş-kalkış safhaları ve yer hareketleri için de yine gözetim hizmetlerinden yararlanılabilmektedir). Gözetim hizmeti, genellikle hava trafik radarları (PSR, SSR) veya ADS-B, MLAT gibi gözetim sensörlerinden elde edilen verinin kaynaştırılması (data fusion) yoluyla ortaya çıkan gerçek zamanlı hava resminin hava trafik kontrolörüne sunulmasını ifade eder. Radarlı hava trafik hizmeti olarak da bilinen bu yöntem havacılık için hayati öneme sahiptir.



Şekil 1. Hava trafik kontrol hizmetinin safhaları

### 2.3.1 ATM'de kullanılan gözetim sistemlerinden bazıları

Gözetim teknolojileri esas itibariyle hedef pozisyonunun hesaplanma şekline göre bağımsız (pozisyon, gözetim sistemi tarafından hesaplanır) ve bağımlı (pozisyon, hedef tarafından iletilir) olarak ve hava aracında bir teçhizat (transponder) gerektirip gerektirmesine bağlı olarak non-cooperative ve cooperative olarak sınıflandırılır (DHMI,2022). Hava trafik hizmetlerinde kullanılan en yaygın gözetim sistemlerinden bazıları aşağıda belirtilmiş olup özellikleri hakkında kısaca bilgi verilmiştir.

**Birincil gözetim radarı (primary surveillance radar-PSR):** Gözetim sistemlerinin en eski ama aynı zamanda en vazgeçilmez teknolojisi olan PSR radarlar elektromanyetik dalganın hedeflere çarpıp geri dönmesi mantığı ile çalışır. Dalganın gidiş dönüş süresi ve hızı (300.000 km/sn) bilindiğinden hedefin mesafesi hesaplanabilir. Ayrıca antenin o andaki yönü de uçağın istikametinin hesaplanmasında belirleyicidir. Böylece bir hava aracının pozisyonu bu radar ile belirlenebilir. Ancak seviyesi veya hava aracına ait diğer bilgiler, hava aracı ile herhangi bir veri bağlantısı kurulmadığından (non-cooperative) elde edilemez. Kısaca PSR, iş birlikçi olmayan/bağımsız (non-cooperative/independent) radarlar olduğu için kritik bölgelerde yalnızca pozisyon, hız ve yön bilgisi almak için tercih edilirler ancak hava aracı tanımlaması ve irtifa bilgisi gibi diğer bilgileri alamazlar.



Şekil 2. Birincil gözetim radarı (Primary Surveillance Radar - PSR)

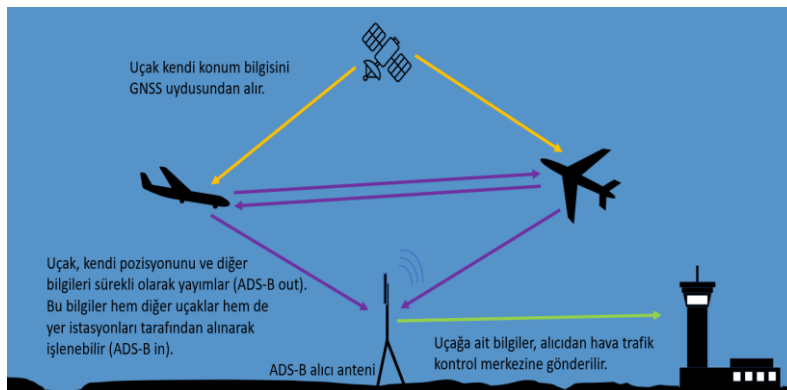
**İkincil gözetim radarı (secondary surveillance radar-SSR):** Bağımsız ama iş birlikçi olan (independent/cooperative) ikincil gözetim radarı vasıtasıyla bilgi alınması, hava aracında transponder cihazının bulunmasını gerektirir. Sistem sorgulama ve cevap mantığı ile çalışır. Radar tarafından gönderilen sorgular (interrogation, 1030MHz), hava aracında bulunan

transponder tarafından cevaplanır (reply, 1090MHz). Cevabın alındığı süre ile sorgunun yapıldığı süre arasındaki farktan hedefin mesafesi (range); antenin yönü ile de uçağın istikameti (bearing) hesaplanır. Alınan cevabın içerisinde kimlik kod bilgisi (Mode A) ve irtifa bilgisi (Mode C) yer alır. Sonuç olarak uçağın pozisyon, hız ve yön bilgisinin yanı sıra irtifası ve tanımlama için gerekli olan kimlik kodu da alınmış olur.



Şekil 3. İkincil gözetim radarı (Secondary Surveillance Radar - SSR)

**Otomatik bağımlı gözetim-yayın (ADS-B):** Radar sistemlerine göre çok daha düşük maliyetli olan ve günümüzde yaygın şekilde kullanılan bir diğer gözetim yöntemi ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast) teknolojisidir. Yer veya hava kullanıcılarına, talep edilmesi durumunda uçakların ve havalimanındaki yer araçlarının, kimlik, konum hız gibi bilgilerini belirli aralıklarla veri bağlantısı aracılığıyla bir yayın modunda otomatik olarak iletebileceği ve/veya alabileceği bir yöntemdir (ICAO 4444, 2016). ADS-B, hava aracında transponder gerektiren, iş birlikçi (cooperative) bir sistemdir. İş birlikçi olduğu için hava aracından ihtiyaç duyulan tüm bilgiler kolayca alınabilmektedir. Pozisyon bilgisi hedef tarafından iletiğinden aynı zamanda bağımlı (dependent) bir sistemdir ve uydu tabanlı konum belirleme sisteminin (GNSS) devre dışı kalması durumunda uçağa ait bazı bilgiler paylaşılacaktır. Bir diğer sorun, ADS-B yayınında herhangi bir şifreleme veya kimlik doğrulama yoktur. Mesajlar, dinleme, karıştırma, değiştirme ve sızma gibi saldırılara açık bir biçimde yayınlanır. Ayrıca, uçak ve hava trafik kontrol (ATC) üniteleri, ADS-B mesajlarını göndermeden önce kimlik doğrulaması yapmaz, dolayısıyla yetkili olanlar yetkisiz olanlardan ayırt edilemez. Tüm bu faktörler, ADS-B sistemini çeşitli saldırılara karşı son derece savunmasız hale getirir (ADS-B Spoofing attacks) (Wang vd., 2020).



Şekil 4. Otomatik bağımlı gözetim yayını (ADS-B)

**Multilateration (MLAT):** Bir başka gözetim tekniği ise multilateration (MLAT) olarak bilinen, hava araçlarının herhangi bir sorgulayıcıya cevaben veya transponderlerinden otomatik olarak yapılan ADS-B yayını ile gelen sinyallerin, en az 3 alıcı anten tarafından işlenerek ulaşım zamanı farkı (TDOA- Time Difference Of Arrival) yöntemi kullanılarak uçak pozisyonunun bulunması temeliyle çalışan sistemlerdir. MLAT, bağımsız (ulaşım zaman farkının hesaplanması işlemi hava aracından bağımsız, yerdeki MLAT sistemi ile hesaplanarak uçağın pozisyonu elde edilir) ama iş birliği bir gözetim tekniğidir. Bu açıdan SSR radar ile benzer özelliktedir. Ancak SSR radarlarla kıyaslandığında kapsamaların gerçekten çok zor, çetin ve maliyetli olabileceği hava sahalarında bu tür sistemler hem daha ucuz hem de daha kesin bilgiler verirler. Hatta radar kapsamalarında oluşabilecek boşluklar da bu sistemler sayesinde giderilebilir (Akçam & Paşaoğlu, 2011). Bununla birlikte SSR gibi bir sorgulamaya ihtiyaç duymaz.

### 2.3.2 Kentsel hava sahasını kullanan hava araçlarının pozisyon bilgisi ve kimlik tanımlaması (identification)

**Transponder:** Yukarıda ifade edildiği gibi genel havacılıkta hava aracının pozisyonu, hesaplanma yöntemine göre bağımlı veya bağımsız olarak; hava aracında transponder gerektirip gerektirmemesine göre ise non-cooperative (iş birliği olmayan) veya cooperative (iş birliği) biçimde belirlenebilmektedir. Bağımsız ve iş birliği olmayan sistemlerle (PSR) pozisyon bilgisi elde edilebilmesine rağmen kimlik tanımlaması yapılamamaktadır. Kimlik tanımlaması için transponder cihazı zorunludur. Hava aracında bulunan transponder, radyo frekansla bir sorgulama aldığı anda yanıt üreterek yayımlayan bir cihazdır. 1030 MHz ile aldığı sorguları 1090MHz'de cevaplar. Cevap sinyalleri kimlik kodu, irtifa, 24 bitlik uçak adresi gibi birçok bilgiyi içerir.

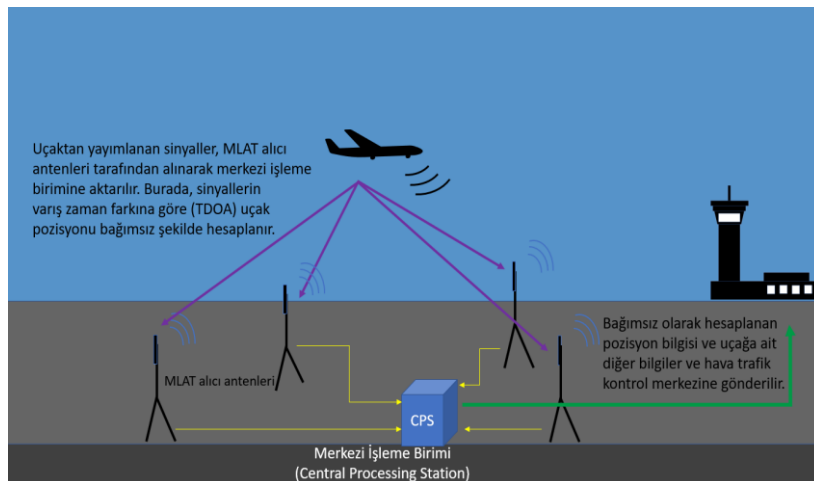
Hem SSR hem MLAT hem de ADS-B gözetim teknolojilerinin hedef kimlik tanımlaması için hava aracında transponder bulunması gerekir. Günümüzde bilinen dronların çoğunda bu aviyonik yer almadığından, zorunlu tutulması durumunda, uçuşa elverişli olamayacaklardır. Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü'nün

yayınlamış olduğu İnsansız Hava Aracı Talimatına göre azami kalkış ağırlıkları referans alınarak İHA'lar 4 sınıfa ayrılır (SHGM, 2019):

- İHA0: Azami kalkış ağırlığı 500 gr (dâhil) - 4kg aralığında olan İHA'lar,
- İHA1: Azami kalkış ağırlığı 4 kg (dâhil) - 25 kg aralığında olan İHA'lar,
- İHA2: Azami kalkış ağırlığı 25 kg (dâhil) - 150 kg aralığında olan İHA'lar,
- İHA3: Azami kalkış ağırlığı 150 kg (dâhil) ve daha fazla olan İHA'lar.

Talimata göre bunlardan yalnızca İHA3 sınıfının Mode-S transponder ile TCAS veya ADS-B benzeri algıla ve sakın sistemleriyle donatılmış olması zorunlu tutulmuştur (SHGM, 2019). Diğer İHA türlerinin de transponder cihazıyla donatılması ise operasyonları gerçekleştirecek kişiler, işleticiler ve şirketler için ciddi bir ek maliyet getirecektir. Aviyoniklerin hava araçlarına entegrasyonu, uzun süren ve maliyetli testler gerektiren bir iş olup sertifikasyonları zorunludur.

**Küresel Seyrüsefer Uydu Sistemi (Global Navigation Satellite System-GNSS):** Dünyanın yörüngesinde bulunan GNSS uydu antenlerinden yayılan sinyaller, bir alıcı tarafından okunur. Okunan sinyallerin varış süreleri kullanılarak alıcı kendi konumunu hesaplayabilmektedir. Jeodezideki en eski tekniklerden biri olan "geriden kestirme" esasına dayanan bu sistemde konumu bilinmeyen bir noktadan, konumu bilenen noktalara yapılan gözlem ve hesaplar ile bulunulan noktanın konumu kestirilmektedir. Matematikte 3 bilinmeyenli bir denklemin çözümü için 3 bilinen yetse de burada saat hatalarını ortadan kaldırmak için en az 4 bilinene ihtiyaç vardır (BOUN, 2022). Özetle, en az 4 uydudan alınan sinyallerin varış zamanının ölçülmesi ile alıcının konumu belirlenebilir. Uydular hassas zamanlama sinyalleri yanında, mesaj iletimi sırasındaki uydunun konumunu da bildirir. Hareketli bir GNSS alıcısının hızı ve yönü de bilinen iki pozisyon farkı yöntemi veya doppler kayması yöntemi ile bulunabilir (Sathyamoorthy vd., 2020). Ayrıca alıcının bulunduğu irtifa bilgisi de yine alınan sinyallerin üçgenleme (trilateration) veya trilaterasyon yöntemiyle hesaplanması sonucu elde edilebilir (Pilot Institute, 2021).



Şekil 5. Multilateration (MLAT)

Günümüzde uçaklar, cep telefonları, tabletler, akıllı saatler ve arabalarda olduğu gibi dronlarda ve daha birçok teknolojik üründe GPS alıcısı bulunmaktadır. GPS yardımıyla bulunulan konum haritada gösterilebilir, cihazın uzak bir yerde olması durumunda yeri, başka bir cihazdan tespit edilebilir veya konum paylaşımı yapılabilir. Tüm İHA'ların transponder bulundurması zor iken, GPS alıcısı gibi hâlihazırda birçoğunda var olan, çok daha ucuz ve yaygın bir teknolojiyi bulundurmaları çok daha kolaydır. Ancak bir GPS alıcısı tarafından alınan sinyallerin hesaplanarak elde edilen bilgilerin yalnızca o cihazda kalması, uçurulan hava araçlarının uzaktan tespit ve takibi için tek başına yeterli olmayıp bir iletişim altyapısına ihtiyaç vardır. Çok yüksek irtifalarda uçuş gerçekleştiren uçaklar da GPS yardımıyla birçok bilgiyi elde edebilmektedir ancak bu bilgi yine transponder aracılığıyla hava trafik kontrol merkezlerine iletilmektedir. Burada kentsel hava sahası kullanıcıları yararına çok önemli bir fark bulunmaktadır. Kentsel hava sahasının sınırları, GSM operatörlerinin kapsama alanlarının içerisinde kaldığından altyapı ihtiyacı, mevcut GSM şebekesi kullanılarak karşılanabilir.

Hava aracı, üzerinde bulunan GPS ile uydulardan aldığı sinyallere göre konum yön hız ve irtifa bilgilerini, varsa hava aracı üzerindeki sıcaklık, basınç, barometrik altimetre gibi sensörlerden gelen bilgilerle birlikte GSM/GPRS şebekesi üzerinden anlık olarak UAM uçuş bilgi paylaşım sistemine ve kontrolör arayüzüne gönderebilir.

### 2.3.3 Kentsel Hava Sahası için Gözetim Sistemi

Ulusal otoriteler, güvenlik endişesi ile kentsel hava araçlarının pozisyon bilgisi ve kimlik tanımlanmasını GPS bağımlılığı olmadan bağımsız bir biçimde de tespit etmek isteyebilir. Yukarıda anılan gözetim sistemlerinin özelliklerinden de anlaşılacağı üzere her birinin avantajları ve dezavantajları vardır. Kullanıldığı yere ve kullanım amacına göre farklı gözetim sistemleri tercih edilebilir. Örneğin; sadece kullanıcılarına uçuş bilgisi sağlamak amacıyla geliştirilen bir uygulama için yalnızca ADS-B (bağımlı) teknolojisi yeterli iken; hava sahasının gözetimi, emniyetli, kesintisiz ve güvenli bir hava trafik kontrol hizmeti için ADS-B yeterli olmayacaktır. Hava trafik hizmetinin ifasında bağımsız sensörler büyük önem arz etmektedir.

Kentsel hava sahasını kullanacak hava araçlarının izlenebilmesi amacıyla kurulacak ve yalnızca ADS-B'lerden oluşan (en ucuz ve en kolay yöntem olarak) bir gözetim altyapısı, ADS-B'lerin (bağımlı ve iş birlikçi olması nedeniyle) hava araçlarında transponder gerektirmesi ve yapılan yayınların spoofing saldırılarına açık olması nedeniyle tek başına yeterli olmayacaktır. MLAT gözetim tekniğinin ve SSR'nin bağımsız olması, uçaklara ait pozisyon bilgisinin gözetim sistemleri tarafından hesaplanması, ADS-B'lere göre bu sistemleri çok daha güçlü kılmaktadır. Ancak bu sistemlerin de hava aracına ait bilgileri almak için yapılan sorgulara (interrogation) hava aracından cevap (reply) verilmesini sağlayacak veya doğrudan yayın yapacak olan transponder cihazına ihtiyacı vardır. Dahası transponder cihazı tüm hava araçları için zorunlu tutulsa bile herhangi bir arıza durumunda cihazın servis dışı kalması veya istenildiğinde bu cihazın bilinçli olarak kapatılması

hava aracının izlenmesini engeller. Bu da kent üzerindeki bir hava sahası için büyük bir risk ve tehlike demektir.

Kentsel hava sahasının, hava aracına ait diğer bilgiler alınsın ya da alınmasın her şeyden önce hedef tespitinin kesin olarak yapıldığı PSR sistemi ile aynı prensipte çalışan bağımsız ve iş birlikçi olmayan bir gözetim sistemine ihtiyacı vardır. Bu gözetim sistemi ile birlikte, transponder cihazı olan veya yalnızca GPS alıcısı bulunan ve GSM/GPRS alt yapısını kullanarak veri paylaşım hava araçlarına ait bilgilerin de alınabileceği ikinci bir sistem kullanılarak her iki sistemden gelen verinin kaynaştırılması (data fusion) yoluyla pozisyon bilgisi kesin olarak belirlenmiş zengin bir gözetim verisi elde edilebilir. Böylece Sivil Havacılık Talimatı gereği transponderin zorunlu tutulduğu ve kentler üzerindeki uçuşlarda görece olarak daha büyük tehlike oluşturabilecek boyutlardaki İHA3 (150 kg ve daha ağır) sınıfındaki hava araçlarının tespiti ve takibi kesin olarak yapılabileceği gibi diğer kategorilerdeki İHA'lara ait veriler de aynı yöntemle alınabilir.

Günümüzde ATM'de kullanılan bir PSR radarın doğrudan kentsel hava sahası için kullanılması, özellikleri itibarıyla pek uygun görünmemektedir. Çünkü uçak, helikopter gibi büyük hava araçlarının tespit edilmesi amacıyla geliştirilen PSR sistemleri çözünürlük (PSR menzil çözünürlüğü = 200 metre), radar kesit alanı (RKA, PSR için 1 metrekare) ve tarama hızı (4 saniyede 1 tarama) açısından kentsel hava sahası ihtiyaçlarını karşılayacak bir tasarıma sahip değildir. Bunun yerine, Devlet Hava Meydanları İşletmesi (DHMI) ve TÜBİTAK Bilişim ve Bilgi Güvenliği İleri Teknolojiler Araştırma Merkezi iş birliğiyle havalimanı civarındaki kritik sahalarda bulunan hareketli kuş ve kuş sürülerinin tespiti, izlenmesi ve uçuş güvenliği açısından değerlendirilmesi amacıyla geliştirilmiş, yine aynı prensiple çalışan KUŞRAD (Kuş Tespit Radarı), özellikleri itibarıyla (TÜBİTAK, 2016) kentsel hava sahasının gözetimi için daha uygundur. 2016 yılında Atatürk Havalimanı'na kurulan KUŞRAD, düşük radar kesit alanına sahip hava hedeflerinin tespitinde son derece etkilidir. Test sürecinde de kuşları simüle etmek için dronların kullanıldığı bu radar ile RKA'sı 0,01 metrekare olan dronlar 3-4 km mesafeden tespit edilebilmiştir (Defence Turkey, 2021). Kuş Radarı, hedef tespit ve takip algoritmaları dronlara uygun hale getirilerek ve bazı filtreleme ve arayüz değişiklikleri yapılarak Dron Tespit Radarına (DTR) dönüştürülebilir. Bu sistemin en önemli özelliği ise yatay ve dikey tarama yapan iki ayrı alt bileşenden oluşmasıdır. Yatay tarama ile hedefin mesafesi bulunurken, dikey tarama ile hedefin irtifası belirlenmektedir. Dolayısıyla hava hedeflerinin üç boyutlu hacimsel tespiti ve takibi yapılabilmektedir. 40 km yarıçapındaki bir alanda tarama yapabilen bu sistemin tarama hızı 3 saniyeden küçük olup çözünürlüğü yatayda 20 metre, dikey de 6 metredir (20 fit) (Defence Turkey, 2021). Bu değerler, kentsel hava sahası ve hava koridorları için Bosson ve Lauderdale'nin, geliştirdikleri metodolojiyi simüle etmek için azaltılmış ayırma değeri olarak kullandıkları yatayda 0,1 mili, dikeyde 100 fiti karşılayabilecek niteliktedir (Bosson & Lauderdale, 2018).

Dron Tespit Radarı ile birlikte ikinci gözetim sistemi olarak yine bir radar sistemi olan SSR'nin kullanılması kapsama alanı genişliği açısından fayda getirirse de (SSR



menzili genellikle 200-250 mil arasındadır) kentsel hava sahası için ihtiyacımız olan bu değildir. SSR'a göre kapsamı zor olan alanlarda (Kent içinde yüksek binalar, kuleler ve doğal manialar olacaktır. Bina etkilerinin katılması ile radar kapsama diyagramlarında kötüleşme olacaktır.) daha etkin ve daha az maliyetli olan MLAT sisteminin tercih edilmesi daha uygun olacaktır. Radar kapsamalarında oluşabilecek boşluklar da bu sistem sayesinde giderilebilir. 20-30 mil çapındaki bir sahanın gözetimi için MLAT yeterli olurken daha geniş hava sahaları için genellikle Geniş Alan MLAT (Wide Area Multilateration-WAM) tercih edilir. WAM ile 200 mile kadar gözetim sağlanabilir ve genellikle yol kontrol amaçlı kullanılır (Paşaoğlu,2010). Ancak kentsel hava sahasının çok geniş olacağı mega kentlerde MLAT yerine WAM tercih edilebilir.

Böylece transponder taşıyan hava araçları MLAT veya WAM ile tespit edilip gerekli bilgiler alınacak; transponder taşıyan, taşımayan veya transponderi kapalı tüm hava araçları ise DTR ile tespit edilerek mesafe ve irtifa bilgileri hesaplanacaktır. İki sistemden ve GSM'den alınan bilgiler için veri kaynaştırması yapılarak kontrolör arayüzüne ve UAM uçuş bilgi paylaşım sistemine aktarılacaktır. Elde edilen veriler yalnızca tespit (identification), takip (tracking) ve görüntüleme (monitoring) için değil istatistiksel analiz, hava sahası ve rota yoğunluğu hesaplamalarında da kullanılabilir.

## 2.4 Kentsel Hava Sahası Emniyet Hizmetleri

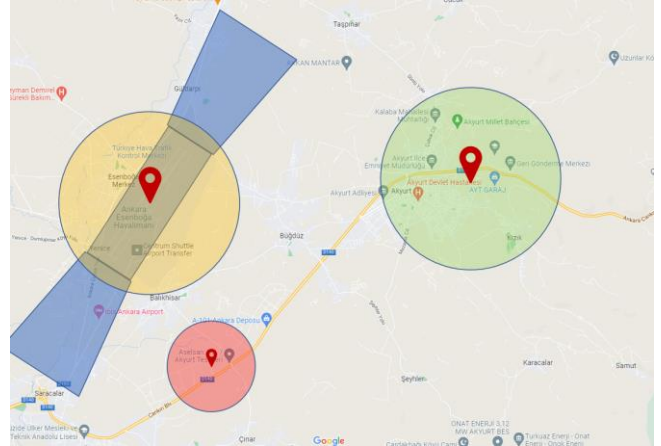
Hava trafik yönetimi (ATM), tüm operasyon safhaları boyunca uçakların emniyetli ve etkin olarak hareket edebilmeleri için gerekli, hava trafik hizmetleri, hava sahası yönetimi ve hava trafik akış idaresi dâhil yer temelli ve havadaki fonksiyonların toplamını ifade eder (SHGM SHT65-04, 2005). Hava trafik yönetimi içerisinde verilen hizmetlerin öncelikli amacı emniyeti sağlamaktır. Genel havacılığın, uzun yıllara dayanan bir deneyim ve yaşanan emniyet olaylarından çıkarılan derslerle birlikte uçuşa elverişliliği sağlayan tasarım ve üretim gibi kalite testleri, kokpit otomasyonu, ATC sistemleri ve emniyet ağları sayesinde kabul edilebilir derecede emniyetli olduğu düşünülmektedir (Eurocontrol UAS ATM Integration, 2018). Ancak küçük bir alanda, hızları görece olarak düşük, manevra kabiliyetleri çok daha yüksek dron, uzaktan pilotlu, kişisel veya otonom hava araçları gibi farklı tip ve boyutlardaki hava araçları ile çok sayıda uçuşun gerçekleştirildiği kentsel hava sahası yönetiminin, günümüz hava trafik yönetiminden çok daha farklı olacağı açıktır. Kentsel hava sahası trafik yönetiminde emniyeti sağlamak adına yeni yöntemlerin yanı sıra hava trafik emniyetini artırmak için ATM sistemlerinde kullanılan emniyet ağlarından (safety nets) da yararlanılabilir.

### 2.4.1 Coğrafi Çit (Geo-Fencing)

Coğrafi eskrim ya da coğrafi çit olarak bilinen geo-fence, coğrafi bir bölgenin çevresinde tanımlanmış sanal bir sınırdır. Bu teknoloji, tanımlanmış coğrafi alana giren veya çıkan etkin bir cihazda, önceden programlanmış bir eylemi (uyarı, mesaj, bildirim gibi) tetiklemek için GPS, Wi-Fi, RFID, bluetooth veya hücresel verilerin kullanıldığı konum tabanlı bir hizmettir (Location-Based

Service-LBS). Kullanıcı cihazında konum bilgisi, yukarıda anılan farklı kaynaklardan sürekli olarak güncellenir. Cihaz, güncellenmiş konum bilgisinden coğrafi eskrim alanına girip girmediğini kontrol eder. Alana girmiş olan cihazda ilgili eylem tetiklenir.

Kullanım amacına göre, tercih edilecek konumlandırma türü değişiklik gösterecektir. Örneğin açık havada ve daha geniş alanlarda coğrafi çit alanları oluşturmak için GPS tercih edilirken, bir mağaza içerisinde reyonlar için oluşturulacak coğrafi çitlerde kapsama alanı daha düşük ancak konum doğruluk oranı daha yüksek olan bluetooth teknolojisi tercih edilebilir.



Şekil 6. Havalimanı ve civarında coğrafi çit uygulamaları

Coğrafi çit uygulamalarının, emniyet riskini azaltmak için kentsel hava sahasında kullanılması hem SESAR hem de Avrupa havacılık endüstrisi standartları geliştirme kuruluşu (EUROCAE) tarafından önerilmiştir (SESAR U-SPACE, 2017; EUROCAE, 2017). Havalimanları, hapishaneler, askeri bölgeler, yüksek gerilim direkleri gibi tehlikeli veya tahditli bölgeler ile notamlı sahalar için coğrafi çitler çizilerek hava araçlarının o bölgelere girmemeleri veya yaklaşık bilgilendirilmeleri sağlanabilir. Coğrafi çit ile yalnızca girilmemesi gereken sahaların sınırları değil; bir hava aracı için çıkılmaması gereken bir sahanın da sınırları belirlenebilir (geo-caging). Bu durumda sahanın dışına çıkan hava aracı kullanıcılarına, kontrolöre veya ilgili otoritelere uyarı mesajı gider.

Kentsel hava sahasında kullanılacak coğrafi çit uygulamaları, SESAR'a göre gelişimi itibariyle farklı düzeylerde kullanılabilir. İlk olarak girilmesine izin verilmeyen bölgeler için önceden coğrafi çit alanlarının belirlenmiş olması ve operatöre uçuş hazırlığı sürecinde diğer coğrafi bilgilerle birlikte önceden tanımlanmış bu coğrafi çit bilgilerinin sağlanmasıdır (pre-tactical geo-fencing). Bu bilgiler her uçuş öncesi en başta girilir ancak uçuş esnasında değiştirilemez. İkinci düzeyde, operatör tarafında (uçuş bilgi paylaşım sistemi veya kontrolör arayüzünde) girilmiş olan coğrafi çit bilgilerinin uçuş esnasında değiştirilebilmesi sağlanabilir (tactical geo-fencing). Böylece hava aracına direkt aktarılmaması da operatör tarafında uçuş planını güncellenmesi, uyarı, bildirim gibi eylemler, güncel duruma göre tetiklenir. Son düzeyde ise taktik coğrafi çit hedefine ek olarak yapılan değişikliklerin bir veri bağlantısı yoluyla hava aracına aktarılması ve uçuşun da buna göre güncellenebilmesi sağlanabilir (dynamic geo-fencing) (SESAR U-SPACE, 2017).

## 2.4.2 Algıla ve Sakın (Detect and Avoid-DAA)

Hava sahasında çarpışmaların önlenmesi için hava trafik hizmeti verilmekte ve çeşitli sistemler kullanılmaktadır. Hava trafik kontrolörleri, belirlenmiş minimum ayırma kriterlerinin altında uçaklar arasında meydana gelecek karşılaşmalardan (aircraft conflict) önce, talimat vererek uçakların yönlerini, seviyelerini veya hızlarını değiştirir, uçakları yatay veya dikey olarak birbirinden ayırır. Böylece uçaklar seviye ve pozisyon olarak birbirlerine tehlike teşkil etmeyecek şekilde belli kriterler göz önüne alınarak uçurulmuş olurlar (separation). Hava trafik kontrolörlerinin bu hizmeti verdikleri sistemlerde, çakışmalardan ve tehlikelerden önce kontrolörleri uyararak önlem alınmasını sağlayan emniyet-ağları (safety-nets) ve yardımcı sistemler (ATC tools) bulunmaktadır.

Çarpışma tehlikesine karşı bir başka önlem uçaklarda bulunan Trafik Çarpışma Önleme Sistemidir (Traffic Collision Avoidance System-TCAS). TCAS sistemi, transponder ile donatılmış uçaklar arasında çalışarak çarpışma tehlikesine karşı dikey bir ayırma tavsiyesi (yüksel veya alçal) üretir. TCAS sistemine sahip hava araçları birbirlerini belirlenmiş bir mesafe içinde 1030Mhz frekansından yayın yaparak sorgular ve 1090Mhz frekansından karşılık gelir. Alınan cevap işlenerek karşı trafiğin pozisyonu, mesafesi, irtifası ve yönü gibi bilgiler üretilir ve TCAS ekranında gösterilir (Seyrüseferim, 2020).

Son olarak, ICAO Annex 2-Havacılık Kuralları'na göre yol hakkı kuralları şu şekildedir: "İki hava aracı zıt ya da yaklaşık olarak böyle yönlerden birbirlerine yaklaşırken, aralarında çarpışma riski varsa, her iki hava aracı da uçuş başını sağa çevirmelidir." "İki hava aracı birbirlerinin rotalarını, yaklaşık olarak aynı seviyede kat ediyorsa, diğerini sağında gören hava aracı yol verir." (Baran, 2011). CORUS projesi ile ortaya çıkarılan "Concept of Operations" a göre mevcut yol hakkı kuralları yalnızca VFR trafikler için değil, dronlu VLL uçuşlar için de geçerlidir. Bununla birlikte, görsel görüş hattı (Visual line of sight-VLOS) uçuşlarında, uzaktaki pilot için başka bir uçağın kendi uçağına yaklaşıp yaklaşmadığını, her iki uçağın da aynı seviyede olup olmadığını veya birinin diğerini kontrol edip etmediğine karar vermesi zor olabilir (SESAR CORUS, 2019).

Mevcut hava trafiğinde çarpışmaları önlemek için kullanılan sistemler gibi kentsel hava sahasını kullanacak hava araçlarının çarpışmalarını önlemek için de algıla ve sakın sistemleri önerilmektedir. Algıla ve sakın (DAA) sistemi, üzerinde pilot bulunan bir hava aracında olması beklenen görme ve sakınma işlevine eşdeğer bir şekilde görev yapan, pilota hava aracını ayırıştırma yeteneği kazandırabilecek sistemdir (SHGM, 2019). İHA'ların kentsel hava sahasına emniyetli bir şekilde uçuş yapmasını sağlayarak diğer hava araçları, kuşlar, binalar ve elektrik direkleri gibi engellerle çarpışmalarını önleyen teknolojilerdir. Bu sistemler, İHA civarındaki çevreyi sürekli olarak gözlemleyerek bir çarpışmanın yakın olup olmadığına karar verir ve çarpışmayı önlemek için yeni bir uçuş güzergâhı oluşturur. İHA-SHT talimatına göre de İHA3 sınıfının TCAS veya ADS-B benzeri algıla ve sakın sistemleriyle donatılmış olması zorunlu tutulmuştur (SHGM, 2019). Algıla ve sakın sistemleri ile ilgili, Amerika'nın havacılık endüstrisi

standartlarını geliştiren RTCA (Radio Technical Commission for Aeronautics) kuruluşu ve EUROCAE tarafından performans standartları dokümanları yayınlamıştır (RTCA: DO-365, EUROCAE: ED-267).

Algıla ve sakın sistemleri farklı teknolojiler kullanılarak geliştirilebilir. Kullanılan yöntemlere göre, radarlarda olduğu gibi iş birliği (cooperative) veya iş birliği olmayan (non-cooperative) olarak ya da aktif veya pasif sistemler şeklinde kategorize edilebilir.



Şekil 7. Algıla ve sakın (DAA) sistemleri

**İş birliği (cooperative) algıla ve sakın sistemleri:** Uçaklarda bulunan ve transponder sorgu/cevap yöntemiyle çalışan TCAS sistemi veya aktif sorgulama gerektirmeyen, hava aracından yayımlanan sinyallere bağlı, pasif bir TCAS benzeri sistem marifetiyle (ADS-B veya küçük hava araçlarında PCAS, FLARM gibi) çalışan algıla ve sakın sistemleridir.

Algıla ve sakın sistemlerinde bu çözüm yüksek bir doğruluk ve emniyet düzeyine sahiptir. Ancak iş birliği sistemler olduğundan her iki hava aracında ilgili cihazların bulunması zorunludur. Ayrıca bu yöntemle hava aracı olmayan diğer engellere karşı (bina, direk, kuş vb.) da bir çözüm üretilememektedir.

**İş birliği olmayan (non-cooperative) algıla ve sakın sistemleri:** VLL uçuşlar düşük irtifalarda gerçekleştiğinden, belki de hava araçlarından daha fazla bina, yüksek gerilim direkleri, kuleler, kuş ve diğer engellerle karşılaşacaklardır. Bu engellerden sakınmak için iş birliği olmayan (non-cooperative) algıla ve sakın sistemlerine ihtiyaç vardır. Bu tür algıla ve sakın sistemleri için kullanılan en yaygın teknolojiler görsel veya kızılötesi kameralar, radar ve lidar teknolojileridir.

- **Kameralar:** Hava aracı üzerinde bulunan kameralarla sağlanan görüntünün (görsel, kızılötesi veya termal) işlenerek manianın veya hava aracının tespit edilmesi ve çarpışmayı önlemek için yeni bir uçuş güzergâhı oluşturması mantığı ile çalışır. Kameraya dayalı algıla sakın sistemlerinin performansı atmosfer koşullarına, ışığa ve görüş mesafesine bağlıdır. EO/IR (elektro optik/kızılötesi) sensörler gibi pasif sensörler tipik olarak daha küçüktür, daha hafiftir, daha az güç tüketir ve çok hızlı tarama hızı ve yüksek çözünürlük sunabilir. Ancak, yansıyan sinyal ölçümü ve uçuş süresi verilerinin olmaması nedeniyle, bunların mânia mesafelerine ilişkin tahminleri daha az doğrudur (UST,2022).
- **Radar Teknolojisi:** Gözetim sistemlerinde olduğu gibi algıla ve sakın sistemlerinde de radar teknolojilerinden sıkça yararlanılmaktadır. Elektromanyetik dalganın hedeflere çarpıp yansıması



ve yansıyan sinyalin radar tarafından tekrar alınarak işlenmesi mantığı ile çalışır. Hedefin pozisyonu ve mesafesi, yönü ve hızı bu şekilde belirlenebilir. Bir elektromanyetik dalganın gönderilmesi söz konusu olduğundan aktif sensör olarak adlandırılır. Kameralar gibi hava koşullarına bağımlılığı yüksek değildir. Dolayısıyla sert koşullarda da çalışabilirler.

- **Lidar Teknolojisi:** Hedefin pozisyon ve mesafe tespiti için lazer darbelerinin kullanıldığı algılama teknolojisidir. Çalışma prensibi, radar ile aynıdır. Ancak radarda radyo sinyalleri kullanılırken, lidarda lazer ışınları kullanılmaktadır. Bu teknoloji ile hedef tespiti çok daha hassas şekilde yapılabilir. Fakat radarlara göre daha dar bir görüş alanı sağlar.

Algı ve sakın sistemleri, hem pilotun görüş hattı içerisinde kalan (VLOS), hem de görsel görüş hattının ötesindeki (Beyond visual line of sight-BVLOS) uçuşlarda emniyeti sağlamak açısından büyük önem arz etmektedir. Yukarıda da ifade edildiği gibi kullanılan teknolojilerden her birinin avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Bu nedenle farklı teknolojilerin birlikte kullanılması ve elde edilen verilerin kaynaştırılarak kullanılması ile güçlü yönler öne çıkarılabilir, dezavantajlar da minimize edilebilir (EMBENTION, 2021).

### 2.4.3 Çakışma Çözümü (Deconfliction)

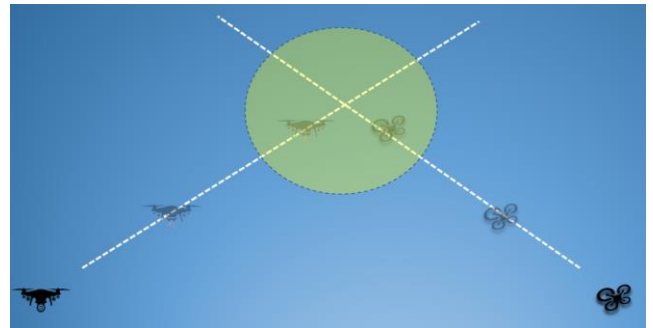
Hava araçları arasında meydana gelebilecek, belirlenmiş minimum ayırma kriterlerinin altındaki karşılaşmalara çakışma (confliction); hava trafik kontrolörlerinin hava araçlarını yatay veya dikey ekseninde yönlendirmesi veya hızlarını ayarlaması ile aralarındaki mesafenin minimum ayırma kriterleri üzerinde kalmasını sağlamasına ise ayırma (separation, deconfliction ya da conflict resolution) denir. Hava trafik sistemlerinde, daha emniyetli bir kontrol imkânı sunmak amacıyla, çakışmalardan önce kontrolörleri uyaran emniyet ağları ve yardımcı sistemler olduğu daha önce ifade edilmişti. Bunlardan biri orta vadeli çakışma tespit aracıdır (Medium term conflict detection-MTCD). MTCD, iki hava aracı arasında, genellikle 20 dakika içerisinde oluşabilecek potansiyel çakışmayı hesaplayarak kontrolörü uyaran yardımcı bir sistemdir. Bir diğer örnek ise kısa vadeli çakışma ikazıdır (Short term conflict alert -STCA). STCA, kısa süre içerisinde iki hava aracı arasında oluşacak çakışmayı gösteren emniyet ağıdır. Öneme binaen yalnızca görsel değil, sesli uyarı da sağlamaktadır. Süre parametresi değiştirilebilir olup genellikle 3 veya 5 dakika aralığındadır.

MTCD veya STCA gibi ATM'de kullanılan çakışma önleme araçları, insansız hava araçları arasında oluşacak çakışmaları önlemede ATM'de olduğu gibi iki şekilde kullanılabilir. Bunlardan biri uçuş planında girilen rotaya göre bir yörünge (trajectory) hesaplaması yaparak oluşacak çakışmaları uzun süre önce tespit eder. Buna stratejik veya taktik öncesi çakışma tespiti adı verilir (MTCD stratejik çakışma tespit aracıdır). Ancak gerçekte hava araçları, çoğu zaman hava koşulları, direk rota verilmesi veya ayırma yapılması gibi nedenlerle, uçuş planlarıyla tamamen örtüşen bir uçuş gerçekleştiremezler. Bu sebeple ikinci yöntem olarak stratejik çakışma çözme sistemlerinin yanı sıra STCA gibi çakışmaya kısa süre kala çakışmayı tespit etme araçları

kullanılmaktadır. Bunlara taktik çakışma tespit aracı adı verilir. Taktik araçlar uçuş planındaki rotaya göre belirlenmiş yörüngeye değil, uçakların anlık pozisyonlarına göre hesaplama yapar. Ne tür bir çakışma aracı kullanılırsa kullanılsın, önce çakışmanın tespit edilmesi (conflict detection), daha sonra çözülmesi (deconfliction) gerekir.

Konuya ilişkin CLASS (Clear air situation for UAS) projesi kapsamında simülasyon dahil, detaylı bir çalışma yapılmıştır. Çalışma, uçuş planları olmayan ve dolayısıyla yörüngeleri bilinmeyen dron uçuşları ile yapılmış, bu nedenle öncelikle dronlar için bir yumuşatma algoritması (linear regression) yardımıyla 60-90-120 saniyelik yörünge tahminlerinde (trajectory prediction) bulunulmuştur. Ardından çakışma tespit algoritmaları kullanılarak gerçekleşen çakışmalar tespit edilmeye çalışılmıştır. Yapılan simülasyonlarda, ATM sistemlerinde kullanılan çakışma tanımının dronlara tam olarak uyarlanamadığı sonucuna varılarak, iki dron arasındaki mesafenin kaybolması olarak tanımlanan çakışma kavramının "çakışma alanı" olarak değiştirilmesine karar verilmiştir. Algoritma, çakışan bölgeyi bularak her iki dronda bir uyarı verilmesini sağlamaktadır. Ancak tahmin edilen yörünge kısa olduğundan, uyarıdan sonra müdahale için 20 saniyeden daha kısa bir süre kalmaktadır. Bu süre uygun bir çözüm bulunması ve uygulanması için yeterli değildir. Sonuç olarak, yörüngesi önceden bilinmeyen dronların kaçınmasını sağlamanın tek yolunun hava aracına entegre bir "algı ve sakın" sistemi olduğu; dolayısıyla insansız hava araçları arasındaki çakışmaları taktik olarak önlemenin çok zor olduğu ancak, uçuş planı olan İHA'lar arasında yörünge tahminleri daha kolay yapılabileceğinden stratejik bir çakışma tespit aracının kullanılabileceği ifade edilmiştir (Reinquin & Dallard 2018).

İnsansız hava araçları, uçaklar gibi öngörülebilir performans değerlerine sahip değildir. Hızları düşük olduğundan çok daha iyi manevra yapabilir, aniden hızlanıp yavaşlayabilir, kolayca yükselip alçalabilirler. Bu nedenle öngörülebilirlikleri (predictability) çok daha zordur. Örneğin, Eurocontrol, uçak performans modeli BADA (Base of aircraft data) ile hava araçlarının gerçek performans değerlerine ait bir veri tabanı oluşturmuştur.



Şekil 8. Çakışma ve çakışma alanı

Bu veri tabanı birçok çalışmada, simülasyonlarda, hatta gerçek ATM sistemlerinde rota tahmini ve performans hesaplamaları için kullanılabilir. Oysaki insansız hava araçları ile ilgili böyle bir veri tabanı henüz oluşmuş değildir. Öngörülebilirliklerinin zor olması ve performansları ile ilgili bir veri tabanının henüz oluşmaması nedeniyle yörünge tahminleri

ve çakışma tespitleri tahminleri için kullanılan yöntemler etkin bir şekilde kullanılamayabilir. Ancak CLASS projesi kapsamında çakışma ile ilgili yapılan çalışmalardan elde edilen sonuç itibari ile kentsel hava sahasını kullanacak İHA'ların bir uçuş planına ve rotaya sahip olması, çakışmaları daha doğru ve daha erken tahmin edebilmeyi mümkün kılacaktır. Ayrıca büyük dronların, IFR koşullarda uçuş gerçekleştiren VFR trafiklere benzer davranışlar sergilemesi beklenmektedir (SESAR Roadmap for the Safe Integration of Drones, 2018). Çünkü manevra kabiliyetleri küçük dronlar kadar kolay olmayacaktır. Bu da çarpışmaları durumunda küçüklere göre daha büyük tehlike oluşturabilecek boyutlardaki İHA'ların çakışmalarını erken tahmin etmede avantaj sağlayacak, müdahale için daha uzun bir süre bırakacaktır.

### 3. SONUÇLAR

Yeni teknolojiler, beraberinde yeni ihtiyaçları da getirir. Bu açıdan insansız hava aracı sistemleri trafik yönetimi (İTY), mevcut hava trafik yönetiminden (HTY) farklı olacaktır. Ancak yeni teknolojilerle birlikte mevcut HTY teknolojileri, İTY ihtiyaçları için çözümler sunabilir. Mümkün olduğunca uzun yıllar deneyimlenmiş ve doğrulukları test edilmiş teknolojilerin kullanımı, yeni sistemlere olan güveni de artıracaktır.

Bu çalışmada, insansız hava araçlarının ve ileride hayatımıza girmesi beklenen kişisel hava araçlarının yerleşim yerleri üzerinde oluşturacağı kentsel hava hareketliliğinin emniyeti için gerekli olan hizmetler ve sistemler, mevcut HTY sistemleri ışığında değerlendirilmiştir.

Daha emniyetli ve etkin bir kentsel hava sahası için gerekli olan hizmetlerden çakışma çözümü için kullanılan yörüngenin tahmini, çakışma tespiti ve sunulacak çözümü için farklı makine öğrenmesi yöntemleri ve farklı algoritmalar kullanılarak sonuçlar karşılaştırılabilir. Yörünge tahmininde doğrusal regresyon yerine kalman filtresi, çakışma tespitinde ve çözümlerinde konvolüsyonel veya tekrarlayan sinir ağları gibi derin öğrenme yöntemleri kullanılarak farklı çalışmalar yapılabilir.

Otonom, yarı otonom ve uzaktan pilotlu gibi birçok türü bulunan kentsel hava sahası araçlarının kontrolü, yüksek yüzeyde bir veri iletimi gerektireceğinden ve söz konusu hava sahası yerleşim yerleri üzerinde olacağından, siber saldırılara karşı yüksek düzeyde güvenlik önlemlerinin alınması şarttır. Örneğin komuta-kontrol veri bağlantısında yaşanacak bir sorun hava aracının kontrolünden çıkmasına neden olabilirken; ADS-B yayınlarının spoofing saldırılarına açık olması, yalnızca konum ve tanımlama sorunlarını değil, algıla ve sakın sistemleri ile ilgili sorunları da beraberinde getirebilir.

Bu çalışma ile insansız hava araçlarının havacılığa açmış olduğu yeni ve çok geniş alanın bir parçası olan kentsel hava hareketliliğine ilişkin bazı ihtiyaçlara, yeni teknolojilerle birlikte HTY perspektifinden çözüm sunulmaya çalışılmıştır. Çalışmalara, bahse konu araçlar hayatımıza girmeden önce başlamak, çağın ve teknolojinin gerisinde kalmamak adına büyük önem arz etmektedir.

### Yazarların Katkısı

Bu makalede yazarların katkısı eşittir.

### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

### KAYNAKÇA

- Baran, M. (2011). Hava Trafik Hizmetleri Ders Notları (ICAO Annex 2). Ankara: DHMİ Genel Müdürlüğü, Seyrüsefer Dairesi Başkanlığı, 10-11.
- Bosson, C.S. & Lauderdale, T.A. (2018). Simulation Evaluations of an Autonomous Urban Air Mobility Network Management and Separation Service. 2018 Aviation Technology, Integration, and Operations Conference, Atlanta, ABD 6-10.
- Boun (Boğaziçi Üniversitesi) Jeodezi Anabilim Dalı. (2022). [https://jeodezi.boun.edu.tr/sites/jeodezi.boun.edu.tr/files/dosyalar/files/GPS\\_BUKRDAE\\_GED.pdf](https://jeodezi.boun.edu.tr/sites/jeodezi.boun.edu.tr/files/dosyalar/files/GPS_BUKRDAE_GED.pdf) (Erişim tarihi: 23.02.2022)
- Defence Turkey (2021). Düşük RKA'lı Hava Hedefi Tespitinde KUŞRAD'dan GÖZCÜ'ye Giden Süreç. <https://www.defenceturkey.com/tr/icerik/tu-bitak-bilgem-radar-teknolojileri-4500> (Erişim tarihi: 10.02.2022)
- DFS (Deutsche Flugsicherung) (2022). Digital platform for unmanned aviation. <http://www.dipul.de/> (Erişim tarihi: 01.03.2022)
- DHMİ Genel Müdürlüğü (2022). Elektronik Dairesi Başkanlığı. <https://www.dhmi.gov.tr/Sayfalar/ElektronikHizmetleri/RadarSistemleriSbMd/Sistemler.aspx> (Erişim tarihi: 20.02.2022)
- EMBENTION (2021). Detect&Avoid-DAA: The power of combining multiple sensors. Web: <https://www.embention.com/news/detect-avoid/> (Erişim tarihi: 12.03.2022)
- EUROCAE (2017). Working Group 105 (Unmanned Aircraft Systems – UAS), Focus Area UTM - Report: Identification and Geo-Fencing for Open and Specific UAV Categories. Paris, Fransa.
- EUROCONTROL (Avrupa Hava Seyrüsefer Emniyeti Teşkilatı) (2018, Kasım). UAS ATM Integration Operational Concept. Brüksel: Eurocontrol, Directorate of European Civil-Military Aviation (DECMA), 5-45.
- ICAO (Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı) (2016). Doc 4444 Procedures for Air Navigation Services - Air Traffic Management (16. baskı). Montreal, Kanada: ICAO, 6.
- 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), 2-5. 40.
- Paşaoğlu, C. (2010). Uçak Transponder Sinyalleriyle Uçak Pozisyonunun Hiperbolik Konumlandırılması.

- Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 26.
- Paşaoğlu, C. & Akçam, N. (2011). Uçak Transponder Sinyalleriyle Uçak Pozisyonunun Hiperbolik Konumlandırılması. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 4(2), 36.
- Pilot Institute (2021). How Accurate Are Drone Altimeters? <https://pilotinstitute.com/drone-altimeters/> (Erişim tarihi: 01.03.2022)
- Reinquin, P. & Dallard, H. (2018). CLASS (Clear Air Situation For UAS): Tactical Deconfliction Report, 8-25. CORDIS, EU Research Results.
- Sathyamoorthy, D., Shafii, S., Amin, Z. F. M., Jusoh, A. & Ali, S. Z. (2015). Evaluation of the accuracy of global positioning system (GPS) speed measurement via GPS simulation. *Science & Technology Research Institute for Defence (STRIDE)*, 8, 121-128.
- SESAR Joint Undertaking (2018). European ATM Master Plan - Roadmap for the Safe Integration of Drones into All Classes of Airspace. Brüksel: SESAR JU, 8-29
- SESAR IMPETUS (2019). Information Management Portal to Enable Integration of Unmanned Systems. <https://www.sesarju.eu/projects/impetus> (Erişim tarihi: 01.03.2022)
- SESAR JU (Joint Undertaking). (2019, Eylül). CORUS (Concept of Operations for European UTM Systems): U-space Concept of Operations Enhanced Overview. Brüksel: Eurocontrol, 4-13. 62.
- SESAR U-Space Blueprint (2017). Brüksel: SESAR Joint Undertaking, 2-5.
- Seyrüseferim (2020). <https://seyruseferim.com/tcas-nedir/> (Erişim tarihi: 12.03.2022)
- SHGM (Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü) (2019). İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatı (SHT-İHA), 1-20.
- SHGM (Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü) (2005). Hava Seyrüsefer Hizmet Sağlayıcıları Tarafından Risk Değerlendirme ve Azaltma Yöntemlerinin Kullanılmasına Dair Talimat (SHT 65-04). Ankara: Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü, 1.
- TÜBİTAK, BİLGEM (2016). KUŞRAD-Kuş Tespit Radarı. <https://bilgem.tubitak.gov.tr/tr/icerik/kusrad-kus-tespit-radari> (Erişim tarihi: 28.02.2022)
- UST (Unmanned System Technology) (2022). Sense and Avoid Systems Overview. <https://www.unmannedsystemstechnology.com/expo/sense-avoid-systems/> (Erişim tarihi: 12.03.2022)
- Wang, J., Zou, Y., & Ding, J. (2020). ADS-B spoofing attack detection method based on LSTM. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 160(2020), 1.



© Author(s) 2022.

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



## Maden Sahasının İnsansız Hava Aracı Yardımıyla Fotogrametrik Yöntemle Haritalanması

Adem Kabadayı\*<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Yozgat Bozok Üniversitesi, Şefaati MYO, Mimarlık Şehir Planlama Bölümü, Yozgat, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

İHA,  
Uzaktan algılama,  
Fotogrametri,  
Kamera kalibrasyonu.

### ÖZ

Uzaktan algılama ve fotogrametri tekniği yardımıyla üretilen veriler her alanda kullanılmaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte farklı bir platform olarak insansız hava araçları (İHA) ile veriler üretilmeye başlandı. Özellikle küçük alanlarda tercih edilmesinde tekrarlanabilir uçuş kabiliyeti, hızı, yüksek çözünürlüğü ve düşük maliyeti gibi nedenler önemli rol oynamaktadır. Ayrıca insan ulaşımında güçlük çekilen alanlarda, kayalık ve eğimin çok yüksek olduğu alanlarda da İHA'lar etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Optik hataları (eğrilik, döndürme ve yükseklik farkı gibi) fotogrametri tekniği ile ortadan kaldırarak ve dikey izdüşüm haline getirerek 3 boyutlu, koordineli sayısal veriler üretilmektedir. Bu çalışmada, açık maden ocağında İHA tabanlı haritalama uygulaması yapılmış ve İHA uygulamalarının avantajlarına yer verilmiştir. Bu kapsamda İHA fotogrametrisi ile üretilen ortofoto haritalar ve Sayısal Yükseklik Modelleri (DEM) verileri yardımıyla açık maden ocağının haritalanması gerçekleştirilmiştir.

## Mapping of the Mine Site by Photogrammetric Method with the Help of Unmanned Aerial Vehicle

### Keywords

UAV,  
Remote sensing,  
Photogrammetry,  
Camera calibration.

### ABSTRACT

The data produced with the help of remote sensing and photogrammetry techniques are used in every field. With the development of technology, data started to be produced with unmanned aerial vehicles (UAV) as a different platform. Reasons such as repeatable flight capability, speed, high resolution and low cost play an important role in being preferred especially in small areas. In addition, UAVs are used effectively in areas where human transportation is difficult, in rocky areas and in areas with very high slopes. By eliminating optical errors (such as curvature, rotation and height difference) with photogrammetry technique and transforming them into vertical projection, 3-dimensional, coordinated numerical data are produced. In this study, UAV-based mapping application was made in the open pit mine and the advantages of UAV applications were given. In this context, mapping of the open pit mine was carried out with the help of orthophoto mapping and Digital Elevation Model (DEM) data produced by UAV photogrammetry.

## 1. GİRİŞ

Her gün gelişen ve sınır tanımayan teknoloji, insan yapımı uçakların ve ilgili endüstrilerin hızla değişmesine olanak sağlamıştır. Dünyayı kuşbakışı görme hayali ile başlayan, yolcu ve eşya taşımacılığı amacıyla devam eden havacılık serüveni, Birinci Dünya Savaşı ile birlikte farklı bir anlam kazanmıştır. Çünkü bu büyük savaşta uçaklar ilk kez askerlik hizmetine girmiş ve savaş boyunca taarruz, savunma ve keşif amaçlı hizmet vermiştir (Kabadayı vd., 2020).

Tarihte ilk kez, ilk insansız hava saldırısı olarak kaydedilen askeri bir olayda insansız araç kullanıldı. Bu olay 1849'da Avusturyalıların İtalya'nın Venedik kentine patlayıcı dolu insansız balonlar göndermesiyle gerçekleşti. Gerçekten uzaktan yani insansız uçmak amacıyla uçakların geliştirilmesi ve üretilmesi, ilk kez Birinci Dünya Savaşı ile örtüşmektedir. Burada içinde insan bulunmayan ve bir haberleşme sistemi sayesinde yerden kontrol edilebilen uçan araçlar olarak tanımlanan İnsansız Hava Araçları, kısaca İHA'lar, özellikle İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra aktif olarak kullanılmaya başlanmıştır (Ulvi vd., 2020).

Günümüzde kullanılan İHA'ların en basit örnekleri drone'lardır. Askeri amaçlar dışında sıklıkla sivil amaçlar için kullanılan ve özellikle 2000'li yıllarda doğan günümüz genç nesli tarafından kullanılan drone'lar, birçok alanda insanlardan daha iyi performans göstermeleri nedeniyle tercih edilmektedir. Sivil havacılık insansız hava araçları gazetecilik, gösteri dünyası, pazarlama, tarım, kargo, sağlık, acil yardım, iletişim, haritacılık ve yangına müdahale gibi alanlarda büyük faydalar sağlamaktadır.

Gelişen teknoloji ve talepler İHA'ların gelişimini hızlandırmış ve özellikle son yıllarda farklı misyon ve amaçlara ulaşmak için birçok çalışma yapılmıştır. Sivil havacılıktan ziyade askeri amaçlarla kullanıldığı keşfedilen bu uçaklar, günümüzde sağladıkları sayısız avantajlar nedeniyle savunma sektörüne hizmet ediyor. Askeri havacılık alanında İnsansız Hava Araçları, hedef belirleme ve yem olarak, keşif ve gözetleme çatışmalarında ve yüksek riskli görevlerde kullanılmaktadır.

İHA'lar düşük üretim, satın alma, yakıt ve uçuş maliyetleri nedeniyle normal uçaklara göre büyük avantaj sağlar (Yiğit vd., 2020; Ceylan & Uysal, 2021). Daha da önemlisi, bu araçlar mürettebatsız oldukları için görev sırasında yaralanma veya can kaybı riski taşımamaktadır. Aynı nedenle, geleneksel uçaklardan daha hafiftirler ve aynı miktarda yakıtla havada daha uzun süre kalabilirler (Karabacak, 2020).

Öte yandan İHA'ların dezavantajları ise tehlike algılama yeteneklerinin bir insan kadar güçlü olmaması, yer kontrol bağlantısının kopması durumunda tehlike oluşturabilmeleri ve insanlı uçakların hava saldırılarına karşı savunmasız olmalarıdır. Ancak veri aktarımı ve yapay zekâ teknolojilerinde Ar-Ge faaliyetleri ile bu dezavantajlar en aza indirilmeye çalışılmaktadır. Öte yandan, uçuş sürelerinin daha da artırılması, bu araçların yakın gelecekte yaygın olarak kullanılmasına olanak sağlayacaktır (Ulvi vd., 2019).

Bugün ülkemiz savunma sanayinde kendi yazılımını ve teknolojisini üreten bir ülke olmayı başarmıştır. Savunma sanayiinin yanı sıra sanal gerçeklik ve üç

boyutlu (3D) model üretimi gibi uygulamalarda İHA'lar kullanılmaktadır. Ayrıca İHA'lar afet henüz gerçekleşmeden yapılacak tespitlerde ve afet sonrası incelemelerde, turizm, mimari alanlarda ve 3 boyutlu şehir planlamasında, yapıların 3 boyutlu modellenmesinde etkili ve verimli olarak kullanım sağlamaktadır (Bryson & Sukkarieh, 2004).

Geleneksel hava fotogrametrisinden elde edilen görüntülere kıyasla, İHA'lar yardımıyla düşük irtifada yapılan uçuşlarda düşük maliyetle yüksek hassasiyetli görüntüler üretilebilir (Esposito vd., 2014; Alptekin vd., 2019).

İHA'lar, geleneksel hava fotogrametrisinde kullanılan uçaklardan farklı olarak cisme yakın ve alçak irtifalarda uçuş imkânı sunar. Ulaşımın zor olduğu ve insanlı uçakların kullanılmadığı bazı durumlarda alternatif bir yöntem olarak İHA'lar tercih edilmektedir. Ayrıca küçük ölçekli konvansiyonel hava fotogrametrisi uygulamalarında gereksiz veri hacmi ve yüksek maliyete rağmen İHA'lar kullanılarak büyük oranda tasarruf sağlanabilmektedir. İHA'lar yardımıyla gerçekleştirilen çalışmalar yersel fotogrametrisinin hassasiyetine yaklaşmakta ve veri işleme sürecinin kısa sürede tamamlanabilmesi nedeniyle birçok farklı alanda uygulama imkânı bulmaktadır (Eisenbeis, 20009). Yirmi yıl önce robotik total station sıklıkla kullanılıyordu (Yakar, 2009). Ancak son yıllarda İHA teknolojisi birçok disiplin tarafından farklı amaçlarla (harita yapımı, hacim hesaplamaları, 3 boyutlu model yapımı, kültürel mirasın belgelenmesi ve hobi amaçlı vb.) yaygın olarak kullanılmaktadır.

Uysal ve diğerleri (Uysal vd., 2015), Şahitler Kayası Höyüğü'nün Dijital Arazi Modelini (DTM) İHA fotogrametrik teknikleri kullanarak üretmeyi ve Afyonkarahisar'ın merkezindeki Şahitler Kayası mevkiinde yaklaşık 5 ha'lık bir alanda doğruluk analizi yapmayı amaçlamıştır. Yaptıkları çalışmada, uygulama alanında 5 homojen olmak üzere toplam 27 GCP kurmuşlar ve Stonex S9 GNSS (Global Navigation Satellite Systems - Global Positioning Satellite Systems) cihazı ile RTK yöntemi ile ITRF96 datumunda GCP'lerin koordinatlarını elde etmişlerdir. Görüntüler, İHA üzerindeki Canon EOS dijital kamera ile ortalama 60 m yükseklikten çekildi. Çalışmaları sonucunda 30 kontrol noktası ile DTM'nin doğruluğunu değerlendirmişler ve 6.62 cm'lik bir dikey hassasiyet belirlemişlerdir. İHA'lar ile fotogrametrik tekniklerin bir arada kullanılmasının bu alanda yapılacak çalışmalara doğruluk, hız, maliyet ve ürün çeşitliliği açısından önemli katkılar sağlayacağını ifade ettiler.

İHA'lar düşük maliyetleri ve yüksek performansları nedeniyle başta sivil ve askeri amaçlı olmak üzere birçok havacılık uygulamasında en önemli teknolojilerden biridir. İHA'lar kısa kanat açıklığına (sabit veya döner kanat) ve hafif bir yapıya sahip olmakla birlikte uçuş sırasında hassas bir yapıya sahiptir (Jung, 2004; Yakar & Yılmaz, 2008).

Şenol ve Kaya (2019), 3B model oluşturmak için modelin saha çalışmasının yapılması gerektiğini belirtmişlerdir. Bir yapının 3 boyutlu modelini ortaya çıkarmak için veri toplama yöntemlerine İHA ile veri toplamayı dahil etmişlerdir. Özellikle İHA ile veri toplama yöntemini kullanarak saha çalışmalarını en aza indirmek istemişler ve bu amaç doğrultusunda saha



çalışmasına gerek kalmadan veri toplayabilmişlerdir. Ayrıca İHA, yersel ve engebeli alanların görüntülerinden çeşitli yazılımlarla model oluşturulabileceğini bildirdiler (Şenol & Kaya, 2019).

Klasik yersel yöntemlerle yapılan ölçümler zor, pahalı, fotogrametrik yöntemle göre çok zaman almakta ve bazı arazilerin yapısı nedeniyle mümkün olmamaktadır. İnsanların ulaşım konusunda zorlandıkları dağlık, kayalık ve engebeli arazilerde alternatif olabilecek çeşitli yöntemlerin tercih edilmesi bir zorunluluk haline gelmiştir. Klasik ölçüm yöntemleri ile bazen bataklık, dere yatakları, bazen de uçurum kenarı gibi tehlikeli yerlere yaklaşmak mümkün olmayabilir. İHA'lar ile, insanların ulaşamadığı ve görüntü almakta zorlandığı alanlara günümüzde kolaylıkla erişim sağlanabilmektedir. Araziden alınacak bindirme görüntüleri ile arazi yapısı 3 boyutlu ve koordineli bir şekilde modellenebilir (Avcı, 2020).

Yukarıda verilen bilgiler ışığında, engebeli alanların haritalanmasında İHA kullanımının yaygınlaştırılması birçok avantaj sağlayacaktır. Özellikle çok engebeli alanlarda haritalama işlemlerinin kısa sürede yapılması, sahada stok hareketlerinde ve kuluçka hesaplamalarında haritalama çalışması yapılması gerekmektedir. Bu çalışmanın yersel yöntemlerle yapılması iş güvenliği açısından risk oluşturabilmekte, maliyetleri artırabilmekte ve zaman kayıplarının yaşanmasına sebebiyet verebilmektedir. Ayrıca, İHA'lar kullanılarak periyodik ortofoto haritaların üretimi konusunda maliyet, zaman ve personel açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. Ayrıca İHA ile sadece çalışmanın yapıldığı alan ya da belirli bir bölge dahilinde haritalama yapmak yerine tüm sahanın periyodik haritaları üretilebilir. Böylece çalışma alanında potansiyel tehditlerin öngörülebildiği, ileriye dönük sağlıklı kararların alınması sağlanarak optimum planlama yapılması mümkün olabilecektir.

Günümüzde İHA, kültürel miras çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır (Çelik vd., 2020; Şasi, 2020). Fotogrametri ve İHA'lar arazi örtüsü sınıflandırması (Öztürk & Çölkesen, 2021), heyelan modellemesi (Alptekin & Yakar, 2020; Kuşak vd., 2021), kaya düşmesi modellemesi (Alptekin vd., 2019), gölet sahası hacmi (Alptekin & Yakar, 2020), erişilemeyen jeolojik özelliklerin konumunu ölçmek (Yakar, 2011), kıyı şeridi tespiti (Ünel vd., 2020), hacim hesaplaması (Kaya vd., 2019; Şahin & Yılmaz 2021) gibi birçok mühendislik projesinde kullanılmıştır.

## 2. YÖNTEM

Açık ocak maden alanlarında İHA görüntülerinin elde edilmesi ve işlenmesi için çerçeve dört ana bölümden oluşmaktadır; yani, yer ağı ve uçuş güzergahı tasarımının yapılandırılması, görüntü elde edilmesi, Fotogrametrik yazılım yardımıyla YKN'ler kullanarak fotoğrafların eşlenmesi, DEM&orto-görüntülerin oluşturulması ve çizimdir.

İlk olarak, yer kontrol ağının dağılımı, Türkiye Ulusal Temel GNSS Ağı-Aktif (TUSAGA-Aktif) Sistemi ile tarafından ölçülmüştür. Uçuş rotası, İHA tabanlı fotogrametrik ve havadan görüntü yönlendirmesi için özel faktörler göz önünde bulundurularak tasarlanmıştır. Otonom uçuş işlemleri sırasında hem İHA görüntüleri

hem de konum ve yönlendirme sistemi verileri elde edilmektedir. Fotogrametrik yazılım olarak kullanılan Pix4D yazılımında Ortofoto ve DEM haritaları oluşturulur. Açık maden ocağının haritalaması yapıldı ve işlem akışı şekil 1'de verilmiştir.

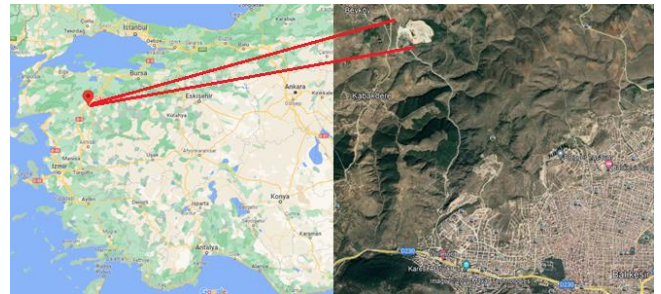


Şekil 1. İşlem akışı

### 2.1. Çalışma Alanı ve Veri Seti

Çalışma kapsamında, SenseFly eBee X İnsansız hava aracı yardımı ile çekilen fotoğraflardan, Fotogrametrik yöntem ile maden ocağının haritası yapılmıştır.

Maden ocaklarının Fotogrametrik yöntem ile haritasının yapılabilmesi için Balıkesir merkeze bağlı Cavlan maden ocağı taş ve kum üretim ocak sahası örnek olarak ele alınmıştır. Rakımı 430 m ile 480 m arasında değişmektedir. Uçuş yapılması planlanan alan yaklaşık 970 dekar alanı kaplamakta olup, Şekil 2' de ölçüm yapılan ocak yeri (39°700724 N, 27°843618 E coğrafi koordinatları) ve yerbulduru haritası verilmektedir.



Şekil 2. Çalışma alanı haritası

### 2.2. Verilerin temini ve işlenmesi

Koordinatlı olarak haritalaması yapılacak olan maden ocağı içerisinde YKN'ler belirlenmiş ve GNSS alıcısı ile koordinatlandırılmıştır. SenseFly eBee X insansız hava aracı (Şekil 3) ile maden sahasının havadan fotoğrafları çekilmiş, fotoğrafların işlenmesinde Pix4D Mapper görüntü işleme yazılımı kullanılmıştır. SenseFly eBee X İnsansız hava aracı ile uçuş öncesi, sayısal yükseklik modelinin (SYM) optimizasyonunda kullanılacak YKN'nin konumları belirlenmiştir. Daha sonra YKN'ler arazide tesis edilmiş ve koordinatları ölçülmüştür. İHA kalkış noktası ve uçuş planı belirlenerek fotoğraflar alınmıştır. Uçuş planı belirlenirken uçuş süresi, yüksekliği, kamera açısı ve fotoğraf bindirme oranları gibi parametreler dikkate alınmıştır. Maden ocağında yapılan çalışmalarda bir veya daha fazla uçuş yapılarak veriler toplanabilmektedir.



Elde edilen veriler tek proje olarak işlenebilmektedir. Tablo 1’de SenseFly eBee X insansız hava aracının teknik özellikleri verilmiştir.



Şekil 3. SenseFly eBee X İnsansız hava aracı

Tablo 1. SenseFly eBee X özellikleri

Özellik	Değer
Max Ağırlık/Boyut	1700gr / 116cm
Seyir hızı	110 m/saniye'e kadar
Fotoğraf kalitesi	24 megapiksel
Maksimum uçuş süresi	90 dk'a kadar
PPK/RTK	+
Radyolink mesafesi	3 km
Uydu Konumlandırma Sistemleri	+

Tablo 2. Uçuş parametresi

Parametre Adı	Uçuş
Uçuş yüksekliği	135 m
Uçuş süresi	35 dk'a kadar
Fotoğraf formatı	JPEG
Fotoğraf üst üste binme oranları	%60 enine, %60 boyuna
Fotoğraf Sayısı	165
Yer kontrol noktası	8 adet
Orto-foto çözünürlüğü	5,03 cm/pixel
Taranan alan	0,970 km <sup>2</sup>

Uçuş yapılmadan önce, çalışma alanı ile ilgili veri alımını etkileyecek değişiklikler (yüksek katlı binalar, güçlü verici istasyonlar, elektrik iletim hatları vb.) yapılmıştır. Tablo 2’de uçuşa ait parametreler ve uçuş planı, Tablo 2’de 8 adet YKN koordinatları verilmiştir. Şekil 4’de ise bu şartlarda yapılan uçuş görseli sunulmuştur.

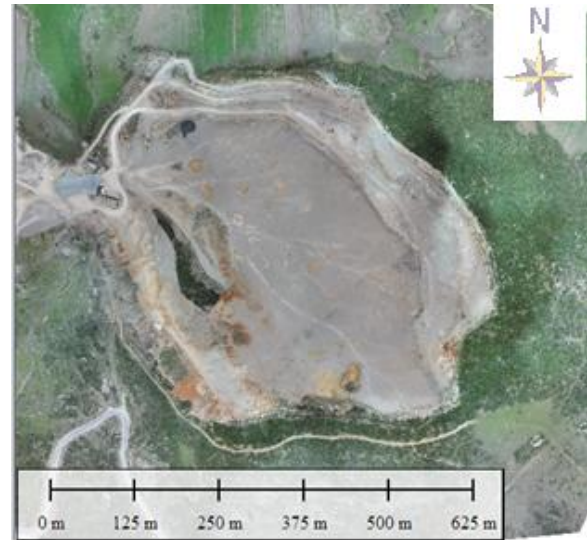
Tablo 2. YKN Koordinatları

NOKTA NO	Y	X	Z
YKN.1	571983.929	4396465.032	435.505
YKN.2	571985.035	4396832.452	458.920
YKN.3	572128.153	4396861.257	457.071
YKN.4	572241.101	4396999.562	482.065
YKN.5	572781.008	4396925.500	439.448
YKN.6	572691.159	4396480.721	461.114
YKN.7	572440.540	4396446.120	446.872
YKN.8	572412.451	4396716.261	461.677

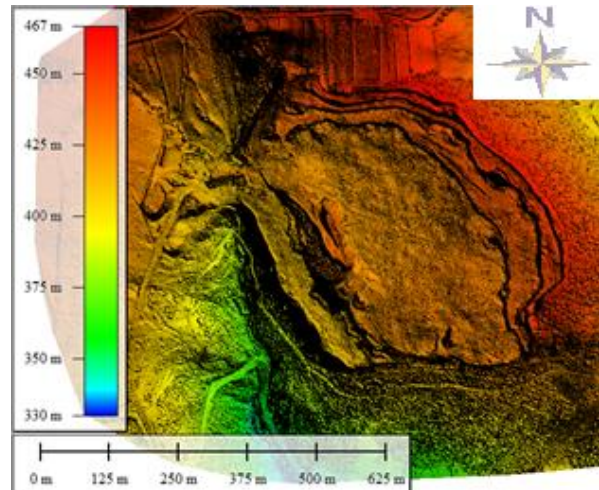
Uçuş sonrası elde edilen veriler Fotogrametrik yazılım olarak Pix4D yazılımında işlenmiştir. Değerlendirme üç temel aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada fotoğraf dengelemesi yapılmış ve YKN’ler ile optimize edilen verinin üç ekseninde toplam hatası 5cm’nin altındadır. Daha sonrasında yoğun nokta bulutundan üretilen Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) Şekil 6’da ve ortofoto Şekil5’de verilmiştir.



Şekil 4. SenseFly eBee X ile yapılan uçuş planı ve fotoğrafların konumları

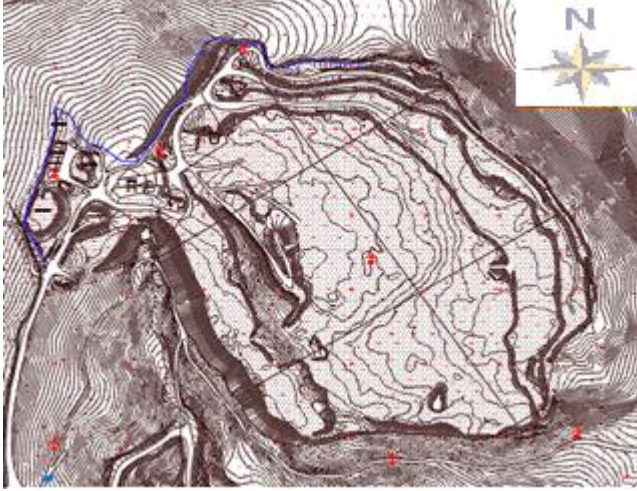


Şekil 5. Ortotofoto görüntüsü



Şekil 6. SYM verisi

Program sonuç ürünü olarak üretilen SYM ve ortofoto verileri yardımıyla Şekil 7'da verilen maden sahasının hassas koordinatlı topografik harita verisi üretilmiştir.



Şekil 7. Maden ocağı haritasından görünüm

### 3. BULGULAR

Dağlık ve engebeli alanlarda klasik yöntemle çalışmaların yapılması çok fazla emek ve zaman almakta ver ölçümler sırasında maden üretimine ara verilmek zorunda kalınabilmektedir. Bu durumlar iş açısından riskli durumlara sebep olabilmekte ve çalışmaların maliyetinin de artmasına yol açabilmektedir. İHA'nın üreteceği sayısal veriler, klasik yersel ölçüm yöntemlerine (Total Station, GPS) göre çok daha kısa sürede, optimum ekip sayısı ve daha az maliyetle tamamlanabilmektedir. Ayrıca çalışmada sayısal yükseklik modeli, ortofoto ve 3D model elde edilebilmekte, dolayısıyla bu ürünler aynı zamanda daha iyi çözümler de sunmaktadır. İHA'lar, başta periyodik ortofoto haritaların üretilmesi olmak üzere, maliyet konusunda stok miktarlarının hesaplanmasında ve zaman-personel açısından önemli derecede avantajlıdır. Bununla beraber İHA'lar yardımıyla kısmi haritalama yerine, alanın bir bölümünün değil tüm alanın periyodik olarak haritalanması söz konusudur.

### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada maden sahaları gibi arazilerin haritalanmasının, İHA yardımıyla Fotogrametrik yöntemler ile hızlı bir şekilde yapılabileceği gösterilmiştir. Düşük maliyetli İHA böyle bir arazide rahatlıkla kullanılabilir. İHA ile zor ve engebeli arazi koşullarında pratik, son derece hızlı, yüksek hassasiyetli ve ekonomik ölçümler yapılabilmektedir. Kısa sürede üretilen 3 boyutlu modeller; maden sahalarındaki ilerlemeyi izleme, tutarsızlıkları belirleme, geleceğe yönelik sağlıklı kararlar alabilme ve bu kararlar ışığında planlama açısından oldukça pratik çözüm seçenekleri sunmaktadır. Diğer maden sahalarında da bu yöntem uygulanarak maden sahalarındaki malzeme hareketliliği, stok miktarlarının hesaplanması ve yıllık üretim miktarları gibi veriler hesaplanabildiği görülmektedir.

### Yazarların Katkısı

Makale tek yazarlıdır.

### Çıkar Çatışması Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

### KAYNAKÇA

- Alptekin, A. & Yakar, M. (2020). Determination of pond volume with using an unmanned aerial vehicle. *Mersin Photogrammetry Journal*, 2(2), 59-63.
- Alptekin, A. & Yakar, M. (2020). Heyelan bölgesinin İHA kullanarak modellenmesi. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2(1), 17-21.
- Alptekin, A., Çelik, M. Ö., Doğan, Y. & Yakar, M. (2019). Mapping of a rockfall site with an unmanned aerial vehicle. *Mersin Photogrammetry Journal*, 1 (1), 12-16.
- 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.
- Avcı, H. (2020). Engebeli arazilerde insansız hava araçları ile üç boyutlu veri üretiminde doğruluk araştırması (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Bryson, M. & Sukkarieh, S. (2004). Vehicle model-aided inertial navigation for a UAV using low-cost sensors, in Proc. Australasian Conf. on Robotics and Automation, Canberra, Australia.
- Çelik, M. Ö., Yakar, İ., Hamal, S., Oğuz, G. M. & Kanun, E. (2020). Sfm Tekniği ile Oluşturulan 3B Modellerin Kültürel Mirasın Belgelenmesi Çalışmalarında Kullanılması: Gözne Kalesi Örneği. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2 (1), 22-27. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tiha/issue/54200/715377>
- Ceylan, M. C. & Uysal, M. (2021). İnsansız hava aracı ile elde edilen veriler yardımıyla ağaç çıkarımı. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 3 (1), 15-21. DOI: 10.53030/tufod.912501
- Eisenbeis, H. (2009). UAV photogrammetry. Zurich, Switzerland: ETH.
- Esposito, S., Fallavollita, P., Wahbeh, W., Nardinocchi, C. & Balsi, M. (2014). Performance Evaluation of UAV Photogrammetric 3D Reconstruction. IGARSS 2014.
- Jung, S. (2004). Design and development of a micro air vehicle (MAV): test-bed for vision-based control, Master's Thesis. *University of Florida*, 56, Florida.
- 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.
- Karabacak, A. (2021). İnsansız hava araçları (İHA) ile enerji nakil hatlarının ölçülmesi üzerine derleme. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 3 (1), 1-8. DOI: 10.53030/tufod.897992
- Kaya, Y., Şenol, H. İ., Memduhoğlu, A., Akça, Ş., Ulukavak, M. & Polat, N. (2019). Hacim hesaplarında İHA



- kullanımı: Osmanbey Kampüsü Örneği. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 1 (1), 7-10.
- 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. <https://doi.org/10.1515/geo-2020-0299>
- Öztürk, M. Y. & Çölkesen, İ. (2021). The impacts of vegetation indices from UAV-based RGB imagery on land cover classification using ensemble learning. *Mersin Photogrammetry Journal*, 3 (2), 41-47. DOI: 10.53093/mephoj.943347
- Şahin, V. & Yılmaz, H. M. (2021). Hacim hesaplarında insansız hava aracı (İHA) verilerinin kullanılabilirliğinin araştırılması. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 3 (2), 36-48. DOI: 10.51534/tiha.955271
- Şasi, A. (2020). Ak Camii'nin İnsansız Hava Aracı ile Fotogrametrik 3B Modellenmesi. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2 (1), 1-7.
- Şenol, H. İ. & Kaya, Y. (2019). İnternet tabanlı veri kullanımıyla yerleşim alanlarının modellenmesi: Çiftlikköy Kampüsü Örneği. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 2019; 1(1), 11-16
- Ulvi, A., Yakar, M., Yiğit, A. Y. & Kaya, Y. (2019). The use of photogrammetric techniques in documenting cultural heritage. The example of Aksaray Selime Sultan Tomb. *Universal Journal of Engineering Science*, 7(3), 64-73.
- Ulvi, A., Yakar, M., Yiğit, A. Y., & Kaya, Y. (2020). İHA ve yersel fotogrametrik teknikler kullanarak Aksaray Kızıl Kilise'nin 3 Boyutlu nokta bulutu ve modelinin üretilmesi. *Geomatik Dergisi*, 5(1), 22-30.
- Ünel, F. B., Kuşak, L., Çelik, M. Ö., Alptekin, A. & Yakar, M. (2020). Kıyı çizgisinin belirlenerek mülkiyet durumunun incelenmesi. *Türkiye Arazi Yönetimi Dergisi*, 2(1), 33-40.
- Uysal, M., Toprak, A. S. & Polat, N. (2015). DEM generation with UAV photogrammetry and accuracy analysis in Sahitler Hill. *Measurement*, 73, 539- 543, doi: 510.1016/j.measurement.2015.1006.1010.
- Yakar, M. & Yılmaz, H. M. (2008). Kültürel miraslardan tarihi Horozluhan'ın fotogrametrik röleve çalışması ve 3 boyutlu modellenmesi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 23:2, 25-33.
- Yakar, M. (2009). Digital elevation model generation by robotic total station instrument. *Experimental Techniques*, 33(2), 52-59.
- Yakar, M. (2011). Using close range photogrammetry to measure the position of inaccessible geological features. *Experimental Techniques*, 35(1), 54-59.
- Yiğit, A. Y. & Ulvi, A. (2020). İHA fotogrametrisi tekniği kullanarak 3B model oluşturma: Yakutiye Medresesi Örneği. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 2(2), 46-54.
- Yiğit, A. Y., Orhan, O. & Ulvi, A. (2020). Investigation of the rainwater harvesting potential at the Mersin University, Turkey. *Mersin Photogrammetry Journal*, 2(2), 64-75.



© Author(s) 2022.

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



## İHA Video Verileri ile 3B Modelleme

Ceyda Ulvi\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Atatürk Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, Mersin, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

İHA,  
3B model,  
Video,  
Fotogrametri,  
İHA fotogrametrisi.

### ÖZ

Yakın zamana kadar İnsansız Hava Araçları (İHA) veya genellikle drone olarak da bilinen, uzaktan kumandalı insansız hava sistemleri farklı disiplinlerce çeşitli amaçlar doğrultusunda kullanılmaktadır. Bunun başlıca nedeni, İHA sistemlerinin görüntü toplamaya yönelik düşük maliyeti, hızlı ve konum bilgisine sahip fotoğraf ve video verileri sağlamasıdır. Ayrıca, İHA'lar, esneklik kabiliyeti ve havadan görüntüleme maliyeti dezavantajlarını olumlu yönde etkilemiştir. Bugüne kadar, 3D haritalama ve modelleme için İHA fotogrametrisi konusunda pek çok araştırma yapılmıştır. Çalışmalarda fotoğraf verilerinden hava görüntüsünün yeniden yapılandırılması için hareketten yapı (SfM) tekniklerini başarıyla kullanılmışlardır. Bu çalışmada ise yapılaşmanın yoğun, ağaç ve elektrik direği gibi çevresel etmenlerin olduğu yüksek katlı bir binanın İHA'dan elde edilmiş video verileri yardımıyla İHA fotogrametrisi tekniği ile 3B modeli yapılmıştır.

## 3D Modeling with UAV Video Data

### Keywords

UAV,  
3D model,  
Video,  
Photogrammetry,  
UAV photogrammetry.

### ABSTRACT

Until recently, Unmanned Aerial Vehicles (UAV) or remotely controlled unmanned aerial systems, often known as drones, have been used by different disciplines for various purposes. The main reason for this is that UAV systems provide low-cost, fast, and location-aware photo and video data for image collection. In addition, UAVs have positively affected the disadvantages of flexibility capability and cost of aerial imaging. To date, much research has been done on UAV photogrammetry for 3D mapping and modeling. In the studies, motion-to-structure (SfM) techniques have been used successfully to reconstruct the aerial image from photographic data. In this study, a 3D model of a high-rise building with dense construction and environmental factors such as trees and electricity poles was made with the UAV photogrammetry technique with the help of video data obtained from the UAV.

## 1. GİRİŞ

Kentsel çevre; ulaşım, ticaret, üretim, yönetim ve barınma için kullanılan yapay yüzeylerin sınır alanlarından ve yoğun bir şekilde yönetilen ve yapay örtüden doğrudan etkilenen bitki örtüsü yüzeylerinden oluşur (linden vd., 2019). Kentsel sistemin daha iyi anlaşılması için, yapılı çevrenin kapsamlı bir şekilde haritalandırılması ve izlenmesi gerekmektedir (Erene ve Yakar., 2012; Colomina and Molina, 2014) . Bununla birlikte, inşa edilmiş yüzeylerin ve binaların karmaşık doğası nedeniyle bunların yüksek doğruluk ile haritalandırılması zordur. İnsansız hava araçlarının (İHA) kullanımı ile fotogrametri ve uzaktan algılama, bu sorunla yüzleşmeyi amaçlayan hızlı gelişen bir yaklaşımdır. İHA kaynaklı görüntülerin potansiyelleri, modern fotogrametri ve uzaktan algılamada önemli bir rol oynamıştır (Mırdan ve Yakar, 2017; Calantropio vd., 2018). Bu iki disiplinin İHA ortamıyla birleşmesi, üretilen sonuçlara göre minimum maliyetli teknoloji ile üretilmiş, yüksek doğruluk ve çözünürlüğe sahip son teknoloji ürünler sağlamaktadır. Döner kanatlı İHA'lar ve dâhili dijital tek lensli refleks kameralar ile fotogrametrik verileri toplanabilir, otomatik veya yarı otomatik uçuş modları gerçekleştirebilir. Ayrıca GNSS/INS sensörü (küresel navigasyon uydu sistemi/ataletsel navigasyon) sahip sistem ile elde edilen görüntülerin daha güvenilir ve kesin sonuçlarla doğrudan coğrafi referanslandırılması için kullanılabilir.

Bu yöntem ile doğal afetler sırasında hızlı veri toplama gibi düşük metrik kaliteli anlık görüntüler gerektiğinde yaygın olarak kullanılabilmesi gibi; üç boyutlu (3B) şehir modelleme ve yol denetimi için kullanılabilir. Aynı zamanda bitki örtüsü izleme ve ormancılık (Wich ve Koh, 2012), tarım (Remondino vd., 2011), çevresel analiz (hayvanların dolaşımının ve yoğunluğunun izlenmesi gibi) çalışmalarının yanında kültürel mirasın belgelenmesi (Everaerts., 2008; Yakar vd., 2015) çalışmalarında da sıklıkla kullanılabilir.

Son yıllarda, İHA'ların akademik ve ticari uygulamalarda yaygın olarak kullanılması, İHA'ların ortak prosedürlerini ve fizibilitelerini ve araştırmacılar için kıyaslama kriterlerini belirleme zorluğunu ortaya koyarak, bunların genişlemesini teşvik etmiştir (Ulvi vd., 2020; Kaya vd., 2021; Yiğit ve Uysal, 2021). Uzaktan algılama verilerinden uygulanabilir bilgi elde etmek için en uygun hangi yöntemin ve çerçevelerin kullanılması gerektiği gibi sorular gündeme gelmektedir (Wellmann vd., 2020). 3B modelleme ile ilgili olarak, seviye otomasyonuna göre (otomatik, yarı otomatik, manuel), kaynak veri tipine göre (havadan, uydudan veya yakın mesafe görüntülerinden fotogrametri sonuçları) ve lazer tarama (hava veya yer) sonuçlarına göre sınıflandırılacak birkaç yöntem vardır (Yiğit ve Ulvi., 2020; Şenol vd., 2021). Gerekirse bu yöntemler bir hibrit olarak birleştirilebilir.

Bu çalışmada ise düşük maliyetli bir döner kanatlı İHA ile elde edilen video verilerinden kentsel alandaki bir eğitim kurumunun 3B modelinin yapılması hedeflenmiştir.

## 2. MATERYAL ve METOT

### 2.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı olarak Şekil 1'de gösterilen yapılaşmanın yoğun olduğu kentsel bir alandaki yüksek katlı bir eğitim kurumu (Fatih Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi: Selçuklu/KONYA) seçilmiştir.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan döner kanatlı İHA ve dâhili kamerası

### 2.2. Materyal

Hava fotoğraflarının çekilmesi için donanım olarak Şekil 2'de gösterilen ve Tablo 1'de özellikleri verilen İHA kullanılmıştır.



Şekil 2. Çalışmada kullanılan döner kanatlı İHA ve dâhili kamerası

Tablo 1. Çalışmada kullanılan İHA teknik özellikleri

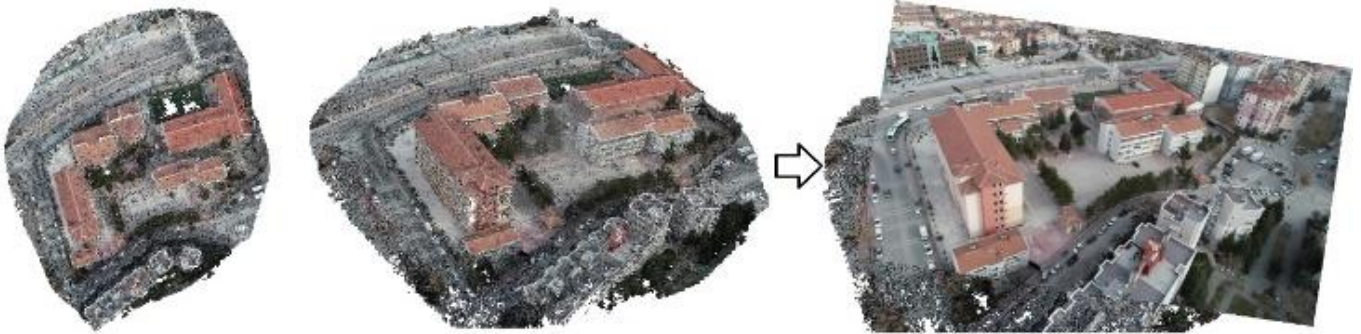
Nitelik	Değer
<u>İHA</u>	
Rota Takibi, Hedef Takibi, Dairesel Uçuş	Var
Uydu Konumlandırma	GPS
Otomatik Bekleme	Var
Pil kapasitesi, Çalışma süresi	4480 mAh, 23 ~23dk
Azami Hız	57 km/sa
Kullanım Mesafesi	500 m
Çalışma Frekansı	5.8 GHz
Çapraz Uzunluk	350 mm
Ağırlık	1280 g
<u>Kamera</u>	
Görüş Açısı	94°
Diyafram Açıklığı	2.8 /f
Sensör Türü	CMOS
Sensör Boyutu, Etkin Piksel	1/2.3 inç, 12MP
Video Çözünürlüğü	2.7K
Video Kare Hızı	30 fps

### 2.3. Metodoloji

Düşük maliyetli İHA'lar genellikle yüksek çözünürlüklü görüntüler ve videolar çekebilen bir kamera ile donatılmıştır. Bu ekipman onlara çok yönlülük sağlayarak onları çok çeşitli uygulamalar için uygun hale getirir. Bu faydalar, arazi modellemesi ile ilgili çeşitli çalışmalar tarafından kabul edilmiştir (Al-Rawabdeh vd., 2016; Şaşak vd., 2019). İHA tabanlı sistemlerin yetenekleri ayrıca ticari anlamda hafriyat projelerini araştırma gibi projelerde için de kullanılmıştır (Siebert vd., 2014). İHA'ların bu uygulamaları aynı şekilde karayolu mühendisliği alanında da bulunabilir.

Çalışmada İHA'dan elde edilen veriler dijital fotogrametrik yazılımlarda işlenmiştir. İlk olarak video verilerinden fotoğraf çerçeveleri oluşturulmuştur daha sonra bu veriler yazılıma aktarılmıştır. Fotogrametrik yazılımda süreç için Structure from Motion ve Multi-View Stereo (SfM-MVS) algoritmaları kullanılmıştır. Bu algoritma yani yapıya dayalı dijital fotogrametri teknikleri, gerçek dünya sahnelerinin yeniden oluşturulmasına izin veren verimli bir görüntü tabanlı yöntemidir (Fonstad vd., 2013). Bu algoritma ile İHA sistemleri tarafından elde edilen görüntülerden konumsal ürünlerin 3B elde edilmesini mümkün kılmaktadır. Algoritma temelde her görüntü için hem harici hem de dahili kamera oryantasyon parametrelerini hesaplamak için ortak bağlantı noktaları saptar ve fotoğraflarda eşleştirme yaparak 3B uzayda gerçek dünyayı yansıtan bir model oluşturur (Jaud vd., 2016).

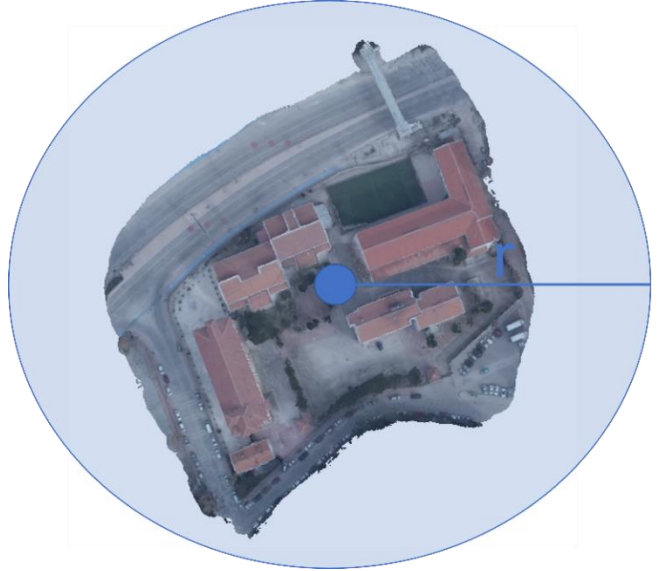
Tahmini kamera konumlarına ve 3B uzaydaki oryantasyona dayalı olarak, noktanın derinlik bilgisi, bu tür noktaların tanımlandığı yerlerde kamera konumu tahminleri dikkate alınarak türetilir. Süreç, tüm noktalardan gelen derinlik bilgilerini tek bir yoğun nokta bulutunda birleştirir. Daha sonra üretilen yoğun nokta bulutları kaynak veri olarak kullanılır ve 3B model elde edilir.



Şekil 5. Çalışma alanına ait örnek yoğun nokta bulutu ve sahneye ait temsili fotoğraf çerçevesi

### 3. BULGULAR

Çalışmada İHA aracılığıyla tam otomatik olarak Şekil 3'te gösterildiği üzere planlanarak video verisi elde edilmiştir. Uçuş planı; İHA'nın çalışma alanının tam merkezine konumlandırılmasından sonra verilen "r" kadar uzaklığa açılarak merkezine konumlandırıldığı çalışma alanının etrafında otomatik bir şekilde dönmesini kapsamaktadır.



Şekil 3. İHA uçuş planlaması

Elde edilen video verisi fotogrametrik yazılıma aktarılarak ilk olarak fotoğraf çerçeveleri oluşturulmuştur. Çalışmada 3 dakika 28 saniyelik video verisinden 77 fotoğraf çerçevesi üretilmiştir (Şekil 4).

Çalışmada ilk olarak ilk olarak fotoğrafların hizalanması işlemi yapılmıştır ve self kalibrasyon işlemi uygulanmıştır. İlk aşamada tüm fotoğraflar dengelenmiş ve objenin uzayda seyrek bir nokta bulutu oluşturulmuştur. Ardından Şekil 5'te gösterilen yoğun nokta bulutu oluşturulmuştur.





**Şekil 6.** İHA video verisinden elde edilmiş 3B model

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışma, kentsel alandaki yapıların İHA'ların kullanılmasıyla ilgili faydaları göstermiştir. İHA'lar ile, çok kısa bir sürede veri toplamayı kolaylaştırırken, diğer veri kaynaklarına kıyasla makul bir maliyetle 3B modelleme amaçları için yeterince doğru veri sağlama yeteneğine sahiptir. Bu anlamda, ana yenilik, İHA platformu tarafından yakalanan verilerin; kentsel yapılaşmanın bir bölümünde yapı, yol ve çevresinin 3B bir modelini oluşturmak için kullanılabilirliğini göstermektedir. Çalışmada İHA'dan fotoğraf yerine video verisinin kullanılması daha az sürede daha az çalışma gücü ile 3B model elde etmenin mümkün olduğunu göstermiştir.

Havadan çekilen videonun bir sonucu olarak, alanın iyi bir şekilde kapsanması sağlanabildi. 3B model ayrıca, bağlantı noktalarının hassasiyetle ölçülmesi ve birçok hava örtüşmesi nedeniyle iyi yapılandırılmıştı. Verilerin elde edilmesinde binaların cephelerinin ve çatılarının görünür olmasına dikkat edilmesi gerektiği çalışma sonucunda tekrar önem kazanmıştır.

Fotogrametri alanında, fotogrametrik iş akışlarından (İHA'lar kullanılarak) yararlanılarak elde edilen modeller, hava görüntüleri ile herhangi bir projeyi gerçekleştirmek için daha az zaman ve maliyetle fotogerçekçi bir 3B model verimli bir şekilde üretilebilir. Bu aynı zamanda, aksi takdirde zeminden görülemeyecek olan, düzenlemelerin ve özel mülkiyetin gereklilikleriyle ilgili olacak ve veri toplamanın zaman alıcı ve maliyetli prosedürleri gerektirecek olan nadir bakış açılarından veri toplamanın basitliği ile de bağlantılıdır.

#### Yazarların Katkısı

Makale tek yazarlıdır.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

#### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

#### KAYNAKÇA

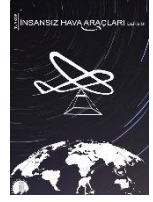
- Al-Rawabdeh, A., He, F., Moussa, A., El-Sheimy, N. & Habib, A. (2016). Using an unmanned aerial vehicle-based digital imaging system to derive a 3D point cloud for landslide scarp recognition. *Remote sensing*, 8(2), 95.
- Calantropio, A., Chiabrande, F., Sammartano, G., Spanò, A. & Losè, L. T. (2018). UAV strategies validation and remote sensing data for damage assessment in post-disaster scenarios. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 121-128.
- Colomina, I., & Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*, 92, 79-97.
- Erener, A. & Yakar, M. (2012). Monitoring coastline change using remote sensing and GIS technologies. *Lecture Notes in Information Technology*, 30, 310-314.
- Everaerts, J. (2008). The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for remote sensing and mapping. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* 2008, XXXVII Pt B1, 1187-1192.
- 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.
- 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.
- Kaya, Y., Yiğit, A. Y., Ulvi, A., & Yakar, M. (2021). Arkeolojik Alanların Dokümantasyonunda Fotogrametrik Tekniklerinin Doğruluklarının Karşılaştırmalı Analizi: Konya Yunuslar Örneği. *Harita Dergisi*, 87(165), 57-72.
- Mırdan, O. & Yakar, M. (2017). Tarihi Eserlerin İnsansız Hava Aracı İle Modellenmesinde Karşılaşılan Sorunlar. *Geomatik*, 2 (3), 118-125.
- Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., Scaioni, M. & Sarazzi, D. (2011). UAV photogrammetry for mapping and 3d modeling—current status and future perspectives. *ISPRS Int Arch Photogramm Remote Sens Spat Inf Sci XXXVIII-1/C22*: 25–31.
- Šašák, J., Gallay, M., Kaňuk, J., Hofierka, J. & Minár, J. (2019). Combined use of terrestrial laser scanning and UAV photogrammetry in mapping alpine terrain. *Remote Sensing*, 11(18), 2154.
- Siebert, S., & Teizer, J. (2014). Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system. *Automation in construction*, 41, 1-14.
- Şenol, H. İ., Yiğit, A. Y., Kaya, Y., & Ulvi, A. (2021). İHA ve yersel fotogrametrik veri füzyonu ile kültürel mirasın 3 boyutlu (3B) modelleme uygulaması: Kanlıdivane Örneği. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 3(1), 29-36.
- Ulvi, A., Yakar, M., Yiğit, A. Y., & Kaya, Y. (2020). İHA ve yersel fotogrametrik teknikler kullanarak Aksaray Kızıl Kilise'nin 3 Boyutlu nokta bulutu ve modelinin üretilmesi. *Geomatik Dergisi*, 5(1), 22-30.
- Ünel, F. B., Kuşak, L., Çelik, M. Ö., Alptekin, A. & Yakar, M. (2020). Kıyı çizgisinin belirlenerek mülkiyet durumunun incelenmesi. *Türkiye Arazi Yönetimi Dergisi*, 2(1), 33-40.
- Van der Linden, S., Okujeni, A., Canters, F., Degerickx, J., Heiden, U., Hostert, P., ... & Thiel, F. (2019). Imaging spectroscopy of urban environments. *Surveys in Geophysics*, 40(3), 471-488.
- Wellmann, T., Lausch, A., Andersson, E., Knapp, S., Cortinovis, C., Jache, J., ... & Haase, D. (2020). Remote sensing in urban planning: Contributions towards ecologically sound policies?. *Landscape and Urban Planning*, 204, 103921.
- Wich, S. & Koh, L. (2015). Conservation drones: The use of unmanned aerial vehicles by ecologists. *GIM Int.* 2012, 26, 29–33
- Yakar, M. & Yılmaz, H. M. (2008). Kültürel miraslardan tarihi Horozluhan'ın fotogrametrik rölöve çalışması ve 3 boyutlu modellenmesi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 23:2, 25-33.
- Yakar, M. (2009). Digital elevation model generation by robotic total station instrument. *Experimental Techniques*, 33(2), 52-59.
- Yakar, M. (2011). Using close range photogrammetry to measure the position of inaccessible geological features. *Experimental Techniques*, 35(1), 54-59.
- Yakar, M., Orhan, O., Ulvi, A., Yiğit, A. Y., & Yüzer, M. M. (2015). Sahip Ata Külliyesi Rölöve Örneği. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası*, 10.
- Yiğit, A. Y., & Ulvi, A. (2020). İHA Fotogrametrisi Tekniği Kullanarak 3B Model Oluşturma: Yakutiye Medresesi Örneği. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 2(2), 46-54.
- Yiğit, A. Y., & Uysal, M. (2021). Tarihi Eserlerin 3b Modellenmesi ve Artırılmış Gerçeklik İle Görselleştirilmesi. *Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(2), 1032-1043.



© Author(s) 2022.

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



## Açık Maden Sahalarında İnsansız Hava Araçlarının Kullanımı

Gülsüm Yüksel\*<sup>1</sup> 

Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı, Mersin, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

İHA,  
Açık Maden Sahaları,  
İHA Kullanım Avantajları.

### ÖZ

Günümüzde teknolojik gelişmeler her alanda olduğu gibi yerbilimleri ile uğraşan alanlarda da kendini göstermektedir. Bu teknolojik gelişmelerden biri olan insansız hava araçları (İHA) birçok sektöre yenilikçi yaklaşım sunmuştur. Jeodezi, afet yönetimi, meteoroloji, tarım, güvenlik gibi çeşitli alanlarda kullanılmasının yanı sıra madencilikte de kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Açık ocak maden sahalarında topoğrafik ölçme sorunu aşılması gereken önemli zorluklardan biridir. Topoğrafik ölçümler pahalı ölçme ekipmanı ve profesyonel teknik personeller gerektirmektedir. İHA teknolojisi sahalarında karşılaşılan zorluklara maliyet kontrolünü de sağlayarak kolaylıkla çözüm üretebilmektedir. Son yıllarda, dünyada madencilik faaliyetlerinde; üretim planlaması, patlatma, cevher üretim ve stok takibi ve hacimsel hesaplamaları, şev duyarlılıklarının ve değişimlerinin izlenmesi, pasa miktarının hesaplanması, toz emisyonu, güvenlik gibi alanlarda kullanılmaktadır. Bir açık maden ocağının yönetimi, zamanla sürekli değişen büyük miktarda bilginin elde edilmesini, işlenmesini ve depolanmasını gerektirir. Bu süreçte ölçümlerin hızlı, hassas bir şekilde alınması etkili ve istikrarlı bir çalışmanın anahtarı olacaktır. Gereksiz zaman kaybı ve maliyet kontrolünün önüne geçmede İHA etkili bir yöntem olabilmektedir. Madenin havadan izlenmesi, takibi ve yönetilmesi geleneksel yöntemlere göre zaman tasarrufu ve ölçüm hassasiyeti sağlamaktadır. Bu makalede açık maden sahalarında yapılan örnek çalışmalar da eklenerek insansız hava araçlarının yapısı, avantajları ve açık maden sahalarında kullanım alanları, makul sonuçların elde edilebilirliği ve çalışmalara etki eden faydaları açıklanmıştır.

## Use of Unmanned Aerial Vehicles in Open Mine Sites

### Keywords

UAV,  
Open Mine Sites,  
Advantages of UAV Use,

### ABSTRACT

Today, technological developments show themselves in the fields dealing with earth sciences as in every field. Unmanned aerial vehicles (UAV), one of these technological developments, have offered an innovative approach to many sectors. In addition to being used in various fields such as geodesy, disaster management, meteorology, agriculture and security, its use in mining has also become widespread. Topographic surveying problem in open pit mining sites is one of the important challenges to be overcome. Topographic measurements require expensive surveying equipment and professional technical personnel. UAV technology can easily produce solutions to the difficulties encountered in the fields by providing cost control. In recent years, in mining activities in the world; It is used in areas such as production planning, blasting, ore production and stock tracking and volumetric calculations, monitoring of slope sensitivities and changes, calculating the amount of waste, dust emission, security. The management of an open pit mine requires the acquisition, processing and storage of a large amount of information that is constantly changing over time. In this process, taking measurements quickly and accurately will be the key to an effective and stable operation. UAV can be an effective method in preventing unnecessary loss of time and cost control. Aerial monitoring, monitoring and management of the mine provides time savings and measurement accuracy compared to traditional methods. In this article, the structure of unmanned aerial vehicles, their advantages and areas of use in open mining sites, the availability of reasonable results and the benefits affecting the studies are explained by adding case studies in open mining areas.

\* Sorumlu Yazar (\*Corresponding Author)

\*gulsummertyuksel@gmail.com) ORCID ID 0000-0002-4650-2255

Geliş Tarihi/Received: 31/05/2022; Kabul Tarihi/Accepted: 27/06/2022

Kaynak Göster (APA) / Cite this;

Yüksel, G. (2022). Açık Maden Sahalarında İnsansız Hava Araçlarının Kullanımı. Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi, 4(1), 29-37

## 1. GİRİŞ

Açık ocak maden sahaları genellikle karmaşık arazilere ve çeşitli jeolojik koşullara sahip alanlardır. Birçoğu arazi yüksekliğinde önemli değişiklikler olan yüksek dağlardır. Bu alanlar madencilikte erişilebilirliğe bir sınır getirmekle birlikte bazen aşırı durumlarda erişilemezliğe sebep olur ve bu nedenle geleneksel yöntemlerin kullanılması zemin etüdüleri için zorluklara yol açmaktadır (Yakar; 2008; Yakar, 2009)

Günümüz teknolojik gelişmelerden biri olan insansız hava araçları (İHA) teknolojisinin hızlı gelişimi, sadece askeriye değil çeşitli sivil alanlarda olduğu gibi madencilik endüstrisine de fayda sağlamıştır. Madencilik firmaları, madencilik operasyonlarının izlenmesi ve planlanması, verimliliğini, hızını ve güvenliğini artırmak için İHA teknolojilerini kullanmaktadır (Yakar, 2011; Yakar vd., 2015).

Bir uzaktan algılama teknolojisi olan İHA'lar ile daha az iş gücü ile kısa zamanda ve yüksek çözünürlüklü veriler elde edilerek kapsamlı analizlerle yapılabilmektedir (Ulvi & Yiğit, 2019, Ulvi & Yiğit, 2020).

Bir çalışma alanına ait görüntüler, yapılacak işe uygun sensörlerle İHA'ların donatılmasıyla alınmakta ve birçok yazılımla veri işleme yapılabilmektedir.

İHA teknolojisi, büyük şantiyeler, hafriyat ve dolgulu madenler veya kömür boşaltma alanları gibi hacim hesaplamalarının periyodik olarak ölçülmesini gerektiren yerler veya projeler için uygun enstrümantasyonu temsil eder (Ulvi, 2018).

Madencilik alanlarında uygulanan geleneksel ölçüm yöntemlerine kıyasla İHA'ların güvenli, düşük maliyetli ve zaman açısından verimli olmaları, yüksek çözünürlüklü verilerin elde edilebilir olmasıyla görsel zenginliğe ve bununla birlikte farklı ekipmanların ve sensörlerin monte edilebilirliği ile madencilik uygulamalarının izlenmesi, araştırılması, kontrol ve takibi ve buna benzer birçok uygulamaya büyük potansiyele sahip olduğu anlamına gelir.

Açık ocak madenlerinin topoğrafik ölçümü için yalnızca total station gibi optik dalgalar değil, gerçek zamanlı diferansiyel küresel konumlandırma sistemi (RTK-GPS), Yersel lazer tarayıcı ve havadan lazer tarayıcı, uydu fotogrametri sistemleri, hava fotogrametri sistemleri, vb. çeşitli ekipman ve teknolojiler kullanılabilir. Bu cihazların her birinin çalışılabilir alan boyutu ve ölçüm hatasının farklı olmasıyla avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Optik dalga dedektörleri, RTK-GPS ve yersel lazer tarayıcılar gibi yersel ölçme ekipmanları araştırma sonuçlarının yüksek doğruluk avantajına sahip olabilir fakat geniş bir alan üzerinde çalışma yapılmasının uzun zaman alması ve pahalı olması gibi dezavantajları vardır. Öte yandan uydu fotogrametri sistemi, hava lazer tarayıcıları, hava fotogrametri sistemleri gibi havadan ölçme ekipmanları geniş bir çalışma alanını hızlı bir şekilde araştırabilme avantajına sahipken ölçüm sonuçlarının hatasının büyük olması dezavantajına sahiptir.

Son zamanlarda yer/hava ölçüm ekipmanlarının güçlü ve zayıf yönlerini tamamlamada topoğrafik araştırmalar için İHA kullanan bir fotogrametri sistemi kullanılmaktadır. İHA fotogrametri sistemi, mevcut yer ekibi ekipmanlarına kıyasla nispeten geniş bir çalışma

alanına ve hava ölçme teknolojilerine göre nispeten küçük bir ölçüm hatasına sahiptir. Bu özelliklerinden dolayı, İHA fotogrametri sistemi, mevcut ölçme ekipmanının (Siebert & Teizer, 2014) ve sivil inşaatın (Park vd., 2013; Ünel vd., 2020) yerini alabilen veya tamamlayabilen bir teknoloji olarak kabul edilmektedir.

Bu çalışmada, yapılan çalışmalar ve bu çalışmaların analizleri doğrultusunda açık maden ocaklarında İHA'ların kullanılabilirliği ve İHA sistemlerinin sunduğu avantajlar vurgulanmıştır.

## 2. İNSANSIZ HAVA ARACININ TANIMI, SINIFLANDIRILMASI VE KULLANIM ALANLARI

İnsansız hava araçlarına ilişkin çeşitli kaynaklarda farklı tanımlamalar bulunmaktadır (Fidan & Ulvi, 2021). Bu tanımlamalardan çıkarılacak ortak payda; İHA, içinde pilotu ve yolcusu olmayan, üzerinde sadece kullanım amacına uygun ekipmanlar (fotoğraf makinesi, GNSS, lazer tarama cihazı, vb.) taşıyan, yerde bulunan bir pilot tarafından uzaktan kumandalı havada kontrolü sağlanabilen veya önceden planlanmış uçuş planını otonom olarak gerçekleştirebilen bir çeşit uçak olarak tanımlanabilir olmasıdır. Bu bağlamda İHA'lar temel olarak üç bileşenden oluşmakta olup bunlar; uçağın kendisi, uçaktaki faydalı yük (payload) ve yer kontrol istasyonudur.

Hava araçlarının tarihsel geçmişi oldukça eskiye dayanmaktadır. 22 Ağustos 1849 yılında Avusturyalıların, içinde zaman fitilli bombalar bulunan 200 pilotsuz balonu Venedik (İtalya) şehrine göndermesi, hava saldırısında ilk İHA kullanımı olarak kabul edilmektedir.

Hava fotoğrafları ilk kez dünyada 1858 yılında Paris'te Gaspard Tournachon tarafından balondan çekilmiştir. Daha sonra teknolojideki gelişmelerle ve bu gelişmelerin ışığında yapılan deney ve gözlemlerle insanın yer aldığı balonların yerini model balonlar almıştır. Balonların yanı sıra geçtiğimiz yüzyılda meydana gelen dünya savaşları sırasında uçurtmalar, güvercinler ile roketler gözlem ve casusluk için kullanılmıştır.

1967 yılında ise helyum gazı dolu bir balon ile Whittlesey tarafından arkeolojik dokümantasyon çalışması yapılmıştır.

1979 yılında fotogrametride ilk kez sabit kanatlı insansız hava aracı kullanılmıştır. Sabit kanatlı İHA ile yapılan ilk uygulama; 150 m yükseklikten ve 11 m/s hızında uçabilen manuel kontrollü insansız hava aracı ile kullanılmıştır (Eisenbeiss, 2004).

Wester Ebbinghaus fotogrametri de ilk kez döner kanatlı İHA'yı 1980 yılında kullandı. Schlüter tarafından yapılan döner kanatlı insansız hava aracı bir model helikopter olup 3 kg maksimum yük taşıma kapasitesine sahiptir.

Teknolojinin ilerlemesi ile birlikte fotogrametrik uygulamalar yeni yöntem ve araçlarla daha kısa zamanda ve daha verimli şekilde yapılmaktadır. Günden güne gelişim kaydeden ve yaygınlaşan insansız hava sistemleri; günümüzde büyük ölçekli projelerde klasik yöntemlere göre optimum sürede, daha az maliyetli, zaman ve iş gücü açısından olumlu sonuçlar veren teknolojik bir ürün haline gelmiştir (Erdoğan, 2016).



Hava Fotogrametrisi, havadan çekilmiş resimlerin değerlendirilmesi işlemi hava fotogrametrisi ile yapılır. Fotogrametri, harita yapımında geniş ölçüde hava fotogrametrisi ile gerçekleştirilmektedir. Bunun yanı sıra farklı alanlarda herhangi bir amaç doğrultusunda havadan çekilmiş resimlerden yararlanılmaktadır (Ulvi vd., 2020; Kaya vd., 2021 ).

Drone olarak da isimlendirilen İHA'lar uçuş kabiliyetlerine göre sabit kanatlı, döner kanatlı ve Vertical Take of Landing (VTOL) olarak sınıflandırılmaktadır (Mırdan ve Yaakr, 2017).

Sabit kanatlı İHA'lar bir yolcu uçağına benzer yani kanatları sabit bir uçağına benzer. Uzun bir dayanıklılık ve yüksek uçuş hızına sahiptir. Kalkış yapabilmesi için belirli bir kalkış mesafesi gerektirir ve bu durum küçük alanda yapılması gereken görevler için zorluk çıkarmaktadır. Üzerinde taşıdığı faydalı yükler genellikle küçüktür, kalkış ve iniş sırasında rüzgâr hızına karşı hassastır. SenseFly-eBee, Skywalker, Atlasus Şekil 1'de örnek olarak gösterilmiştir.

Döner kanatlı İHA'lar çok rotorlu insansız hava araçları olarak da adlandırılmaktadır. Kalkmaları için kanatların dönüşüne dayanan helikopterlere benzerler. Değişken uçuş hızı, çok rotorlu olması sebebiyle kısa uçuş süresi, hedefin farklı açılardan görüntülerini alabilmesiyle esnek çalışma yapılabilir olması döner kanatlı İHA'ların düşük irtifa uçuşlarına ihtiyaç duyan genellikle küçük alanlarda yaygın olarak kullanılmasını sağlar. Uzun vadeli görevler için sınırlı dayanıklılıkları nedeniyle daha az uygundur. Kalkış yapabilmeleri için geniş alana ihtiyaç duymazlar, dikey olarak inip kalkabilirler ve havada süzülebilirler. Kapalı veya kısıtlı ortamlarda görev yapabilmeleri ise önemli avantajlarından. DJI Phantom serisi (2,3,4 gibi), Aibotix X6 Şekil 2'de örnek olarak verilmiştir.

VTOL terimi, vertical take of landing (dikey iniş-kalkış) İngilizce teriminin baş harflerinden oluşan bir kısaltmadır. Bu İHA'lar dikey iniş ve kalkış sistemine sahiptirler. Bu teknoloji döner kanatlı İHA'lardaki iniş-kalkış kolaylığı ile sabit kanatlı İHA'lardaki uzun süre havada kalma özelliğinin birleştirilmesi amacıyla geliştirilmiştir. Böylelikle kalkış ve iniş yapabilmesi için geniş bir alana veya kalkış mesafesine ihtiyaç duymaz ve uzun süre havada kalabilmeleri avantajı ile büyük alanlarda kolaylıkla görev yapabilirler. Wingtra One Şekil 3'te örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil 1. Sabit kanatlı İHA (Atlasus)



Şekil 2. Döner kanatlı İHA'lar (Dji- Aibotix)



Şekil 3. VTOL İHA (Wintra One)

Günümüzde, İHA'lar tarım, meteoroloji, arkeoloji, ormancılık, iletişim, güvenlik, vahşi yaşam araştırmaları, habitat çalışmaları, peyzaj planlaması, çevresel gözetleme, doğal afetler, trafik yönetimi, taşımacılık, enerji, jeoloji, hidroloji, inşaat mühendisliği, harita ve madencilik de dahil olmak üzere çeşitli disiplinlerde kullanılmaktadır. Üstelik bu teknoloji yasadışı avlanma, balıkçılık ve ağaç kesme ile yasadışı madencilik faaliyetlerini keşfetme sınırları izleme ve yasadışı gelen göçmenler ile yasadışı ticareti tespit etme gibi gözetim uygulamalarında kullanılmaktadır. Kullanım alanına ilişkin bazı örnekler aşağıda gösterilmiştir (Şekil 4,5,6,7,8,9).



Şekil 4. Askeri alanda İHA kullanımı



Şekil 5. Baraj ölçümlerinde İHA kullanımı



Şekil 6. Maden ölçümlerinde İHA kullanımı



Şekil 7. Arkeolojik uygulamalarda İHA kullanımı



Şekil 8. Afet yönetimde İHA kullanımı





**Şekil 9.** Tarım uygulamalarında İHA kullanımı

Ayrıca Niethammer vd., (2012) çalışma sahasında periyodik uçuşlar yaparak SYM'ler oluşturup bu SYM'ler arasındaki farklardan deformasyonları belirlemeye çalışmışlardır. Rau vd. (2011) heyelan tespiti ve bitki endeksleri hesaplamasını gerçekleştirmek için sabit kanatlı bir platform kullanmışlardır. Carvajal vd. (2011) yol güzergâhlarında heyelanları belirleyebilmek için dört motorlu bir kopter kullanmışlardır. Shi vd. (2011) İHA tabanlı altyapı izleme uygulamalarını hedefleyen, büyük deformasyonlara uğrayan cisimlerin tespiti üzerine çalışma yapmışlardır. Deffontaines vd. (2016) İHA kullanarak yapısal aktif tektonik geometrinin deşifre edilmesi için, yerel aktif tektonik kilit alanlarda yüksek çözünürlüklü SYM üretmişlerdir (Gül, 2019)

### 2.1. İnsansız Hava Araçlarının Maden Sahalarında Kullanımı

Maden kaynakları, hem hammadde hem de enerji açısından taşıdığı önem nedeniyle ekonomik kalkınmada önemli bir yere sahiptir (Hu vd., 2014; Xioa vd., 2018a, 2019a). Maden kaynaklarına olan talep sanayi ve kentleşmenin büyümesiyle önemli ölçüde artmış ve bu da madencilığe daha fazla ihtiyaç duyulmasına yol açmıştır. Genel olarak yer üstü ve yer altı olmak üzere iki tür madencilik yaygın olarak kullanılmaktadır (Erener ve Yakar, 2012). Yüzeysel madencilik, cevher gövdesini çevreleyen kayanın sıyrılıp atılmasından sonra bir cevher gövdesinin toplandığı yerdir. Yerüstü madenleri alanla sınırlıdır ve genellikle delme, patlatma, yükleme, taşıma ve boşaltma için büyük miktarda mekanik ekipman kullanır. Yer altı madencilik, yer altı yataklarındaki cevher kütlelerinden gerçekleştirilen madencilik sürecidir. Genellikle tortunun yüzeyin altında olduğu yerde gerçekleştirilir ve madencilik süreçleri esas olarak cevher gövdesi geliştirme, kesme ve durdurmaya yöneliktir (Xio vd., 2011). Madencilik süreçlerinde üretimin güvenliği ve kalitesini etkileyen bazı sorunlar vardır. Örneğin; bir açık işletmede maden sahasının derinliği ve açısı artıkça kazılar şev stabilitesine doğrudan etki etmekte bu da üretimin kalitesini etkilemektedir. Bir diğeri madencilikteki toz emisyonları kontrolsüzdür ve bu da işçilerin sağlığını tehlikeye atmaktadır. Ürettiği çevre sorunları da göz ardı edilemez. Aşırı ve plansız madencilik toprağa, suya ve ekolojiye ciddi zararlar verir. Maden güvenliği ve istikrarını sağlamaya yardımcı olabilecek jeolojik tehlikelerin oluşumunu azaltmak için ise iyi bir mühendislik tasarımı temeldir.

Günümüzde madencilik endüstrisinin dijital dönüşümünün bir sonucu olarak, madencilik firmaları, madencilik operasyonlarının incelenmesi ve planlanmasının, güvenliğini, hızını ve verimliliğini artırmak için İHA teknolojilerini kullanmaktadır.

İHA'lar madencilik endüstrisinin çeşitli uğraştırıcı yönlerinde, bant konveyörleri ve elektrik hava hatlarını

denetleme, güncel madencilik veri tabanları, patlatma optimizasyonu, stok hacim ölçümleri, maden atık havuzları gözetleme ve kamyon ile ekipmanların takibi, jeolojik tehlikeler, kirlilik izleme, arazi ıslahı, ekolojik restorasyon değerlendirmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bunlardan başka, basamaklar ve şevlerin stabilitesini ve üretim miktarlarını takip etmek için, maden ocaklarının fotogrametrik üç boyutlu (3B) modellerinin elde edilmesini İHA'lar dakik ve düzenli görüntüler olarak sağlamaktadır.

İHA fotogrametrisinden, açık maden işletmelerindeki hâlihazır harita üretimi, üretim ve dekapaj miktarının belirlenmesi, stok ve döküm sahası kübaj hesapları, arazi hasar değerlendirmesi, kayaç tespiti, jeolojik haritalama, kazı planlaması ve hiperspektral kameraların takılması ile beraber alterasyon ve mineral tespiti, dik ve erişilemeyen noktaların haritalanması gibi çalışmalarda faydalanılmaktadır.

Madencilik sektöründe İHA kullanımının geleneksel yöntemlere göre bazı avantajları Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** İHA'ların geleneksel yöntemlere göre avantajları

İnsansız Hava Araçları	Geleneksel Yöntemler
Ölçümlerin kısa sürede tamamlanması	Ölçümlerin uzun sürmesi
Kapsamlı ve birçok yönden analiz edilebilir	Kapsam ve analizi kısıtlıdır
Zaman ve maddi tasarruf sağlar	Zaman ve maddiyat gerektirir
Kısa zamanda zahmetsiz iş	Uzun zamanda zahmetli iş
Görsel zenginliği ve veri çözünürlüğü yüksektir	Görsel zenginlik yoktur
Farklı ekipmanların monte edilebilirliği ile birçok alanda çalışma imkanı sunar	Çalışma alanı kısıtlıdır
Seri kontrol ve takip olanağı sunar	Kontrol ve takip olanağı zaman alır
İş güvenliği açısından sahalarda risksiz olabilmektedir	İş güvenliği açısından sahalarda risklidir
Fazla personele ihtiyaç duyulmaz	Fazla personel gerektirir

### 3. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI İLE AÇIK MADEN SAHALARINDA YAPILAN UYGULAMALAR

Açık maden sahalarda İHA'lar ile havadan görüntüleme ve ölçüm sistemleri sayesinde her türlü arazi şartlarında hassas ve kısa zamanda veriler toplanabilmektedir. Kullanılan İHA'ya göre değişimle birlikte birkaç saat içerisinde kapsamlı ve analiz edilebilirliği kolay, nitelikli veriler elde edilebilir.

İnsansız hava araçlarının ilerlemesi, yüksek çözünürlüklü kameraların geliştirilmesi ve görüntü tabanlı haritalama tekniklerinin geliştirilmesiyle birlikte insansız hava görüntüleri, araştırmacılar ve endüstriler arasında dikkate değer bir ilgi konusu olmuştur. Bu görüntüler, 3B modelleme için eşi görülmemiş uzamsal ve zamansal çözünürlükte veri sağlama potansiyeline sahiptir.

Maden sahalarında topoğrafik araştırma çalışmaları insansız hava araçları ile yapılabilmektedir. Lee & Choi (2015)'nin yapmış oldukları çalışmada döner kanatlı insansız hava aracı (DJI Phantom2 Vision) kullanılmış ve 100 m irtifada 30 dk otonom uçuş yapılarak 89 adet fotoğraf elde edilmiş olup veriler işlenmiş ve dijital yüzey modeli oluşturulmuştur. Diferansiyel küresel konumlandırma sistemi ile ölçülen 5 yer kontrol noktasının (YKN) X,Y,Z koordinatları ile İHA fotogrametrisi tarafından belirlenen koordinatlar karşılaştırılmış ortalama karesel hatalarının yaklaşık 10 cm olduğu ortaya çıkarılmıştır. Bu nedenle çalışma sonunda döner kanatlı İHA fotogrametrisinin açık ocak madenlerinde mevcut topoğrafik ölçüm ekipmanlarının yerini alabilen veya tamamlayabilen bir teknoloji olarak etkin bir şekilde kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

### 3.1. Stok Hacim Hesaplama Çalışmalarında İHA Kullanımı

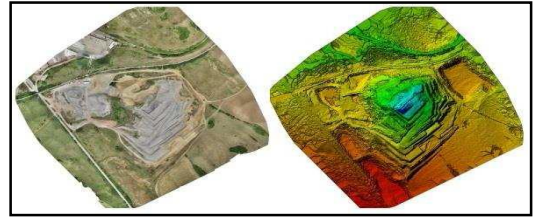
Bir açık ocak hakkında güncel bilgilerin elde edilmesi, ocağın sürekli değişen şeklinin ve seddeler, sıra yükseklikleri, eğimler, vb. gibi unsurlarının sürekli olarak araştırılması ve çıkarılan kütlenin hacminin güvenilir bir şekilde hesaplanmasından oluşur. Maden şirketleri, kazdıkları malzemeye bağlı olarak ocaklarını sık sık izleme eğilimindedir. İzleme haftalık, aylık veya 3 ayda bir yapılabilir (Mazhdakov, 2007). Stokların araştırılması gerekliliği ne kadar sık olursa olsun, madencilik şirketlerine en hızlı, en etkili ve güvenilir ölçüm ve hesaplama yöntemleri sunulmalıdır.

İHA fotogrametrisi, yakın mesafede çalıştığı için klasik insanlı hava fotogrametrisi ile el yapımı ölçüm teknikleri arasındaki boşluğu kapatmaktadır. İHA teknikleri, hava ve yer fotogrametrisini birleştirir, aynı zamanda klasik yöntemlere düşük maliyetli alternatifler sunar (Carvajal vd., 2011).

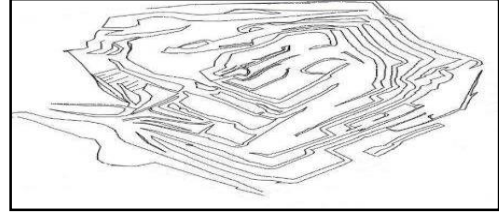
Filipova vd., (2016) yaptıkları çalışmada hacimsel ölçümlerin değerlendirilmesi için Bulgaristan'ın başkenti Sofya'nın Lukovit kasabasında bir taş ocağı seçilmiştir. Yapılan bu çalışmada İHA verilerinin doğruluğunu GNSS tekniklerine göre test etmek ve değerlendirmek amaçlanmıştır. İki set ölçüm yapılmıştır. İlk olarak GNSS teknolojileri ile stok ölçümü, ikinci olarak ise tüm taş ocağı alanı bir İHA uçuşu ile haritalanmıştır. Seçilen İHA eBee SenseFly, GNSS alıcısı ise Leica viva GS08 Plus'tır. Uçuştan önce 7 adet YKN yerleştirilmiş olup, İHA ile %75 yanal ve boyutsal örtüşme sağlanarak 27 dakika 47 saniye otonom uçuş yapılmış, alınan 417 hava fotoğrafı PIX4D Mapper yazılımı ile işlenmiş ve hacimsel hesaplamaları da bu programla yapılmıştır. GPS ile 5 saatten fazla bir sürede 615 nokta alınarak tüm taş ocağı ölçülmüştür. GNSS ölçümlerinden elde edilen hacim hesaplaması için AutoCAD Civil 3D kullanılmıştır.



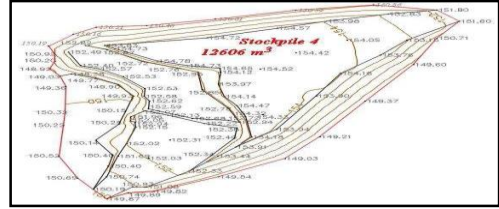
Şekil 10. İHA - eBee SenseFly/ GNSS alıcısı - Leica Viva G08 Plus



Şekil 11. Ocağın Ortomozaik ve Sayısal Yüzey Modeli (SYM)



Şekil 12. GPS ile 5 saatten fazla 615 nokta ile ölçülen tüm taş ocağı



Şekil 13. GPS ile ölçülen ve Civil 3D'de oluşturulan stok sahası yüzeyi

Bu çalışma ile stok hacmi hesaplamasında gelecek vaat eden İHA uygulamasının bir teyidi aranmıştır. Veriler iki farklı yöntemle elde edilip farklı şekillerde işlendiği için aynı stoğun hacminin iki değeri oluşturulmuştur. İHA verilerinden elde edilen hacim 12.749 m<sup>3</sup> ve GNSS noktalarından elde edilen hacim 12.606 m<sup>3</sup>'tür. Sonuçta ise İHA hacminin 143.99 m<sup>3</sup> daha fazla olduğu ortaya çıkmıştır. Aradaki farkı yüzde ile ifade edecek olursak toplam tutardan %1,1'lik farktır. Başka bir deyişle, İHA ve GPS yüzeyi arasındaki yükseklik farkı 3.2 cm'dir. Bazı ülkelerde mevzuat, hacmin tüm malzemenin  $\pm\%3$ 'ü hassasiyetle hesaplanması gerektiğini belirtir. Elbette bu değer, ocakta kazılan malzemenin türü, atmosferik koşullar vb. gibi birçok faktöre bağlıdır (Mazhdakov, 2007). Elde edilen doğruluk çalışma durumunun ana hedefi olan %3'lük meşru hata dahilindedir. Filipova vd., (2016) yaptıkları bu çalışmada İHA ile yüksek çözünürlükte elde edilen verilerin hacimsel ölçümler söz konusu olduğunda etkinliğini ve güvenilirliğini sunmuşlardır.

### 3.2. Üretim ve Pasa Miktarının Belirlenmesi Çalışmalarında İHA Kullanımı

Madenlerde üretime yön vermek, sınırlı kaynakların verimli şekilde üretilmesi ve ekonomik dengeleri sağlayabilmek için sürekli kontrol gerekmektedir. Bu nedenle; ocak işletme verimi, yıllık üretim miktarı, yıllık üretilen pasa miktarı gibi parametrelerin sürekli takibi gerekmektedir. Tüm sahanın ve pasa miktarlarının denetimi geleneksel yöntemlerle hem zaman alıcı hem de oldukça zahmetlidir. İHA'lar ile yapılan sistematik uçuşlardan

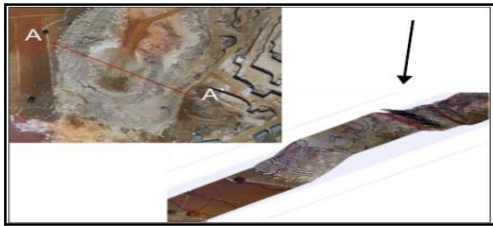
elde edilen görüntüler fotogrametrik yazılımlarla işlenebilmekte ve elde edilen modeller ile hızlı, hassas ve güvenilir biçimde değerlendirilebilmektedir.

Kun & Güler (2019) Antalya ili Korkuteli ilçe sınırlarındaki bir doğal taş açık ocak maden işletmesinde DJI Phantom4 Pro drone kullanarak, 15 aylık bir süre zarfında ocaktaki üretim ve pasa miktarının belirlenebilmesi için İHA kullanılabilirliği üzerine çalışmışlardır. Görüntüler yeryüzünün 70 m yukarısından alınmış olup uçuş yapılan alan 300.000 m<sup>2</sup>'dir. 5 adet YKN belirlenmesinde Leica marka GNSS ölçüm cihazı kullanılmıştır. Birinci veri seti 22 Nisan 2017 de yapılan uçuşla (400 adet fotoğraf), ikinci veri seti 01 Temmuz 2018 de yapılan uçuşla (576 adet fotoğraf) elde edilen veri setidir. Bu süre zarfında doğal taş ocağındaki değişimler net olarak gözlenmiş ve sonuçlara yansımıştır. Pix4D Mapper programında veriler işlenmiş ve YKN ile optimize edilen sayısal yüzey modelinin (SYM) üç ekseninde oluşan toplam hatası 5 cm'nin altında çıkmıştır.

İki veri setinden iki ayrı SYM oluşturulmuştur. Hassas karşılaştırma yapmak için 3B madencilik yazılımında SYM'ler üst üste çakıştırılmış olup kesit görüntüleri elde edilmiştir. Hassas koordinatlı topoğrafik haritalar 15 aylık süreçte değişimin olmadığı yerlerde üst üste çakışmakta, değişim olan yerlerde ise farklılık göstermektedir. Üst üste çakıştırılan veri setlerinden kazı ve dolgu hacimleri hesaplanmıştır. Yıllık pasa üretiminin hassas hesaplanması için pasa sahası 3 ayrı parçaya bölünmüş ve hesaplamalar ayrı ayrı yapılmıştır.



Şekil 14. Phantom4 Pro İHA ve uygulama yapılan doğal taş ocağı



Şekil 15. SYM'lerden oluşturulan kontur haritalarının birleşiminden kesit görünümü

İşlem	Miktar
15 Aylık ocak içi dolgu (m <sup>3</sup> )	31509,84
15 Aylık net kazı miktarı (m <sup>3</sup> )	150185,46
Yıllık kazı miktarı (m <sup>3</sup> )	120148,37

Şekil 16. SYM'lerin karşılaştırılması sonucu tespit edilen ocak içi yerinde hacim değişimleri



Şekil 17. Üretim alanı çevresindeki pasa sahalarnın görünümü

Pasa	15 Aylık Pasa Sahası Değişim (m <sup>3</sup> )	Yıllık Pasa Sahası Değişim (m <sup>3</sup> )
Pasa 1	28561.1939	22848.95512
Pasa 2	25171.15586	20136.92469
Pasa 3	83328.11274	66662.49019
Toplam	137060.4625	109648.37

Şekil 18. SYM'lerin karşılaştırılması sonucu tespit edilen pasa sahalarnın yerinde hacim değişimleri

Hacim hesaplamaları sonunda işletmenin yıllık kazı miktarı 120148,37 m<sup>3</sup> olarak tespit edilmiştir. Yıllık kazı miktarı değerinden, satışa sunulan miktar çıkarıldığında geriye kalan miktar toplam pasa miktarını oluşturmaktadır. Buna göre; işletmenin kayıtlarından elde edilen bilgilere göre yapılan tüm kazı ve yerinde sökülme işlemleri sonucunda, düzgün, ebatlı ve satılabilir olarak elde ettiği miktar 10.500 m<sup>3</sup> civarındadır. Bu değer, ocakta yapılan yıllık kazı miktarına oranlandığında, ocak verimi %8,74 olarak elde edilmektedir.

Yıllık kazı miktarı (m <sup>3</sup> )	120.148,37
Yıllık üretilen blok (m <sup>3</sup> )	10.500
(Satılabilir blok)	
Yıllık pasa miktarı (m <sup>3</sup> )	109.648,37
Ocak verimi (%)	8,74

Şekil 19. Ocak verimi tespiti ve ilgili veriler

Kun & Güler (2019) İHA ile toplanan görsellerin işlenmesi ile elde edilen veri setlerinden fotogrametrik yazılımlarla işlenerek ve 3B madencilik yazılımları ile ayrıca desteklenerek açık maden işletmelerinin yıllık kazı/veya üretim, pasa miktarı, ocak verimi gibi işletme parametrelerinin hızlı ve hassas biçimde tespit edilebildiğini bildirmişlerdir.

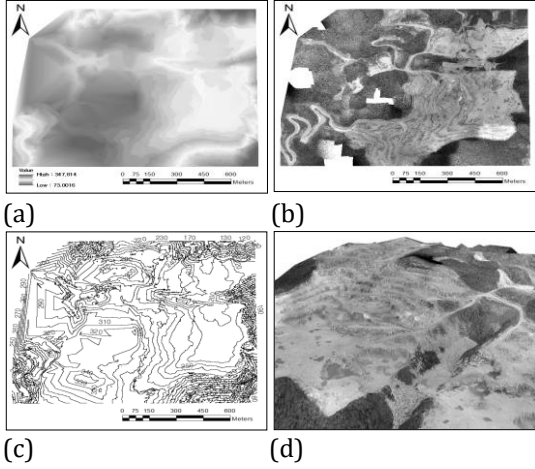
### 3.3. Topoğrafik Araştırma Çalışmalarında İHA Kullanımı

İnsansız hava fotogrametri sisteminin mevcut havadan ölçme yöntemlerine nispeten küçük bir ölçüm hatasına sahip olması ve yer etüdü yöntemlerine nispeten geniş bir çalışma alanına sahip olması sebebiyle açık ocak maden sahalarnında topoğrafik araştırma uygulamalarında yurt içinde ve dışında aktif olarak kullanılmaktadır.

Lee & Choi (2015), maden ocağında İHA ile topoğrafik araştırmanın yapılabileceğini kanıtlamak için Kore Samcheok-si Gangwon-do'da bulunan bir açık kireçtaşı maden ocağında çalışma yapmışlardır. Çalışma alanına Novatel Smart-V1 GPS cihazı ile 4 adet YKN yerleştirilmiştir. İHA olarak eBee SenseFly kullanılmış



olup yerden 300 m yükseklikten %80 yatay %90 dikey örtüşme ile 288 hava fotoğrafı alınmış ve bu fotoğrafların 37 tanesi yalnızca ormanlık alanları gösterdiği için işleme tabi tutulmamıştır. 251 adet hava fotoğrafının işlenmesi için Postflight Terra 3D yazılımı kullanılmıştır. 3B koordinatlara sahip nokta bulutu verileri oluşturulmuş ve sonunda SYM üretilmiştir.



**Şekil 20.** Topoğrafik araştırma sonuçları. (a) Sayısal yüzey modeli. (b) Ortomozaik görüntü. (c) Topoğrafik konturlar (aralık: 10 m). (d) Ortomozaik görüntü ve SYM kullanılarak çalışma alanının 3B görselleştirilmesi

GPS kullanılarak ölçülen YKN'ler ile İHA verilerinden üretilen sonuçlar karşılaştırılmış ve 4 YKN için ortalama karesel hata (RMSE), X yönünde 15 cm, Y yönünde 2 cm, Z yönünde 14 cm olduğu görülmüştür. Yani yüksek hassasiyetli GPS kullanılarak zemin etüdü sonuçlarına göre yaklaşık 15 cm hata olduğu analiz edilmiştir. Bu sonuç, ASPRS (1988) tarafından topoğrafik haritalar için önerilen 30 cm'lik (1:1200, harita ölçeğine göre) maksimum dikey hatayı ve 25 cm'lik (1:1000, harita ölçeğine göre) maksimum dikey hatayı karşılamaktadır. İHA kullanılarak topoğrafik araştırmalar yapılan bazı çalışmalar (Jung vd., 2009; Uysal vd., 2015) benzer hata düzeyleri gösterir. Açık ocaklarda yapılan çalışmalar göz ününe alındığında 15 cm hata seviyesi ile yapılan etüt sonuçlarından topoğrafik haritaların oluşturulmasında yeterince yararlanılabileceği kanaatine varılmıştır.

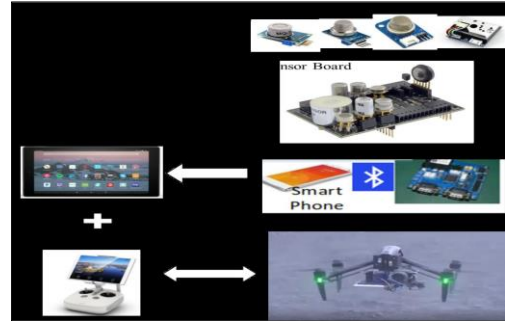
Lee & Choi (2015), araştırma alanında daha önce yılda yaklaşık bir kez yapılan ışık dalgalarıyla zemin etüdü için gereken bir hafta veya daha uzun çalışma süresine kıyasla, sabit kanatlı İHA'lar ile yapılan topoğrafik araştırmaların, çalışma süresi açısından çok etkili olduğunu belirtmişlerdir.

### 3.4. Hava Kalitesinin İzlenmesi Çalışmalarında İHA Kullanımı

Hem sığ kömür damarı hem de büyük ölçekli maden patlatma, NOX, SOX, COX ve ısı radyasyonu gibi büyük miktarlarda kirletici üretir. Hava kalitesi izleme, kömür tüketimi gibi göstergelere dayalı olarak gaz emisyonlarının modellenmesi ve doğrulanması veya tahmin edilmesi için birkaç sabit numune alma cihazına dayanmaktadır. Son yıllarda gaz sensörleri ile donatılmış İHA'lar, kirleticilerin uzaktan izlenmesi ve kontrolünde

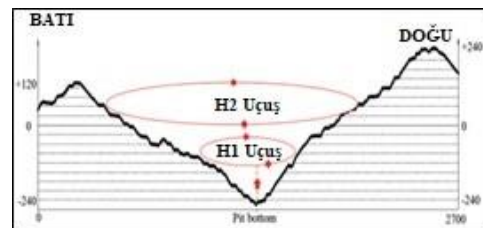
kullanılmış ve iyi sonuçlar elde edilmiştir (Martin vd., 2015).

Vietnam'daki Coc Sau kömür madeninde Bui vd., (2019) tarafından yapılan çalışmada düşük maliyetli döner kanatlı DJI Inspire 2 İHA'ya monte edilmiş RGB Zenmuse X4S kamera, birkaç toz sensörü ile başta görüntüler ve havadaki kirletici konsantrasyonlar olmak üzere çeşitli veriler toplanmıştır. Sistemin performansı değerlendirilmek için saha tesleri yapılmıştır. İHA üzerine monte edilen sensörler sıcaklık, toz, CO, CO2 ve NOX gibi çukur içindeki hava kalitesi ile ilişkili çevresel değişkenlerin seviyelerini izleyebilmiştir. Alman 687 hava fotoğrafı Agisoft Photoscan yazılımı kullanılarak işlenmiş ve 3B topoğrafik haritalar modellenmiştir. YKN'ler ile yapılan doğruluğun değerlendirilmesi sonucunda X,Y,Z RMSE' sinin sırasıyla 6.6 cm, 6.1 cm, 13.8 cm ve 16.4 cm olduğu görülmüştür. Bu değerler maden araştırma görevleri için doğruluk gereksinimine uygun olduğunu göstermektedir.

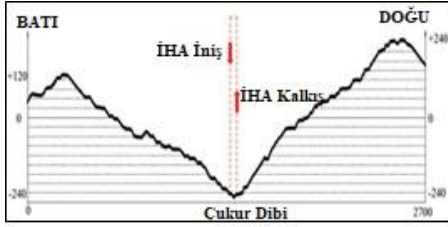


**Şekil 21.** İHA hava kalitesi izleme platformunun yapısı ve drone monte edilmiş bir hava kalitesi sensörünün toplanması için sistem konsepti

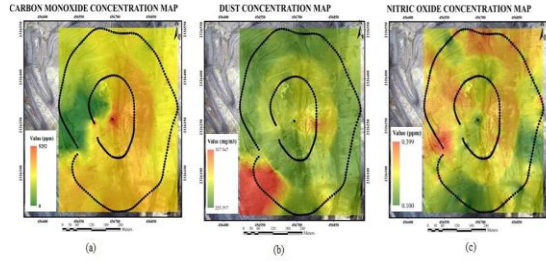
Derin bir çukurdaki kirleticilerin dağılımı, yüzey rüzgârına ve çukurun içi ve dışındaki hava yoğunluğu farklılıklarına bağlıdır. Çukur içindeki boşluk 2 bölüme ayrılmış olup -140 m'de H1 ve 120 m'de H2 olarak isimlendirilmiştir (Şekil 22). İHA sistematik bir şekilde bu bölgelerden geçmiştir. Çukur içindeki dikey sıcaklık profillerini ölçmek için ise çukur tabanının merkezinden başlamış ve dikey hat boyunca (Şekil 23) deniz seviyesinden 250 m yüksekte uçmuştur. Toplanan veriler 3B çevre haritaları oluşturmakta kullanılmıştır. Co, Toz (PM10), NO ve sıcaklık açısından ortam haritaları ArcGIS yazılımı ile oluşturulmuştur. 3B konturları tanımlamak için Ters Mesafe Ağırlıklı (IDW) interpolasyon yöntemi kullanılmıştır. Şekil 24'deki haritalar +120 m rakımında çevre kirliliği profillerini göstermektedir. Şekil 25 ise saha ölçümlerine dayanarak dikey sıcaklık profillerini göstermektedir.



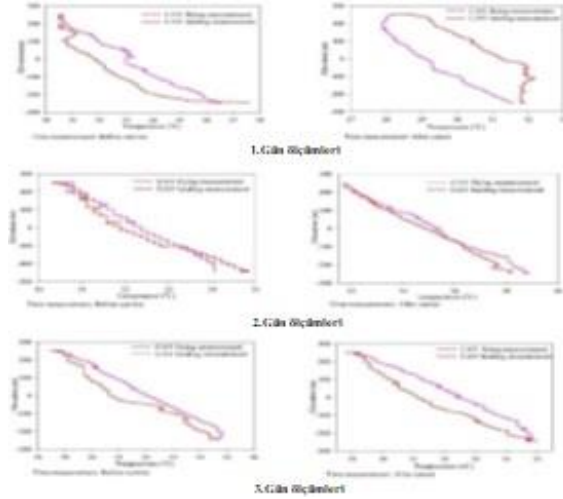
**Şekil 22.** Çukurdaki atmosferik ortamı ölçmek için İHA uçuş yolları



Şekil 23. Dikey sıcaklık profillerini ölçmek için İHA uçuşu



Şekil 24. Hava bileşenlerinin konsantrasyon haritaları (a) CO; (b) Toz (PM10); (c) NO



Şekil 25. İHA ölçümü ile dikey sıcaklık profilleri

Bu çalışmadaki saha testi sonuçlarına göre Bui vd., (2019) 3B haritalama için düşük maliyetli İHA'nın kullanılabilirliğini, büyük ve derin kömür ocaklarında hava kalitesi izlemesini nispeten yüksek doğrulukla göstermekte olduğunu, hava kirliliği profilleri 3B haritalarda görülebildiği ve kirliliğin ana nedenleri 3B haritalara dayalı olarak kolayca doğrulanabildiği için sistem tarafından kirletici kontrol önlemlerinin alınabileceğini bildirmişlerdir.

#### 4. SONUÇLAR

İHA'ların birçok ölçüm yöntemine kıyasla ölçüm hassasiyeti, ekipman ve buna bağlı olarak elde edilen veri çeşitliliği ve kalitesi, zamandan tasarruf ve maliyet açısından avantaj sunması ile son yıllarda birçok alanda olduğu gibi madencilik alanında da kullanımı yaygınlaşmıştır.

Gelişen teknoloji ile birlikte madencilik sektörü bu teknolojik gelişimden faydalanmış ve üretim miktarı olarak pozitif yönde verim alınabilmektedir. Bu sebeple üretimin ve bu aşamada yapılan işlemlerin kontrol altına alınması ve sürekliliğinin sağlanması, haritalanması için pratik ve maliyeti az olan yeni ölçüm teknolojileri tercih edilmeye başlanmıştır. Bilindiği

üzere maden sahaları genellikle erişimi zor engebeli arazilerde bulunmaktadır. Dolayısıyla gerekli ölçümlerin ve belirli periyotlarla takiplerinin yapılması iş gücü, zaman ve maliyet gerektirmektedir. Gelişen İHA teknolojisi bunlara çözüm üretmekle birlikte yalnız ölçüm yapmakla kalmamış havadan görüntüleme sistemi ve kullanılacak ekipman çeşitliliği ile madencilikte yeni kullanım alanlarına olanak sağlamıştır. İHA ile alınan verilerin amaca uygun gerekli yazılımlarda işlenmesi ile hassas, kapsamlı sonuçlar elde edilebilir. Sonuçta elde edilen ürünler dijital ortamda birçok yönden analiz edilebilmektedir. Ayrıca İHA'lar geleneksel yöntemlerle ölçülmesi zor topoğrafya veya şartlarda kolaylıkla ölçüm yapabilmekte, kullanılan İHA kabiliyetine göre büyük veya küçük alan farketmeksizin kısa zamanda sağlıklı verilerle hassas sonuçlar sunabilmektedir.

#### Yazarların Katkısı

Çalışma tek yazarlıdır.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

#### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

#### KAYNAKÇA

- Bui, X. N., Lee, C., Nguyen, Q. L. & Adeel, A. (2019). Use of Unmanned Aerial Vehicles for 3D topographic Mapping and Monitoring the Air Quality of Open-pit Mines. *Journal of the Polish Mineral Engineering Society*, 01-07.06.2019, 222-238.
- Carvajal, F., Aguer, F. & Perez, M. (2011). Surveying a Landslide in a Road Embankment Using Unmanned Aerial Vehicle Photogrammetry. *ISPRS*, 2011. Vols. XXXVIII- 1/C22.
- Defontaine, B., Chang, K.J., Champenois, J., Fruneau, B., Pathier, E., Hu, J.C. & Liu, Y.C. (2016). Active interseismic shallow deformation of the Pingting terraces (Longitudinal Valley–Eastern Taiwan) from UAV high-resolution topographic data combined with InSAR time series. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(1), 120-136
- Dunnington, L. & Nakagawa, M. (2017). Fast and safe gas detection from underground coal fire by drone fly over. *Environ Pollut*, 229, 139-145
- Eisenbeiss, H. (2004). A mini unmanned aerial vehicle (UAV): system overview and image acquisition, Processing And Visualization Using High Resolution Imagery Workshop.
- Erener, A. & Yakar, M. (2012). Monitoring coastline change using remote sensing and GIS technologies. *Lecture Notes in Information Technology*, 30, 310-314.
- Erdoğan, A. (2016). Şeritvari haritaların insansız hava araçları ile üretimi. Yüksek lisans tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya



- Fidan, Ş. & Ulvi, A. (2021). Türk Hukuk Mevzuatında Sivil İnsansız Hava Araçları Hukukunun Güncel Durumu. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 3 (1), 28-35
- Filipova, S. L., Filipov, D. G. & Raeva, P. L. (2016). Volume Computation Of A Stockpile – A Study Case Comparing Gps And Uav Measurements In An Open Pit Quarry. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLI-B1, 2016 XXIII ISPRS Congress, 12–19 July 2016, Prague, Czech Republic
- Gül, Y. (2019). Açık Maden İşletmelerinde İnsansız Hava Aracı (İHA) Uygulamaları. *Türkiye Jeoloji Bülteni Geological Bulletin of Turkey*, 62 (2019) 99-112 doi: 10.25288/tjb.519506
- Hu, Z., Yang, G. & Xiao, W. (2014). Farmland damage and its impact on the overlapped areas of cropland and coal resources in the eastern plains of China. *Res Con Rec*, 86 (3):1-8
- Jung, S. H., Lim, H. M. & Lee, J. K. (2009). Analysis of the Accuracy of the UAV Photogrammetric Method using Digital Camera, J. of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, 27(6), 741-747.
- Kaya, Y., Yiğit, A. Y., Ulvi, A. & Yakar, M. (2021). Arkeolojik Alanların Dokümantasyonunda Fotogrametrik Tekniklerinin Doğruluklarının Karşılaştırmalı Analizi: Konya Yunuslar Örneği. *Harita Dergisi*, 87(165), 57-72.
- Mırdan, O. & Yakar, M. (2017). Tarihi Eserlerin İnsansız Hava Aracı İle Modellenmesinde Karşılaşılan Sorunlar. *Geomatik*, 2 (3), 118-125.
- Kun, M. & Guler, O. (2019). İnsansız Görüntüleme Sistemleri ile Elde Edilen Sayısal Yüzey Modellerinin Mermer Madenciliğinde Kullanımı. *DEUFMD*, 21(63), 1005-1013.
- Lee, S. & Choi, Y. (2015). On-site Demonstration of Topographic Surveying Techniques at Open-pit Mines using a Fixed-wing Unmanned Aerial Vehicle (Drone). *Tunnel Underground Space*, 25(6), 527-533
- Lee, S. & Choi, Y. (2015). Topographic survey at small-scale open-pit mines using a popular rotary-wing unmanned aerial vehicle (Drone). *Tunn Undergr Sp Tech*, 25(5), 462-469
- Mazhrakov, M. (2007). Mine Engineering. Sofia: Sofia University, 2007.
- Niethammer, U., James, M. R., Rothmund, S., Travelletti, J. & Joswig, M. (2012). UAV-based remote sensing of the Super-Sauze landslide: Evaluation and results. *Engineering Geology*, 128, 2-11.
- Park, M., Kim, S. G. & Choi, S. Y. (2013). The study about building method of geospatial informations at construction sites by unmanned aircraft system (UAS), *Journal of the Korean Cadastre Information*, 15, 1, 145-156
- Rau, J. Y., Jhan, J. P., Lo, C. F. & Lin, Y. S. (2011). Landslide mapping using imagery acquired by a fixed-wing UAV. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci*, 38(1/C22), 195-200.
- Shi J., Jinling W. & Yaming X. (2011). Object-based change detection using georeferenced UAV images. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38, 177-182.
- Siebert, S. & Teizer, J. (2014). Mobile 3D mapping surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system. *Automation in Construction*, 41, 1-14
- Ulvi, A. & Yiğit, A. Y. (2019). Kültürel Mirasın Dijital Dokümantasyonu: Taşkent Sultan Çeşmesinin Fotogrametrik Teknikler Kullanarak 3b Modelinin Yapılması. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 1(1), 1-6
- Ulvi, A. & Yiğit, A. Y. (2020). İHA fotogrametrisi tekniği kullanarak 3B model oluşturma: Yakutiye Medresesi Örneği. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 2(2), 46-54
- Ulvi, A. (2018). Analysis Of The Utility Of The Unmanned Aerial Vehicle (UAV) In Volume Calculation By Using Photogrammetric Techniques. *International Journal of Engineering and Geosciences (IJEG)*, 3(2), 43-49,
- Ulvi, A., Yakar, M., Yiğit, A. Y. & Kaya, Y. (2020). İHA Ve Yersel Fotogrametrik Teknikler Kullanarak Aksaray Kızıl Kilisenin 3b Modelinin Ve Nokta Bulutunun Elde Edilmesi. *Geomatik*, 5(1), 19-26.
- Uysal, M., Toprak, A. S. & Polat, N. (2015). DEM generation with UAV Photogrammetry and accuracy analysis in Sahitler hill, *Measurement*, 73, 539-543.
- Ünel, F. B., Kuşak, L., Çelik, M. Ö., Alptekin, A. & Yakar, M. (2020). Kıyı çizgisinin belirlenerek mülkiyet durumunun incelenmesi. *Türkiye Arazi Yönetimi Dergisi*, 2(1), 33-40.
- Xiao, W., Chen, J. & Da, H. (2018a). Inversion and analysis of maize biomass in coal mining subsidence area based on UAV images. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 49(8), 169-180.
- Xiao, W., Hu, Z. & Chung, P. Y. (2011). A study of land reclamation and ecological restoration in a resource- exhausted city- a case study of Huaibei in China. *Int J Min Reclam Env*, 25(4), 332-341
- Yakar, M. & Yılmaz, H. M. (2008). Kültürel miraslardan tarihi Horozluhan'ın fotogrametrik rölöve çalışması ve 3 boyutlu modellenmesi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 23:2, 25-33.
- Yakar, M. (2009). Digital elevation model generation by robotic total station instrument. *Experimental Techniques*, 33(2), 52-59.
- Yakar, M. (2011). Using close range photogrammetry to measure the position of inaccessible geological features. *Experimental Techniques*, 35(1), 54-59.
- Yakar, M., Orhan, O., Ulvi, A., Yiğit, A. Y., & Yüzer, M. M. (2015). Sahip Ata Külliyesi Rölöve Örneği. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası*, 10.

